УДК 551.326.6

А.А. Архипова[1], **М.Г. Деев**[2]

СОВРЕМЕННЫЙ АЙСБЕРГОВЫЙ СТОК В СЕВЕРО-ЗАПАДНУЮ АТЛАНТИКУ

На основе доступных данных наблюдений и литературных источников анализируется процесс появления гренландских айсбергов в районе Большой Ньюфаундлендской банки. Оценивается современное состояние общего объема и внутригодового распределения айсбергового стока.

Ключевые слова: айсберги, морские льды, дрейф льда, ледовый патруль.

Введение. Айсберги наряду с морскими льдами всегда привлекали внимание прежде всего как препятствие для мореплавания. Опасность столкновения с крупным обломком плавающего глетчерного льда всегда грозит любому судну практически неизбежной аварийной ситуацией. Особенно остро проблема встречи с айсбергами беспокоит судоводителей в северо-западной части Атлантического океана, где проходят оживленные морские пути, связывающие порты Северной Америки и Европы. Именно в этом районе 15 апреля 1912 г. в координатах 41°46′ с.ш. и 50°14′ з.д. после столкновения с айсбергом затонул крупнейший для своего времени трансатлантический лайнер “Титаник”, унесший с собой 1507 жизней. Катастрофа имела такой сильный общественный резонанс во всем мире, что спустя год была создана Международная служба ледового патруля, задачей которой было следить за появлением айсбергов и предупреждать мореплавателей о ледовой опасности.

Со времени трагедии “Титаника” прошло сто лет, но даже сегодня, когда используются новейшие технологии навигации и системы оповещения кораблей об айсберговой опасности, по-прежнему ни одно судно, проходящее в этих водах, не застраховано от встречи с опасным ледовым гигантом [10]. Судоводителей интересуют сведения о распределении айсбергов в регионе и положение южной границы их распространения в реальном времени, однако недостаточная изученность многих факторов, влияющих на айсберговый сток, не позволяет составить подобный прогноз с необходимой обеспеченностью.

Постановка проблемы. Айсберги являются своеобразным индикатором интенсивности разрушения крупных ледниковых массивов, тенденция их изменения связана с определенными климатическими сдвигами. Нами сделана попытка, используя доступные данные и литературные материалы, выяснить, сказываются ли наблюдающиеся в современную эпоху изменения климата на числе и виде айсбергов в Атлантическом секторе Арктики. Кроме того, побудительным мотивом к написанию статьи послужило то, что эта тема практически не затронута отечественными исследователями моря; так, нами найдена только одна оригинальная работа по теме [4], опубликованная полвека назад и посвященная определению глубины погружения подводной части айсбергов по данным американских подводных лодок, другие редкие упоминания о гренландских айсбергах приводятся со ссылками на зарубежные [2] или переводные [3] издания.

Материалы и методы исследований. ***Происхождение и пути следования айсбергов.*** До 95% всех айсбергов в Северном полушарии продуцируется выводными ледниками Гренландии. Все остальные обломки глетчерных льдов Арктики (даже от ближайших ледников Шпицбергена и Новой Земли) уже в момент откалывания имеют значительно меньшие размеры, чем гренландские, а траектории их дрейфа столь длинны, что они почти полностью растаивают и до атлантических вод добираются очень редко. Случаи появления крупных столообразных айсбергов, продуцируемых шельфовыми ледниками о. Элсмир, носят единичный характер. Такие айсберги, получившие за свои внушительные размеры название ледяных островов, обычно дрейфуют в Канадско-Аляскинском антициклоническом круговороте и в Северную Атлантику не выносятся. Во всяком случае, появление их возле Ньюфаундленда в документах Ледового патруля не отмечено. Таким образом, можно утверждать, что в водах Северо-Западной Атлантики наблюдаются айсберги только гренландского происхождения.

В первое десятилетие XXI в. айсберги оставались довольно популярной темой научных изысканий за рубежом [8, 11, 12]. По-прежнему не до конца изучены механизмы откалывания айсбергов, ведутся работы по моделированию этого процесса, носящего название calving — отёл, *англ.* — рождая айсберг, ледник “телится”), кроме того, немало статей посвящено изменению баланса массы ледниковых щитов Северного полушария, вызванному потеплением климата планеты.

