

*В.М. Абрамов, Л.Н. Карлин, А.А. Овсянников*

**О СТРУКТУРЕ АЙСБЕРГОВОЙ ОПАСНОСТИ  
В ОКРЕСТНОСТИ ШТОКМАНОВСКОГО  
ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*V.M. Abramov, L.N. Karlin, A.A. Ovsianikov*

**ON ICEBERG HAZARD STRUCTURE  
IN THE SHTOKMAN GAS-CONDENSATE FIELD AREA**

*Статья посвящена исследованиям пространственно-временной структуры айсберговой опасности в окрестностях Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ). Введено понятие айсберговой активности и предложены величины, характеризующие ее в числовом отношении. Выполнена кластеризация массива данных наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ по айсберговой активности. Даны рекомендации по требованиям к системе наблюдений за айсбергами.*

*Ключевые слова: Баренцево море, айсберговая опасность, Штокмановское газоконденсатное месторождение, буферная зона, система обнаружения.*

*The article is devoted to study of iceberg hazard structure in the Shtokman gas-condensate field (SGCF) area. Proposed to use iceberg activity for risk-management purpose and given the values to measure it. The clusterization of iceberg data array in SGCF area was made in iceberg activity terms. The recommendation for iceberg detecting system is given.*

*Key words: Barents Sea, iceberg hazard, Shtokman gas-condensate field, buffer zone, reconnaissance system.*

**Введение**

Освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) будет вестись в условиях значимой айсберговой опасности [Абрамов, 2004; Бузин, 2004; Ледовые образования..., 2006; Наумов, 2004, Abramov, 1992]. С точки зрения управления рисками, айсберговая опасность для морских буровых сооружений (МБС) генерирует тяжелые и даже катастрофические энвайронментальные риски третьего и четвертого рода, связанные с возможностью тяжелых и катастрофических последствий столкновения МБС и его компонентов с айсбергом [Карлин, 2006]. Эти последствия могут проявляться в виде повреждений и утраты дорогостоящего оборудования и сооружений, значительного загрязнения окружающей среды, нанесения экономического ущерба третьим лицам. Управление такими рисками требует разработки стратегии и тактики действий инвесторов, проектировщиков и иных заинтересованных лиц в условиях недос-

таточной определенности, связанной с данным видом опасности. Важным пунктом стратегии поведения заинтересованных лиц является достижение консенсуса между заинтересованными сторонами на основе изучения структуры и величины риска, а также предлагаемых мер по управлению им и сведению его к приемлемым величинам. Отсутствие такого консенсуса может привести к принятию так называемого нулевого варианта, связанного с отказом от проекта или откладыванием его на неопределенное время. Для достижения консенсуса по рискам, связанным с айсберговой опасностью для МБС в районе ШГКМ, в последнее время проводятся исследования, нашедшие отражение в публикациях (см., например, [Ледовые образования..., 2006; Наумов, 2004]).

В данной работе излагаются результаты многолетних исследований структуры айсберговой опасности в так называемой окрестности ШГКМ, под которой понимают самую внешнюю объектовую буферную зону в задачах управления айсберговыми рисками при освоении ШГКМ. Необходимость существования такой зоны признают все заинтересованные лица, однако конкретные ее размеры и используемые в ней способы обнаружения айсбергов до сих пор достаточно не обоснованы.

Во всех ранее выполненных исследованиях существует молчаливое предположение, что айсберговая опасность вызывается одиночным айсбергом. Однако это предположение оказывается далеким от реальности. В данной работе показано, что в центральной части Баренцева моря, где находится акватория ШГКМ, айсберги перемещаются преимущественно достаточно компактными группами. Эти группы вторгаются в буферные зоны МБС и способны при негативном течении событий и отсутствии реакции со стороны объектовой системы безопасности поразить МБС путем столкновения. Очевидно, что обнаружение таких групп в первой, самой обширной буферной зоне, получившей название «окрестности ШГКМ», является насущной задачей при управлении айсберговыми рисками, связанными с освоением ШГКМ.

