

## ЗАВИСИМОСТЬ РАБОТЫ СОВРЕМЕННОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА ОТ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА РОССИЙСКИХ МОРЯХ

И.О. Думанская

*Росгидромет*

В статье рассматривается современное состояние российского ледокольного флота. Доказана возможность использования такого параметра, как сумма градусодней мороза, для характеристики легких, средних и тяжелых ледовых условий на российских морях. Выполнен анализ ограничений по режиму ледового плавания судов разных ледовых категорий для легких, средних и тяжелых ледовых условий. Показано, что мощность современного ледокольного флота позволяет в целом осуществлять судоходство в российских морях одинаково успешно как в условиях мягкой и умеренной, так и в условиях суровой и экстремально суровой зим. На основе выполненного анализа строительства и эксплуатации ледокольного флота в XXI веке сделан вывод о том, что реальные сложности зимнего мореплавания в неарктических морях связаны, прежде всего, не с толщиной льда, а с увеличением количества и габаритов судов, проводимых ледоколами.

**Ключевые слова:** ледовые условия, ледовитость морей, сумма градусодней мороза, ограничения ледового плавания, тяжелые ледовые условия, мощность ледокола, безопасность плавания, толщина льда

✉ [dumansk@rambler.ru](mailto:dumansk@rambler.ru)

УДК 656.61.052:551.326

DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10052

## DEPENDENCE OF THE MODERN ICEBREAKER FLEET FROM ICE CONDITIONS ON THE RUSSIAN SEAS

I.O. Dumanskaya

*Roshydromet*

The article considers the current state of the Russian icebreaker fleet. The possibility of using such a parameter as the sum of degree-days of frost to characterize light, medium and heavy ice conditions in the non-Arctic seas is proved. The analysis of restrictions of the regime of ice navigation of vessels of different ice categories in the waters of the non-Arctic seas for light, medium and heavy ice conditions is carried out. A quantitative assessment of the compliance with technical specifications of the icebreaker fleet on the seas with different ice conditions in these seas. It is shown that the power of the modern icebreaker fleet allows navigation on the Russian seas to be equally successful in conditions of mild and moderate, and in conditions of severe and extremely severe winters. At the same time, the increase in the power of the icebreakers under construction and design and the decrease in the thickness of ice due to sustainable warming in all Russian seas increase the guarantees of safety of the navigation of ships and icebreakers in ice and reduce the dependence of ice navigation on the severity of ice conditions. Based on the analysis of the construction and operation of the icebreaker fleet in the XXI century, it is concluded that the real difficulties of winter navigation in the non-Arctic seas are associated primarily with an increase in the number and size of vessels which participate in icebreaking operations.

**Keywords:** ice conditions, ice cover of the seas, ice thickness, power of the icebreaker, safety of the navigation, sum of the degree-days of frost

### Введение

Для планирования морских операций в российских морях в ледовый период необходимо составление долгосрочных ледовых прогнозов на предстоящий ледовый сезон. К выполнению этой задачи со стороны Росгидромета привлекаются Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) для подготовки фонового прогноза по арктическим морям на июнь-сентябрь и Гидрометцентр России (ГМЦ России) для подготовки фонового прогноза по неарктическим морям на октябрь - июнь предстоящего ледового сезона. Заблаговременность прогнозов ААНИИ для арктических морей, выполняемых в марте и июне, составляет от 1 до 4 месяцев. Заблаговременность прогноза ГМЦ России для неарктических морей, выполняемого в начале октября, составляет от 2 до 8 месяцев для разных элементов ледового режима (дат появления льда и очищения моря ото льда; максимальных за зиму толщин льда; ледовитости морей и продолжительности ледового периода на акваториях портов). Оправдываемость долгосрочного прогноза ГМЦ России составляет 70-75 % (при обеспеченности методов по зависимым рядам 80 % и более) [2].

Многолетние дискуссии, касающиеся целесообразности составления долгосрочных прогнозов со ссылками на отказ от них наших зарубежных коллег, не привели пока к решению Росгидромета прекратить разработку долгосрочных прогнозов. Долгосрочные прогнозы ААНИИ и ГМЦ России используются в ФГБУ «Администрация Северного морского пути» и ФГУП «Росморпорт» при планировании расстановки ледокольного флота в период летней арктической и зимней неарктической навигаций. Главной практической

задачей составления долгосрочного ледового прогноза является попытка предупреждения морского сообщества об ожидаемой на конкретном море степени тяжести ледовых условиях. При этом предполагается, что эти условия могут быть легкими (Л), средними (С) или тяжелыми (Т).

Понятие «тяжелые ледовые условия» субъективно и во многом зависит не только от географической широты и мощности ледокольного флота, но и от характера климатической эпохи, в условиях которой привыкли работать судоводители. Судоходные компании в последнее десятилетие существенно поменяли стереотипы, связанные с «тяжелыми» ледовыми условиями. Несколько раз (например, в январе 2008 года и в марте 2012 года) специалисты Минтранса России обращались в Росгидромет с просьбой определить, следует ли считать ледовые условия в Азовском море экстремально сложными для судоходства. Действительно, в январе 2008 года в Керченском проливе около 150 судов ожидали ледокольной проводки у кромки льда. При этом в соответствии с типизацией зим по сумме градусодней мороза (СГДМ), зима 2007/2008 гг. (так же, как и зима 2011/2012 гг.) на Азовском море соответствовала критериям умеренной зимы по стереотипу XX века, для которого суровыми в Азовском море считаются такие зимы, когда толщины припайного льда достигают 45-60 см [3].

Подобные проблемы возникали и в Финском заливе, где суровая зима (по меркам XX века) не наблюдалась уже 30 лет (последняя была в 1986/1987 гг.). Так, например, в навигацию 2010/2011 гг. (умеренная зима) суда проводились десятью ледоколами, тем не менее в связи с «тяжелой» ледовой обстановкой в

Финский залив впервые в истории был заведен атомный ледокол «Вайгач». Услуги ледокола требовались для сопровождения супертанкеров с нефтепродуктами из порта Приморск. Практика использования атомных ледоколов для проводки судов в Финском заливе была сохранена и в 2012 г. (а/л «Россия» и а/л «50 лет Победы»), и в 2013 г. (а/л «Россия»).

Целью статьи является оценка соответствия технических характеристик ледокольного флота на разных морях России ледовым условиям этих морей, не

только для современного периода потепления климата, но и для самых суровых зим, наблюдавшихся в XX веке.

### 1. Использованные данные о гидрометеорологических условиях и состоянии ледокольного флота.

В табл. 1 приведены данные о рядах наблюдений за характеристиками природной среды, использованные для анализа легких, средних и тяжелых ледовых условий в различных морях.

Таблица 1 - Ряды наблюдений за характеристиками природной среды

Море	Район моря или пункт наблюдений	Характеристика	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений
Карское море	о. Диксон	СГДМ	1921–2018	98
		ТЛ	1926–2018	93
Белое море	Архангельск	СГДМ	1813–2018	206
	о. Мудьюг	ТЛ	1914–2018	105
Балтийское море	Санкт-Петербург	СГДМ	1811–2018	208
	Кронштадт	ТЛ	1911–2018	108
	Выборг	ТЛ	1930–2018	89
Азовское море	Ростов-на-Дону	СГДМ	1882–2018	137
	Таганрог	ТЛ	1924–2018	95
Каспийское море	Астрахань	СГДМ	1846–2018	173
	о. Большой Пешной	ТЛ	1930–2018	89
	о. Искусственный – Лагань	ТЛ	1953–2018	66
Берингово море	Анадырь	СГДМ	1916–2018	103
		ТЛ	1963–2018	56
Охотское море	Магадан	СГДМ	1933–2018	86
		ТЛ	1933–1994	65
	Поронайск	СГДМ	1909–2018	110
	Аян	ТЛ	1934–2018	85
Японское море	Александровск-Сахалинский	СГДМ	1891–2018	128
		ТЛ	1953–2018	66

Примечание. СГДМ – сумма градусодней мороза, ТЛ – толщина припайного льда.

В статье часто будет упоминаться ледовая классификации судов, поэтому в табл. 2 приводятся характеристики ледовых категорий ледоколов и судов.

В табл. 3 – принятые на практике соответствия разрешенных действий судоводителей типам ледовых

условий в арктических морях и в суровом неарктическом Беринговом море.

В табл. 4 – действующие ограничения плавания на акватории неарктических портов.