Ледниковый щит Гренландии, согласно расчетам, ежегодно теряет от 160 до 290 км^3 льда, порождая от 10 до 30 тыс. айсбергов [9]. Наиболее продуктивные

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, студентка; *e-mail:* lapoul@gmail.com

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; *e-mail:* mgveed@gmail.com

в плане образования айсбергов ледники (помечены стрелками на рис. 1) расположены на западном побережье острова. Берега Гренландии по большей части фьордовые, и выводные ледники спускаются к вершинам узких и глубоких заливов со скалистыми обрывистыми бортами. Фьорды, расположенные поблизости от Полярного круга и севернее, бóльшую часть года покрыты сплошным покровом припайного льда, который из-за суровости климата вскрывается не ежегодно. Следовательно, отколовшиеся от материнского ледника айсберги бывают заперты во фьордах от нескольких месяцев до года и более.

Покидая фьорд, айсберги, как правило, выходят в залив Диско сравнительно большими группами, насчитывающими до нескольких десятков крупных экземпляров, окруженных гроулерами — скоплениями множества обломков, осколков и кусков глетчерного льда. В заливе — в зависимости от ледовой обстановки в конкретный год — может произойти еще одна задержка перед выходом в открытое море. После выхода из залива айсберги с западного побережья Гренландии оказываются в полосе действия Западно-Гренландского течения и начинают дрейфовать на север. Айсберги с восточного побережья сначала увлекаются к югу Восточно-Гренландским течением вместе с арктическими льдами. Некоторые из них, пересекая 60-ю параллель, попадают в струи теплого течения Ирмингера и быстро тают, остальные огибают мыс Фарвель и уносятся Западно-Гренландским течением вдоль гренландского берега на север.

Далее западногренландским айсбергам предстоит проделать путь от места выхода в открытое море (для большинства из них это широта Полярного круга и выше) вдоль гренландских берегов примерно до 75° с.ш., затем перейти к канадским побережьям и в потоках Канадского и Лабрадорского течений подойти к району Большой Ньюфаундлендской банки. Такой дрейф, составляющий в общей сложности около 6000 км, при средней скорости 9 км/сут [1] займет около 22 месяцев. Путь восточногренландских айс-

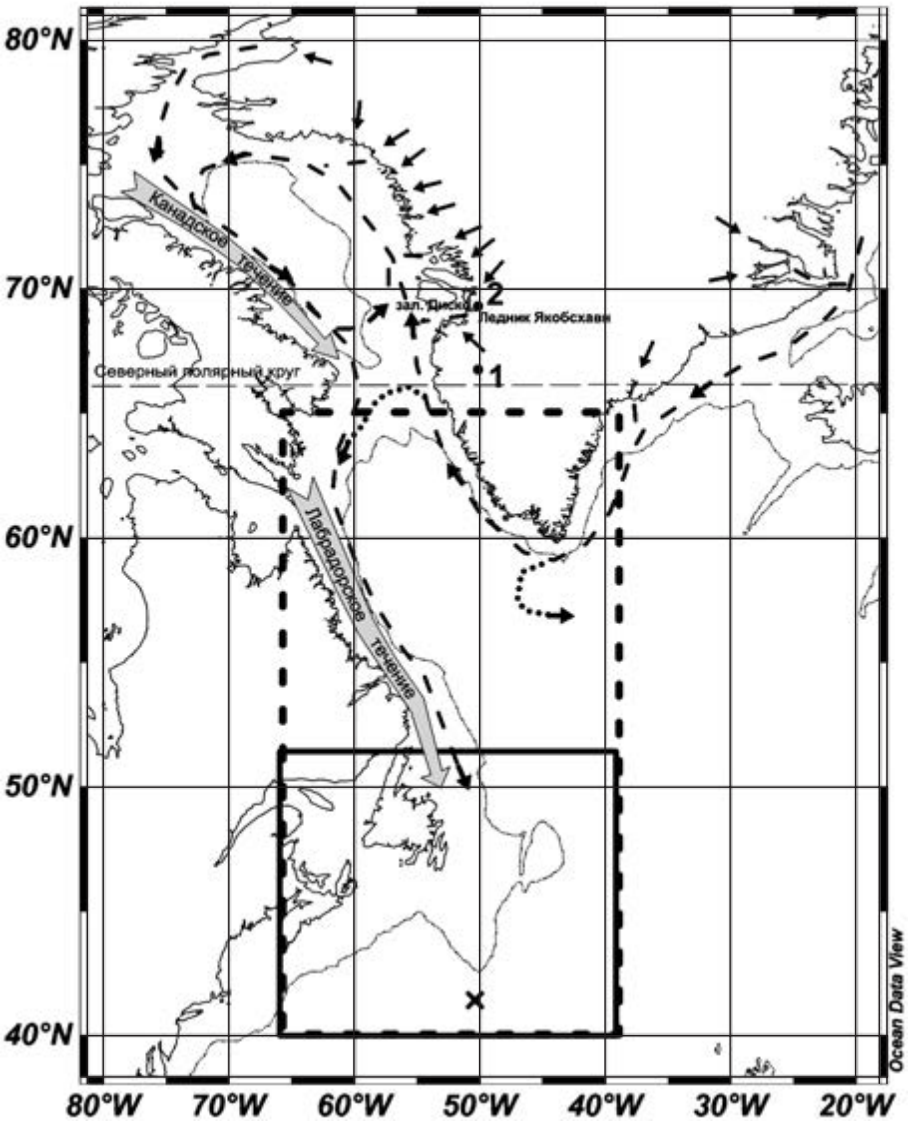

Рис. 1. Карта района дрейфа айсбергов гренландского происхождения. Крестиком отмечено место крушения “Титаника”

бергов примерно на 2000 км длиннее, а их дрейф на 7–8 месяцев продолжительнее (рис. 1).

Таяние и механическое разрушение айсбергов при взаимодействии с морскими льдами начинаются с момента их возникновения и продолжаются непрерывно до полного исчезновения. При этом первыми вытаивают все гроулеры, затем малые айсберги, а изначально самые крупные из них сильно уменьшаются в размерах. Скорость дрейфа айсбергов существенно неравномерна в течение каждого года их существования. На пути к Ньюфаундленду их ожидает не менее двух продолжительных зимних сезонов, во время которых сильно уменьшается скорость дрейфа из-за преодоления скоплений дрейфующего морского льда. При вмерзании айсбергов в припайные льды дрейф практически прекращается. В период низких значений зимней температуры термическое разрушение айсбергов существенно замедляется.

Неравномерность дрейфа айсбергов способствует сохранению их группового передвижения. Действительно, при каждом уменьшении скорости дрейфа перед очередным препятствием происходит сплочение малых групп айсбергов, присоединение к ним одиночных экземпляров и увеличение числа айсбергов в группе.

Перемещение гренландских айсбергов происходит в окружении полей дрейфующего морского льда. На пути к району Большой Ньюфаундлендской банки ледяные поля морского льда постепенно тают и разрушаются, а сохранившиеся айсберги оказываются на оживленных морских путях. Основная масса айсбергов после выноса в океан распространяется и тает над Большой Ньюфаундлендской банкой. В редких случаях айсберги дрейфуют далеко на юго-запад в холодных прибрежных североамериканских водах. Зарегистрированы единичные случаи появления айсбергов возле американских берегов вплоть до широты Гибралтарского пролива.

В работе использованы данные Международного ледового патруля, начиная с 1960 по 2011 г. включительно. Первоначально наблюдения за айсбергами велись в районе Северо-Западной Атлантики между 39° и 57° з.д. на север от 40° с.ш. Северная граница района наблюдений проходила по параллели 52° с.ш., а с 2006 г. отодвинута к северу до 65° с.ш. (рис. 1). Данные представляют собой ежемесячные сведения о числе, размерах и форме айсбергов, зарегистрированных наблюдениями.

В процессе обработки данных за рассматриваемый период прежде всего подсчитано общее число айсбергов за каждый год, что позволило получить представление о межгодовой изменчивости этой характеристики. За период с 1960 по 2011 г. среднее годовое число айсбергов составило 2900. Это означает, что до района регистрации доплывает в среднем от 10 до 30% общего среднегодового числа айсбергов, отколовшихся от гренландских выводных ледников, но в прошлом это были наиболее крупные экземпляры.

В соответствии с методикой Ледового патруля айсберги разделяются на большие (>120 м), средние (60–120 м), малые (15–60 м) и обломки айсбергов (<15 м); больше всего (около 70%) средних и малых айсбергов, примерно в 10% случаев попадаются большие айсберги, а их обломки составляют до 20% от общего числа.

Результаты исследований и их обсуждение. Прежде всего нуждается в объяснении высокая межгодовая изменчивость числа наблюдаемых айсбергов, на которую обращали внимание, по-видимому, все интересовавшиеся этим вопросом (рис. 2). Максимальное число зарегистрированных айсбергов было отмечено в 1972 г. и оказалось равным 9200, годом ранее их было всего 1200. Минимальное число зарегистрировано в 2005 г. — 126 айсбергов. Гистограмма, представленная на рис. 2, четко распадается на две части — 1960–1975 и 1976–2011 гг. В первой части при высокой межгодовой изменчивости среднее число айсбергов оставалось на уровне около 4500 в год. Затем в 1975 г. произошло резкое сокращение числа айсбергов, после чего наблюдалось постепенное увеличение до современного уровня — в среднем около 3500 в год. Столь значительное уменьшение численности наблюдаемых айсбергов и последовавшее затем медленное восстановление их числа до уровня среднемноголетнего объясняется, скорее всего, изменением режима гренландских выводных ледников, которое могло произойти в начале 1970-х гг.

Короткопериодная изменчивость числа айсбергов в месте наблюдений объясняется разными факторами, главные из которых — неравномерность в процессах образования айсбергов, межгодовая изменчивость погодных условий и количества морского льда вдоль траектории дрейфа айсбергов.

Для проверки связи между температурой воздуха и числом айсбергов были использованы данные метеостанции в Кангерлуссуаке (Гренландия) с координатами 67° с.ш. и 51° з.д., расположенной на высоте 53 м над уровнем моря (точка № 1, рис. 1). Выбор этой метеостанции обусловлен ее близостью к западному побережью Гренландии, где продуцируется большинство айсбергов, а также продолжительным рядом доступных метеонаблюдений. В работе использованы ряды приземной температуры воздуха начиная с 1950 г., так как данные об айсбергах доступны только с 1960 г.

Для исключения короткопериодных межгодовых колебаний ряды температуры и числа айсбергов были подвергнуты десятилетнему скользящему осреднению, при этом тот факт, что путь айсбергов к месту их отслеживания Ледовым патрулем составляет в среднем от 2 до 3 лет, позволил предположить, что наибольшая корреляция будет достигнута при сдвиге графика числа айсбергов относительно графика температуры воздуха на 2 или 3 года вперед. Это предположение полностью оправдало ожидания, значения коэффициента корреляции в обоих случаях весьма значительны — 0,797 и 0,796 соответственно.

Как видно на графике (рис. 2), существует довольно устойчивая связь между температурой воздуха

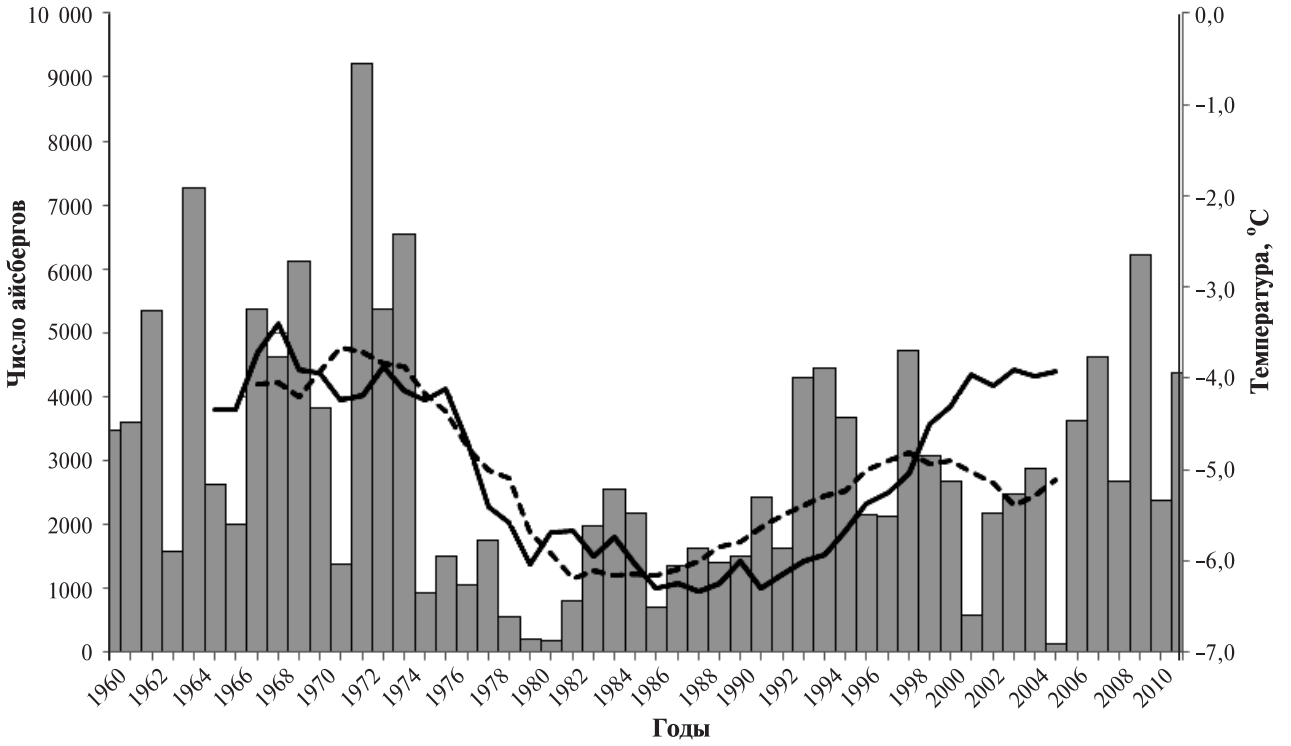

Рис. 2. Межгодовая изменчивость числа айсбергов в районе Ньюфаундленда в 1960–2011 гг. (гистограмма), 10-летнее скользящее осреднение температуры воздуха (сплошная линия) на гренландской метеостанции Кангерлуссуак, 10-летнее скользящее осреднение числа айсбергов со сдвигом на два года вперед (штриховая линия)

и числом айсбергов в районе наблюдения. На десятилетия с наименьшими среднегодовыми значениями температуры (1970–1980) приходилось и наименьшее число айсбергов. В последние годы не прослеживается явная тенденция в изменении температуры воздуха в этом районе, поэтому можно говорить о некоторой стабилизации, то же верно и в отношении числа айсбергов.

Для исследования годового цикла продуцирования айсбергов использованы данные о леднике Якобсхавн (точка № 2, рис. 1), где заключено около 7% массы Гренландского ледникового щита [6], этот ледник ежегодно формирует едва ли не бóльшую часть всех наблюдаемых в Северной Атлантике айсбергов.

Во время полевых работ с 13 мая 2007 г. по 14 мая 2008 г. там наблюдалось 32 крупных события отделения айсбергов от ледника, причем 25 из них пришлось на период с 16 мая по 2 августа 2007 г., 3 — с 17 августа по 17 октября и еще 4 — с 19 апреля по 10 мая 2008 г. [6]. Под крупным событием имеется в виду процесс обрушения в воду фронтальной части выводного ледника, сопровождающийся практически одновременным образованием нескольких десятков айсбергов и множества гроулеров. Таким образом, за два с половиной летних месяца ледник Якобсхавн продуцировал более 75% годового числа айсбергов.

С этими результатами хорошо согласуется среднее многолетнее распределение числа айсбергов по месяцам, представленное в таблице. За три месяца (апрель, май, июнь) через район наблюдений в среднем проходит до 69% зарегистрированных айсбергов.

Айсберги в районе наблюдений появляются в течение всего года, что можно видеть из данных таблицы, однако их число весьма неравномерно. Рассмотрим месячные карты, на которых показано распространение айсбергов за каждый месяц в 2008 г. (рис. 3). В январе и феврале айсберги уже существуют в пределах квадрата наблюдений, но еще не подошли к Большой Ньюфаундлендской банке. В марте появляется айсберговая опасность для морских судов. Апрель, май и июнь — самые опасные месяцы для плавания в районе на юго-восток от Ньюфаундленда. Но в июне идет уже интенсивное таяние айсбергов, их число заметно умень-

Среднее распределение числа (*n*) айсбергов по месяцам в абсолютных значениях и процентах

Число айсбергов	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	36	108	278	589	778	629	314	104	59	9	3	13
%	1,2	3,7	9,5	20,2	26,6	21,5	10,8	3,6	2,0	0,3	0,1	0,5