На основании полученных результатов сделаны выводы о необходимости совершенствования подходов к обнаружению айсбергов в окрестности ШГКМ в рамках управления айсберговыми рисками при освоении ШГКМ. Результаты исследований предполагается использовать в задачах управления айсберговыми рисками при освоении ШГКМ, в том числе и при разработке требований к комплексной системе безопасности на объектовом уровне. Полученные результаты необходимо учитывать как при оценке рисков, связанных с айсберговой опасностью при освоении ШГКМ, так и при планировании инженерных методов защиты МБС в задачах управления такими рисками.

### **Цели и задачи**

Целью работы является совершенствование подходов к управлению айсберговыми рисками при освоении ШГКМ на основе углубленного изучения пространственно-временной структуры айсберговой опасности в центральной

части Баренцева моря. В ходе исследований, направленных на достижение поставленной цели, решались следующие задачи:

- исследование пространственно-временной структуры айсберговой опасности в Баренцевом море с точки зрения объектовой безопасности МБС при освоении ШГКМ;
- снижение существующего уровня неопределенности в вопросах айсберговой опасности при планировании мероприятий по освоению ШГКМ;
- разработка рекомендаций по управлению айсберговыми рисками при существующем уровне неопределенности знаний по айсберговой опасности в окрестностях ШГКМ.

### **Методика исследований и исходные данные**

Исследования проводились с точки зрения объектовой безопасности, т.е. в центре возможных негативных событий рассматриваются МБС на заданной акватории планируемых действий по освоению ШГКМ в центральной части Баренцева моря. Предполагается, что МБС располагается в так называемом условном центре (УЦ) ШГКМ с координатами  $73^{\circ} 22,5'$  с.ш. и  $43^{\circ} 30'$  в.д. [Зубакин, 2004]. Вокруг УЦ ШГКМ выделяются три буферные зоны [Зубакин, 2004], перечисленные ниже в порядке близости их границ к УЦ ШГКМ:

– акватория ШГКМ, представляет собой криволинейную трапецию, ограниченную широтами  $72^{\circ} 45'$  с.ш. и  $73^{\circ} 30'$  с.ш. и меридианами  $43^{\circ} 30'$  в.д. и  $45^{\circ} 00'$  в.д.;

– район ШГКМ, представляет собой криволинейную трапецию, ограниченную широтами  $72^{\circ} 15'$  с.ш. и  $74^{\circ} 30'$  с.ш. и долготами  $38^{\circ} 00'$  в.д. и  $48^{\circ} 00'$  в.д.;

– окрестности ШГКМ, представляет собой зону неправильной формы, ограниченную окружностью радиусом 350 морских миль от условного центра ШГКМ и береговыми линиями южного побережья Баренцева моря и Новой Земли, попадающими внутрь указанного круга.

В данной работе основной интерес представляет пространственно-временная структура айсберговой опасности в окрестности ШГКМ, с точки зрения потенциальной возможности обнаружения и идентификации ее наблюдательной системой. При этом основное внимание уделено не системам наблюдения, а свойствам объектов обнаружения и наблюдений: групп айсбергов, вторгающихся в данную буферную зону. Для исследований айсберговой опасности рассматривается вся акватория Баренцева моря, на которой наблюдались в различные времена айсберги. Результаты таких наблюдений были опубликованы в виде карты [Абрамов, 1992]. На ее основании в качестве рассматриваемой акватории Баренцева моря выбрана криволинейная трапеция, ограниченная широтами  $69^{\circ}$  и  $81^{\circ}$  с.ш. и меридианами  $20^{\circ}$  и  $65^{\circ}$  в.д. Для удобства анализа географической информации и обсуждения результатов эта трапеция разделена по принципу шахматной доски на 6 горизонтальных рядов через два градуса по широте и 9 вертикальных колонн через пять градусов по долготе. Ряды обозначены ла-

тинскими большими буквами от А до F в порядке возрастания широты, а колонны пронумерованы арабскими цифрами от 1 до 9 (см. табл. 3). При обсуждении используется термин «квадрат» с указанием сначала буквенного, а затем цифрового признака. Таким образом, квадрат С5, в котором находится УЦ ШГКМ, обозначает криволинейную трапецию, ограниченную широтами 73° и 75° с.ш. и меридианами 40° и 45° в.д.

