

ПРОГНОЗ СРОКОВ УСТОЙЧИВОГО ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Егоров А. Г.

Государственный научный центр РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия (199397, СПб, ул. Беринга, 38), email: ego@aari.ru

Разработан новый метод долгосрочного прогноза пространственного распределения изохрон устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря. На основании анализа особенностей ледообразования юго-западной части Карского моря показано, что изучаемая акватория состоит из трех однородных районов с характерным режимом замерзания. Проанализированы гидрометеорологические условия формирования пространственно-временных типов ледообразования осенью. Выявлены особенности формирования типовых аномалий сроков ледообразования в однородных районах юго-западной части Карского моря. Обосновано использование локально-генетического подхода к долгосрочному предвидению состояния ледяного покрова, в частности, изохрон устойчивого ледообразования на акватории юго-западной части Карского моря. Установлено существование пространственно-временных сезонных типов замерзания на акватории естественных однородных районов. Показана эффективность использования нового метода прогноза на зависимом и независимом рядах ледовых наблюдений, составившая 37 и 33 % соответственно.

Ключевые слова: юго-западная часть Карского моря, сроки устойчивого ледообразования, ледовые прогнозы, тип ледовых условий, однородные ледовые районы.

THE FORECAST OF THE DATES OF STABLE ICE FORMATION IN THE SOUTH-WESTERN KARA SE

Egorov A. G.

RF State Research Center "Arctic and Antarctic Research Institute", St. Petersburg, Russia (Bering St. 38, St. Petersburg 199397), e-mail: ego@aari.ru

A new method of long-range forecast of spatial distribution of stable ice formation isochrones in the south-western Kara Sea is developed. On the basis of ice formation peculiarities in the south-western Kara Sea, the studied area is shown to consist of three uniform regions with typical regime of freezing. The hydrometeorological conditions of forming the spatial-temporal types of ice formation in autumn are analyzed. The specific features of typical anomalies of ice formation dates in the uniform regions of the south-western Kara Sea are revealed. The use of local-genetic approach to long-range foreseeing of ice cover state, in particular, the isochrones of stable ice formation within the south-western Kara Sea, is substantiated. The existence of spatial-temporal seasonal types of ice formation within the areas of natural uniform regions is stated. The effectiveness of new forecast method is shown using both dependent and independent sets of ice observations (it comprised 37 and 33 % respectively).

Key words: the south-western Kara Sea, dates of stable ice formation, ice forecasts, type of ice conditions, uniform ice regions.

Введение

Долгосрочные прогнозы природных условий являются важной составной частью гидрометеорологического обеспечения освоения углеводородных месторождений на шельфе арктических морей, начатое в 1990-е годы [5, 8]. К сожалению, в практике ледового прогнозирования до сих пор отсутствуют долгосрочные (заблаговременностью свыше 15 суток) физико-статистические методы пространственного предвидения распределения сроков устойчивого ледообразования, которое лимитирует особенности морских операций в осенний период. Вместе с тем в ААНИИ был разработан локально-генетический подход к

прогнозированию природных условий, который заключается в предвидении характерных типов формирования ледовых условий в отдельных однородных районах моря [3], при этом интегральный прогноз для всей акватории получается путем обобщения локальных прогнозов. Настоящая статья показывает возможности использования локально-генетического подхода к долгосрочному прогнозированию пространственного распределения сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря.

Исходной информацией являются карты осенних ледовых условий, хранящиеся в отделе ледового режима и прогнозов ААНИИ, а также стандартные наблюдения о приземной температуре и давлении воздуха на полярных станциях Карского моря.

Особенности замерзания в однородных районах юго-западной части Карского моря

Районирование акватории является важным предварительным этапом исследования местных, локальных особенностей формирования ледовых условий и определения наиболее эффективных способов прогнозирования состояния льдов [2]. В зависимости от особенностей нарастания толщины ледяного покрова зимой, распределения и изменения сплоченности льдов летом, а также своеобразия ледового, метеорологического и географического режима [4] акватория юго-западной части Карского моря разделена на три района (рис. 1): а) Ямало-Югорский (между Ямалом и южным о-вом Новой Земли), б) Обь-Енисейский (на взморье Оби и Енисея), в) Новоземельский (у северного о-ва Новой Земли). Однородный район является естественной частью моря, в котором полностью реализуются все присущие ему природные особенности годового цикла существования ледяного покрова. Предполагается, что изменения ледовых условий от зимы к лету, от лета к осени, от осени к зиме характеризуются известной преемственностью, и поэтому результаты районирования для зимнего и летнего сезонов могут быть перенесены и на осенний период. С этих позиций однородный район рассматривается как естественная природная ячейка с характерным режимом замерзания акватории и может использоваться при прогнозе замерзания моря.