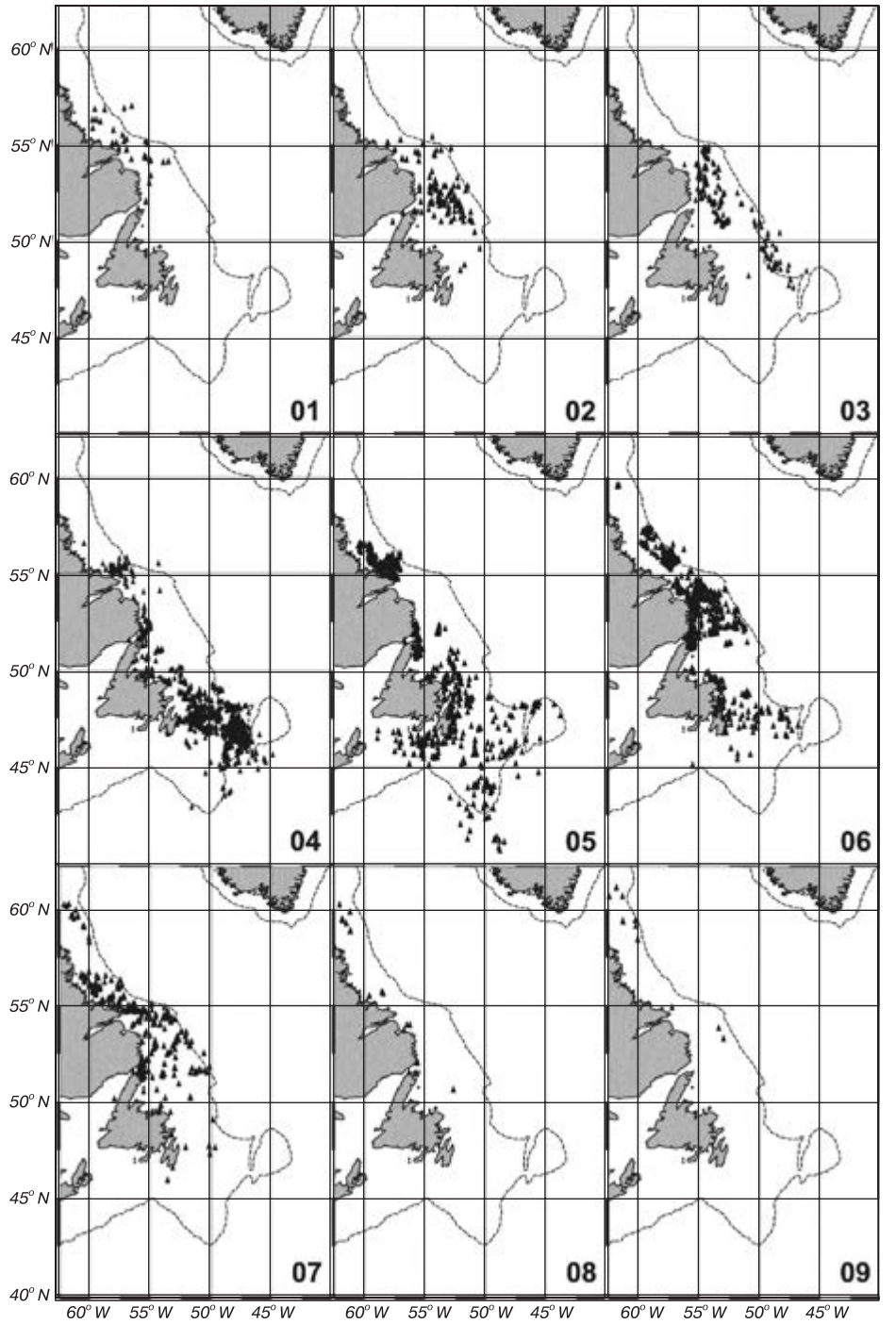

Рис. 3. Распределение айсбергов по месяцам (январь–сентябрь) в 2008 г.

шается, в июле основная масса айсбергов разрушается севернее 50° с.ш. В августе и позднее Лабрадорское течение приносит лишь одиночные айсберги, которые тают раньше, чем доплывают до Ньюфаундленда.

