

ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСЧЁТА СЖАТИЯ МОРСКОГО ЛЬДА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ КМСС/МЕТЕОР-М

Алексанина М.Г.^{1,2}, Дьяков С.Е.¹, Карнацкий А.Ю.^{1,2}

¹*Институт автоматики и процессов управления (ИАПУ), г. Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), г. Владивосток
margeo@mail.ru*

Регулярный расчёт основных динамических параметров ледяного покрова моря – скоростей дрейфа и зон сжатия/разрежения (растяжения) льда является актуальной научно-практической задачей для обеспечения безопасности мореплавания в арктических широтах. В морской практике сжатие льда – это скорость смыкания канала за ледоколом при проводке каравана судов во льдах [1]. С этой точки зрения рассматривается оригинальная технология автоматического расчёта параметров сжатия морского льда на основе скоростей дрейфа льда, получаемых по последовательности спутниковых изображений в видимом или инфракрасном спектральных диапазонах.

На первом шаге строятся скорости дрейфа льда. Для расчёта скорости дрейфа льда используются методика автоматического расчёта скоростей перемещений объектов по морским маркерам [2, 3], являющаяся аналогом метода максимальной кросс-корреляции (МКК). (Маркер на изображении – это некоторая прослеживаемая во времени яркостная неоднородность). Особенностью разработанного метода является оценка априорной точности расчёта скорости перемещений для отбраковки некорректно построенных векторов и использование модифицированного критерия сходства двух площадок изображения, что повышает точность и надёжность проводимых расчётов. Точность расчёта дрейфа льда используемого подхода около 5 см/сек, что соответствует стандарту точности современных методов. Достаточная точность и надёжность расчёта скоростей дрейфа позволили на его основе создать алгоритм расчёта сжатия/разрежения ледяного покрова моря [4].

На втором шаге рассчитываются параметры сжатия/разрежения (растяжения) морского льда. Сжатие/разрежение морского

льда рассматривается как процесс сокращения/увеличения расстояний между отдельными частями ледяного поля, которое приводит в свою очередь к увеличению/уменьшению сплочённости дрейфующих льдов. Наряду со скоростью закрытия канала важной характеристикой при проводке судов во льдах является направление оси сжатия [5]. Таким образом, ключевыми параметрами являются величина скорости сжатия/разрежения и направление оси сжатия/разрежения ледовых образований. Следует заметить, что для определения направления сжатия ледового поля по данным дистанционного зондирования методики отсутствуют. Поэтому для оценки скорости сжатия/разрежения ледового поля и ориентации осей сжатия/разрежения предложен алгоритм [4], суть которого в следующем. В окрестности рассматриваемой точки в торе заданного радиуса рассчитывается «роза» локальных сжатий/разрежений. Локальное сжатие рассматривается как уменьшение (–) расстояния между двумя перемещающимися точками на паре изображений, а разрежение, наоборот, как увеличение (+) этого расстояния. Пара точек на первом изображении образует вектор, началом которого является узел сетки, в котором рассчитываются параметры сжатия/разрежения. Положения узлов сетки расчета параметров совпадают с положениями узлов сетки расчета дрейфа льда, но они в несколько раз реже. Генеральное сжатие/разрежение выбирается как то, которое дает минимум/максимум от сумм всех проекции локальных сжатий/разрежений (рис. 1).

Для мониторинга ледовой обстановки вдоль Северного морского пути наиболее предпочтительны цифровые изображения с российского прибора КМСС спутника Метеор-М. Это обусловлено тем, что, во-первых, пространственные изображения КМСС имеют разрешение 60м на пиксель при полосе обзора 900 км. В результате получаем фактически двойное покрытие одной и той же акватории с интервалом в 100 минут (1 час 40 минут – интервал времени между съемками на смежных витках). При таком временном интервале инструментальная точность расчета дрейфа льда получается около 1 см/сек и позволяет оценивать сжатие за счет приливов.

Ключевой вопрос любого создаваемого алгоритма — точность расчёта оцениваемых параметров. Для автоматически рассчитываемой величины сжатия верификация подхода возможна сопостав-