Таблица 2 - Характеристики для ледовых категорий ледоколов (ЛКЛ) и судов (ЛКС)

Символ ЛКЛ и ЛКС	Характеристика операций, разрешенных во льдах	Мощность, кВт
Ледокол, ЛЛ1	В АМ по прибрежным и высокоширотным заприпайным трассам в течение всего года. Непрерывный ход в сплошном льду толщиной более 2,0 м.	47807 кВт и более.
Ледокол, ЛЛ2	В АМ в летний период, а в зимний период по прибрежным трассам. Непрерывный ход в сплошном льду в сплошном льду толщиной менее 2,0 м.	от 22065 до 47807
Ледокол, ЛЛ3	В АМ, в мелководных и устьевых участках рек, впадающих в АМ, в зимний период самостоятельно, а также в АМ по прибрежным трассам с ледоколами высших категорий. Непрерывный ход в сплошном льду до 1,5 м.	от 11032 до 22065
Ледокол, ЛЛ4	В портовых и припортовых акваториях в течение всего года самостоятельно, а также в НАМ в зимний период совместно с ледоколами высших категорий. Непрерывный ход в сплошном льду толщиной до 1,0 м.	Менее 11032
Судно, Arc9	В АМ в сплоченных льдах толщиной до 3,5 м в зимне-весеннюю навигацию и до 4,0 м в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Arc8	В АМ в сплоченных льдах толщиной до 2,1 м в зимне-весеннюю навигацию и до 3,1 м в летне-осеннюю навигацию; за ледоколом во льдах толщиной до 3,4 м в зимне-весеннюю навигацию и в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Arc7	В АМ в сплоченных льдах толщиной до 1,4 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,7 м в летне-осеннюю навигацию; за ледоколом во льдах толщиной до 2,0 м в зимне-весеннюю навигацию и во льдах толщиной до 3,2 м в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Arc6	В АМ в разреженных льдах толщиной до 1,1 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,3 м в летне-осеннюю навигацию; за ледоколом во льдах толщиной до 1,2 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,7 м в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Arc5	В АМ в разреженных льдах толщиной до 0,8 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,0 м в летне-осеннюю навигацию; за ледоколом во льдах толщиной до 0,9 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,2 м в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Arc4	В АМ в разреженных льдах толщиной до 0,6 м в зимне-весеннюю навигацию и до 0,8 м в летне-осеннюю навигацию; за ледоколом во льдах толщиной до 0,7 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,0 м в летне-осеннюю навигацию.	–
Судно, Ice3	Самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду в НАМ и в сплошном льду в канале за ледоколом при толщине льда до 0,7 м.	–
Судно, Ice2	Самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду в НАМ и в сплошном льду в канале за ледоколом при толщине льда до 0,55 м.	–
Судно, Ice1	Самостоятельное эпизодическое плавание в мелкобитом разреженном льду в НАМ и в сплошном льду в канале за ледоколом при толщине до 0,4 м.	–
Судно, UL	Самостоятельное плавание в АМ в летне-осенний период навигации в легких ледовых условиях и в замерзающих неарктических морях круглогодично.	–
Судно, ULA	Самостоятельное плавание во всех районах Мирового океана в летне-осенний период навигации.	–

Примечание. АМ – арктические моря, НАМ – неарктические моря.

Таблица 3 - Ограничения для судов по режиму ледового плавания в арктических морях и в Беринговом море

Тип ледовых условий	Ледовая обстановка	Суда, допускаемые к плаванию во льдах	
		самостоятельно	под проводкой ледоколов
Легкий	Начальные, молодые и однолетние тонкие льды (до 0,7 м), возможно появление и присутствие однолетних средних льдов (мене 1,2 м) в количестве до 25 %	Суда категории Arc 4 и выше	Суда категории Arc 4 и выше
Средний	Однолетний средний лед (до 1,2 м) в количестве от 25 % и более, возможно присутствие однолетних толстых льдов (более 1,2 м) в количестве до 25 %	Суда категории Arc 7 и выше	Суда категории Arc 6 и выше
Тяжелый	Однолетний толстый лед (более 1,2 м) и старые льды (2 м и более) в количестве от 25 % и более.	Суда категории Arc 8 – Arc 9	Суда категории Arc 7 и выше

Таблица 4 - Ограничения для судов по режиму ледового плавания в неарктических морях

Тип ледовых условий		Толщина ледяного покрова	Суда, допускаемые к плаванию во льдах		
северные моря	южные моря		самостоятельно	под проводкой ледоколов	не допускаются
Легкий	Легкий	10-15 см	Суда категории Ice1 и выше	Суда без ледовых усилений и выше	Буксирно-баржевые составы
Средний	Средний	15-30 см	Суда категории Ice2 и выше	Суда категории Ice1	Суда без ледовых категорий, буксирно-баржевые составы
Средний	Тяжелый	30-50 см	Суда категории Ice3 и выше	Суда категории Ice1 и Ice2	Суда без ледовых категорий, буксирно-баржевые составы
Тяжелый	Экстремально тяжелый	более 50 см	Суда категории Arc4 и выше	Суда категории Ice2 и Ice3	Суда без ледовых категорий и категорий Ice1, буксирно-баржевые составы

Примечание. К северным морям условно отнесены Белое море, Финский залив, дальневосточные моря; к южным морям – Азовское и Каспийское моря

Из табл. 4 следует:

– судам с категориями ледовых усилений Arc 4 и Arc 5 разрешено совершать самостоятельное плавание только при легком типе ледовых условий;

– судам с категорией ледовых усилений Arc 6 разрешено совершать самостоятельное плавание при легких ледовых условиях и под проводкой ледоколов при средних ледовых условиях;

– судам с категорией ледовых усилений Arc 7 разрешено совершать самостоятельное плавание при средних ледовых условиях и под проводкой ледоколов при тяжелых ледовых условиях;

– судам с категорией ледовых усилений Arc 8 и Arc 9 разрешено совершать самостоятельное плавание при любом типе ледовых условий.

Сравнение табл. 3 и 4 показывает, что легкие ледовые условия для арктических морей и для Берингова

моря являются экстремально тяжелыми для Азовского и Каспийского морей.

Для южных и северных морей по-разному характеризуются понятия «легкие» и «тяжелые» ледовые условия. Ледовые качества судов, участвующих в плаваниях во льдах, и мощности ледокольного флота, работающего в этих морях, также существенно отличаются. Причем, исторически так сложилось, что сообщество судов и ледоколов, традиционно работающих в том или ином море, ориентировано, как правило, на средние ледовые условия в этом море. В табл. 5 приведена реальная расстановка ледокольного флота в российских морях, утвержденная Минтрансом на период ледокольной проводки 2017/2018 гг., и рассчитаны средние мощности ледоколов (на валах или гребных электродвигателях для ледоколов с винто-рулевыми колонками (ВРК)).

Таблица 5 - Расстановка ледоколов, утвержденная Минтрансом, на период ледокольной проводки 2017/2018 гг. в замерзающих портах России

Море, район	Район работы	Ледокол, Буксир	Мощность, кВт	Средняя мощность, кВт	
				трасса	порты
Карское море	Карское море, Сабетга	а/л «50 лет Победы»	49000	40750	16000
	Карское море, Сабетга	а/л «Ямал»	49000		
	Обская губа, Сабетга	а/л «Вайгач»	32500		
	Енисейский залив	а/л «Таймыр»	32500		
	Акватория порта Сабетга	л/к «Москва»	16000		
Белое море	Море, трасса	л/к «Диксон»	7000	16750	3200
	Море, трасса	л/к «Адмирал Макаров»	26500		
	Порты Архангельск, Онега	л/к «Кап. Евдокимов»	3800		
	Порты Архангельск, Кандалакша	л/к «Кап. Косолапов»	2500		
	Порты Архангельск, Онега	л/к «Кап. Чадаев»	3300		
Финский залив	Залив, трасса	л/к «Кап. Сорокин»	16200	18480	3970
	Залив, трасса	л/к «Ермак»	26500		
	Залив, трасса	л/к «Мурманск»	18000		
	Залив, трасса	л/к «Кап. Николаев»	16200		
	Залив, трасса	л/к «Новороссийск»	18000		
	Залив, трасса	л/к «Санкт-Петербург»	16000		
	Порт Санкт-Петербург	л/к «Мудьюг»	7000		
	Порт Санкт	л/к «Семен Дежнев»	3450		
	Порт Санкт	л/к «Иван Крузенштерн»	3900		
	Порт Усть-Луга	л/к «Жару»	4160		
	Порт Усть-Луга	л /к «Кап. Плахин»	3300		
	Порты Выборг, Высоцк	л/к «Кап. Измайлов»	2500		
	Порты Выборг, Высоцк	л/к «Юрий Лисянский»	3500		
Азовское море	Море, трасса	л/к «Кап. Мошкин»	3800	3600	1180
	Море, трасса	л/к «Кап. Демидов»	3800		
	Море, трасса	л/к «Кап. Чудинов»	3800		
	Море, трасса	л/к «Кап. Зарубин»	3300		
	Море, трасса	л/к «Кап. Крутов»	3300		

