ЛЕДОТЕХНИКА

УДК 551.326 + 551.46.065

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-1-77-91

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

А.К. НАУМОВ*, Е.А. СКУТИНА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

*nmv_alex@rambler.ru

METHODS OF PARAMETERS ESTIMATE OF ICE FORMATIONS

A.K. NAUMOV*, E.A. SKUTINA

State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*nmv_alex@rambler.ru

Received November, 28, 2018

Accepted March, 22, 2019

Keywords: hummocked formation, ice floe, ice formation, iceberg, iceberg sizes.

Summary

The ice cover of the Arctic Seas is an important component of the natural conditions. It is impossible the construction and safe exploitation of the hydrotechnical structures and lines of communications on the shelf, reasonable planning and conducting of cargo and transport operations, organization of environmental protection measures without taking into account an ice cover.

The information on morphometric and dynamic characteristics of ice formations, physical and mechanical ice properties, presence of icebergs and its bergy bits with various mortphometric and dynamic characteristics in the water area are necessary for an organization of successful activity on the shelf (design of hydrotechnical structures, planning of the work etc).

The present article is concerned with the issues of estimation of ice formations morphometric parameters. The different remote observations methods on ice floes and icebergs are considered in the article: aerial survey, radar survey, observations using ice radar and geodetic instruments, visual observations, sonar survey of ice cover.

The goal of the work is the description of peculiarities of various remote methods of observations. For each of the considered methods, the conditions of its application and peculiarities of data obtainment are considered; the list of morphometric parameters, that can be estimated, using results of corresponding observations is indicated.

The mentioned algorithms and formulas are actively used during ice surveying works at the present time. The knowledge of various methods peculiarities allows to plan the composition of research works depending on their goals and tasks, determine the terms of their performance.

Citation: *Naumov A.K., Skutina E.A.* Methods of parameters estimate of ice formations. *Problemy Arktiki i Antarktiki.* Arctic and Antarctic Research. 2019, 65, 1: 77–91. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-1-77-91

The main merits and demerits of the considered methods of data obtainment and estimations of ice formations morphometrical parameters are phrased in the conclusion.

Поступила 28 ноября 2018 г.

Принята к печати 22 марта 2019 г.

Ключевые слова: айсберг, ледяное образование, ледяное поле, размеры айсберга, торосистое образование.

Настоящая работа посвящена вопросам оценки параметров ледяных образований. В статье рассматриваются различные дистанционные методы наблюдений за ледяными полями и айсбергами: аэрофотосъемка, радиолокационная съемка, наблюдения с помощью ледового радара и геодезических приборов, визуальные наблюдения, гидролокационная съемка ледяного покрова.

Целью работы является описание особенностей дистанционных методов наблюдений. Для каждого из них рассматриваются условия его применения и особенности получения данных; указывается список морфометрических параметров, которые можно оценить, используя результаты соответствующих наблюдений. Приведенные алгоритмы и формулы активно используются в ледоисследовательских работах в настоящее время. Знание особенностей различных методик позволяет планировать состав исследовательских работ в зависимости от их целей и задач, определять сроки их выполнения.

В заключение работы формулируются основные достоинства и недостатки рассмотренных методов получения данных и оценок основных морфометрических параметров ледяных образований.

введение

В последнее десятилетие высокими темпами идет освоение прибрежных и морских месторождений в Российской Арктике.

Ледяной покров арктических морей России является важной составляющей природных условий, без его учета невозможны строительство и безаварийная эксплуатация сооружений и коммуникационных линий на шельфе, рациональное планирование и проведение грузовых и транспортных операций, организация природоохранных мероприятий.

Проектирование сооружений на шельфе арктических морей требует решения проблемы учета ледовых нагрузок на конструкцию. Для их расчета и планирования необходима информация о морфометрических и динамических характеристиках ледяных образований, физико-механических свойствах льда, о наличии на акватории айсбергов и их обломков с различными морфометрическими и динамическими характеристиками.

