

## РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ, ВЫЧИСЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ВЕКТОРНЫХ ЛЕДОВЫХ КАРТ ФОРМАТА SIGRID-3

С.В. Молодыхина<sup>1</sup>, Р.И. Май<sup>1</sup>

## REGIME CHARACTERISTICS OF THE SEA ICE COVER OF THE KARA SEA, CALCULATED ON THE BASIS OF INFORMATION OF THE SIGRID-3 VECTOR ICE CHARTS

S.V. Molodyhina<sup>1</sup>, R.I. May<sup>1</sup>

*В статье описывается опыт использования электронных ледовых карт формата SIGRID-3 для расчета режимных характеристик ледяного покрова Карского моря. По оперативным ледовым картам были рассчитаны для каждого месяца среднее и среднеквадратическое отклонение сплоченности и толщины льда, получены оценки характерных размеров ледовых зон.*

*The paper describes the experience of using electronic ice charts of the SIGRID-3 format for calculating the regime characteristics of the ice cover of the Kara Sea. Mean and standard deviation of concentration, thickness and characteristic sizes of ice zones were calculated for each month by operational ice charts.*

### **Введение.**

Ледяной покров – отличительная особенность акваторий Северного ледовитого океана и замерзающих морей, которая создает трудности для навигации и другой хозяйственной деятельности человека на шельфе. С развитием судоходства в первой половине XX века по трассе Северного морского пути, возникла необходимость в получении и распространении оперативных сведений о ледовой обстановке.

В основе оперативной ледовой информации лежит понятие ледовая зона. Ледовая зона – ограниченная область с одинаковыми характеристиками ледяного покрова. Ледовую зону можно выделить методами многомерного статистического анализа по набору пространственно-распределенных характеристик льда. Изначально ледовые зоны выделялись экспертами-ледовыми разведчиками на основе своего опыта по визуальным судовым или авиационным наблюдениям. С 90-х годов ледовые карты составляются экспертами по спутниковым снимкам.

В 2003 году Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) утвердила векторный формат SIGRID-3 для представления, хранения и распространения ледовой информации. В отличие от матричных форматов, в которых характеристики располагаются в узлах сетки, векторные форматы представляют собой набор полигональных объектов. Ледовая карта SIGRID-3 представляет собой связанный набор файлов известного ГИС формата «shapefile». Каждая карта содержит следующие данные по всем отдельным ледовым зонам: географические координаты ледовой зоны, её площадь и периметр, общую сплоченность, сплоченность каждой возрастной градации, формы льда и др.

Архив оперативных ледовых карт может быть источником информации для расчета режимных характеристик ледяного покрова. В данной статье проводится расчет сезонной изменчивости основных характеристик ледяного покрова на примере Карского моря. Изучение режимных характеристик ледяного покрова имеет особое значение не только для морской навигации, но и для экономических аспектов.

### **Материалы и методы.**

Для определения режимных характеристик ледяного покрова Карского моря использовались 1023 ледовые карты в формате SIGRID-3, которые соответствуют периоду с 1997 по 2017 год. Ледовые карты хранятся в Международном Центре Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ) <http://wdc.aari.ru/datasets/>.

Анализ, преобразование и визуализация ледовых карт формата SIGRID-3, осуществлена с помощью программного пакета Matlab. На первом этапе была создана сеточная область с пространственным шагом  $0,25^\circ$  по долготе и  $0,25^\circ$  по широте. Далее был реализован алгоритм перевода характеристик ледовых зон в узлы сеточной области. Преобразование всех ледовых карт позволило получить в каждой ячейке сетки временные ряды параметров ледового покрова (общая сплоченность, эквивалентная толщина льда и размер ледовых зон). Для каждой ячейки

сеточной области и для каждого месяца были получены оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Для визуализации толщины использовалась возрастная градация льда, которая содержит в себе информацию о стадии развития ледового покрова.

### Результаты.

Анализ сезонной изменчивости пространственного распределения сплоченности показал, что в Карском море формирование ледяного покрова происходит осенью в направлении с северо-востока на юго-запад (октябрь-ноябрь). Разрушение льда весной происходит в обратном направлении – с юго-запада на северо-восток (май-июнь). Это объясняется воздействием теплых вод Баренцева моря (Рис. 1).

Среднеквадратичное отклонение показывает, что с декабря по апрель характерна наибольшая изменчивость сплоченности для западной части моря, куда поступают теплые водные массы из Баренцева моря, а с мая по сентябрь – всей акватории до 83 широты, где изменению сплоченности способствует таяние льда. Также было отмечено, что севернее 83 широты сплоченность ледяного покрова незначительно меняет свои показания в области полярного пака (Рис.2).