Море, район	Район работы	Ледокол, Буксир	Мощность, кВт	Средняя мощность, кВт	
				трасса	порты
	Порт Таганрог	б/л «Кама»	1660		
	Порты Азов, Ростов-на-Дону	б/л «Кап. Харчиков»	1660		
	Порты Азов, Ростов-на-Дону	«Фанагория»	544		
	Порт Ейск	«Техфлотец»	1180		
	Порт Ейск	«Колгуев»	860		
Каспийское море	Море, порты Оля, Астрахань	л/к «Кап. Чечкин»	3300	3470	3470
	Море, порты Оля, Астрахань	л/к «Кап. Букаев»	3300		
	Море, порты Оля, Астрахань	л/к «Кап. Мецайк»	3800		
Охотское море	Море, трасса, порт Магадан	л/к «Магадан»	7000	11600	11600
	Море, трасса, Пригородное	л/к «Кап. Хлебников»	16200		
Татарский пролив	Пролив, трасса	л/к «Красин»	26500	1610	3320
	Пролив, трасса, Порт Ванино	мфсс «Спас. Кавдейкин»	5760		
	Порт Ванино	буксир «Хасанец»	884		
Залив Петра Великого	ЗПВ, Порт Владивосток	буксир «В. Мухортов»	883	1490	1490
	ЗПВ, Порт Восточный	буксир «Олимп»	1910		
	ЗПВ, Порт Ольга	буксир «Бархат-1»	600		
	ЗПВ, Порт Посьет	буксир «Хасан»	2029		
	ЗПВ, Порт Посьет	Буксир Алеут	2029		

## 2. Принципы деления ледовых условий на легкие, средние и тяжелые для арктических и неарктических морей.

Исследования показывают, что на неарктических морях мягким с точки зрения температурного режима зимам соответствуют легкие ледовые условия, умеренным зимам – средние ледовые условия, суровым зимам – тяжелые ледовые условия [1]. Способ выделения групп мягких, умеренных и суровых зим по СГДМ традиционен и хорошо зарекомендовал себя при характеристике ледовых условий на различных морях. Этот подход в качестве основного использовал в своих работах крупнейший специалист по теории ледовых плаваний, в частности, по ледопроеходимости судов в арктических и неарктических морях, П. А. Гордиенко [9-11]. В работах Гордиенко П.А. ледопроеимость судов исследовалась на примере движения во льдах различной толщины дизельного ледокола «Москва» 1960 года постройки с очень большой для того времени мощностью на гребных винтах – 16000 кВт (общей мощностью 19000 кВт). Новая серия из пяти дизельных ледоколов, вступивших в строй в 2008-2016 гг. (головной ледокол серии также назван «Москва»), имеют показатели по общей мощности 21000-27840 кВт.

В последнее время наблюдается рост мощности ледоколов на фоне устойчивого потепления. И в этих условиях важно не только выяснить, достаточно ли использовать сумму градусодней мороза для характеристики различных типов ледовых условий, но и определить, соответствуют ли мощности ледокольного флота на разных морях наблюдаемым в них ледовым условиям, а также понять, что в этой ситуации означает термин «тяжелые ледовые условия».

При современном ледокольном оснащении, например, Северо-Западного бассейнового филиала Росморпорта говорить о «тяжелых» ледовых условиях в Финском заливе можно лишь условно. Основной причиной привлечения атомного флота в Финский залив послужила все-таки не суровость зим, а необходимость прокладки широких каналов для крупногабаритных танкеров.

Однако вероятность наступления настоящих суровых зим, сведения о которых сохранили уникальные материалы наблюдений за ледяным покровом, выполненные в XX веке, все-таки существует. Наблюдения за ледовыми условиями для наиболее суровых за весь период наблюдений зим, соответствующие самым тяжелым ледовым условиям, имеют большую практическую ценность. Проектировщики гидротехнических сооружений и ледоколов закладывают в расчеты именно данные

экстремальных зим. В частности, при строительстве Керченского моста для расчета возможных ледовых нагрузок на опоры использовалась толщина льда в Тамани, наблюдавшаяся в самую суровую зиму на Азовском море в 1954 году и составлявшая 64 см.

Также, используя информацию об экстремальных ледовых условиях в Арктике, наблюдавшихся в 50-90-х гг. прошлого века, проектировщики атомных ледоколов увеличивают мощность атомных ледоколов. Проектная ледопроеимость для наиболее мощных на сегодняшний день работающих атомных ледоколов «50 лет Победы» и «Ямал» составляет 2,2–2,9 м (реальная – 2,25 м). В 2012 году АО «Балтийский завод» начало постройку головного корабля новой серии ледоколов – проект 22220 (ЛК-60Я). Отличие этой серии от предыдущей серии «Арктика» состоит, например, в увеличении ширины корпуса на 4 метра (до 34 м). Это необходимо для проводки крупнотоннажных танкеров. Кроме того, ледокол новой серии может совмещать функции глубокосидящего ледокола, способного работать в Центральной Арктике, и мелкосидящего ледокола, работающего в устьях сибирских рек. Это двухосадочный ледокол, который может принимать на борт 9 тыс. тонн балластной воды и, освобождаясь от нее, уменьшать осадку с 10,5 м до 8,5 м. Мощность ледоколов этой серии достигает 60000 кВт. Предполагается, что первый ледокол серии с легендарным названием «Арктика» будет введен в эксплуатацию в 2020 году, за ним будут введены, а/л «Сибирь» (2021 г.) и а/л «Урал» (2022 г.). В настоящее время обсуждается проект а/л «Лидер» мощностью 120000 кВт, шириной 47,7 м с проектной ледопроеимостью 4,3 м. Таковы планы отечественных судостроителей, которые каждое десятилетие повышают гарантированную надежность плавания в любых ледовых условиях. Вот только хорошо бы соблюдать баланс между желанием получения больших средств на строительство суперледоколов и реальной необходимостью строительства таких ледоколов.

Многолетняя практика гидрометеорологического и ледового обслуживания судоходства в холодный период времени на неарктических морях показывает, что отклонение средней СГДМ конкретного ледового сезона в сторону суровой зимы, тем не менее, может создавать проблемы для судоходства во льдах любого моря.

Основы принципа деления ледовых условий на легкие, средние и тяжелые для арктических морей в течение многих лет разрабатываются в ААНИИ. К необходимости создать такую типизацию привели расширение районов промышленного освоения севера, увеличение продолжительности навигации, ожидаемое

увеличение в несколько раз грузопотока в Арктике уже к 2024 году.

Особенностью зимних ледовых условий в Арктике является, прежде всего, наличие остаточного льда на момент начала нового сезонного ледообразования. В ледовые сезоны 60-80-х гг. прошлого века этот фактор в равной мере со степенью выхолаживания (характеризуемого СГДМ) влиял на тяжесть ледовых условий не только в предстоящую летнюю навигацию, но и в последующий (наступающий через год) ледовый сезон. Основным принципом, положенным в основу типизации в Арктике, является однозначность выделения одного из трех типов ледовых условий – легкий, средний или тяжелый. Указаний на то, какие ледовые условия можно считать легкими, средними, тяжелыми в нормативных документах Росморречфлота и

Росгидромета отсутствуют. Существует ряд документов, в которых приведены указания по допуску судов на трассу Северного морского пути (СМП) в различных ледовых условиях [8] и осредненная информация о допускаемых районах эксплуатации и условиях ледового плавания [7]. Большой помощью при определении Л, С и Т ледовых условий является накопленный опыт зимних навигаций во время плавания судов ПАО «ГМК «Норильский Никель» в юго-западной части Карского моря и в Енисейском заливе.

Для анализа возможности использования единой характеристики – суммы градусодней мороза (СГДМ) при определении тяжести ледовых условий на различных морях были изучены линейные зависимости между СГДМ и рядом ледовых параметров. Эти зависимости показаны в табл. 6.