Целью работы является описание особенностей различных дистанционных методов наблюдений. Для каждого из них рассматриваются условия его применения и особенности получения данных; указывается список морфометрических параметров, которые можно оценить, используя результаты соответствующих наблюдений.

Приведенные алгоритмы получения и обработки данных были выработаны в ходе проведения ледоисследовательских работ ААНИИ в Баренцевом и Карском морях начиная с 1996 г. и активно используются в настоящее время. Знание особенностей различных методик позволяет планировать состав исследовательских работ в зависимости от их целей и задач, определять сроки их выполнения.

Под ледяными образованиями в данной статье мы понимаем ледяные поля и айсберги. Наблюдения за этими объектами могут осуществляться как с помощью технических средств контактными и бесконтактными методами, так и визуально. В статье рассматриваются бесконтактные методы наблюдения.



Рис. 1. Аэрофотоснимок (*a*), топографический план (б) и трехмерная модель надводной части айсберга (в), построенные по результатам фотограмметрической обработки аэрофотоснимка

Fig. 1. Aerial image (*a*), topographic plan (δ) and three dimensional model of the above-water part of the iceberg (*s*), based on the results of the photogrammetric plotting of the aerial image

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЛЕДЯНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ

К бесконтактным (дистанционным) методам наблюдений относятся наблюдения с помощью аэрофотосъемки, радиолокатора, гидролокатора, а также спутниковые снимки [1]. К техническим средствам бесконтактных наблюдений можно отнести также тахеометры, работающие в безотражательном режиме.

Аэрофотосъемка позволяет определить практически все морфометрические параметры ледяных образований в случае последующей фотограмметрической обработки [2]. Например, для айсберга можно оценить линейные и вертикальные размеры его надводной части, площадь по ватерлинии, объем надводной части (рис. 1). Эти данные с достаточной точностью позволяют рассчитать массу айсберга [3–5]. Аналогично дело обстоит и с всторошенными полями.

Радиолокатор (ледовый радар) позволяет получить информацию о ледяных образованиях, классифицировать их, приблизительно определить размеры (рис. 2).

По результатам гидролокационной съемки можно определить наличие ледяного образования, а также получить, при определенных условиях, данные о его подводной части: например, построить трехмерную модель подводной части айсберга (рис. 3, съемка проводилась с трех точек) [6].

Использование донных сканеров ледяного покрова позволяет получить профиль нижней поверхности дрейфующего над сканером ледяного образования (рис. 4).



Рис. 2. Пояс торосов на экране ледового радара Fig. 2. Ridged ice zone on a screen of the ice radar



Рис. 3. Топографический план (*a*) и трехмерная модель (δ) подводной части айсберга Fig. 3. Topographic plan (*a*) and three-dimensional model (δ) of the underwater part of the iceberg

Таким образом, при определении параметров ледяных образований надо исходить из имеющихся средств и условий.



Рис. 4. Фрагмент данных сканирования нижней поверхности ледяного покрова

Fig. 4. Fragment of data of ice cover lower surface scanning

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Аэрофотосъемка с последующей фотограмметрией

Наилучшая точность определения параметров ледяного образования достигается при помощи аэросъемки с последующей фотограмметрической обработкой полученных материалов. В этом случае для ледяных образований можно получить достоверные оценки объемов и масс [3, 5].



Рис. 5. Геометрические тела, использовавшиеся для описания подводной части айсбергов:

a — призма: S_{pr} — площадь сечения по ватерлинии, H_k — осадка; δ — шар: S_r — площадь сечения по ватерлинии, R — радиус шара, H_k — осадка; ϵ — эллипсоид вращения: El(l, b) — сечение по ватерлинии, l и b — большая и малая оси эллипса El(l, b), r — радиус вращения эллипсоида, H_k — осадка; ϵ — конус: El(l, b) — сечение по ватерлинии, l и b — большая и малая оси эллипса El(l, b), r — радиус вращения эллипсоида, H_k — осадка; ϵ — конус: El(l, b) — сечение по ватерлинии, l и b — большая и малая оси эллипса $El(l, b), H_k$ — осадка; δ — параболоид: El(l, b) — сечение по ватерлинии, l и b — большая и малая оси эллипса $El(l, b), H_k$ — осадка