Однородный район является таксономической единицей, которая служит естественным каркасом при оформлении архива исходной информации. Организация архива информации о сроках замерзания акватории выполнена с учетом ледово-географической классификации внутри каждого из выделенных однородных районов. Шаг регулярной сетки составляет 75 км, достаточный для пространственного воспроизведения локальных особенностей режима замерзания; ряд наблюдений с 1942 г. по 2010 г. Общее количество узлов регулярной сетки составляет 71 единицу и распределено между таксонами моря следующим образом: Ямало-Югорский район – 37 узлов, Обь-Енисейский район – 18 узлов, Новоземельский район – 16 узлов.

Как показывает анализ, однородные районы различаются друг от друга сроками осенних ледовых фаз (таблица 1). Наибольшая разница средних межрайонных показателей ледообразования составляет: для сроков начала – 8 суток, для сроков окончания – 20 суток, для средних сроков по району – 20 суток, для продолжительности – 26 суток. Это позволяет предположить, что деление акватории на три района учитывает естественные особенности пространственного перемещения изохрон ледообразования в море.

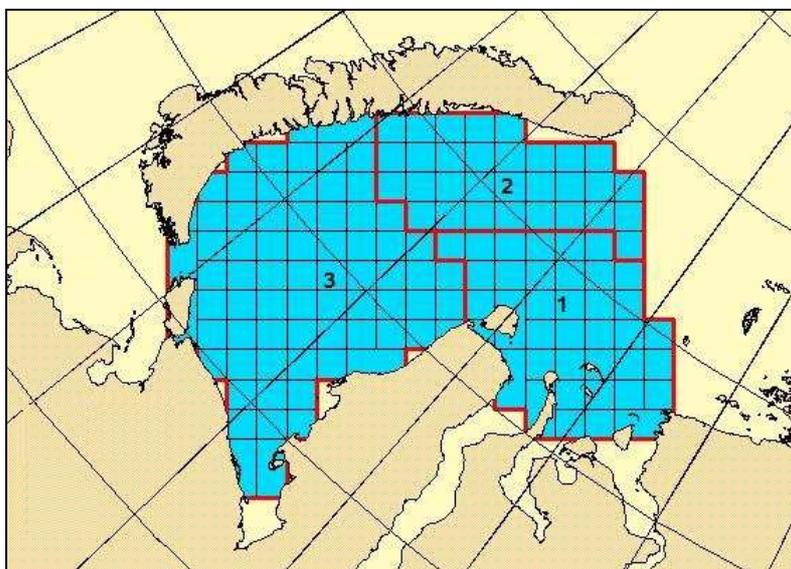


Рис. 1. Однородные районы юго-западной части Карского моря (1 – Обь-Енисейский, 2 – Новоземельский, 3 – Ямало-Югорский)

Таблица 1. Статистические показатели среднемноголетних сроков ледообразования в однородных районах юго-западной части Карского моря

Показатель ледообразования	Обь-Енисейский район	Новоземельский район	Ямало-Югорский район
Начало	7 октября	13 октября	15 октября
Окончание	22 октября	27 октября	18 ноября
Продолжительность	16 суток	14 суток	34 суток
Средний срок по району	13 октября	18 октября	3 ноября

Формирование типовых аномалий сроков ледообразования в однородных районах юго-западной части Карского моря

В соответствии с количественными и пространственными особенностями замерзания акватории в каждом однородном районе существуют по четыре характерных типа сроков ледообразования (таблица 2): экстремально раннее ледообразование (средняя аномалия сроков $-1,51$ величины среднего квадратичного отклонения), умеренно раннее ледообразование (средняя аномалия сроков $-0,49$ величины с.к.о.), среднее или умеренно позднее ледообразование (средняя аномалия сроков $+0,42$ величины с.к.о.), позднее

ледообразование (средняя аномалия сроков +1,56 величины с.к.о.). Средняя разница между типами (1,02 величины с.к.о.) показывает, что типизация отражает широкий размах природных колебаний. Каждый тип характеризуется: средними сроками начала ледообразования, средними сроками окончания ледообразования, продолжительностью ледообразования, средней датой замерзания акватории всего района, аномалией сроков ледообразования относительно среднемноголетних значений.