Таблица 6 - Данные о зависимостях между СГДМ (SG) и ледовыми характеристиками на семи неарктических морях

Море, район	Зависимость между параметрами	Формула	К
Карское море	СГДМ в Диксоне и $H_{max}$ в районе ГМС Диксон	$0,0301 \cdot SG + 29,7$	0,72
	СГДМ в Диксоне и $L_{ix}$ в Карском море	$0,0172 \cdot SG - 50,4$	0,55
Белое море	СГДМ в Архангельске и $H_{max}$ в районе ГМС Мудьюг	$0,0276 \cdot SG + 31,1$	0,70
	СГДМ в Архангельске и $L_{max}$ в Воронке моря	$0,0223 \cdot SG + 50,4$	0,61
Балтийское море	СГДМ в С-Петербурге и $H_{max}$ в районе ГМС Кронштадт	$0,0321 \cdot SG + 29,9$	0,76
	СГДМ в С-Петербурге и $H_{max}$ в районе ГМС Выборг	$0,0296 \cdot SG + 33,2$	0,72
	СГДМ в С-Петербурге и $L_{max}$ Финского залива	$0,0696 \cdot SG + 36,2$	0,78
	СГДМ в С-Петербурге и $L_{max}$ Балтийского моря	$0,0683 \cdot SG + 0,1$	0,87
Азовское море	СГДМ в Ростове-на-Дону и $H_{max}$ в районе ГМС Таганрог	$0,0589 \cdot SG + 11,7$	0,86
	СГДМ в Ростове-на-Дону и $L_{max}$ Азовского моря	$0,1116 \cdot SG + 30,4$	0,76
Каспийское море	СГДМ в Астрахани и $H_{max}$ в районе ГМС Пешной	$0,0589 \cdot SG + 11,7$	0,86
	СГДМ в Астрахани и $H_{max}$ в районе ГМС о. Искусственный	$0,0449 \cdot SG + 7,5$	0,84
	СГДМ в Астрахани и $L_{max}$ Северного Каспия	$0,0347 \cdot SG + 65,3$	0,77
Берингово море	СГДМ в Анадыре и $H_{max}$ в районе ГМС Анадырь	$0,0356 \cdot SG + 3,2$	0,75
	СГДМ в Анадыре и $L_{max}$ Берингова моря	$0,0088 \cdot SG + 5,5$	0,62
Охотское море	СГДМ в Магадане и $H_{max}$ в районе ГМС Аян	$0,0473 \cdot SG + 4,2$	0,68
	СГДМ в Магадане и $L_{max}$ Охотского моря	$0,0298 \cdot SG + 6,6$	0,68
	СГДМ в Поронайске и $L_{max}$ Охотского моря	$0,0428 \cdot SG + 3,5$	0,74
	СГДМ средняя для Поронайска и Магадана и $L_{max}$ Охотского моря	$0,0421 \cdot SG - 8,5$	0,77
Японское море, Татарский пролив	СГДМ в Ал.Сах. и $H_{max}$ в районе ГМС Ал. Сах.	$0,0473 \cdot SG + 4,2$	0,68
	СГДМ в Ал.Сах. и $L_{max}$ Татарского пролива	$0,0298 \cdot SG + 6,6$	0,68

Примечание.  $H_{max}$  – наибольшая за ледовый сезон толщиной льда в см;  $L_{max}$  – наибольшая за ледовый сезон среднемесячная ледовитость в %, К – коэффициент корреляции между расчетными и фактическими характеристиками.

Анализ табл. 6 показывает довольно тесную связь СГДМ с характеристиками ледовых условий на неарктических морях (период обобщения с 1950 по 2018 год). При этом изменчивость коэффициентов корреляции для разных морей и ледовых характеристик варьирует от 0,6 до 0,8. Для арктического Карского моря выявлена слабая связь между СГДМ и средней сентябрьской ледовитостью моря ( $K=0,55$ ), что свидетельствует о необходимости привлечения дополнительных параметров, описывающих степень тяжести ледовых условий в арктических морях. В ААНИИ используют

данные о возрастных характеристиках дрейфующего льда или о состоянии арктических ледяных массивов [12].

В табл. 7 приведена осредненная количественная информация о допустимой толщине льда, при которой судно может двигаться в канале за ледаколом с малой скоростью (от 2 до 5 узлов), не подвергаясь повышенному риску получения повреждений в результате взаимодействия корпуса со льдом. В табл. 8 приведена информация о допустимой скорости, которую суда арктических категорий могут развивать в указанных ледовых условиях, в режиме самостоятельного плавания.

Таблица 7 - Допустимые соответствия ледовых категорий судов и толщина льда для ледакольных проводок

Ледовая категория судна	Возрастная характеристика, толщина льда, м	
	Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация
Arc4	Тонкий однолетний, до 0,7 м	Средний однолетний, до 0,9 м
Arc5	Средний однолетний, до 0,8 м	Средний однолетний, до 1,2 м
Arc6	Средний однолетний, до 1,2 м	Толстый однолетний, до 1,5 м
Arc7	Толстый однолетний, до 1,8 м	Многолетний, до 3,2 м
Arc8	Многолетний, до 3,2 м	Многолетний, до 3,4 м
Arc9	Многолетний, до 3,5 м	Многолетний, более 3,5 м

Таблица 8 - Допустимые скорости ( $V_{доп.}$ ) судов различных ледовых категорий (ЛКС) при самостоятельном плавании в различных ледовых условиях

ЛКС	$V_{доп.}$ Узлы	Сплоченность (баллы),	Возраст льда	Толщина льда, м	
				Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация
Arc4	6-8	1-6	однолетний	0,6	0,8
Arc5	«	1-6	однолетний	0,8	1,0
Arc6	«	1-6	однолетний	1,1	1,3
Arc7	«	7-8	однолетний	1,4	1,7
Arc8	10	7-8	многолетний	2,1	3,0
Arc9	12	9-10	многолетний	3,5	4,0

Из приведенных сведений можно установить, что ориентировочная предельная толщина ледяного покрова для судов с категориями ледовых усилений Arc 4 – Arc 6, при которой им разрешено самостоятельное плавание со скоростью до 6-8 узлов (легкие ледовые условия), составляет 0,6-1,1 м при частной сплоченности такого льда до 6 баллов. Различные вариации скорости движения, толщины и частной сплоченности льда могут дать несколько наборов разных сочетаний скорость-толщина-сплоченность, но определяющими в этом случае все равно остаются толщины льда, в которых судам разрешено находиться.

С учетом принципа более строгой оценки для выбора критерия типизации можно установить, что легкими ледовыми условиями для судов с категориями ледовых усилений Arc 4 – Arc 6 и тем более для судов с более высокими категориями (Arc 7 – Arc 9) могут считаться условия, при которых преобладают начальные, молодые и однолетние тонкие льды (льды толщиной до 0,7 м).

Используя аналогичный подход можно установить, что граница средних ледовых условий, при которых разрешено плавание судов с категориями ледовых усилений Arc 6 под проводкой ледокола и самостоятельное плавание для судов с категориями ледовых усилений Arc 7 являются соответственно толщины льда до 1,2 м и 1,4 м.

С учетом принципа более строгой оценки для выбора критерия можно установить, что средними ледовыми условиями для судов с категориями ледовых усилений Arc 6 – Arc 7 и для судов с более высокими категориями (Arc 7 – Arc 9) могут считаться условия, при которых преобладают льды возрастной градации не более однолетних средних льдов (льды толщиной до 1,2 м).

Тяжелыми ледовыми условиями, в которых без ограничения разрешено плавать судам с категориями ледовых усилений Arc 8–Arc 9 и ограниченно – судам с категорией ледовых усилений Arc 7, могут считаться условия, при которых в районах плавания наблюдаются однолетние толстые и старые льды (льды толщиной более 1,2 м).

Эти границы хорошо совпадают с основными возрастными градациями льда, которые надежно выделяются на картах распределения льда и предусмотрены международной и национальной символикой для морских ледовых карт и номенклатурой морских льдов. Это означает, что определение этих возрастных градаций общепринято, не вызывает затруднений и хорошо знакомо капитанам и штурманскому составу судов и ледоколов.

Однако необходимо учитывать, что ледяной покров по мере нарастания толщины льда переходит в следующую возрастную градацию толщины льда не одновременно. Исследования показали, что переход ледяного покрова из однолетних тонких в однолетние средние и далее в однолетние толстые может занимать от 1 до 4-5 декад. Первое появление более толстого льда не должно означать однозначную смену типа ледовых условий. Это может существенно уменьшить продолжительность навигационных периодов. Появление более старшей возрастной градации льдов должно быть надежно определяемым по данным ИСЗ и судовым наблюдениям. Опыт проводки судов и обеспечения навигации показывает, что пока судоводитель имеет возможность при движении судна с

помощью маневрирования избегать критических льдов, возможность плавания должна сохраняться.

Опыт навигаций и статистические расчеты показывают, что при частной сплоченности в 1-2 балла судно при движении и маневрировании может свободно избегать встречи с льдами, критичной для него возрастной градации. При частной сплоченности более 2-3 баллов избежать встречи со льдами критичной для него возрастной градации гораздо труднее, а при сплоченности более 4-5 баллов – практически невозможно.

Это позволяет несколько расширить границы выбранных критериев для определения типа ледовых условий. Но необходимо учитывать, что точность при дешифрировании спутниковых снимков и определении возраста льдов и границ распространения льдов составляет около  $\pm 1$  балла. Поэтому предлагается установить границу возможного присутствия нежелательных льдов в 3 балла (30 % от общего количества всех льдов). Это гарантирует, что количество нежелательных льдов при ошибке дешифрирования (что случается правда достаточно редко) не превысит 4 балла (40 %) общего количества льдов, т.е. сплоченности, при которой избежать встречи с такими льдами будет невозможно.

В юго-западной части Карского моря припайные льды расположены узкой полосой вдоль берега на мелководье и не имеют навигационного значения. Поэтому их предлагается не учитывать в возрастном составе льдов, среди которых происходит плавание.

В северо-восточной части моря припай с определенного момента перекрывает западные подходы к проливу Вилькицкого. Припай является средой активного судоходства и состав льдов в нем необходимо учитывать.

С учетом вышеназванного предлагается установить следующие критерии (граничные условия) для определения типов ледовых условий в Карском море для зимнего периода.

**Легкий тип ледовых условий** – на акватории района наблюдаются начальные, молодые и однолетние тонкие льды (до 0,7 м), возможно появление и присутствие однолетних средних льдов в количестве до 30 % ( $S_{\text{средн}} < 30 \%$ );

**Средний тип ледовых условий** – на акватории района наблюдаются однолетние средние льды (до 1,2 м) в количестве от 30 % и более ( $S_{\text{средн}} \geq 30 \%$ ), возможно появление и присутствие однолетних толстых льдов в количестве до 30 % ( $S_{\text{толст}} < 30 \%$ );

**Тяжелый тип ледовых условий** – на акватории района наблюдаются однолетние толстые льды (более 1,2 м) и старые льды в количестве от 30% ( $S_{\text{толст}} \geq 30 \%$ ) и более.

В зимне-весенний период в Арктике в XXI веке (в условиях потепления) для условий, когда на трассах преобладает только однолетний лед осеннего образования, имеет смысл, как и для неарктических морей, установить связь между типами ледовых условий и СГДМ. В табл. 9 в качестве примера показаны результаты, полученные с помощью формулы из табл. 6 для толщины льда (H) и СГДМ в см (SG) в районе ГМС Диксон (степень связи определяется коэффициентом корреляции  $K=0,72$ ).

Формула обратной связи выглядит так:  
 $SG = 33,2 \cdot H - 987$ .

Таблица 9 - Допустимые соответствия ледовых категорий судов и ледовых условий для плавания в зимне-весеннюю навигацию

Ледовая категория судна	Возрастная характеристика, толщина льда, см	СГДМ, °С
Агс4	Тонкий однолетний, до 70 см	Менее 1340
Агс5	Средний однолетний, до 80 см	Менее 1670
Агс6	Средний однолетний, до 120 см	Менее 2300
Агс7	Толстый однолетний, до 180 см	Менее 4990
Агс8	Многолетний, более 200 см	Более 5650
Агс9	Многолетний, более 200 см	Более 5650

Примечание: максимальная наблюдаемая СГДМ на о. Диксон (1968/1969 гг.) равна 5800 °С.

Опыт предыдущих исследований [1] показывает, что зависимости между СГДМ и ледовыми характеристиками льда на неарктических морях сохраняются в радиусе 600-700 км относительно расположения ГМС, принятой в качестве репрезентативной. Это условие соблюдается для ГМС Архангельск в Белом море, имеющем меридиональную протяженность около 500 км; для ГМС Ростов-на-Дону в Азовском море, имеющем меридиональную протяженность около 180 км; для ГМС Астрахань на Северном Каспии, имеющем меридиональную протяженность около 270 км; для ГМС Александров-Сахалинский в Татарском проливе, имеющем меридиональную протяженность около 650 км.

Меридиональная протяженность Балтийского моря составляет 1200 км. Зависимость между СГДМ в Санкт-Петербурге и максимальной ледовитостью Финского залива определяется коэффициентом корреляции  $K=0,78$ . Эту связь можно считать хорошей для Финского залива. Однако необходимо проверить, работает ли она для всего Балтийского моря. Нас интересует в большей степени его наиболее ледовитая северная часть, включающая Ботнический залив, северное побережье которого располагается почти в 700 км от Санкт-Петербурга.

Для проверки дальней связи определена зависимость между СГДМ в Санкт-Петербурге и максимальной ледовитостью всего Балтийского моря. В этом случае использованы данные наблюдений FIMR (Finnish Institute of Marine). Оказалось, что степень связи в этом случае даже выше, чем с ледовитостью Финского залива:  $K=0,87$ , что вполне объяснимо, т.к. при расчете ледовитости залива мы искусственно ограничиваем его площадь западной границей, заведомо понижая степень зависимости.

Меридиональная протяженность Берингова моря составляет около 1600 км. Однако лед сосредоточен обычно в северной половине моря. Наибольшая протяженность ледовой трассы от Залива Креста до

кромки льда составляет около 800 км. Расчет СГДМ выполнялся по данным ГМС Анадырь.

Следует учитывать, что на положение кромки льда (и, следовательно, на ледовитость) во всех дальневосточных морях сильное действие оказывают теплые тихоокеанские воды. Это, безусловно, уменьшает зависимость ледовитости от СГДМ. Зависимость между СГДМ в Анадыре и максимальной ледовитостью Берингова моря определяется коэффициентом корреляции  $K=0,62$  и ее можно считать удовлетворительной. Зависимость между СГДМ и толщиной льда в Анадыре довольно высокая, определяемая коэффициентом корреляции  $K=0,76$ .

Охотское море занимает площадь, равную 1583 тыс. км<sup>2</sup>, меридиональная протяженность его составляет около 2200 км. Лед может наблюдаться в любом районе моря. Это наиболее сложное море для классификации степени тяжести ледовых условий для судоходства. Его большая протяженность обуславливает отличия в температурном и ледовом режиме северной, центральной и южной частей моря. Так, экстремально суровая зима для северной части Охотского моря, наблюдавшаяся в 1965/1966 гг., сохраняла свои аномальные свойства до широты Шантарских островов, южнее наблюдалась умеренная зима. Ситуация, когда почти все море покрыто льдом, типична для суровых зим центральной и южной частей Охотского моря. Так было в 2001 году, когда от о-ва Большой Шантар до Южно-Курильска наблюдалась суровая зима, а на севере Охотского моря (по данным Охотска и Магадана) была умеренная зима. В данном случае целесообразно разделить море на два района: северный – к северу от параллели 54° с.ш. и центрально-южный – к югу от этой параллели. Для северного района Охотского моря расчет СГДМ выполнялся по данным ГМС Магадан, а для центрально-южного – по данным ГМС Поронайск.

В табл. 10 приведены критерии различных ледовых условий на неарктических морях.

Таблица 10 - Критерии различных ледовых условий на неарктических морях

Море, район	ГМС	Критерии по СГДМ, °С		
		Легкие условия (мягкая зима)	Средние условия (умеренная зима)	Тяжелые условия (суровая зима)
Белое	Архангельск	<1140	1140–1710	>1710
Балтийское, Финский залив	Санкт-Петербург	<480	480–940	>940
Азовское	Ростов-на-Дону	<215	215–585	>585
Каспийское, северная часть	Астрахань	<265	265–640	>640
Берингово, Анадырский залив	Анадырь	<3310	3310–3940	>3940
Охотское, северный район	Магадан	<2150	2150–2575	>2575
Охотское, центрально-южный район	Поронайск	<1530	1530–1960	>1960
Японское, Татарский пролив	Александровск Сахалинский	<1635	1635–2015	>2015

### 3. Связь СГДМ с мощностью ледокольного флота на российских морях.

Сумму градусодней мороза можно использовать не только для характеристики ледовых условий. Покажем возможность использования прямых зависимостей между СГДМ и техническими характеристиками ледоколов при планировании морских операций.

Практический положительный опыт использования ледоколов для обеспечения зимних навигаций в неарктических российских морях, а также для обеспечения круглогодичных плаваний во льдах Арктики в течение многих лет позволяет Минтрансу РФ грамотно осуществлять расстановку ледоколов. При этом самые мощные ледоколы работают в Арктике, а наименее

мощные – на южных неарктических морях.

В табл. 11 приведено соответствие средних мощностей ледоколов, используемых в конкретном море, средних СГДМ для этого моря, средних толщин припайного ( $H_{пр}$ ) и дрейфующего льда ( $H_{др}$ ) на момент максимального развития ледяного покрова.