Fig. 5. Geometrical bodies, used for the description of the underwater part of an iceberg:

 $a - \text{prisma: } S_{pr}$ — the cross-sectional area at the waterline, H_k — draft; δ — ball: S_r — the cross-sectional area at the waterline, R — the radius of the ball, H_k — draft; e — ellipsoid, El(l, b) — the cross-sectional area at the waterline, l and b — large and small axis of the ellipse El(l, b), r — the radius of the rotational ellipsoid, H_k — draft; e — cone, El(l, b) — the cross-sectional area at the waterline, l and b — large and small axis of the ellipse El(l, b), H_k — draft; ∂ — paraboloid, El(l, b) — the cross-sectional area at the waterline, l and b — large and small axis of the ellipse El(l, b), H_k — draft; ∂ — paraboloid, El(l, b) — the cross-sectional area at the waterline, l and b — large and small axis of the ellipse El(l, b), H_k — draft

Для *айсбергов*: по данным фотограмметрии оцениваются плановые размеры и объем его надводной части, площадь сечения по ватерлинии. Полученные оценки позволяют рассчитать массу дрейфующего айсберга, а также параметры его подводной части.

Для дрейфующих айсбергов выполнено условие гидростатического равновесия, следовательно, общий объем айсберга (V) оценивается следующим образом:

$$V = V^{+} \left(\frac{\rho_{w}}{\rho_{w} - \rho_{ice}} \right), \tag{1}$$

где V^{+} — объем надводной части айсберга, ρ_{w} — плотность морской воды; ρ_{ice} — плотность льда. Значения ρ_{w} и ρ_{ice} могут быть либо измерены в период проведения аэрофотосъемочных работ, либо заменены средними значениями (по итогам экспедиционных работ 1999–2008 гг. в Баренцевом море эти значения составляют $\rho_{ice} = 1027 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{ice} = 900 \text{ кг/м}^3$).

Масса айсберга (М) оценивается как

$$M = V \rho_{ice}.$$
 (2)

На основании оценок о размерах надводной части для дрейфующих айсбергов можно также оценить и их осадку. Для этого было сделано предположение, что форма подводной части близка к форме определенных геометрических тел. В качестве геометрических тел для описания подводной части айсберга могут быть выбраны: призма, шаровой сегмент, сегмент эллипсоида вращения, конус и эллиптический параболоид (рис. 5).

Размеры перечисленных тел определяются объемом подводной части айсберга и размерами его сечения по ватерлинии: площадь по ватерлинии — площадь основания призмы (S_{pr}) и/или площадь окружности — сечения (S_r) ; длина и ширина айсберга в сечении по ватерлинии — большая и малая оси эллипса (El(l, b)) соответственно.

Сравнение натурных данных с результатами расчетов позволило сделать вывод, что для столообразных айсбергов наилучшим является описание подводной части с помощью призмы, а для айсбергов неправильной формы лучше использовать сегмент эллипсоида вращения [3–5]. Аппроксимация конусом и эллиптическим параболоидом сильно завышает величину осадки (в этих двух случаях максимальная площадь горизонтального сечения находится на ватерлинии), причем аппроксимация конусом завышает осадку почти в три раза.

По результатам исследования айсбергов Баренцева моря (экспедиционные данные ААНИИ 1999–2008 гг. и архивные материалы) выявлено, что достаточно значима линейная взаимосвязь между высотой надводной части айсберга и его осадкой. Коэффициент корреляции между указанными величинами составляет порядка 0,80. Множественная регрессия, описывающая зависимость осадки (*D*) айсберга от его длины (*L*), ширины (*B*) и высоты (*H*), имеет вид:

$$D = a_1 H + a_2 B + a_3 L,$$
 (3)

где $a_1 = 2,76; a_2 = 0,15; a_3 = 0,04; R_2 = 0,78.$

Датский метеорологический институт рекомендует использовать для нахождения осадки айсберга следующую формулу: D = 2H + 90 [7]. Однако данная формула подходит, по-видимому, для крупных айсбергов моря Баффина и вряд ли может быть использована для айсбергов Баренцева моря.