Таблица 2. Типовые особенности ледообразования на акватории однородных районов юго-западной части Карского моря

Тип замерзания	Повторяемость, %	Характеристики замерзания				Аномалия среднего, доли с.к.о.
		начало	окончание	продолжит	среднее	
Ямало-Югорский район						
1	18	2.10	28.10	26	12.10	-1,35
2	31	10.10	7.11	28	24.10	-0,47
3	41	21.10	26.11	36	6.11	+0,51
4	10	23.10	14.12	52	23.11	+1,80
Новоземельский район						
1	13	23.09	1.10	8	27.09	-1,71
2	31	7.10	20.10	13	12.10	-0,55
3	46	18.10	2.11	15	25.10	+0,49
4	10	30.10	23.11	24	9.11	+1,41
Обь-Енисейский район						
1	15	26.09	5.10	9	1.10	-1,47
2	36	6.10	16.10	10	9-10.10	-0,44
3	28	10.10	25.10	15	16.10	+0,26
4	21	16.10	10.11	25	26.10	+1,47

Выделяются следующие особенности режима замерзания акватории:

- Наиболее вероятным является ледообразование около среднемноголетних сроков; самый ранний и самый поздний типы замерзания наблюдаются примерно 2 раза в 7 лет [6].

- Экстремально раннее замерзание юго-западной части Карского моря начинается в конце сентября – начале октября, а экстремально позднее – во второй половине октября.

- Экстремально раннее замерзание юго-западной части Карского моря заканчивается в течение октября, а экстремально позднее – в ноябре-декабре.

- Раннее замерзание акватории протекает примерно в 2-3 раза быстрее, чем позднее замерзание (соответственно 8-26 суток и 24-52 суток).

- Разница между типом раннего и позднего замерзания составляет около 1 месяца.

Анализ показывает, что причиной экстремально раннего замерзания юго-западной части Карского моря является повышенная остаточная ледовитость в сентябре (таблица 3). Повышенные значения остаточной ледовитости в конце летнего периода (среднее значение по трем районам составляет 26 %) определяют соответствующий фон осенних явлений (тип 1). Это обстоятельство увеличивает заблаговременность предвидения при экстремально неблагоприятном сценарии ледообразования [7]. Остальные три типа замерзания акватории

однородных районов реализуются при полном отсутствии льдов или их пренебрежительно малом количестве (1–3 %). В типах 2–4 основной причиной различий сроков ледообразования является температура воздуха, особенно в октябре; разница среднемесячной температуры воздуха в октябре между типами 2 и 3, между типами 3 и 4 составляет 0,96–0,97 величины с.к.о. Умеренно ранний тип 2 формируется при отрицательной температуре воздуха в октябре. Средний или умеренно поздний тип 3 формируется при незначительной положительной аномалии температуры воздуха в сентябре-ноябре. Наконец, аномально поздний тип 4 характеризуется аномально повышенными значениями температуры воздуха в течение всей осени, особенно в октябрь-ноябре. Сильная зависимость типа замерзания от синхронных температурных показателей объективно ограничивает возможности увеличения заблаговременности ледового предвидения. Таким образом, ледообразование по типу 1 происходит среди остаточных льдов, а ледообразование по типам 2–4 – на чистой воде.

Таблица 3. Средняя для однородных районов ледовитость (%) и среднемесячные аномалии (доли с.к.о.) температуры воздуха при различных типах ледообразования

Тип	Ледовитость	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1	27	-1,18	-0,68	-0,02
2	3	-0,11	-0,65	-0,28
3	3	+0,15	+0,32	-0,13
4	0	+0,55	+1,28	+1,10
Наибольшая разница между типами	27	1,73	1,96	1,38

Анализ направления и интенсивности воздушных переносов осенью показал [9], что именно особенности атмосферной циркуляции формируют аномалии температуры воздуха и сроков ледообразования в море (таблица 4). В качестве показателей приземного ветра использовались значения разницы давления воздуха между пунктами наблюдений на характерных створах. Для Ямало-Югорского района репрезентативным створом была выбрана пара п/ст. Малые Кармакулы – п/ст. Марре-Сале, для Новоземельского района: п/ст. Русская Гавань – о. Белый, для Обь-Енисейского района: о. Белый – мыс Лескина. Указанные показатели исчерпывающим образом характеризуют особенности воздушных переносов над акваторией однородных районов [1].

