РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 500 031** (13) **C1**

(51) МПК
G06T 7/40 (2006.01)
G06K 9/70 (2006.01)
G01C 11/04 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2012119774/08, 14.05.2012**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.05.2012

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **14.05.2012**

(45) Опубликовано: **27.11.2013** Бюл. № **33**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2319205 C1, 10.03.2008. RU 2404442 C1, 20.11.2010. US 2008317345 A1, 25.12.2008. US 2003053685 A1, 20.03.2003. US 2008219506 A1, 11.09.2008.**

Адрес для переписки:
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, ФГБУ "ААНИИ", директору ФГБУ "ААНИИ" И.Е. Фролову

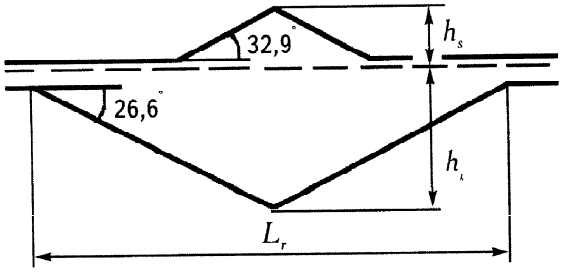
(72) Автор(ы):
Лебедев Герман Андреевич (RU),
Парамонов Александр Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ" (ФГБУ "ААНИИ") (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРЯД И ПОЯСОВ ТОРОСОВ НА ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ АКВАТОРИЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам определения гряд и поясов торосов на ледяном покрове акваторий. Техническим результатом является обеспечение мониторинга состояния ледяного покрова акваторий за счет определения толщины ледяного покрова, осредненной на локальном элементе разрешения. В способе путем выделения на оригинальном ИК-изображении опорных точек, представляющих собой значения толщины льда и их яркости; с использованием значений яркости и рассчитанной функциональной зависимости между виртуальным рельефом и рельефом поля яркостей на ИК-изображении, полученного с искусственного спутника Земли, для оригинального ИК-изображения вычисляются яркости «теплой» и «холодной точек»; анализируемое изображение представляют в виде пространственного распределения элементов матрицы, соответствующих яркостям каждого пикселя изображения, выделяют упорядоченные структуры яркостного поля, и представляют их в виде цветовой раскраски. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

RU 2500031 C1

RU 2500031 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 500 031** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
G06T 7/40 (2006.01)
G06K 9/70 (2006.01)
G01C 11/04 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2012119774/08, 14.05.2012**

(24) Effective date for property rights:
14.05.2012

Priority:
(22) Date of filing: **14.05.2012**

(45) Date of publication: **27.11.2013 Bull. 33**

Mail address:
199397, Sankt-Peterburg, ul. Beringa, 38, FGBU "AANII", direktoru FGBU "AANII" I.E. Frolovu

(72) Inventor(s):
Lebedev German Andreevich (RU),
Paramonov Aleksandr Ivanovich (RU)

(73) Proprietor(s):
FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE BJuDZhETNOE UChREZhDENIE "ARKTIChESKIJ I ANTARKTIChESKIJ NAUChNO-ISSLEDOVATEL'SKIJ INSTITUT" (FGBU "AANII") (RU)

(54) METHOD OF DETERMINING ICE RIDGES ON ICE COVER ON WATER AREAS

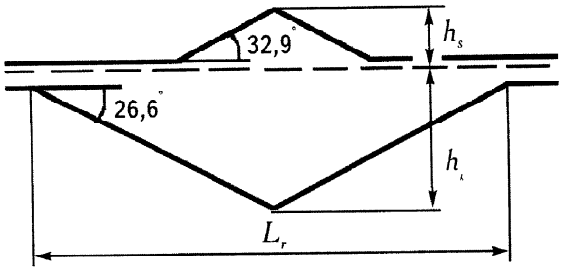
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: in the method, by selecting on an original infrared image reference points representing values of ice thickness and brightness thereof; using values of brightness and the calculated functional relationship between a virtual relief and the relief of the brightness field on the infrared image obtained from an artificial earth satellite; for the original infrared image, brightness of "warm" and "cold" points is calculated; the analysed image is displayed in form of a spatial distribution of matrix elements corresponding to brightness values of each image pixel; ordered structures of the brightness field are selected and then displayed in form of a colour painting.

EFFECT: enabling monitoring of the state of ice cover on water areas by determining thickness of the ice cover, averaged on a local resolution element.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2500031 C1

RU 2500031 C1

Изобретение относится к области гидрологии и связано с определением в ледяном покрове акваторий по данным инфракрасного (ИК) зондирования с метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ) протяженных участков всторошенного морского льда, поперечные размеры которых соответствуют пространственному разрешению спутниковой аппаратуры инфракрасного (ИК) диапазона частот в тепловом канале.

Полярные области Мирового океана круглогодично покрыты плавающим ледяным покровом. Одной из его характерных особенностей являются торосы, подразделяющиеся на два основных вида: торосы, формирующиеся в результате сжатия ледяных полей, и торосы, образование которых обусловлено краевым взаимодействием или трением дрейфующих льдин [1, 2]. Многочисленные натурные наблюдения показывают, что всторошенный ледяной покров занимает от 10% до 40% общей площади ледяного покрова в различных районах Арктики [3, 4], поэтому он вносит значительный вклад в процессы теплообмена в системе океан-атмосфера [5]. Влияние торосов на динамику морских льдов проявляется в увеличении инерции и эффективной шероховатости ледяного покрова, что сказывается на особенностях дрейфа льда. Торосы, значительно увеличивая прочность ледяного покрова, являются препятствием при движении ледоколов и подводных лодок во льдах. Воздействие килей торосов на морское дно опасно для эксплуатации подводных трубопроводов [6] . От степени всторошенности ледяного покрова и от толщины слоя консолидированной части тороса зависят ледовые нагрузки на шельфовые инженерные сооружения [7].

В силу вышеизложенных причин задача определения участков всторошенного льда имеет важные климатические и инженерные приложения.

Натурные наблюдения показывают, что в большинстве случаев торосы имеют форму гряд, занимающих вытянутую область на поверхности ровного ледяного покрова, так что можно говорить о длине и ширине торосов. В ряде районов Арктического бассейна (например, в Восточно-Сибирском море) гряды торосов составляют 60-90% от общей площади торосистых льдов. Особенности пространственной ориентации гряд торосов исследовались в частности в работе [8]. Было показано, что в основном направление гряд торосов имеет мономодальное пространственное распределение с достаточно большой дисперсией.

Анализ форм гряд торосов проводился во многих работах. Для примера можно сослаться на работу [9], где представлены данные статистического анализа 176 торосов, полученные в различных арктических экспедициях. Было показано, что средняя форма вертикального сечения гряды торосов может быть представлена двумя равнобедренными треугольниками (фиг.1) с углами ската порядка 30° (~32,9° для паруса тороса и ~26,6° для киля). При этом выполняются соотношения

$$\frac{L_r}{h_s} = 15,1, \quad \frac{h_k}{h_s} = 4,4, \qquad (1)$$

где L_r - ширина тороса, h_s и h_k - высота паруса и глубина киля тороса соответственно.

В работах [10-11] исследовалась зависимость высоты паруса и глубины киля торосов от толщины кусков льда h, из которых сложены торосы в море Бофорта. Анализ полученных результатов показывает, что кривые, огибающие максимальные значения высоты паруса и осадки торосов, удовлетворительно описываются соотношениями

$$h_s = 5,24\sqrt{h}, \quad h_k = 15,2\sqrt{h} \qquad (2)$$

Эти зависимости согласуются с данными лабораторного моделирования [12] и результатами численного моделирования [13]. Несколько иные закономерности представлены в работах [7, 14-15]. Они дают зависимость высоты паруса тороса от толщины блоков в виде соотношения

$$h_s = 4,2\sqrt{h}, \qquad (3)$$

Представленные соотношения (1-3) позволяют констатировать, что ширина торосов лежит в пределах 20-79 м для торосящихся льдов с толщинами от 0,1 м до 1 м. При этом максимальная толщина льда в торосах может составлять 6,5-20,5 м (при средней эффективной толщине льда в области тороса - 2,6-8,14 м).

При процессах сжатия льда гряды торосов формируются вдоль линии контакта льдин и могут быть достаточно сильно искривлены. Вместе с тем в зонах сдвиговых деформаций могут формироваться гряды торосов, ориентированные в одном пространственном направлении, длина которых может достигать сотни километров [16].

В процессе неоднократных сжатий и разряжений на дрейфующем льду могут образовываться пояса торосов, представляющие несколько параллельных гряд торосов. В поясах торошения ширина полос сплошного нагроможденного льда или примыкающих одна к другой параллельных гряд торосов может достигать 300-500 м. В Канадском районе, особенно к северо-западу от о.Элсмир, встречаются пояса торошений шириной от 300 м до 3 км [17]. Пояса торошений шириной 300-500 м имеют длину до нескольких сотен километров (200-500 км).

Вполне очевидно, что обнаружение и идентификация подобных геофизических объектов возможна только с использованием спутниковых систем дистанционного наблюдения путем выявления упорядоченных протяженных структур более толстого льда в ледяном покрове акваторий, по сравнению с окружающим льдом.

Среди используемых дистанционных технических средств и способов исследования ледяного покрова акваторий можно отметить следующие:

1. Средства наблюдения в видимом диапазоне электромагнитного спектра частот (с длинами волн 380-760 нм). В этом диапазоне частот контраст наблюдаемых объектов (лед-вода) определяется значениями их альбедо и положением Солнца. По спутниковым изображениям высокого разрешения (ИСЗ LANDSAT, радиометр ETM+ - 30 м, ИСЗ TERRA, радиометр ASTER - 15 м) возможно определение наличия каналов, трещин и гряд торосов в ледяном покрове только в светлое время суток при отсутствии облачности [18]. Их ширина может быть определена, если она превышает 2-3 пикселя [19].

2. Средства наблюдения в СВЧ диапазоне частот, регистрирующие радиотепловое излучение ледяного покрова в диапазоне длин волн 1 мм - 40 см, позволяют идентифицировать упорядоченные структуры только в виде глобальных разрывов в ледяном покрове (типа заприпайных полыней), так как спутниковые СВЧ-радиометры имеют разрешение на местности порядка 10-80 км [20].

3. Наиболее высоким разрешением для обнаружения узких трещин, каналов и гряд торосов в ледяном покрове акваторий обладают средства радиолокационного зондирования (РЛС БО) с синтезированной апертурой, разрешающая способность которых имеет порядок 5-10 м (RADARSAT, ENVISAT) при точности позиционирования объекта порядка 10 м [19, 21]. К недостаткам этого способа можно отнести высокую стоимость получаемых изображений и неоднозначность идентификации наблюдаемых объектов. Последнее связано с зависимостью

отраженного радиолокационного сигнала от эффективной площади рассеяния (ЭПР) зондируемой поверхности. Ряд классов льда имеет близкие по значению ЭПР, например, серо-белый лед и плотные полосы сала, нилас и тонкие полосы сала, ровный и наслоенный нилас, чистая вода и многолетний лед, что делает их неразличимыми по тоновому признаку.

4. Средства инфракрасного зондирования, работающие в тепловом канале и использующие традиционные методы дешифрирования информации, также до последнего времени были ограничены в интерпретации ширины трещин и гряд торосов локальным элементом разрешения зондирующей аппаратуры, имеющим, например, для ИСЗ NOAA (радиометр AVHRR) разрешение на местности порядка 1 км. Разрешение такого же порядка имеет и спектрометр MODIS, установленный на ИСЗ TERRA и AQUA [18].

Ни в одном из указанных способов не обосновывается возможность определения упорядоченных структур в ледяном покрове акваторий в виде гряд и поясов торосов по данным дистанционного зондирования.

Современная спутниковая аппаратура с высоким пространственным разрешением (радиометры ASTER и ETM+, установленные на ИСЗ TERRA и LANDSAT-7, позволяют получать изображения в тепловом канале ИК-диапазона частот с разрешением 90 и 60 м соответственно, что соответствует статистическим размерам ширины гряд и поясов торосов) и разработка новых способов определения толщины ледяного покрова по данным изображений в указанном диапазоне частот [22] позволяют решить поставленную задачу по определению участков всторошенного льда.

Задачей предлагаемого способа является расширение номенклатуры параметров ледяного покрова, определяемых по спутниковым изображениям в тепловом канале ИК-диапазона частот, для осуществления мониторинга состояния ледяного покрова акваторий (в том числе, в условиях полярной ночи) в части определения в нем протяженных гряд и поясов торосов.

Предлагаемый способ не имеет аналогов, так как в литературе отсутствуют способы дистанционного с искусственных спутников Земли определения гряд и поясов торосов на льду акваторий.

Решение поставленной задачи достигается путем использования физической модели и способа определения толщины ледяного покрова замерзающих акваторий, осредненной на локальном элементе разрешения, по данным изображений в тепловом канале ИК-диапазона частот метеорологических ИСЗ при безоблачной атмосфере и отрицательной температуре воздуха, представленных в работах [22-25]. В результате указанных исследований была получена функциональная зависимость $\beta=F(t_p)$, связывающая системный фактор - коэффициент нелинейного подобия β между виртуальным (если нижние основания всех льдин представить на одной плоскости) рельефом толщины льда t_p для выбранных дискретных интервалов толщины и рельефом поля их яркостей на ИК-изображении ИСЗ. Коэффициент β вычисляется по оригинальному ИК-изображению по формуле:

$$\beta = \frac{\alpha_0 - \alpha_w}{\alpha_2 - \alpha_w}, \qquad (4)$$

где α_0 - яркость пикселя, соответствующего толщине диагностируемого льда; α_w - яркость пикселя, соответствующего морской воде при температуре замерзания (толщине вырожденного льда) - «теплая точка»; α_2 - яркость пикселя, соответствующего "толстому" льду - «холодная точка».

Понятие "толстый" лед вводится из соображений различимости поверхностной температуры заснеженных льдов предельной толщины с помощью инфракрасной радиометрии, в данном контексте этим верхним пределом является толщина заснеженного льда порядка 120-150 см; «толщина льда» - условная величина, эквивалентная по своим тепловьм характеристикам толщине ровной ледяной пластины в пределах элемента разрешения ИК-радиометра ИСЗ.

По данным модели и технологии, приведенным в работе [22], коэффициент нелинейного подобия β равен вычисленному, с учетом гидрометеорологических условий, коэффициенту нелинейного подобия Ψ, выражающему подобие виртуального (если нижние основания всех льдин представить на одной плоскости) рельефа толщины льда t_p для выбранных дискретных интервалов толщины и рельефа поля температуры их поверхностей.

Для определения протяженных участков всторошенного льда в настоящей заявке на изобретение используется коэффициент β, определяемый формулой (4), граничными значениями которого являются: β=0 для $\alpha_0=\alpha_w$ и β=1 для $\alpha_0=\alpha_2$.

С целью определения яркостей пикселей, соответствующих «теплой» и «холодной» точкам в формуле (4), вводится понятие «опорных точек». «Опорными точками» являются известные для данного района значения толщины льда t_{p_i} в отдельных точках акватории, которые могут быть получены на основе прямых измерений или исходя из тенденции развития ледяного покрова, и соответствующие им яркости α_{0_i} на ИК-изображении. Подстановка определенных по оригинальному ИК-изображению яркостей «опорных» точек в функциональную зависимость $\beta=F(t_p)$, с учетом граничных значений изменчивости коэффициента β, позволяет в программном продукте определить яркости «теплой» и «холодной» точек α_w и α_2.

Как указывалось выше, средняя эффективная толщина льда в области сформировавшегося тороса равняется 2,6-8,14 м, что соответствует его представлению, как «толстого» льда с яркостью α_2 в рассматриваемом способе и может служить одним из признаков обнаружения всторошенных образований на льду замерзающих акваторий.

Совокупностью существенных признаков данного технического решения является определение упорядоченных тепловых (яркостных) структур в ледяном покрове, соответствующих «толстому» льду, которые могут идентифицироваться как гряды и пояса торосов.

Последовательность технологических действий, представленных ниже, которые необходимо выполнить для определения гряд и поясов торосов на льду акваторий, и является техническим решением предлагаемого способа.

1. На оригинальном ИК-изображении выделяются «опорные точки», представляющих собой известные, из практических измерений или исходя из тенденции развития ледяного покрова, значения толщины льда t_{p_i} и их яркости α_{0_i}.

2. С использованием значений яркости α_{0_i} и априорно рассчитанной функциональной зависимости $\beta=F(t_p)$ для оригинального ИК-изображения вычисляются яркости «теплой» и «холодной точек».

3. Анализируемое изображение представляется в виде пространственного распределения элементов матрицы, соответствующих яркостям $\alpha_{i_n k_n}$ (каждого пикселя изображения), с числом строк i и номером по строке k.

4. Учитывая, что поверхностная температура «толстого» заснеженного льда (>1,2

м) практически не зависит от его толщины, на оригинальном ИК-изображении выделяются зоны, в которых яркости пикселей диагностируемого льда $\alpha_0=\alpha_2$ ($\beta=1$).

5. Выполняется анализ яркости пикселей $\alpha_{i_n k_n}$, окружающих выделенные пиксели (см. фиг.2). В случае, если в одном из соседних пикселей (или в нескольких из них) $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$ процесс анализа продолжается аналогичным образом для каждого из таких пикселей до тех пор, пока не будет выполняться условие $\alpha_{i_n k_n} < \alpha_2$.

6. Если в результате последовательности таких операций выделяются упорядоченные цепочки соседних пикселей, где $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$, то принимается решение о наличии гряды или пояса торосов.

7. В случае, если ширина выделенных таким образом упорядоченных структур льда соответствует площади, которую занимают два и более пикселей на ИК-изображении, принимается решение о наличии пояса торошения льда.

На представленном рисунке (фиг.2) показана гипотетическая схема такой гряды торосов, которая идентифицируется цепочкой пикселей с яркостями $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$:

$$\alpha_{i_{10}k_2} \to \alpha_{i_9k_4} \to \alpha_{i_8k_4} \to \alpha_{i_7k_4} \to \alpha_{i_6k_5} \to \alpha_{i_5k_5} \to \alpha_{i_4k_6} \to \alpha_{i_4k_7} \to \alpha_{i_3k_8} \to \alpha_{i_3k_9} \to \alpha_{i_2k_{10}}$$

Выделенные упорядоченные структуры яркостного поля, где $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$, представляются в виде цветовой раскраски.

Практическая реализуемость предлагаемого способа подтверждается тестовыми испытаниями по дешифрированию спутниковых изображений в тепловом канале ИК-диапазона для различных акваторий и сравнением получаемых результатов с фактическими наблюдениями в обследуемых районах в период регистрации снимков с ИСЗ.

Источники информации

1. Hibler W.D. III, Mock S.J., and Tucker W.B. Classification and variation of sea ridging in the Arctic Basin. - J. Geograph. Res., 1974, vol.79, No.18, pp. 503-518.

2. Weeks W.F. and Kovacs A. On pressure ridges. - U.S. Army CRREL. Rep., 1970, pp.5-18.

3. Вагапов Р.С., Гаврило В.П., Козлов А.И., Лебедев Г.А., Логвин А.И. Дистанционные методы исследования морских льдов. - Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1993. - 342 с.

4. Vinje T., Nordlund N., Kuambekk A. Monitoring ice thickness in Fram Strait. - J. Geophys. Res., 1998, vol.103, pp.10437-10449.

5. Макштас А.П. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 67 с.

6. Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр. - М.: ГЕОС, 1997. - 432 с.

7. Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря. - СПБ.: Прогресс-Погода, 1997. - 184 с.

8. Dawis N.R., Wadhams P. A statistical analysis of Arctic pressure ridge morphology / - J. Geophys. Res., 1995, vol.100, pp.10915-10925.

9. Timco G.W., Burden R.P. An analysis of the shapes of sea ice ridges. - Cold. Reg. Sci. and Technol, 1997, vol.25, pp.65-77.

10. Tucker W.B. III, Sodhi D.S., Govoni J.W. Structure of first year pressure ridge sails in the Prudhoe Bay area. In: Alaskan Beaufort Sea, ecosystem and Environments. Eds. P.W.Bames, D.M.Schell, E.Reimnitz. San Diego, Calif., Academic, 1984, pp.115-136.

11. Melling H., Riedel D.A. Development of seasonal pack ice in the Beaufort Sea during the

winter of 1991-1992: A view from below. - J. Geophys. Res., 1996, vol. 01, N C5, pp.11975-11991.

12. Timco G.W., Sayed M. Model test of the ridge-building process in ice. In: IAHR Ice Symp., Int. Assoc. Hydraul. Res., Iowa City, 1986.

13. Hopkins M.A. On the ridging of intact lead ice. - J. Geophys. Res., 1994, vol. 99, pp.16351-16360.

14. Paramerter R.R., Coon M.D. On the mechanics of pressure ridge formation in sea ice. - J. Geophys. Res., 1972, vol.77, No 33, pp.6565-6575.

15. Tucker W.B., Govoni J.W. Investigations of first year sea ice pressure ridge sails. - Cold. Reg. Sci. and Technol, 1981, No 5, pp.1-12.

16. Li F., Kelley J., Uematsu E. Spring sea ice conditions from SAR images near Alaska coast of the Chukchi Sea. In: Proc. 8th Int. Symp.Okhotsk Sea & Sea Ice. 1-5 February 1993, Mombetsu, Hokkaido, Japan, pp.261-268.

17. Романов И.П. Ледяной покров Арктического бассейна. - Санкт-Петербург: Ротапринт ААНИИ,1992. - 211 с.

18. Морской лед. Сбор и анализ данных наблюдений, физические свойства и прогнозирование ледовых условий (справочное пособие). - СПб: Гидрометеоиздат, 1997. - 402 с.

19. Иоханнессен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е. и др. Научные исследования в Арктике. Том 3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. - СПб.: Наука, 2007. - 512 с.

20. Даровских А.Н., Мартынова Е.А., Спицын В.А. Вероятностные распределения радиояркостной температуры снежно-ледяных покровов различного возраста. В сб. Электрофизические и физико-механические свойства льда. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - С.72-77.

21. Бушуев А.В., Быченков Ю.Д., Лощилов В.С., Масанов А.Д. Исследование ледяного покрова с помощью радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО) // Методическое пособие. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983. - 120 с.

22. Лебедев Г.А., Парамонов А.И. Способ определения толщины льда замерзающих акваторий // Патент №2319205 с приоритетом от 23 мая 2006 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 марта 2008 г.

23. Парамонов А.И. Физические особенности термо- и ледовой инфракрасной разведки арктических морей: Дисс. к-та физ.-мат. наук. - Л., 1979. - 230 с.

24. Лебедев Г.А., Парамонов А.И. Определение физических характеристик морского льда по данным инфракрасного зондирования с ИСЗ. // Метеорология и гидрология, 2001. - №2. - С.72-80.

25. Парамонов А.И., Лебедев Г.А., Лощилов В.С. Технология автоматизированного определения толщины морского льда по данным спутникового ИК-зондирования // Тр. ААНИИ. - 2002. - Вып.445. - С.40-60.