Для всторошенных ледяных полей алгоритм примерно такой же [3]. По данным аэрофотосъемки верхней поверхности ледяного покрова можно оценить объем надводной части торосов. Тогда по условию гидростатики

$$V_{hum} = V^{+} + \frac{V^{+} \rho_{ice} f^{+}}{f^{-} (\rho_{w} - \rho_{ice})}, \qquad (4)$$

где f^+, f^- — коэффициенты заполнения надводной и подводной частей тороса соответственно (среднее значение этих величин $f^+ = 0,91$ и $f^- = 0,86$. При этом плотность льда из торосов в среднем равна 888 кг/м³.

Если торосистость отлична от 100 %, то можно оценить объем ледяного поля (V_{ico}) как:

$$V_{ice} = V_{hum} + S(1 - N)h_{ice},\tag{5}$$

где V_{hum} — объем льда в торосах; S — площадь ледяного поля; N — отношение площади всторошенного льда к общей площади поля (удельная площадь торосов; в долях единицы), h_{ice} — средняя толщина ровного льда.

Соответственно масса ледяного поля запишется как:

$$M = V_{hum} \rho_{ice}^{hum} + S(1 - N) h_{ice} \rho_{ice}^{l} , \qquad (6)$$

где ρ_{ice}^{hum} , ρ_{ice}^{l} — плотности льда в торосе и ровного льда, для упрощения можно принять их равными.

Необходимо отметить, что применение фотограмметрической обработки требует значительных затрат времени, это несколько снижает оперативность поступления информации. В последнее время с развитием цифровой фототехники появляются системы, позволяющие производить фотограмметрическую обработку цифровых снимков на борту воздушного судна, в режимах, близких к режиму реального времени.

Аэрофотосъемка без фотограмметрии

При отсутствии фотограмметрии в нашем распоряжении будут только плановые характеристики ледяных образований.

Для айсбергов по аэрофотоснимкам можно определить форму айсберга, его длину и ширину, а также площадь по ватерлинии. В этом случае для северо-восточной части Баренцева моря объем надводной части айсберга можно оценить, используя эмпирическую формулу [3]:

$$V^{+} = a_1 S_w + a_2,$$
(7)
где: $a_1 = \begin{cases} 11,4 \\ 13,6 \\ 15,06 \\ 12,13 \end{cases} \begin{pmatrix} -20109 & (столообразный айсберг) \\ -21224 & (пирамидальный айсберг) \\ -60594 & (наклонный айсберг) \\ -22284 & (айсберг без учета формы) \end{cases}$

Зная надводный объем, мы можем воспользоваться уравнением (1).

Что касается массы всторошенного поля, то здесь несколько сложнее. Интегральную толщину льда в торосах можно оценить в среднем как четыре толщины ровного льда, возьмем также плотность льда в торосах и на ровном льду одинаковой $M = \rho_{icc} h_{icc} S(1 - N + 4Nf),$ (8)

где N — удельная площадь торосов (в долях единицы); f — коэффициент заполнения тороса в целом (в северо-восточной части Баренцева моря можно взять значение f = 0,87). Тогда удельная масса запишется как:

$$M_{s} = \rho_{ice} h_{ice} S(1 + 2,48N).$$
(9)

Формула (9) представляет собой упрощенную формулу для расчета удельной массы всторошенного поля. Удельная площадь торосов определяется визуально по аэрофотоснимку.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕДОВОГО РАДАРА

Способ обработки информации при использовании радара практически такой же, как и при аэрофотосъемке без фотограмметрии. По изображению на экране радара определяем линейные размеры ледяных образований, а если удастся, определяем площадь [6].