Таблица 4. Средние для однородных районов аномалии приземного давления (доли с.к.о.) на характерных створах при различных типах ледообразования

Тип	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	+0,24	+0,07	-0,11	-0,18	-0,32
2	-0,05	+0,35	+0,52	+0,36	-0,05
3	+0,01	-0,03	+0,11	+0,13	-0,08
4	-0,17	-0,24	-0,93	-0,51	-0,18
Наибольшая разница между типами	0,41	0,59	1,45	0,87	0,27

Установлено, что тип 1 экстремально раннего ледообразования не зависит от направления воздушных переносов в осенний период, так как основной причиной его формирования является аномально высокая остаточная ледовитость в море. Тип 2 умеренно раннего ледообразования формируется при преобладании аномалий антициклонической циркуляции, что приводит к увеличению повторяемости нажимных, северных направлений воздушных потоков осенью, особенно в октябре, которые приводят к понижению температуры воздуха перед и во время замерзания акватории (средняя аномалия +0,52 величины с.к.о.). Тип 3 умеренно позднего ледообразования характеризуется циркуляционными условиями, близкими к среднемноголетним, и отсутствием значительных аномалий температуры воздуха. Наконец, тип 4 экстремально позднего ледообразования формируется при преобладании аномалий циклонической циркуляции, а также при увеличении повторяемости отжимных, южных направлений воздушных потоков осенью, особенно в октябре, которые приводят к повышению температуры воздуха во время замерзания акватории (средняя аномалия -0,93 величины с.к.о.). Наибольшие отличия показателей разницы давления наблюдаются между типами 2 и 4 [10].

Прогноз ледообразования в однородных районах акватории

Таким образом, формирование типа осеннего замерзания акватории однородных районов юго-западной части Карского моря является многофакторным явлением, зависящим от комбинации аномалий предикторов, определяющих изменчивость сроков ледообразования (таблица 5). Закономерности формирования и изменчивости аномалий гидрометеорологических условий определяют оптимальные сроки составления прогноза замерзания акватории: в середине и второй половине сентября при заблаговременности прогноза 1,0–1,5 месяца. Понятно, что в этом случае обязательным является использование положений метеорологического прогноза ААНИИ о температурных и барических условиях в Карском море осенью (прежде всего, в октябре). К сожалению, полностью отказаться от метеорологического прогноза при предвидении состояния льдов осенью в настоящее время не представляется возможным. Прогноз составляется отдельно для каждого из трех однородных районов, а интегральный прогноз для всей акватории юго-западной части Карского моря получается путем обобщения локальных прогнозов.

Эффективность метода прогноза определяется как разница между методической и среднемноголетней обеспеченностью прогнозируемых показателей (для долгосрочных прогнозов – по критерию 0,8 величины с.к.о.). Для прогнозируемых значений сроков ледообразования сравнивались показатели методической и климатической обеспеченности в однородных районах по узлам регулярной сетки как на зависимом ряде наблюдений, так и

на независимом. На зависимом материале методическая обеспеченность достаточно высока и составляет в среднем для юго-западной части Карского моря 91 % (разброс для однородных районов от 90 % до 94 %); обеспеченность климатической нормы – 54 %, эффективность – 37 %. На независимом материале обеспеченность несколько уменьшается и составляет 87 % (разброс для однородных районов – от 78 % до 92 %); эффективность – 33 %. В качестве примера приведена прогностическая карта изохрон ледообразования в однородных районах юго-западной части Карского моря при одном из типов замерзания акватории (рис. 2).

Таблица 5. Схема формирования прогностического типа ледообразования в однородных районах юго-западной части Карского моря

Вид замерзания	Аномалия атмосферной циркуляции	Аномалия температуры воздуха	Тип ледообразования
Среди остаточных льдов	Безразлично	Безразлично	1
На чистой воде	Антициклоническая	Отрицательная	2
	Среднемноголетняя	Около 0	3
	Циклоническая	Положительная	4

Заключение

Таким образом, метод локально-генетической типизации может эффективно использоваться для долгосрочного предвидения изохрон устойчивого ледообразования на акватории юго-западной части Карского моря. Установлено существование пространственно-временных сезонных типов замерзания на акватории естественных однородных районов. При прогнозе используются фактические ледовые и метеорологические данные об исходном (к середине или к концу сентября) состоянии природной среды, а также метеорологический прогноз температурных и барических условий в Карском море на октябрь и (при необходимости) на ноябрь. Эффективность метода на зависимом материале составляет 37 %, на независимом – 33 %.