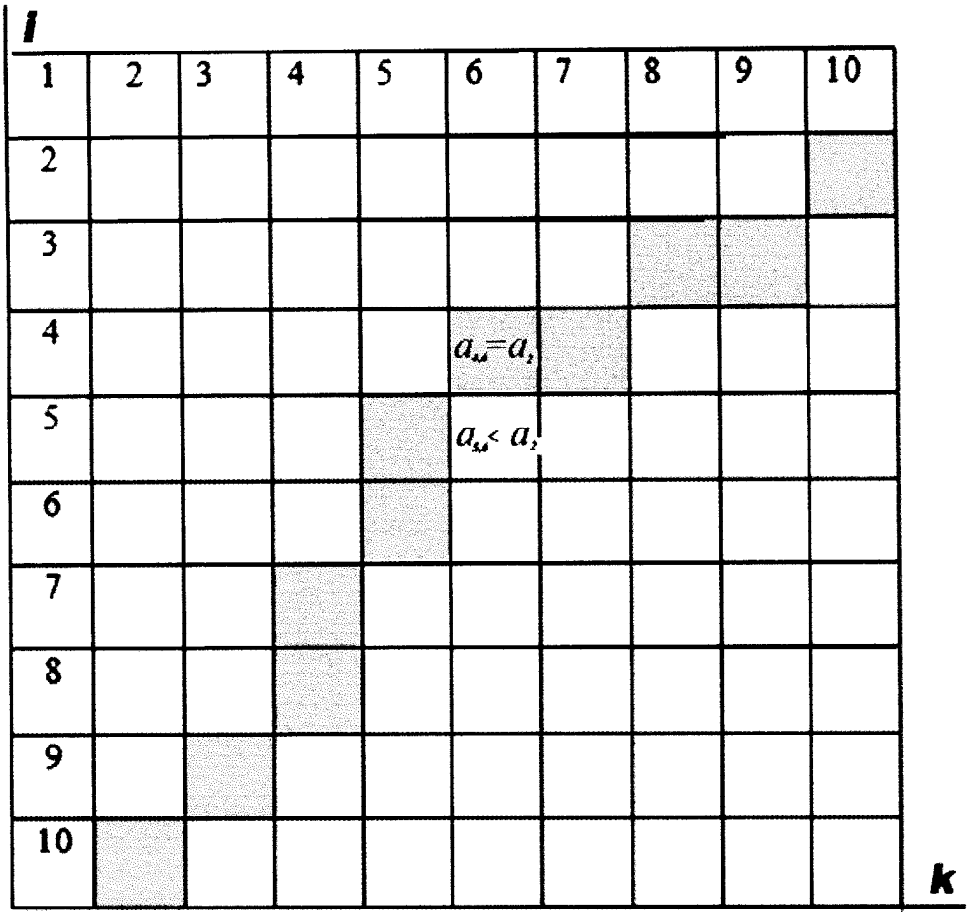
Формула изобретения

1. Способ определения гряд и поясов торосов на ледяном покрове акваторий по данным спутниковых инфракрасных (ИК) в тепловом канале изображений с пространственным разрешением ИК-радиометров не менее 90 м при безоблачной атмосфере, метеорологических данных осредненной скорости приземного ветра в период зондирования, среднестатистических значениях теплопроводности снега и льда и высоты снежного покрова на льду различной толщины, при отрицательной температуре воздуха, отличающийся тем,

что расположение гряд и поясов торосов определяется по рельефу упорядоченной структуры поля яркостей на ИК-изображении, линейно связанному с пространственным распределением торосистых образований, путем выделения на оригинальном ИК-изображении «опорных точек», представляющих собой известные, из практических измерений или исходя из тенденции развития ледяного покрова, значения толщины льда t_{p_i} и их яркости α_{0_i}; с использованием значений яркости α_{0_i} и априорно рассчитанной функциональной зависимости $\beta=F(t_p)$, где $\beta = \frac{\alpha_0 - \alpha_w}{\alpha_2 - \alpha_w}$ - коэффициент нелинейного подобия между виртуальным (если нижние основания всех льдин представить на одной плоскости) рельефом толщины льда для выбранных дискретных интервалов толщины и рельефом поля их яркостей на ИК-изображении с искусственного спутника Земли (ИСЗ), α_0 - яркость пикселя, соответствующая толщине диагностируемого льда, α_w - яркость пикселя, соответствующего морской воде при температуре замерзания (вырожденному льду) - «теплая точка»; α_2 - яркость пикселя, соответствующего "толстому" льду (толщиной 120-150 см) - «холодная точка», t_p - преобразованная к толщине не заснеженного льда толщина заснеженного льда при условии эквивалентной теплопередачи, для оригинального ИК-изображения вычисляются яркости «теплой» и «холодной точек»; анализируемое изображение представляется в виде пространственного распределения элементов матрицы, соответствующих яркостям $\alpha_{i_n k_n}$ (каждого пикселя изображения), с числом строк i и номером по строке k; путем последовательного анализа яркостей соседних пикселей от $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$ до $\alpha_{i_n k_n} < \alpha_2$ выделяются упорядоченные структуры яркостного поля, где $\alpha_{i_n k_n} = \alpha_2$, и представляются в виде цветовой раскраски.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что, если ширина выделенных упорядоченных структур льда соответствует размерам одного пикселя, принимается решение о наличии гряды торошения льда.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что, если ширина выделенных упорядоченных структур льда соответствует размерам двух и более пикселей, принимается решение о наличии пояса торошения льда.



Фиг. 2