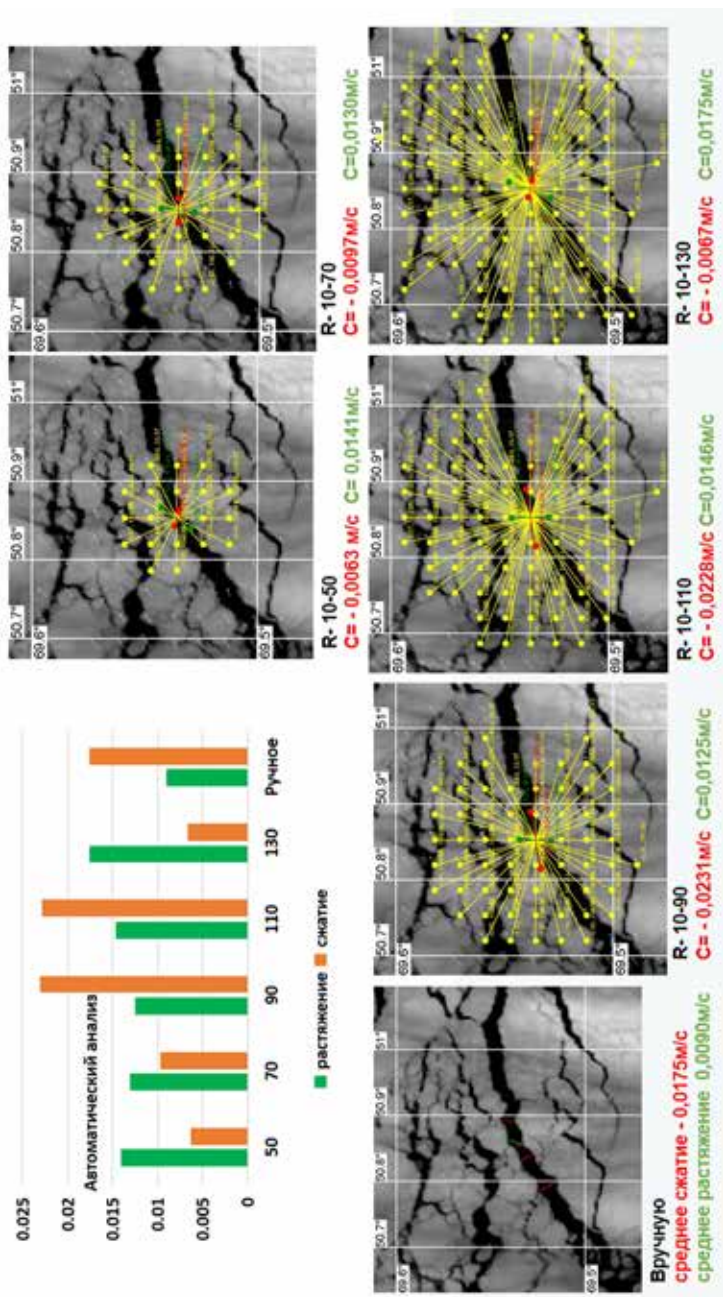


Рис. 1. Пример сравнение автоматического и визуального-ручного расчета сжатия/разрежения морского льда в Печорском море за 20.03.2021 по данным прибора КМСС/Метеор-М при разных радиусах (в пикселях) расчетного тора «розы». Зеленый цвет – скорости растяжения (разрежения), красно-оранжевый цвет – скорости сжатия.

лением только с визуально-ручными оценками, получающимися по тем же изображениям. В данной работе верификация автоматического расчета сжатия/разрежения проведена для наиболее судоходных акваторий Печорского моря и пролива Карские. Структура льда в открытом море и в проливах существенно разная, поскольку разные динамические условия. Проведено сравнение автоматической идентификации зон сжатия/разрежения с визуально-ручной идентификацией. Оценена изменчивость и точность величины сжатия в зависимости от пространственного размера зоны расчета, скоростей дрейфа льда и однородности пространственной структуры ледового поля. На рисунке 1 приведён один из 200 результатов сравнения идентификации сжатия/разрежения автоматически и визуально-ручным способом. В целом тенденция, скорости и ориентации оси сжатия/разрежения совпадают. Визуально определяемые зоны сжатия/разрежения показали скорость в среднем 0,01м/с-0,03м/с, что соответствует типичным скоростям сжатия/разрежения в этих акваториях [6]. Автоматически рассчитываемые параметры сжатия/растяжения в 80% случаев согласуются с визуально-ручными оценками с точностью, обусловленной методикой расчёта, хотя отдельные локальные оценки параметров сжатия, рассчитываемые по паре прослеживаемых точек, имеют существенную изменчивость в зависимости от размера окрестности (тора «розы») в заданной точке.

Работа частично поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2024-642 от 12 июля 2024 г.

Литература

1. Степанюк И.А., Смирнов В.Н. Методы измерений характеристик динамики ледяного покрова. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 136 с.
2. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчет скоростей перемещений ледовых полей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 9-17.
3. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, №2. С. 131-142.
4. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Расчет сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям // Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 210-224.

5. Бабич Н. Г. Выбор пути плавания во льдах и оценка результативности использования данных навигационной ледовой информации // Земля из космоса, наиболее эффективные решения. 2011. Вып. 10. С. 28-33.
6. Бузин И.В., Клячкин С.В., Фролов С.В., Смирнов К.Г., Михальцева С.В., Соколова Ю.В., Гудошников Ю.П., Войнов Г.Н., Григорьев М.Н. Сжатия ледяного покрова в Печорском море: природное явление и его влияние на морские операции // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12, № 4. С. 500-512.