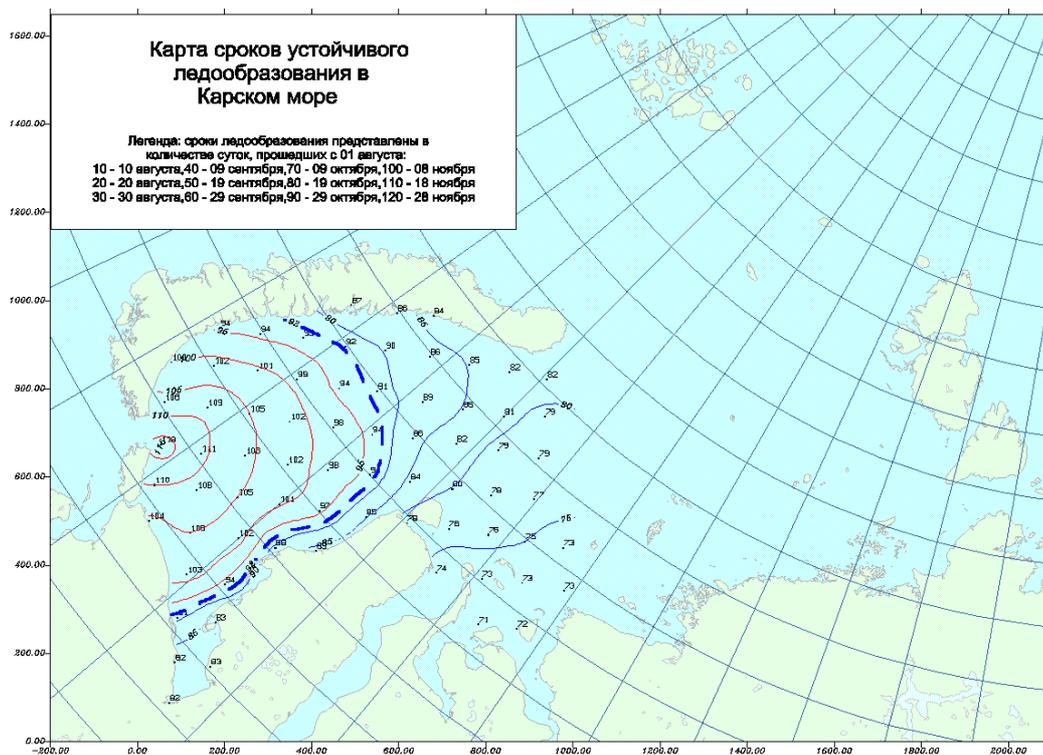


Рис. 2. Прогностическая карта распределения изохрон сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря (вариант замерзания однородных районов по типу 3)

Список литературы

1. Горбунов Ю. А., Карелин И. Д., Кузнецов И. М., Лосев С. М., Соколов А. Л. Основы физико-статистических методов ледовых прогнозов и расчетов для арктических морей заблаговременностью до 30 суток. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 288 с.
2. Гудкович З. М., Кириллов А. А., Ковалев Е. Г., Сметанникова А. В., Спичкин В. А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 348 с.
3. Егоров А. Г., Спичкин В. А. Метод локально-генетической типизации ледовых условий // Труды ААНИИ. – 1994. – Т. 432. – С.146–163.
4. Егоров А. Г. Пространственное распределение сплоченности ледяного покрова и методы долгосрочных ледовых прогнозов в арктических морях России: Дисс... доктора геогр. наук. – СПб., 2010. – 255 с.
5. Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей / Под ред. А. И. Данилова, Е. У. Миронова, В. А. Спичкина. – СПб.: Изд. ААНИИ, 2004. – 432 с.
6. Карклин В. П. Повторяемость крупных аномалий сроков устойчивого ледообразования в арктических морях // Труды ААНИИ. – 1987. – Т. 402. – С.93–102.

7. Крутских Б. А. Особенности ледообразования в арктических морях // Труды ААНИИ. – 1970. – Т. 292. – С.106–117.
8. Миронов Е. У., Гудкович З. М., Карклин В. П. Ледовые условия в арктических морях // Научные исследования в Арктике. Т. 3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. – СПб.: Наука, 2007. – С.43–61.
9. Спичкин В. А. Основные природные факторы, определяющие аномалии сроков начала ледообразования в мелководных районах арктических морей // Труды ААНИИ. – 1987. – Т. 402. – С.81–92.
10. Спичкин В. А., Тюряков А. Б., Юлин А. В. Характерные особенности осеннего ледообразования в морях сибирского шельфа // Труды ААНИИ. – 1990. – Т. 423. – С.103–121.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по государственному контракту № 16.515.11.5074

Рецензенты:

Смирнов Виктор Николаевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики льда, ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург.

Зубакин Геннадий Константинович, доктор географических наук, главный научный сотрудник, ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург.