

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЙОНОВ ОБРАЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ БАРЕНЦЕВОМОРСКИХ АЙСБЕРГОВ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИХ ТОЛЩЕ

Н.В.КУБЫШКИН, И.В.БУЗИН, А.А.СКУТИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

*На основании анализа литературных источников и натурных данных, полученных ААНИИ в 2003 и 2005 гг., по распределению температуры в айсбергах и айсбергопроизводящих ледниках архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новой Земли определены наиболее вероятные районы образования отдельных больших айсбергов. В частности, показано, что большой столообразный айсберг, обнаруженный в 2003 г. в районе Штокмановского ГКМ, образовался на одном из ледников Земли Франца-Иосифа (первоначально заявлялось о его новоземельском происхождении).*

Проблема безопасности планируемых к размещению на баренцевоморском шельфе гидротехнических объектов (в первую очередь – ледостойкой платформы в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения – ШГКМ) требует подробного исследования вопроса о районах образования больших айсбергов и условиях, при которых они могут спускаться из северной части моря до широты, соответствующей ШГКМ. Актуальность айсберговых исследований резко возросла после обнаружения в 2003 г. экспедицией ААНИИ в районе ШГКМ аномально большого количества айсбергов, среди которых встречались очень крупные экземпляры столообразной формы, о чем уже неоднократно сообщалось в различных докладах и публикациях [2, 10, 18, 22]. Одной из задач организации мониторинга айсбергов в районе ШГКМ является определение наиболее вероятных районов образования айсбергов, попадающих при определенных условиях на акваторию месторождения.

Сразу же после обнаружения айсберговой аномалии 2003 г. было сделано предположение о ее новоземельском происхождении. Одним из главных аргументов в пользу данного предположения было то, что наиболее близким очагом образования айсбергов к обнаруженной айсберговой популяции были ледники Новой Земли. В 2004–2006 гг. авторским коллективом было выполнено исследование этого вопроса, включающее полевые эксперименты по установке термокос на айсбергах в Баренцевом море и некоторых выводных ледниках Земли Франца-Иосифа (ЗФИ) и Новой Земли, а также изучение литературных источников по данной теме. Несмотря на то, что полевые исследования еще не завершены и сбор данных по температурному режиму ледников и айсбергов планируется продолжать, в настоящей статье представлены некоторые результаты проводимых исследований.

Источниками айсбергов, встречающихся на акватории Баренцева моря, являются арктические архипелаги Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (о. Северный), некоторые арктические острова (Ушакова и Виктория). Не исключено появление в Баренцевом море и айсбергов архипелага Северная Земля [6, 21]. Перечисленные географические объекты заметно отличаются друг от друга величиной айсбергового стока, который зависит от масштабов оледенения, протяженности морских границ ледников, скорости движения льда и др. [1, 3–5, 8, 9, 13, 16, 17, 19].

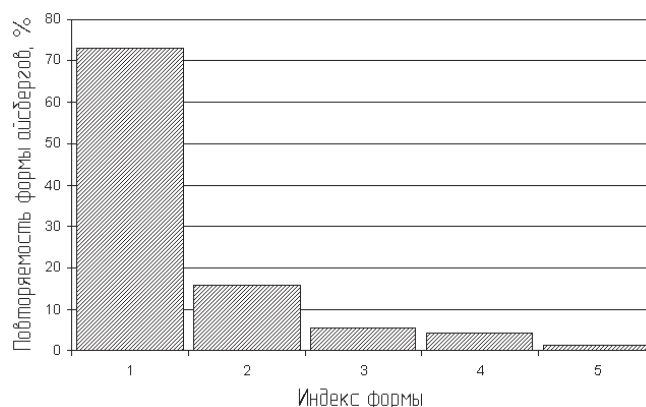


Рис. 1. Распределение повторяемости форм айсбергов в Баренцевом море по данным за 1970–1991 гг. [22]: 1 – обломки айсберга; 2 – столообразный айсберг; 3 – кусок айсберга; 4 – пирамидальный айсберг; 5 – прочие формы айсбергов