Для правильной оценки ледовых условий моря важно установить связь между толщиной припайного и дрейфующего льда. Д.Б. Карелин [4] на основе анализа данных измерений толщины льда во время дрейфа л/к «Ленин» в 1937/1938 гг. в Арктике и сопоставления их с толщиной припайного льда показал, что толщина

ровного дрейфующего льда на 5-25% меньше, чем толщина припайного льда. Е.У. Миронов в работах [5, 6] показывает, что по данным наблюдений в море Лаптевых в апреле-мае 1988 г. разница между толщиной дрейфующего и припайного льда составила порядка 25-30%. Толщина дрейфующего льда в табл. 11 рассчитана как толщина припайного льда минус 20%.

Данные табл. 11 (графы 4 и 6) позволяют построить обобщенный график зависимости между СГДМ и толщинами дрейфующего льда на российских морях (рис. 1) с тесной связью ( $K=0,97$ ).

Таблица 11 - Соответствие средних мощностей ледоколов ( $S_{ср}$ ), используемых на российских морях, средним ледовым характеристикам этих морей

Море, район	$S_{ср}$ , кВт	Данные ГМС (для СГДМ/ $H_{пр}$ )	СГДМ, °С	$H_{пр}$ , см	$H_{др}$ , см
1	2	3	4	5	6
Карское море	40750	Диксон/ Диксон	4400	158	126
Белое море	16750	Архангельск/о. Мудьюг	1480	70	56
Балтийское море, Финский залив	18480	С-Петербург/ Кронштадт	770	51	41
Азовское море	3600	Ростов-на-Дону/Таганрог	400	37	30
Северный Каспий	3470	Астрахань/о. Искусственный	460	28	22
Охотское море, северный район	11600	Магадан/Аян	2300	118	94
Японское море, Татарский пролив	1610	Александров-Сахалинский/ Сов. Гавань	1790	100	80
Японское море, ЗПВ	1490	Владивосток/Владивосток	1120	55	50

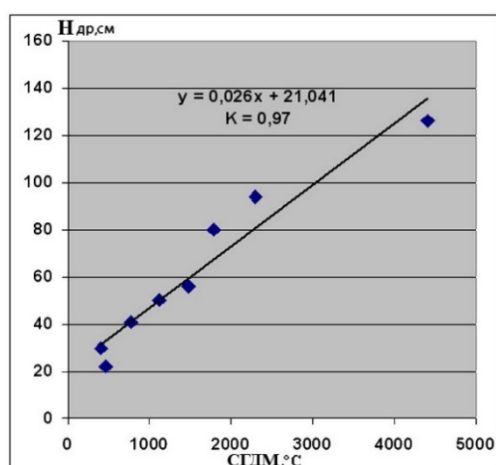


Рис. 1. Зависимость толщины дрейфующего льда на российских морях от значений СГДМ.

Формула для этой зависимости:

$$H_{др} = 0,026 \cdot SG + 21 \quad (1),$$

где  $H_{др}$  – средняя толщина дрейфующего льда в см, SG – СГДМ в °С.

Формула обратной зависимости:

$$SG = 36,023 \cdot H_{др} - 657 \quad (2).$$

Данные табл. 11 позволяют также построить

графики зависимости средних мощностей, используемых ледоколов от:

– толщин дрейфующего льда, соответствующих средним ледовым условиям на различных морях (рис. 2а);

– средних фактических сумм градусодней мороза (рис. 2б).

Формулы линейных трендов описывают зависимость мощности от толщины льда и СГДМ для исторически сложившегося соответствия.

Мощность ледоколов для различных толщин льда можно, таким образом, получить по формуле:

$$S_{ср} = 254,5 H_{др} - 3655,7 \quad (3),$$

где  $S_{ср}$  – средняя мощность ледоколов в кВт,

$H_{др}$  – средняя толщина дрейфующего льда в см.

Мощность ледоколов ( $S_{ср}$ ) для различных СГДМ можно получить по формуле:

$$S_{ср} = 8,071 \cdot SG - 614,2 \quad (4).$$

График на рис. 2б показывает возможность использования данных о температуре воздуха для оценки необходимой средней мощности ледокольного флота.

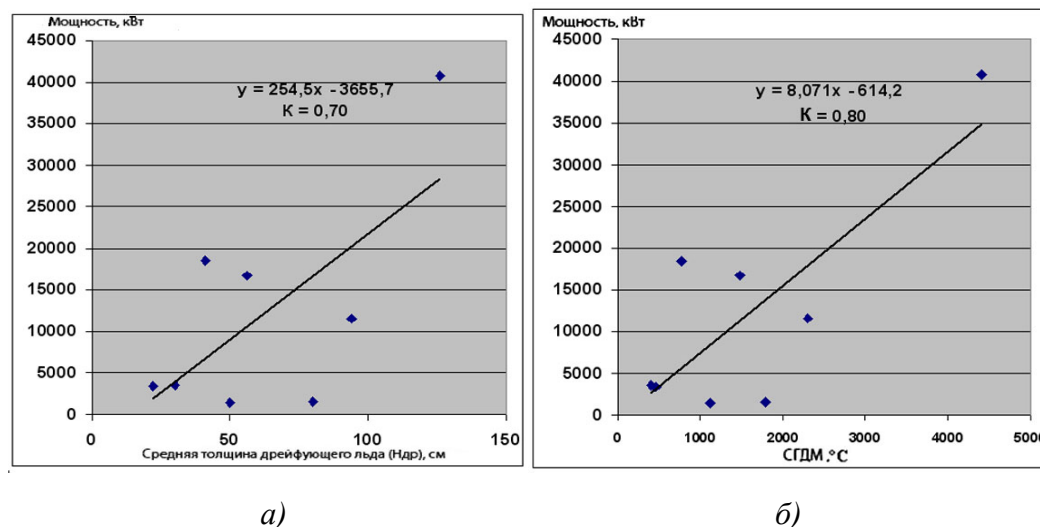


Рис. 2. Зависимость средних мощностей, используемых на различных морях ледоколов, от толщин дрейфующего льда (а) и сумм градусодней мороза (б).

В табл. 12 приведены данные о проектной ледопроеходимости ледоколов, участвующих в морских операциях на различных российских морях.

Соответствующие проектной толщине льда значения СГДМ (графа 7, табл. 12), получены по формуле 2.



Таблица 12 - Проектная ледопроездимость российских ледоколов и соответствующая СГДМ

№	Ледокол	Вид, символ класса	Мощность на валах, кВт	Общая мощность ПУ, кВт	V <sub>чв</sub> , узлы	H <sub>макс</sub> , м	СГДМ, °С
1	2	3	4		5	6	7
1.	«50 лет Победы»	а/л, ЛЛ1	49000	55200	22	2,2–2,9	7268
2.	«Ямал»	а/л, ЛЛ1	49000	55200	22	2,2–2,9	7268
3.	«Таймыр»	а/л, ЛЛ2	32500	36800	18,5	1,7–2,0	5467
4.	«Вайгач»	а/л, ЛЛ2	32500	36800	18,5	1,7–2,0	5467
5.	«Красин»	л/к, ЛЛ2	26500	30420	19,8	1,6–1,7	5107
6.	«Адм.Макаров»	л/к, ЛЛ2	26500	30420	19,8	1,6–1,7	5107
7.	«Ермак»	л/к, ЛЛ2	26500	30438	19,5	1,6–1,7	5107
8.	«Мурманск»	л/к, ЛЛ3	18000*	27840	17	1,0–1,5	2945
9.	«Владивосток»	л/к, ЛЛ3	18000*	27840	17	1,0–1,5	2945
10.	«Новороссийск»	л/к, ЛЛ3	18000*	27840	17	1,0–1,5	2945
11.	«Кап.Драницын»	л/к, ЛЛ3	16200	18240	13	1,0–1,5	2945
12.	«Кап.Николаев»	л/к, ЛЛ3	16200	18240	19	1,0–1,5	2945
13.	«Кап.Сорокин»	л/к, ЛЛ3	16200	18270	19	1,0–1,5	2945
14.	«Кап.Хлебников»	л/к, ЛЛ3	16200	18264	19	1,0–1,5	2945
15.	«С-Петербург»	л/к, ЛЛ3	16000*	21000	17	1,0–1,5	2945
16.	«Москва»	л/к, ЛЛ3	16000*	21000	17	1,0–1,5	2945
17.	«Тор»	л/к, ЛЛ4	8200	10172	15	0,8–1,0	2224
18.	«Диксон»	л/к, ЛЛ4	7000	9560	16,5	0,8–1,0	2224
19.	«Мудьюг»	л/к, ЛЛ4	7000	9560	16,5	0,8–1,0	2224
20.	«Магадан»	л/к, ЛЛ4	7000	9560	16,5	0,8–1,0	2224
21.	«Кару»	л/к, ЛЛ4	4160	5550	13	0,8–1,0	2224
22.	«Кап.Евдокимов»	л/к, река-море	3800	4815	14	0,7–0,9	1865
23.	«Кап.Мецайк»	л/к, река-море	3800	4815	14	0,7–0,9	1865
24.	«Кап.Мошкин»	л/к, река-море	3800	4815	14	0,7–0,9	1865
25.	«Кап.Демидов»	л/к, река-море	3800	4815	14	0,7–0,9	1865
26.	«Кап.Чудинов»	л/к, река-море	3800	4815	14	0,7–0,9	1865
27.	«Кап.Чадаев»	л/к, река-море	3300	4650	14	0,7–0,9	1865
28.	«Кап.Чечкин»	л/к, река-море	3300	4650	14	0,7–0,9	1865
29.	«Кап.Букаев»	л/к, река-море	3300	4650	14	0,7–0,9	1865
30.	«Кап.Крутов»	л/к, река-море	3300	4638	14	0,7–0,9	1865
31.	«Кап.Зарубин»	л/к, река-море	3300	4650	14	0,7–0,9	1865
32.	«Кап.Плахин»	л/к, река-море	3300	4650	14	0,7–0,9	1865
33.	«Иван Крузенштерн»	л/к, ЛЛ4	3900	4500	14	0,7–0,9	1865
34.	«Семен Дежнев»	л/к, ЛЛ4	3450	4500	14	0,7–0,9	1865
35.	«Юрий Лисянский»	л/к, ЛЛ4	3500	3975	14	0,7–0,0	1865
36.	«Кап.Михаил Измайлов»	л/к, ЛЛ4	2500	3912	13	0,6–0,7	1504
37.	«Кап.Косолапов»	л/к, ЛЛ4	2500	4400	13	0,6–0,7	1504
38.	«Севморпуть»	а/лих, УЛ		29420	20,8	0,8–1,0	2945
39.	«Спас.Кавдейкин»	МФАС Arc5		5760	15	0,8–1,0	2224
40.	«Хасан»	буксир Arc4		2029	12	0,6–0,7	1504
41.	«Алеут»	буксир Arc4		2019	12	0,6–0,7	1504
42.	«Олимп»	буксир Ice3		1910	11,5	0,5	1144

Примечание. \* – для этих ледоколов термин «Мощность на валах» некорректен, т.к. на них установлены винто-рулевые колонки (ВРК) с приводом от гребных электродвигателей, правильное термин «Мощность гребных электродвигателей»; а/л – атомный ледокол, л/к – ледокол, МФАС – многофункциональное спасательное судно, ПУ – пропульсивная установка; V<sub>чв</sub> – скорость на чистой воде; H<sub>макс</sub> – максимальная проектная толщина льда при скорости 1–2 узла.

На рис. 3 – графики, построенные по табл. 12, зависимости проектной мощности ледоколов от:

- толщин льда, соответствующих нижней границе проектной ледопроездимости (из практики известно, что верхняя граница интервалов максимальной проектной толщины льда редко достижима);
- СГДМ, соответствующих нижней границе проектной ледопроездимости.

Формулы линейных трендов описывают зависимость мощности от толщины льда и СГДМ для

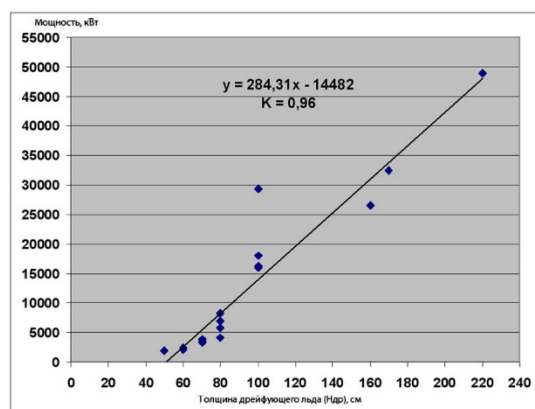
проектных характеристик. Проектную мощность ледоколов в зависимости от различных толщин льда описывает формула:

$$S_{\text{проект}} = 284,31 \cdot H_{\text{проект}} - 14482 \quad (5),$$

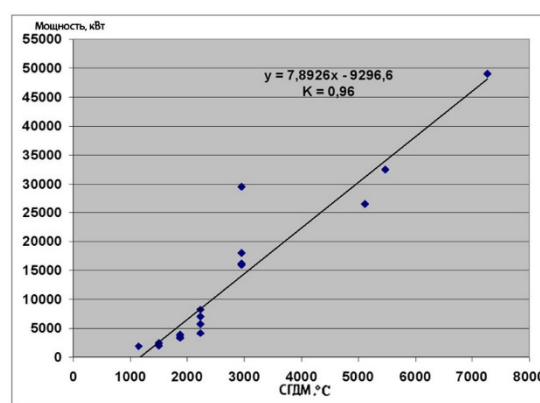
где S<sub>проект</sub> – проектная мощность ледоколов в кВт, H<sub>проект</sub> – проектная толщина льда в см.

Проектную мощность ледоколов в зависимости от СГДМ описывает формула:

$$S_{\text{проект}} = 7,8926 \cdot SG - 9296 \quad (6).$$



а)



б)

Рис. 3. Зависимость проектной мощности ледоколов от толщин льда (а) и сумм градусодней мороза (б), соответствующих нижней границе проектной ледопроездимости.

На рис. 4а показаны совмещенные графики связей:

а) между толщиной льда и средней мощностью ледоколов реально используемого флота на различных морях;

б) между толщинами льда, соответствующими нижней границе проектной ледопроездимости, и

проектной мощностью ледоколов.

На рис. 4б показаны совмещенные графики связей:

а) между СГДМ и средней мощностью ледоколов реально используемого флота на различных морях;

б) между СГДМ, соответствующими нижней границе проектной ледопроездимости, и проектной мощностью ледоколов.

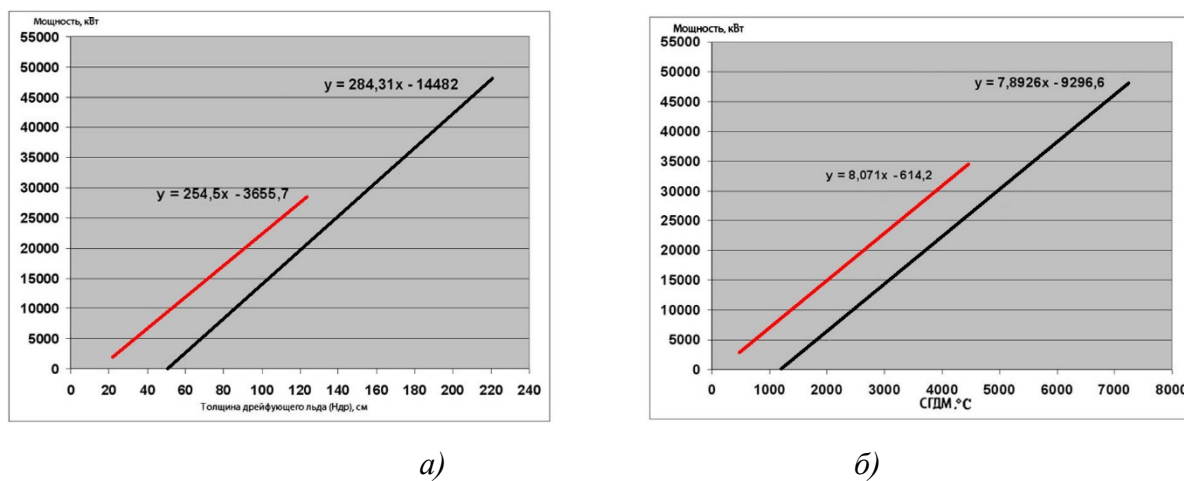


Рис. 4. Зависимости мощности ледоколов от а) проектной (черная линия) и средней фактической (красная линия) толщины дрейфующего льда; б) проектной (черная линия) и средней фактической (красная линия) суммы градусодней мороза.

Анализ графиков на рис. 4а показывает, что средняя мощность ледоколов, традиционно расставляемых на акваториях российских морей, и соответствующая удовлетворительному (как показывает многолетняя практика) обслуживанию судоходства, значительно (примерно на 8 тыс. кВт) превышает оптимальную (проектную) мощность ледоколов для аналогичных толщин льда. Этот факт вполне объясним тем, что реальные ледокольные работы осуществляются часто в ледовых зонах, покрытых торосистыми образованиями, преодоление которых требует дополнительных мощностей. Кроме того, ледовые условия могут быть более тяжелыми, чем средние.

Особый интерес представляет график на рис. 4б

совмещенных зависимостей для СГДМ. Его анализ показывает, что СГДМ в зимы со средними ледовыми условиями значительно (примерно на 1000 °С) меньше суммы градусодней мороза, соответствующей мощности ледоколов, традиционно расставляемых на акваториях российских морей. То есть ледокольный флот при стандартной расстановке имеет существенный резерв (превышение) мощности на случай более тяжелых, чем средние, ледовых условий. Для того, чтобы оценить, достаточно ли будет такого резерва для работы в условиях экстремально суровых зим, приведем таблицу отклонений экстремальных значений СГДМ от средних значений (табл. 13). Данные табл. 13 показывают, что резерв в целом достаточен.

Таблица 13 - Отклонения экстремальных значений СГДМ<sub>max</sub> от средних СГДМ<sub>ср</sub>, в °С.

Море, район	ГМС	СГДМ max	СГДМ ср	Δ СГДМ
Белое	Архангельск	2325	1480	845
Финский залив	Санкт-Петербург	1800	770	1030
Азовское	Ростов-на-Дону	1277	400	877
Северный Каспий	Астрахань	1240	460	780
Охотское, Северный район	Магадан	2955	2300	655
Охотское, Центрально-Южный район	Поронайск	2276	1720	556
Среднее		790		

## Выводы

Проведенное исследование показало, что:

1. Сумма градусодней мороза в достаточной мере характеризует ледовые условия на неарктических морях и может быть использована в качестве единственного параметра для определения степени тяжести этих условий. Для характеристики ледовых условий на арктических морях необходимо привлекать другие параметры климатической системы.

2. Кроме общей характеристики ледовых условий на неарктических морях сумма градусодней мороза может быть использована при расстановке ледокольного флота для расчетов мощностей ледоколов, соответствующих тем или иным ледовым условиям.

3. Мощность современного ледокольного флота позволяет в целом осуществлять судоходство на российских морях одинаково успешно как в условиях мягкой и умеренной, так и в условиях суровой и экстремально суровой (по температурному режиму) зимы.

4. Расстановка ледокольного флота, как было показано в исследовании, осуществляется с большим запасом мощности ледоколов, что вполне достаточно для учета возможности отклонений температурных состояний ледовых сезонов в сторону более тяжелых ледовых условий.

5. Долгосрочный ледовый прогноз на предстоящую навигацию в последние годы в связи с тенденцией потепления, которая закономерно заложена во всех прогностических уравнениях, нацеливает

мореплавателей на мягкие и умеренные зимы, что соответствует легким и средним ледовым условиям.

6. Мощность ледоколов, построенных в XX веке, существенно превышает мощность ледокольного флота второй половины XXI века, при этом наблюдается два разнонаправленных процесса: увеличение мощности строящихся и проектируемых ледоколов и уменьшение толщины льда в связи с устойчивым потеплением на всех российских морях. В связи с этим понятия легких, средних и тяжелых ледовых условий, связанные с изменчивостью температурного режима (СГДМ), имеют климатический смысл, однако на современном этапе судостроения не отражает реальные трудности ледовых плаваний.

7. В действительности сложности для осуществления судоходства во льдах возникают в следующих ситуациях:

- поток судов на трассе слишком велик, не хватает ледоколов для осуществления своевременной проводки;
- ширина ледокола недостаточна для проводки крупнотоннажного судна (например, танкера шириной 50 м);
- основной рабочий ледокол в регионе заведомо маломощен для средних в море ледовых условий (например, ледокол «Магадан» в Охотском море);
- ледокол снизил свой уровень ледопроеходимости, исчерпав ресурс годности;
- караван попал в локальную зону сжатий и торосов; в караване присутствуют суда с ледовыми категориями,

не соответствующими средним для данного моря ледовым условиям;

– произошла техническая авария.

8. Использование понятий «легкие», «средние», «тяжелые» ледовые условия в зависимости от суровости зимы все еще служит судоводителям для оправдания проблем, связанных с происшествиями во время зимних плаваний, основными причинами которых часто являются отнюдь не ледовые условия. При потере хода во льдах по любой причине присутствие льда

создает предпосылки для борьбы за живучесть судна, делая почти любые ледовые условия действительно тяжелыми.

9. Строительство супердорогих ледоколов типа «Лидер», предназначенных для сопровождения судов шириной до 48 м по трассам СМП (располагающимся, как правило, в прибрежной зоне, где толщины ровного льда не достигают не только 4,3, но 3 метров), мало эффективно в условиях потепления климата и уменьшения степени тяжести ледовых условий не только для западного, но и для восточного сектора Арктики.

#### Список литературы:

1. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М: ИГ–СОЦИН, 2014. 605 с.
2. Думанская И.О. Метод долгосрочного прогноза ледовых условий в Татарском проливе, Охотском море и Беринговом морях, основанный на использовании статистического моделирования// Информационный сборник Гидрометцентра России. 2018. № 45. С. 117–126.
3. Думанская И.О., Котилевская А.М., Федоренко А.В. Ледовые условия морей европейской части России в условиях климатических изменений (уроки зимы 2007–2008 гг.)// Метеоспектр. 2008. № 2. С.134–144.
4. Карелин Д.Б. Влияние солености воды и течений на рост льда// Проблемы Арктики. 1943. №1. С. 144–149.
5. Миронов Е.У. Некоторые закономерности распределения толщины льда в Арктическом бассейне//Изв. ВГО. 1986. Т. 118. Вып. 3. С. 202–207.
6. Миронов Е.У., Кузнецов И.М. Некоторые особенности пространственной неравномерности толщины неподвижного и дрейфующего льда. Сб. Исследования ледовых условий

- Арктических морей, методы расчета и прогноза// Тр. ААНИИ. 1990. Т. 423. С. 42–53.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Том 1. СПб.: Изд-во Российского морского регистра судоходства, 2015. 580 с.
8. Правила плавания в акватории Северного морского пути. М.: Изд-во Минтранс России, 2013. 18 с.
9. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Азовском море. Под ред. П.А. Гордиенко. Л: Гидрометеиздат, 1979. 106 с.
10. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Балтийском море. Под ред. П.А. Гордиенко. – Л: Гидрометеиздат, 1979. 167 с.
11. Учет ледовых явлений при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Каспийском море. Под ред. П.А. Гордиенко. – Л: Гидрометеиздат, 1983. 131 с.
12. Юлин А.В., Шаратунова М.В., Павлова Е.А., Иванов В.В. Сезонная и межгодовая изменчивость ледяных массивов Восточно-Сибирского моря// Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. №3. С. 229–240.

#### References:

1. Dumanskaya I. O. Ice conditions of the seas of the European part of Russia. Moscow: IG–SOCIN, 2014, 605 p.
2. Dumanskaya I. O. Method of long-term forecast of ice conditions in the Tatar Strait, the sea of Okhotsk and the Bering sea, based on the use of statistical modeling// Informational collection of the Hydrometeorological center of Russia. 2018. No. 45, p. 117-126.
3. Dumanskaya I. O., Kotilevskaya A. M., Fedorenko A.V. Ice conditions of the seas of the European part of Russia in the conditions of climatic changes (lessons of winter 2007-2008)// Meteorological. 2008. No. 2, p. 134–144.
4. Karelin, D. B. Influence of salinity of water and currents on the ice growth// Problems of the Arctic. 1943. No. 1, p. 144-149.
5. Mironov E. U. Some regularities of ice thickness distribution in the Arctic basin// Proceedings of the Russian Geographical Society. 1986. Vol. 118. Issue 3, p. 202-207.
6. Mironov E. U., Kuznetsov I. M. Some features of spatial unevenness of the thickness of stationary and drifting ice. Sat. Research of ice

- conditions of the Arctic seas, methods of calculation and forecast// Proc. AARI. 1990. Vol. 423, p. 42-53.
7. Rules of classification and construction of ships. Volume 1. Saint-Petersburg: Publishing house of the Russian Maritime register of shipping, 2015. 580 p.
8. Rules of navigation in the waters of the Northern sea route. Moscow: Publishing house of the Ministry of transport of Russia, 2013. 18 p.
9. Accounting for ice conditions in hydrometeorological support of winter swimming in the Sea of Azov. Edited by P. A. Gordienko. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1979. 106 p.
10. Accounting for ice conditions in hydrometeorological support of winter swimming in the Baltic Sea. Edited by P. A. Gordienko. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1979. 167 p.
11. Accounting of ice phenomena in hydrometeorological support of winter swimming in the Caspian Sea. Edited by P. A. Gordienko. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1983. 131 p.
12. Yulin A. V., Charitonov M. V., Pavlova E. A., Ivanov V. V. Seasonal and interannual changes of ice massifs in East Siberian sea// Arctic and Antarctic Research. 2018. No. 3. p. 229-240.