Для исследования пространственно-временной структуры айсберговой опасности использовался массив данных наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ за период 1950–1990 гг., предоставленный Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (ГУ АНИИ). Он представляет собой реляционную базу данных в виде таблицы, выполненной в EXEL. Каждая строка таблицы содержит сведения о дате наблюдения, количестве и координатах айсбергов, условный код формы айсберга. Этот массив является частью полного архива наблюдений за дислокацией айсбергов в Баренцевом и Карском морях, а также частично в Арктическом бассейне за период 1888–1991 гг. Всего в полном архиве содержится около 20 тысяч записей, каждая из которых содержит информацию о дате обнаружения, количестве айсбергов и их координатах. Особенности формирования полного архива данных описаны в [Ледовые образования..., 2006; Наумов, 2004]. По нему опубликованы различные карты и атласы [Ледовые образования..., 2006; Наумов, 2004, Abramov, 1992], а также опубликованы сводные результаты по распределению айсбергов в районе ШГКМ [Наумов, 2004]. Данное обстоятельство дает возможность прямого сравнения результатов данной работы с более ранними исследованиями.

### **Обсуждение результатов**

Очевидно, что число наблюдавшихся айсбергов на некоторой акватории за некоторый период в общем случае не совпадает с числом находившихся в действительности айсбергов на этой акватории. Это обусловлено тем, что факт наблюдения айсберга является, с математической точки зрения, логическим пересечением двух случайных событий в заданной точке акватории: наличия в ней айсберга и наличия в ней же или в пределах прямой видимости наблюдателя. Кроме того, наблюдатель может ошибаться, пропустив айсберг, находящийся в поле зрения, например из-за плохих условий видимости или из-за малой его контрастности на фоне ледового поля. Поэтому данные о наблюдениях айсбергов следует трактовать только как исходные данные для определения пространственно-временной структуры видимой айсберговой опасности. Истинное же число айсбергов остается неизвестным. Никаких исследований по установлению статистически значимых соотношений между числом зафиксированных айсбергов и истинным их числом на акватории не проводилось и в данной работе оценено быть не может. Поэтому в дальнейшем под айсберговой опасностью будем понимать только видимую айсберговую опасность, под которой понимается только та часть истинной айсберговой опасности, которая попала в поле

зрения наблюдателей за период наблюдений. Будем, однако, считать, что между истинной и видимой айсберговой опасностью за период наблюдений существует однозначная связь, которая неизвестна. Тогда можно ожидать с достаточно высокой вероятностью, что пространственно-временная структура видимой айсберговой опасности будет достаточно близка к пространственно-временной структуре истинной айсберговой опасности. Поэтому изучение пространственно-временной структуры распределения наблюдаемых айсбергов имеет большое значение.

Перейдем к рассмотрению структуры видимой айсберговой опасности, считая, что и истинная айсберговая опасность имеет такую же структуру. Всего в исходном массиве приведены данные о 2565 наблюдениях айсбергов за 41 год. В рамках данной работы ключевым понятием является эпизод наблюдений, под которым понимается акт проведения наблюдений в определенный день, в ходе которого был зафиксирован хотя бы один айсберг. Заметим, что в течение эпизода наблюдений количество зафиксированных айсбергов может быть с достаточно высокой вероятностью отождествлено с количеством айсбергов, присутствовавших на акватории, попадающей в поле зрения наблюдателя. Тогда исходный массив данных по айсбергам можно рассматривать как архив эпизодов фиксации местоположений айсбергов, систематизированных в хронологическом порядке и идентифицируемых по соответствующим датам. Оказалось, что исходный массив содержит 498 эпизодов наблюдений, т.е. на интервале в 41 год в окрестностях ШГКМ за 498 дней зафиксировано 2565 случаев наблюдений айсбергов. Анализ исходного массива показал, что для части эпизодов наблюдений, разделенных несколькими днями, фиксировались неоднократно одни и те же айсберги. Поэтому количество наблюдений айсбергов в массиве превышает истинное количество айсбергов в окрестности ШГКМ за период наблюдений. Однако эта проблема уже была описана выше в рамках описания соотношений между истинной и видимой айсберговой опасностью.

Временная структура зафиксированных наблюдений айсбергов в окрестности ШГКМ приведена в табл. 1. В ней для каждого календарного года наблюдений приведено:

- количество зафиксированных наблюдений айсбергов в году (А),
- количество месяцев, в которых зафиксированы эпизоды наблюдений (М), с указанием в скобках номеров этих месяцев,
- количество эпизодов (Э), определяемых датами проведения наблюдений, в ходе которых фиксировались айсберги;
- расчетная величина  $D$ , определяемая по формуле (2) и означающая среднее за данный год количество фиксаций айсбергов за один эпизод наблюдений.

Интервалы между эпизодами наблюдений составляют от 1-2 дней до нескольких месяцев. Временная структура исходного массива наблюдений позволяет рассматривать его как набор эпизодических данных по синоптической изменчивости присутствия айсбергов в окрестности ШГКМ.

Таблица 1

Временная структура айсберговой опасности в окрестностях ШГКМ за 1950–1990 гг.

Год	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	
А	11	7	5	19	21	15	32	6	9	37	
М	3 (5, 6, 9)	3 (5, 6, 7)	2 (2, 7)	5 (3, 5, 7, 8, 9)	5 (4, 5, 6, 7, 9)	3 (2, 3, 5)	6 (3, 5, 7, 8, 9, 10)	2 (3, 6)	2 (5, 8)	6 (3, 4, 6, 7, 8, 9)	
Э	3	5	3	6	7	4	11	3	2	8	
Д	4	1	2	3	3	4	3	2	4	5	
Год	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	
А	178	45	44	71	46	20	31	110	130	44	
М	6 (3, 4, 6, 7, 10, 11)	4 (3, 4, 6, 7)	6 (2, 3, 4, 5, 6, 7)	8 (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)	7 (3, 4, 5, 6, 8, 9, 10)	6 (3, 4, 5, 7, 8, 10)	7 (2, 3, 4, 5, 7, 8, 9)	8 (3–10)	9 (2–10)	6 (3, 5, 7, 8, 9, 10)	
Э	10	9	10	17	14	9	14	23	31	17	
Д	18	5	4	4	3	2	2	5	4	3	
Год	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
А	3	100	161	11	8	12	58	36	34	11	
М	2 (5, 6)	7 (2–8)	6 (2–7)	4 (3, 5, 7, 8)	3 (4, 8, 9)	3 (2, 3, 5)	7 (3–8, 10)	5 (3, 4, 6, 7, 9)	7 (2, 3, 4, 6, 7, 8, 10)	6 (2, 3, 5, 7, 8, 9)	
Э	2	24	24	7	3	6	16	10	10	7	
Д	1	4	7	1	2	2	4	4	4	2	
Год	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
А	30	31	26	9	73	63	121	50	165	560	120
М	4 (4, 6, 7, 11)	5 (1, 2, 3, 6, 8)	4 (2–5)	3 (5, 8, 11)	5 (2–6)	8 (3–8, 9, 11)	6 (2, 4, 5, 6, 7, 8)	7 (2, 4, 6, 7, 10, 11, 12)	9 (1–6, 9–11)	11 (1–6, 8–12)	7 (4–6, 9–12)
Э	6	6	6	4	11	14	16	18	19	64	19
Д	5	5	5	2	7	4	8	3	9	9	6

Из данных табл. 1 следует, что в окрестности ШГКМ в период с 1950 по 1990 г. айсберги наблюдались каждый год. Наименьшее количество фиксаций айсбергов (3 случая) пришлось на 1970 г., причем все они пришлись всего на 2 эпизода наблюдений (один в мае и один в июне). Наибольшее количество фиксаций айсбергов (560 случаев) пришлось на 1989 г., ставший также рекордным по количеству эпизодов (64) и по количеству месяцев (11), в которые фиксировались айсберги. Очевидно, что в разные годы наблюдается различная айсберговая активность, которая отражается в количестве фиксаций наблюдений айсбергов и в количестве эпизодов наблюдений.