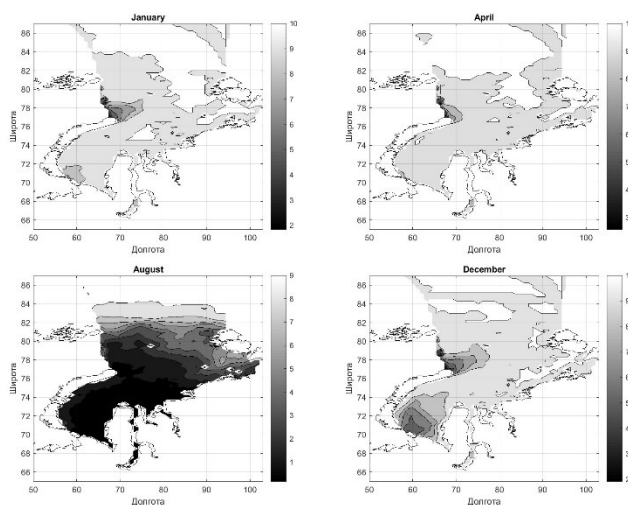


Рис. 1. Средняя сплоченность ледяного покрова

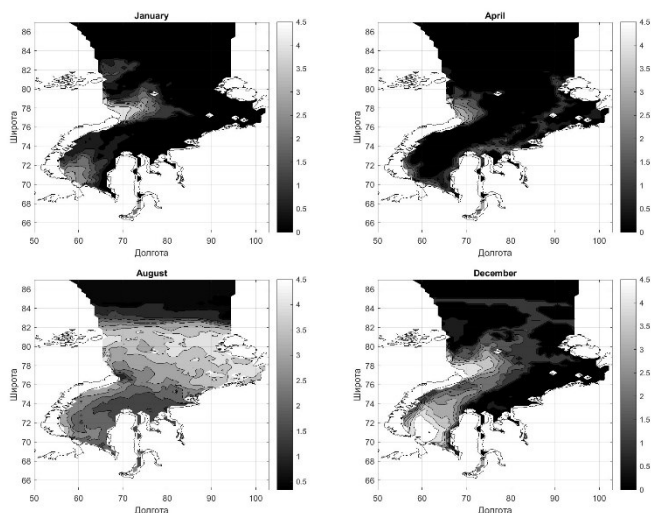


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение сплоченности

Максимальная толщина льда для каждого сезона характерна районам, выше 83 широты. Объясняется это тем, что зимой происходит нарастание новых слоев льда, летом – лёд полностью не исчезает вследствие недостаточно высоких среднесуточных температур. Минимальная

толщина отмечается у берегов. Связано это с тем, что образование льда и увеличение толщины ледового покрова происходит в направлении с северо-востока на юго-запад, а также образованием полыней, с последующим формированием начальных видов льда отжимными ветрами (Рис. 3).

При анализе среднеквадратического отклонения толщины выявлено, что наиболее интенсивное изменение свойственны береговым зонам, а также общее уменьшение толщины и полное исчезновение льда до 75 широты с мая по август. Нарастание льда начинаются в октябре с северо-востока моря (Рис. 4).