Для айсбергов можно воспользоваться полученными для Баренцева моря регрессионными соотношениями [3]:

$$M = a_1 L + a_2 B + a_3,$$

$$M = b_1 L B + b_2,$$
(10)

где L — длина айсберга (м), B — ширина айсберга (м), M — масса (тыс. т), a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 — регрессионные коэффициенты:

Форма айсберга	a_1	a_{2}	a_3	b_1	b_{γ}
Столообразный	10,5	2,46	-1093	_	_
Пирамидальный	0,7	6,34	-202	_	_
Наклонный	2,96	18,16	-1089	_	_
Без учета формы	8,84	3,31	-772	0,05	-75

Более точной является регрессия вида:

$$M = a_1 S_w + a_2, \tag{11}$$

где $a_1 = 0.08; a_2 = -68, S_w$ — площадь по ватерлинии.



Рис. 6. Группа айсбергов на экране ледового радара Fig. 6. Group of icebergs on the screen of the ice radar

При использовании ледового радара (рис. 6) в некоторых случаях можно определить и высоту айсберга. В этом случае можно использовать выражение

$$M = a_1 LHB + a_2, \tag{12}$$

где H — высота айсберга, $a_1 = 0,004$; $a_2 = -75$ [3]. Точность этого соотношения такая же, как и (11). Регрессионные соотношения справедливы для достаточно больших айсбергов, для обломков и кусков айсбергов необходимо применять другие соотношения.

Для всторошенных полей можно пользоваться соотношением (9), определяя величину *N* визуально (по изображению на экране радара).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Под визуальными наблюдениями будем понимать наблюдения с использованием таких инструментов, как бинокль, дальномер и угломерные инструменты. Они могут быть применены как по отдельности, так и скомбинированы в одно устройство. Также сюда относятся и наблюдения невооруженным глазом.

При наблюдениях с помощью угломерно-дальномерных инструментов для оценки размеров нужно определить расстояние до объекта и его параллакс.

В случае наблюдений за айсбергами нужно учитывать, что неизвестно, какой стороной айсберг повернут к наблюдателю. Например, примем для простоты форму айсберга в плане как эллипс. Длина будет равна большой оси, а ширина — малой оси элиппса. Проекция эллипса (проекция большой оси эллипса) на прямую, перпендикулярную направлению наблюдения, может быть найдена как:

$$l_x = \sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi} , \qquad (13)$$

где *а* и *b* — длина и ширина айсберга, φ — случайный угол поворота айсберга, $\varphi \in [0; \pi/2)$. Данное соотношение устанавливает зависимость между параметрами объекта и его наблюдаемыми линейными размерами.

Между параметрами а и b существует регрессионная зависимость

$$r_{\text{де:}} c_1 = \begin{cases} 0,36\\ 0,48\\ 0,35\\ 0,41 \end{cases}, c_2 = \begin{cases} 23 \quad (столообразный айсберг)\\ 4,4 \quad (пирамидальный айсберг)\\ 27,7 \quad (наклонный айсберг)\\ 12,8 \quad (айсберг без учета формы) \end{cases}$$
(14)

Дополнив соотношение (13) регрессионной зависимостью (14), можно получить отношение длины к наблюдаемому размеру (среднюю величину). При этом полагаем, что величина ф распределена равномерно на области определения.

Средняя величина *l* определяется как:

$$\overline{l}_{x} = \frac{2}{\pi} \int_{0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{a^{2} \cos^{2} \varphi + b^{2} \sin^{2} \varphi} d\varphi.$$

Интеграл можно свести к полному эллиптическому интегралу второго рода:

$$\overline{l_x} = a \cdot \frac{2}{\pi} E(k),$$

86

где $k = \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}}$.

(*a*) Используя приближение: $E(k) = \frac{\pi}{2} \sum_{0}^{\infty} \left(\frac{(2n)!}{2^{2n} n!^2} \right)^2 \frac{k^{2n}}{1-2n}$ [8], получим:

$$\overline{l}_x = a \left(1 - \frac{1}{4}k^2 - \frac{3}{64}k^4 - \frac{5}{256}k^6 - \dots \right).$$

Без учета формы айсбергов на основе расчетов с последующей аппроксимацией можно получить достаточно простое выражение для определения размера объекта:

$$a = 1,32l_{y}.$$
 (15)

Наблюдаемый линейный размер можно определить, зная расстояние и параллакс:

$$l_x = 2r \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}, \tag{16}$$

где α — параллакс, *r* — расстояние, при расстоянии до объекта много большего, чем размеры объекта, можно брать среднее из нескольких измеренных расстояний.