Для совершенствования методов управления айсберговыми рисками, в том числе и при планировании системы наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ, важно иметь возможность отнесения текущего календарного года к той или иной категории по айсберговой активности в окрестности ШГКМ. В рамках настоящей работы выделены категории айсберговой активности в окрестности ШГКМ на основании кластеризации календарных лет в исходном массиве данных по айсберговой активности. Основным показателем годовой айсберго-

вой активности в окрестности ШГКМ, по мнению авторов, является количество эпизодов в году ( $\Theta$ ). Среднее за период число эпизодов в году  $\Theta_{\text{cp}}$  составило примерно 11 эпизодов в год:

$$\Theta_{\text{cp}} = 449/41 = 10,95 \approx 11. \quad (1)$$

Интервал изменчивости величины  $\Theta$ , по данным табл. 1, составил от 2 до 65, т.е. 63 единицы. В целом распределение случайной величины  $\Theta$  носит асимметричный характер с очевидным «хвостом» в сторону больших значений  $\Theta$ . Поэтому предлагается следующая градация по величине  $\Theta$  для разбивки календарных лет по айсберговой активности в окрестностях ШГКМ:

- малая айсберговая активность,  $\Theta \leq 5$ ;
- нормальная айсберговая активность,  $5 < \Theta \leq 18$ ;
- высокая айсберговая активность,  $18 < \Theta \leq 24$ ;
- аномальная айсберговая активность,  $\Theta > 24$ .

Анализ данных табл. 1 с точки зрения многолетней изменчивости айсберговой активности с учетом введенных градаций показывает: годы с высокой и аномальной айсберговой активностью смыкаются в достаточно короткие периоды по два-три года (1967–1968, 1971–1972, 1987–1989). Между периодами высокой и аномальной активности могут наблюдаться достаточно длительные периоды малой и нормальной активности (1950–1966, 1973–1986), которые существенно больше существующих нормативных периодов наблюдений за опасными природными явлениями при проектировании промышленных объектов. Таким образом, айсберговая опасность в окрестности ШГКМ проявляется в виде сильно перемежающегося случайного процесса, в котором короткие периоды высокой и аномальной активности могут перемежаться весьма продолжительными периодами малой и нормальной активности продолжительностью свыше 10 лет.

Вторым критерием разделения календарных годов с точки зрения айсберговой активности является среднее за год число фиксаций айсбергов на один эпизод наблюдений  $D$ :

$$D = A/\Theta. \quad (2)$$

По своему смыслу величина  $D$  является отражением интенсивности эпизодов и может рассматриваться в качестве меры одномоментной айсберговой опасности для МБС, определяющей характер применяемых мероприятий по управлению айсберговыми рисками. Среднее за период наблюдений 1950–1990 гг. значение этого параметра  $D_{\text{cp}}$  оказалось равным примерно 6 (округлено до целых по смыслу измеряемой величины):

$$D_{\text{cp}} = 2567/449 = 5,72, \quad (3)$$

т.е. для всего периода наблюдений 1950–1990 гг. среднее значение айсбергов в одном эпизоде наблюдений составляет примерно 6 единиц.

Из данных табл. 1 следует, что интервал изменения величины  $D$  составил от 1 до 18, т.е. 17 единиц (значения  $D$  округлены до целых по смыслу измеряемой величины). В целом распределение случайной величины  $D$  носит асимметричный характер с «хвостом» в сторону больших значений  $D$ . Для разбивки календарных лет по интенсивности эпизодов айсберговой активности в окрестностях ШГКМ авторами предлагаются следующие градации по величине  $D$ :

- малая интенсивность эпизодов,  $D < 3$ ;
- нормальная интенсивность эпизодов,  $3 \leq D < 9$ ;
- высокая интенсивность эпизодов,  $9 \leq D < 15$ ;
- аномальная интенсивность эпизодов,  $D \geq 15$ .