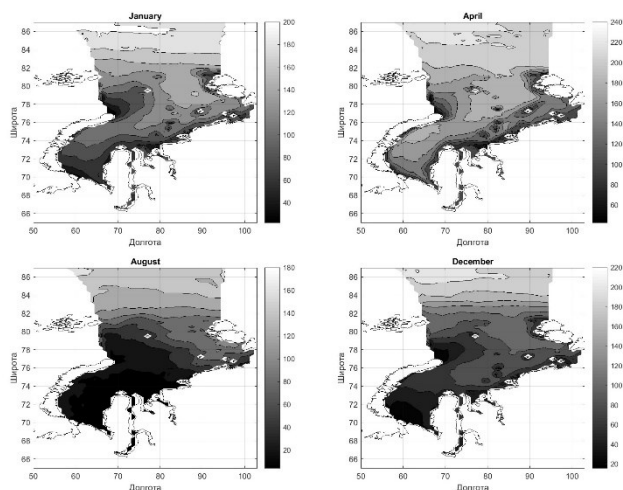


Рис. 3. Средняя толщина ледяного покрова

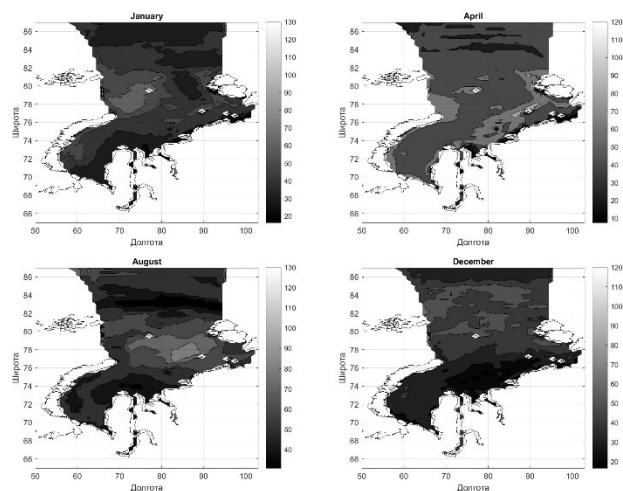


Рис.4 Среднее квадратичное отклонение толщины ледяного покрова

Ледовая информация, включая границы ледовой зоны, определенная экспертами, безусловно, в значительной степени является субъективной. Однако, насколько нам известно, до сих пор не существует автоматизированного алгоритма выделения ледовой зоны. Размеры ледовой зоны – важный параметр, указывающий на однородность пространственно-распределенных характеристик ледяного покрова.

При анализе характеристик размеров ледовых зон было выделено особое значение 83 широты – выше данного участка однородности размеров ледовых зон свойственен характер распространения, параллельный широтам, для каждого сезона. Ниже распределение хаотичное, ледовые зоны имеют относительно одинаковые размеры вплоть до берегов (Рис.5).

Карты распределения среднего квадратичного отклонения показывают, что наибольшим изменениям подвергаются площади ледовых зон полярных областей. Данные результаты

подвергаются сомнению, так как многолетний лёд статичен и не склонен к значительным изменениям (Рис.6).

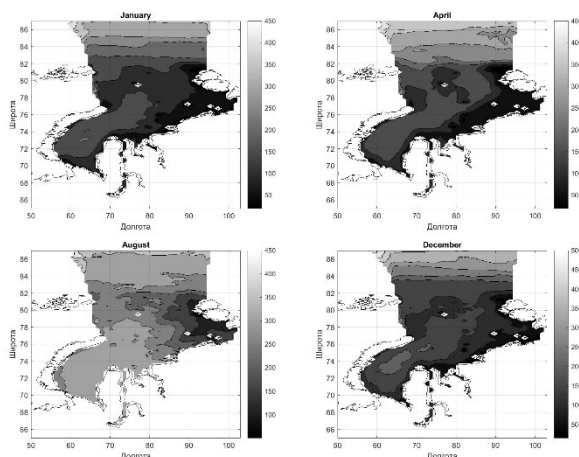


Рис. 5. Средний размер ледовых зон (км)

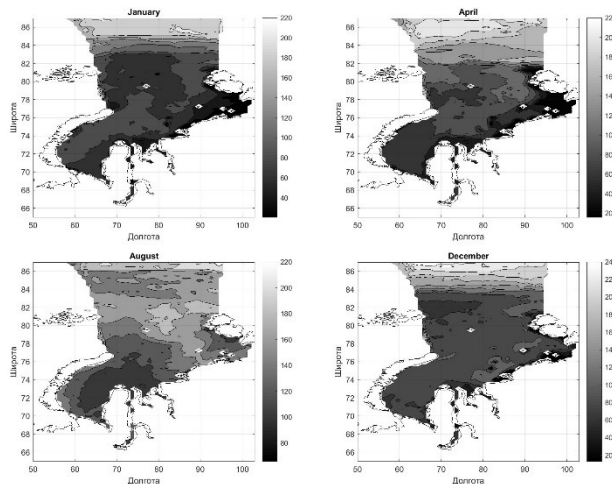


Рис. 6. Среднее квадратичное отклонение размеров ледовых зон (км)

### Заключение.

Векторный формат хранения и распространения оперативной ледовой информации SIGRID-3 может использоваться для расчета статистических характеристик ледяного покрова. В результате проведенного анализа характеристик ледового покрова Карского моря была выявлена закономерность широтного распределения однородности сплоченности, толщины и размеров ледовых зон выше 83 широты. Также стоит отметить роль вод Баренцева моря, которые влияют на юго-западную часть акватории моря – разрушение льда начинается с этой области, а формирование ледового покрова протекает в обратном направлении – с северо-востока на юго-запад.

### Литература

1. Смоляницкий В.М., Щербаков Ю.А., Порубаев В.С. и др. SIGRID-3: A vector archive format for sea ice charts. - СПб: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2004. - 24 с.
2. Миронов Е.У. Наблюдения за ледовой обстановкой. - СПб: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2009. - 360 с.
3. Бушуев А.В., Волков Н.А., Атлас ледовых образований. - СПб: Гидрометеоздат, 1974. - 141 с.