Изменения температуры воздуха в районе образования айсбергов неоднозначно сказываются на количестве айсбергов в месте наблюдения. Повышение средней температуры воздуха ведет к увеличению ежегодной потери ледником его массы, но одновременно возрастает интенсивность таяния. В 1997–2006 гг. ежегодные потери гренландскими ледниками их массы возросли с 90 до 220 км^3 [5, 13]. Однако число айсбергов в районе Ньюфаундленда не только не увеличилось, но стало существенно меньше. Так, среднее годовое число айсбергов за пять лет (1960–1964) составило 4250, а за 2005–2009 гг. только 3454.

Другими факторами, влияющими на объем айсбергового стока, выступают штормы, ветер (попутный или противный направлению дрейфа), количество и сплоченность морского льда, а также морские течения [7]. Изменения параметров течений в масштабах нескольких десятков лет незначительны вследствие большой инерционности океана. Температура воды Западно-Гренландского течения с 1983 по 2004 г. в слое

0–300 м увеличилась всего на 0,096°С [14], что едва ли способно значительно повысить интенсивность таяния айсбергов.

Выводы:

– гренландские айсберги в районе Большой Ньюфаундлендской банки наблюдаются ежегодно. Наибольшее их число (до 70% от среднегодового) отмечается в течение апреля, мая, июня;

– число айсбергов, регистрируемых в районе Ньюфаундленда, в среднем составляет около 20% от общего числа айсбергов, отколовшихся от гренландских ледников;

– возраст регистрируемых айсбергов в среднем составляет около 3 лет, т.е. большинство айсбергов, наблюдаемых сегодня, откололось от материнских ледников 3 года назад;

– начиная со второй половины 70-х гг. прошлого столетия до настоящего времени в среднемноголетнем плане наблюдалось увеличение числа регистрируемых айсбергов от 1000 до 3500 в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Арктики. М.: ГУГК при Совмине СССР, 1985.

2. *Малинин В.Н.* Общая океанология. Ч. 1. Физические процессы. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. С. 328.

3. Океанографическая энциклопедия. Айсберги. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. С. 12–14.

4. *Шведе Е.Е.* Айсберги Северо-Западной Атлантики // Океанология. 1966. Т. 6, вып. 4. С. 608–613.

5. *Abdalati W.* Outlet glacier and margin elevation changes: Near-coastal thinning of the Greenland Ice Sheet // J. Geophys. Res. Atmospheres. 2001. Vol. 106. Issue D24. P. 33 729–33 741.

6. *Amundson J.M., Fahnestock M., Truffer J.* et al. Ice mélange dynamics and implications for terminus stability, Jakobshavn Isbræ, Greenland // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115. F01005, doi:10.1029/2009JF001405.

7. Annual Reports of the International Ice Patrol in the North Atlantic. 2001–2009. COAST GUARD WASHINGTON DC. URL: http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=IIPAnnualReports

8. *Broecker W.S.* Massive iceberg discharges as triggers for global climate change // Nature. 1994. Vol. 372. P. 421–424.

9. *Diemand D.* Icebergs // Origins and spatial distribution. L.: Acad. Press, 2001. P. 1255–1264. doi:10.1006/rwos.2001.0002.

10. *Hill B.T.* Database of ship collisions with icebergs // Nat. Res. Council Canada: Institute for marine dynamics. 2000.

11. *Kubat I., Sayed M., Savage S., Carrieres T.* An operational model of iceberg drift // Intern. J. Offshore and Polar Engineering. 2005. Vol. N 2. P. 125–131.

12. *Müller C., Schlindwein A., Eckstaller H.* Singing icebergs // Science. Vol. 310(5752). P. 1299. doi:10.1126/science.1117145.

13. *Rignot E., Kanagaratnam P.* Changes in the velocity structure of the Greenland Ice Sheet // Science. 2006. Vol. 311, N 5763. P. 986–999.

14. *Stein M.* North Atlantic subpolar gyre warming — impacts on Greenland offshore waters // J. Northwest Atlantic Fishery Scie. 2005. Vol. 36. P. 43–54.

Поступила в редакцию
28.03.2013

A.A. Arkhipova, M.G. Deev

PRESENT-DAY ICEBERG RUNOFF TO THE NORTHWEST ATLANTIC

The observation data and available publications are used to explore the process of iceberg drift to the area of the Grand Banks of Newfoundland. The actual total amount and monthly values of iceberg runoff are estimated.

Key words: icebergs, sea ice, ice drift, ice patrol.