Для планирования наблюдений за айсбергами, как системного мероприятия по управлению айсберговыми рисками при освоении ШГКМ, величина  $D$  имеет большое значение. При этом основной интерес представляют не годы с высокими значениями  $D$  (большую группу айсбергов легче обнаружить), а годы с малой интенсивностью эпизодов. Из данных табл. 1 видно, что к таким годам относятся 11 лет из 41 за период наблюдений, что составляет около 25% от всего периода наблюдений. Высокая интенсивность эпизодов наблюдалась в 1988 и 1989 гг. ( $D = 9$ ), отнесенных ранее к категории высокой и аномально высокой айсберговой активности. Аномально высокая интенсивность эпизодов наблюдалась в 1960 г. ( $D = 18$ ), отнесенном ранее к годам нормальной айсберговой активности.

По введенным градациям величин  $\Delta$  и  $D$  выполнена табличная кластеризация календарных лет исходного массива данных наблюдений за айсбергами, отраженная в табл. 2. Из нее видно, что наибольшее количество лет в исходном массиве относится к кластеру «нормальная айсберговая активность, нормальная интенсивность эпизодов» (22 года, 53,65 % периода наблюдений). Объединенный кластер «норма и меньше нормы по величинам  $\Delta$  и  $D$ » содержит 34 года или 82,92 % периода наблюдений. Оставшиеся 7 лет можно считать аномальными, причем 6 из них связаны с аномалиями интенсивности айсберговой деятельности, и только один год – с аномалией интенсивности эпизодов.

С точки зрения управления айсберговыми рисками выполненная кластеризация позволяет оценить параметры режима «обстрела» окрестности ШГКМ группами вторгающихся айсбергов, оценить нормальный режим такого обстрела с точки зрения «количество залпов – количество поражающих элементов в залпе» в среднем за год. Аномальными оказываются года с повышенной частотой залпа (6 случаев) и очень редко с повышенным содержанием поражающих элементов в залпе (1 случай). Далее, при обсуждении пространственной структуры айсберговой опасности проявятся черты эффективности такого «айсбергового обстрела». Однако уже сейчас можно отметить, что единственное зафиксированное за период 1950–1990 гг. поражение акватории ШГКМ – самой внутренней буферной зоны – произошло в 1987 г. (10 апреля), относящееся

к кластеру «нормальная айсберговая активность, нормальная интенсивность эпизодов». Таким образом, цель была поражена при обычном режиме «обстрела» айсберговыми группами окрестности ШГКМ, являющейся самой внешней буферной зоной. При этом, как показали дополнительные исследования эпизода, залп состоял всего из пяти айсбергов, три из которых поразили еще и район ШГКМ, вторую буферную зону, помимо указанного попадания в акваторию ШГКМ. Данное обстоятельство подтверждает сделанный ранее вывод о том, что система наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ должна быть ориентирована на обнаружение редких групп из малого количества небольших по размеру айсбергов.

Таблица 2

**Кластеризация календарных лет массива данных наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ в период 1950–1990 гг.**

Параметры кластера	Малая айсберговая активность, $\Theta \leq 5$	Нормальная айсберговая активность, $5 < \Theta \leq 18$	Высокая айсберговая активность, $18 < \Theta \leq 24$	Аномальная айсберговая активность, $\Theta > 24$
Малая интенсивность эпизодов, $D < 3$	1951, 1952, 1957, 1970, 1974	1965, 1966, 1973, 1975, 1979, 1983		
Нормальная интенсивность эпизодов, $3 \leq D < 9$	1950	1953–1956, 1958, 1959, 1961–1964, 1969, 1976–1978, 1980–1982, 1984, 1985–1987	1967, 1971, 1972	1968
Высокая интенсивность эпизодов, $9 \leq D < 15$			1988	1989
Аномальная интенсивность эпизодов, $D \geq 15$		1960		

Величина  $M$  (количество месяцев в году, когда фиксируются наблюдения айсбергов) является характеристикой внутригодовой равномерности айсберговой активности. Ее интервал изменений составляет от 2 до 11 при среднем значении около 5. Анализ табл. 2 показывает, что периоды фиксации айсбергов приходятся как на летние, так и на зимние месяцы, когда значительная часть рассматриваемой буферной зоны занята дрейфующим морским льдом. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании системы наблюдений за айсбергами в окрестностях ШГКМ.