На рис. 1 представлено распределение повторяемости различных форм баренцевоморских айсбергов, построенное на основе базы данных по айсбергам Баренцева моря, содержащей в общей сложности более 20000 фиксаций за период с 1928 по 1991 г. (следует уточнить, что характеристики форм айсбергов в этой базе встречаются только начиная с 1970-х гг.). Основную часть фиксаций баренцевоморских айсбергов с определенной формой составляют ледяные обломки малых размеров: обломки и куски айсбергов (около 77 % всего объема данных). Интересно, что следующую по значимости группу составляют наиболее крупные – столообразные айсберги (около 15 %) и только 8 % фиксаций приходится на айсберги других форм: пирамидальные, наклонные, разрушающиеся и др.

Общеизвестно, что большие столообразные айсберги нередко встречаются на акваториях, прилегающих к архипелагам Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (северная часть). На рис. 2 нанесены изолинии вероятности появления айсбергов в Баренцевом море, построенные на основе всех фиксаций, содержащихся в базе, с добавлением данных экспедиций ААНИИ 2001–2005 гг. На этом же рисунке показаны фиксации столообразных айсбергов – основная их доля действительно сосредоточена в перечисленных районах, причем безусловным лидером по количеству столообразных айсбергов выглядит Земля Франца-Иосифа и прилегающие к ней районы моря. В то же время десятки единичных и групповых фиксаций столообразных айсбергов разбросаны по всей акватории Баренцева моря, где общая вероятность появления айсбергов превышает 1 %.

Крупные айсберги, имеющие массу в сотни тысяч и даже миллионы тонн, способны длительное время сохранять температуру своей внутренней части практически неизменной. На колебания температуры внешней среды реагирует только сравнительно небольшой поверхностный слой айсберга. В работе [14], на основе общих представлений о закономерностях распространения температурной волны в полубесконечной среде применительно к айсбергам и ледникам, было показано, что суточные колебания температуры поверхности проникают в толщу льда на 0,8 м, полугодовые – на 10,5 м, годовые – на 15,4 м.

Д.Дайманд [15] также сообщает о продолжительном сохранении холодного ядра в толще айсбергов вследствие низкой теплопроводности льда, на которое не оказывает заметного влияния даже ускорение процесса абляции при попадании

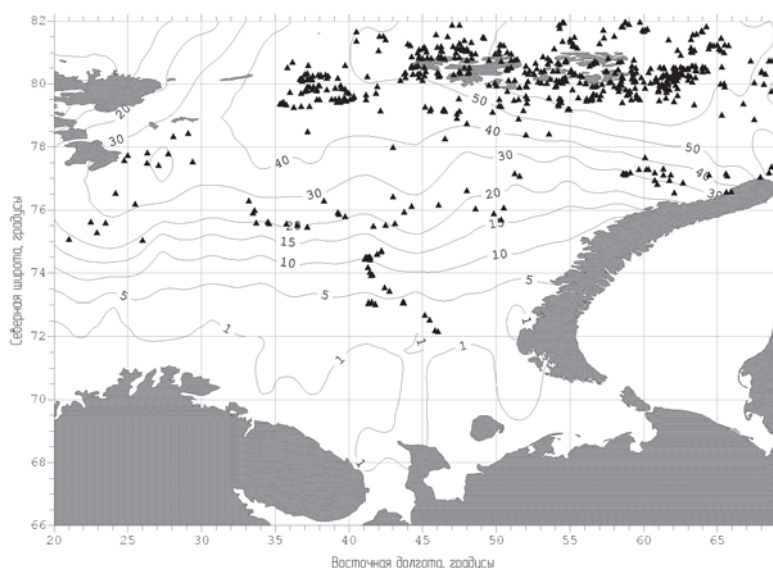


Рис. 2. Изолинии вероятности появления всех форм айсбергов в Баренцевом море. Символами отмечены фиксации столбообразных айсбергов