Далее полученное с помощью (16) значение наблюдаемого размера подставляем в (15) и получаем оценку величины a. В случае, если известна форма айсберга, параметры a и b связаны регрессионным соотношением (14). Следовательно, находим массу, используя соотношение (10). Если удается измерить высоту айсберга (измеряется аналогично линейным размерам, но без использования (15)), можно воспользоваться регрессией (12) как более точной.



Рис. 7. Схема наблюдения за айсбергом с помощью тахеометра Fig. 7. Scheme of the observation on the iceberg using a tacheometer

ЛЕДОТЕХНИКА

Для всторошенных полей можно использовать соотношение (9), при этом удельная площадь торосов определяется визуально.

При наблюдении за айсбергами с борта судна с помощью тахеометра, способного работать в безотражательном режиме, можно получить достаточно точные размеры верхней поверхности айсберга. На рис. 7 показана схема определения размера и формы айсберга с помощью тахеометра, работающего в безотражательном режиме.

Для проведения измерений необходимо определить точку стояния прибора в положении 1, задать дирекционное направление *D*, желательно на север. Измерения проводить в режиме прямоугольных координат (точку стояния ввести тоже в прямоугольных координатах). Повторить все измерения из положения 2, при этом дирекционные направления должны совпадать. В этом случае нет необходимости в пересчете полученных координат из одной системы в другую.

При сильном сносе судна и его вращении, а также при значительном смещении самого объекта наблюдения (айсберга) возникнет необходимость пересчета измерений. Для этого необходимо регистрировать во времени координаты точки стояния прибора и курсовой угол (*K*), при этом время тахеометра должно быть синхронизировано с судовым временем. Вектор дрейфа айсберга можно оценить повторной засечкой на выбранный ориентир на айсберге. Затем вектор дрейфа вычитается из вектора сноса. Пересчет координат производится по стандартным формулам параллельного переноса и поворота координат.

Для сноса используем:

$$x_2 = x_1 - a, y_2 = y_1 - b.$$

Для поворота используем:

 $x_2 = x_1 \cdot \cos \varphi + y_1 \cdot \sin \varphi, y_2 = -x_1 \cdot \sin \varphi + y_1 \cdot \cos \varphi.$

Величины *a* и *b* определяются по GPS и вектору дрейфа айсберга, величина ф есть разность между курсовыми углами. Очевидно, что знаки данных величин выбираются в зависимости от базиса. К сожалению, учесть вращение айсберга в данном случае достаточно тяжело, и им приходится пренебречь.

Можно отметить, что проведение подобных наблюдений возможно при отсутствии волнения (когда судно, например, находится в окружении льда). При отсутствии качки получаемые результаты достаточно точны. Так, в феврале 2014 г. с палубы МЛСП «Приразломная» была произведена съемка навалов льда с помощью тахеометра Nikon Nivo 5 MW (Nikon-Trimble Co., Ltd), построенная трехмерная модель навалов в достаточной мере отражала натуру.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОЛОКАТОРА

В случае использования гидролокатора бокового обзора для съемки айсберга и возможности получения трехмерной модели его подводной части (рис. 3) определение массы проводится следующим образом:

$$M = V^{-} \rho_{w}, \tag{17}$$

где V^- — объем подводной части, оцененный по трехмерной модели, ρ_w — плотность морской воды.

Если построение трехмерной модели невозможно (используется, например, сканер, установленный на дне), используется оценка осадки айсберга. Так как надежной регрессионной зависимости между массой айсберга и его осадкой нет, массу

айсберга предлагается приб	лизительно определять	следующим образом (<i>p</i> — уровень
доверия):			

Осадка, м	Масса тыс. т ($p = 0,95$)	Осадка, м	Масса тыс. т ($p = 0.95$)
< 30	до 140	< 70	до 3000
< 40	до 300	< 100	до 4200
< 60	до 1500	< 120	до 5000

Для всторошенных полей достаточно определить торосистость ледяного поля (по данным локатора бокового обзора или донного сканера), а затем воспользоваться соотношением (9).