Перейдем к рассмотрению пространственной структуры айсберговой опасности в окрестности ШГКМ. Методом двойной сортировки исходный массив данных по айсбергам, зафиксированным в окрестности ШГКМ за период 1950–1990 гг., был «разнесен» по введенным в рассмотрение указанным выше способом квадратам акватории Баренцева моря. Результаты представлены в табл. 3. Число внутри квадрата соответствует количеству зафиксированных наблюдений, относящихся по координатам к данному квадрату, за весь период наблюдений. Особенностью представленных результатов является то обстоятельство, что «пограничные» квадраты С1, D1, E2, E3, F4–F5, E7–E9, D9 лишь частично

совпадают с площадью рассматриваемой буферной зоны, что необходимо учитывать при анализе полученных результатов.

Таблица 3

Распределение наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ за период 1950–1990 гг.

	1 20–25° в.д.	2 25–30° в.д.	3 30–35° в.д.	4 35–40° в.д.	5 40–45° в.д.	6 45–50° в.д.	7 50–55° в.д.	8 55–60° в.д.	9 60–65° в.д.	Сум ма
F 79–81° с.ш.				7	40	35				82
E 77–79° с.ш.		62	148	195	151	153	134	111	13	967
D 75–77° с.ш.	76	276	181	167	179	117	66	71	61	1194
C 73–75° с.ш.	9	11	39	133	53	32	14	1	Кар- ское море	292
B 71–73° с.ш.	0	0	1	21	4	1	3	Кар- ское море	Кар- ское море	30
A 69–71° с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	Кар- ское море	0
Сумма	85	349	369	523	427	338	217	183	74	2565

Из данных табл. 3 видно, что пространственное распределение наблюдений айсбергов, которое можно трактовать как отметки на мишени при «айсберговом обстреле» окрестности ШГКМ, отличается заметной неравномерностью как в широтном, так и в долготном направлении. Основная часть зафиксированных наблюдений айсбергов сосредоточена выше 75° с.ш., где отмечены 2234 зафиксированных наблюдения, что составляет около 87,4 % от общего их числа. При этом остается открытым вопрос о том, с каких позиций ведется этот обстрел. В квадрате D2 имеется заметный максимум числа наблюдений (276) по сравнению с другими квадратами. Правда, с запада и севера этот квадрат ограничен «пограничными» квадратами, что не дает возможности говорить об истинности этого локального экстремума. Возможно, что это только «отрог» истинного максимума, расположенного за линией «пограничных» квадратов. Сопоставление результатов данной работы с картой из [Abramov, 1992], на которой отражены все наблюдения айсбергов в Баренцевом море, подтверждает, что истинный максимум, связанный с зоной аккумуляции айсбергов, расположен к западу от окрестности ШГКМ и находится в области Полярного фронта.

Выявленные закономерности пространственно-временной структуры айсберговой опасности в окрестности ШГКМ являются важными для планирования системы обозрения данной буферной зоны, предназначенной для своевременного обнаружения айсбергов. Отметим, что эта система, скорее всего, будет

существенно отличаться от той, что использовалась при получении данных наблюдений за айсбергами, представленными в исследуемом исходном массиве. Предыдущая система наблюдений за айсбергами основывалась, главным образом, на проведении авиаразведывательных полетов, выполняемых силами советских государственных предприятий. Вряд ли подобная система будет возрождена в современных условиях. Следует отметить, что существующие системы наблюдений за акваториями, включая спутниковые системы, пока весьма неадекватны для обнаружения таких нерегулярных, малых групп небольших по размерам айсбергов. Дополнительную трудность вносит то обстоятельство, что большую часть года эти группы необходимо обнаруживать на фоне дрейфующих морских льдов, в условиях плохой погоды. В подобных условиях предпочтение следует отдать методам прямого радиолокационного обнаружения с морских и береговых платформ [Абрамов, 2004]. Для снижения стоимости системы обнаружения и наблюдений за айсбергами в окрестности ШГКМ она может иметь переменную пространственную эффективность. При этом она должна обладать максимальной надежностью южнее  $75^{\circ}$  с.ш., чтобы не пропустить наиболее опасные для ШГКМ айсберги.