Для более точных оценок можно выполнить следующую процедуру. Перестроить полученные со сканера данные (с учетом скоростей течения) в координатах (x, y), где y — осадка, x — дистанция вдоль отснятого профиля (рис. 8).



Рис. 8. Пример профиля нижней поверхности льда

Fig. 8. An example of the profile of ice lower surface

Затем вычислить площадь графика ниже линии воды на дистанции *l*, нормировать полученную площадь на дистанцию. В результате будет получено значение *S*_{*l*} (величина площади на единицу длины профиля), зная которое можно найти удельный объем подводной части всторошенного поля (он будет числено равен удельной площади).

Зная средний коэффициент заполнения подводной части (f = 0,86), можно оценить объем льда в подводной части всторошеного поля (умножив объем на ко-эффициент заполнения). Далее легко получить удельную массу:

$$V_{ice}^{-} = V^{-}f^{-}, \quad M_{s} = V_{ice}^{-}\rho_{w}.$$
 (18)

ЛЕДОТЕХНИКА

Необходимо отметить, что эта процедура применяется для полностью всторошенных участков полей. В противном случае требуется разбиение на всторощенные участки и участки ровного льда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрев различные виды и методики наблюдений, можно отметить, что все они имеют свои достоинства и недостатки.

Наиболее точное и полное представление о размерах ледяных образований дает аэрофотосъемка с последующей фотограмметрической обработкой снимков. Этот метод позволяет с большой точностью получить конфигурацию и размеры надводной части ледяного образования. Недостатки этого метода заключаются в том, что между съемкой и получением трехмерной цифровой модели проходит некоторое время, для проведения съемки необходимо наличие светлого времени суток и приемлемые погодные условия. На сегодня имеется оборудование, способное получать 3D-модель ледяного образования практически в реальном времени, но оно обладает очень высокой стоимостью.

Наблюдения с помощью ледового радара могут проводиться практически при любых погодных условиях, также они могут выполнятся как попутные, при расположении радара на судне. Данные можно получать практически в режиме реального времени, однако получение точных вертикальных размеров ледяных образований затруднено.

Визуальные наблюдения с помощью дальномерно-угломерных инструментов наиболее простой, быстрый и дешевый способ получения информации о размерах ледяных образований. К его недостаткам следует отнести невысокую точность наблюдений и необходимость наличия светлого времени суток и хороших погодных условий.

При использовании локатора бокового обзора результаты наблюдений (3D-модель подводной части айсберга или фрагмента всторошенного поля) доступна практически сразу после окончания съемки. Недостатками данного метода являются небольшая площадь охвата (по сравнению с аэрофотосъемкой) и необходимость наличия хороших погодных условий для проведения съемки.

Донный гидролокатор используется для длительных постановок на дно (до двух лет). Полученные данные представляют собой очень большие объемы информации, это позволяет сделать вывод о статистических характеристиках осадки ледяных образований и их изменениях во времени. В ближайших планах — использование донных сонаров — получение данных в режиме реального времени, без чего невозможно оперативное построение 3D-моделей подводной поверхности ледяных образований.

Таким образом, для получения крупномасштабных данных о ледяных образованиях наиболее перспективным представляется развитие комплексов аэрофотосъемки с обработкой в режиме реального времени и усовершенствование ледовых радаров.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории «Арктик-шельф» им. Г.К. Зубакина, ее руководителю Ю.П. Гудошникову, а также участникам экспедиционных исследований за обсуждение, применение и усовершенствование рассмотренных в статье методик оценки морфометрических свойств ледяных образований.

Acknowledgments. Authors express their gratitude to the employees of the «Arcticshelf» laboratory, to the head of the laboratory U.P. Gudoshnikov and to the members of the expeditions for discussion, application and improvement discussed in the article methods of evaluation of morphometric properties of ice formations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубакин Г.К., Гудошников Ю.П., Дмитриев Н.Е., Наумов А.К., Степанов И.В. Технология сбора и анализа данных о ледяном покрове шельфовых районов Арктических морей // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 196–210.

2. Бородулин В.П., Зубакин Г.К., Гудошников Ю.П., Наумов А.К., Забродин Г.В., Кузнецова Е.Н. Аэрофотосъемка льдов и айсбергов на перспективных нефтегазоносных структурах Баренцева моря // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 211–228.

3. *Наумов А.К.* Морфометрические характеристики ледяных образований Баренцева моря: Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: ААНИИ, 2010. 175 с.

4. Бузин И.В., Глазовский А.Ф., Гудошников Ю.П., Данилов А.И., Дмитриев Н.Е., Зубакин Г.К., Кубышкин Н.В., Наумов А.К., Нестеров А.В., Скутин А.А., Скутина Е.А., Шибакин С.И. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1 (78). С. 66–89.

5. *Zubakin G.K., Naumov A.K., Skutina E.A.* Spreading and morphometric peculiarities of icebergs in the Barents Sea // Proceedings of 18th IAHR International Symposium on ice (IAHR-2006), 28 August – 01 September. Sapporo, Japan, 2006. P. 79–87.

6. Зубакин Г.К., Криницкий П.И., Гудошников Ю.П., Гладыш В.А., Виноградов Р.А. Гидролокационная съемка нижней поверхности ледяного покрова // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 229–237. 7. Weather, sea and ice conditions in eastern Baffin Bay, offshore northwest Greenland: Technical report. Copenhagen: Danish Meteorological Institute, 1996. № 96–12. 39 p.

8. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1962. 1100 с.

REFERENCES

1. Zubakin G.K., Gudoshnikov Iu.P., Dmitriev N.E., Naumov A.K., Stepanov I.V. The technology of data collection and analysis on ice cover of shelf areas of the Arctic seas. *Trudy AANII*. Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute. 2004, 449: 196–210. [In Russian].

2. Borodulin V.P., Zubakin G.K., Gudoshnikov Iu.P., Naumov A.K., Zabrodin G.V., Kuznetsova E.N. survey of ice and icebergs on the prospective oil and gas structures of the Barents Sea. *Trudy AANII*. Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute. 2004, 449: 211–228. [In Russian].

3. *Naumov A.K. Morfometricheskie kharakteristiki ledianykh obrazovanii Barentseva moria.* Morphometric characristics of ice formations of the Barents sea. *Dis. kand. geogr. nauk.* Thesis for the degree of candidate of geographical sciences. AANII, 2010: 175 p. [In Russian].

4. Buzin I.V., Glazovskii A.F., Gudoshnikov Iu.P., Danilov A.I., Dmitriev N.E., Zubakin G.K., Kubyshkin N.V., Naumov A.K., Nesterov A.V., Skutin A.A., Skutina E.A., Shibakin S.I. Icebergs and glaciers of the Barents Sea: investigations of the last years. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2008, 1 (78): 66–89. [In Russian].

5. *Zubakin G.K., Naumov A.K., Skutina E.A.* Spreading and morphometric peculiarities of icebergs in the Barents Sea // Proceedings of 18th IAHR International Symposium on ice (IAHR-2006), 28 August – 01 September. Sapporo, Japan, 2006: 79–87.

6. Zubakin G.K., Krinitskii P.I., Gudoshnikov Iu.P., Gladysh V.A., Vinogradov R.A. Sonar survey of the low surface of ice cover. *Trudy AANII*. Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute. 2004, 449: 229–237. [In Russian].

7. Weather, sea and ice conditions in eastern Baffin Bay, offshore northwest Greenland: Technical report. Copenhagen: Dannish Meteorological Institute, 1996, 96-12: 39 p.

8. *Gradshtein I.S., Ryzhik I.M. Tablitsy integralov, summ, riadov i proizvedenii.* Tables of integrals, sums, ranges and products. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1962: 1094 p. [In Russian].