### **Заключение**

В результате выполненных исследований выявлена пространственно-временная структура айсберговой опасности в окрестности ШГКМ. На основании анализа временной структуры айсберговой опасности в окрестности ШГКМ введено понятие айсберговой активности в рассматриваемой объектовой буферной зоне и предложены величины, характеризующие ее в числовом отношении. Введены градации величин, характеризующих айсберговую активность. Выполненная кластеризация исходного массива данных наблюдений за айсбергами, предоставленного ГУ ААНИИ, позволила установить нормальные и аномальные режимы айсберговой активности на рассматриваемой акватории.

Исследования показали, что айсберговая опасность в окрестности ШГКМ проявляется в виде сильно перемежающегося случайного процесса, в котором короткие периоды высокой и аномальной активности могут перемежаться весьма продолжительными периодами малой и нормальной активности – продолжительностью свыше 10 лет. Установлено, что примерно 83 % периода наблюдений за айсбергами с 1950 по 1990 г. в окрестности ШГКМ наблюдалась нормальная и малая айсберговая активность. При этом именно при нормальной айсберговой активности произошло единственное за период наблюдений поражение акватории ШГКМ, самой внутренней объектовой буферной зоны ШГКМ. На основании выполненных исследований пространственной структуры айсберговой опасности в окрестности ШГКМ сделан вывод о том, что большая часть айсбергов за период наблюдений (около 87 %) не проникала за  $75^{\circ}$  с.ш., т.е. не доходила до северной границы района ШГКМ, являющегося второй буферной зоной ШГКМ.

Выполненные исследования использованы для совершенствования подходов к управлению айсберговыми рисками в ходе освоения ШГКМ. В частности, подтверждена необходимость создания системы обнаружения и слежения за айсбергами в окрестности ШГКМ, под которой понимается самая внешняя буферная зона ШГКМ. На основании выполненных исследований показано, что основной задачей такой системы будет являться обнаружение редких во времени групп из малого количества айсбергов, обладающих небольшими размерами, с последующим слежением за ними. Значительная часть времени, в которое будет осуществляться обнаружение и слежение, приходится на зимние условия, когда большая часть окрестности ШГКМ покрыта морскими дрейфующими льдами. В таких условиях эффективность космических систем обнаружения и слежения вызывает серьезные сомнения. Возможно, предпочтение следует отдать методам прямого радиолокационного обнаружения айсбергов с морских и береговых платформ [Абрамов, 2004]. В работе сделан вывод о том, что система обнаружения айсбергов может иметь переменную в пространстве эффективность и должна обладать максимальной надежностью южнее  $75^{\circ}$  с.ш., чтобы не пропустить наиболее опасные для ШГКМ айсберги.

### **Литература**

1. Абрамов В.М., Бескид П.П., Лукьянов С.В., Скутин А.А. Система предупреждения столкновения айсбергов в Баренцевом море с морскими буровыми сооружениями // Материалы итоговой сессии ученого совета 27–28 янв. 2004 г. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004. Ч. 2, с. 4–7.
2. Бузин И.В. Обзор методов активной борьбы с айсберговой опасностью в применении к защите платформы на Штокмановском газоконденсатном месторождении // Тр. ААНИИ, 2004, т. 449, с. 153–171.
3. Зубакин Г.К., Бузин И.В., Скутин А.А. Оценка ледовых условий в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения // Тр. ААНИИ, 2004, т. 449, с. 124–139.
4. Карлин Л.Н., Абрамов В.М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006.
5. Ледовые образования морей западной Арктики / Под ред. Г.К. Зубакина. – СПб.: ААНИИ, 2006.
6. Наумов А.К. Распределение айсбергов в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения и оценки столкновения айсберга с платформой // Тр. ААНИИ, 2004, т. 449, с. 140–152.
7. Abramov V. Russian iceberg observations in the Barents sea, 1933-1990 // Polar research, 1992, vol. 11, № 2, p. 93–97.