айсберга в более теплые воды. Автор приводит данные об измерении температуры в толще айсбергов в районе Ньюфаундленда до глубин 2–3,5 м от поверхности, значения которой составили  $-6...-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По-видимому, первым высказал идею о возможности определения района образования больших столбообразных айсбергов по температуре в их толще С.Лосет [20]. В этой работе приводятся несколько температурных профилей в айсбергах, обнаруженных недалеко от Шпицбергена в 1988–1990 гг. Температура измерялась от дневной поверхности до горизонтов 5 м (1988 г.), 6–11 м (1989 г.) и 14 м (1990 г.). Автор рассмотрел один из этих айсбергов, предположив, что он образовался в районе ЗФИ, численно смоделировал его дрейф от ЗФИ к Шпицбергену и рассчитал эволюцию температуры во всей его толще, используя метеоданные станции о. Надежды. С.Лосет обосновал свое предположение о ЗФИ как о месте образования рассматриваемого им айсберга, приведя температурные профили, полученные в разное время на ледниковых куполах Чурляниса (ЗФИ) и Аустфонна (восточный Шпицберген). На первом из них температура на глубине 10 м от дневной поверхности составляла около  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и практически не испытывала сезонных изменений. На втором температура льда на том же горизонте была около  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это послужило основным аргументом в пользу того, чтобы принять гипотезу об образовании всех исследованных айсбергов на ледниках ЗФИ (на всех айсбергах температура льда на нижних горизонтах измерений находилась в пределах  $-7...-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Для практического использования метода определения района образования айсбергов по температуре в их толще необходимы реперные оценки температуры в толще айсбергопродуцирующих ледников. В гляциологической литературе можно найти немало сведений о температурных профилях в толще ледников Шпицбергена, ЗФИ, Новой Земли, Северной Земли, однако большая их часть получена в скважинах, расположенных в центральных (привершинных) частях ледников с большими абсолютными высотами, в области аккумуляции [7]. Однако температурный режим этой части ледников заметно отличается от температурного режима

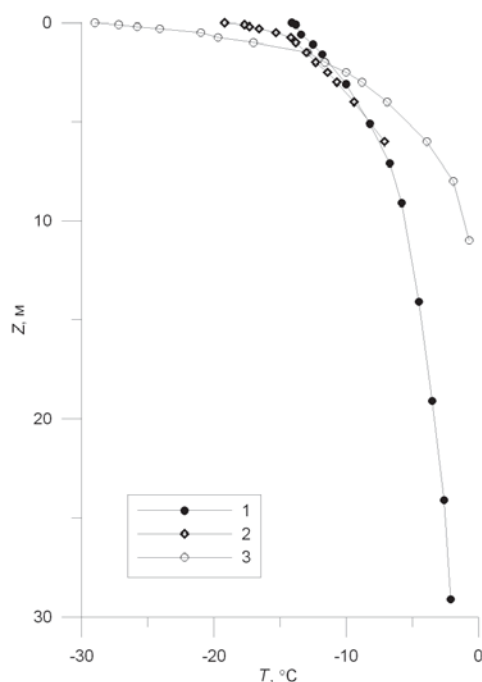


Рис. 3. Профили температуры на о. Северном Новой Земли, в районе Русской Гавани [12]: 1 – стационарная станция Барьер Сомнений, зона абляции, абсолютная высота 290 м, 16.04.1959 ( $T_{\text{воздуха}} = -18,1^{\circ}\text{C}$ , толщина снега 74 см); 2 – маршрутное термозондирование, зона абляции, абсолютная высота 170 м, 16.04.1959 ( $T_{\text{воздуха}} = -18,7^{\circ}\text{C}$ , толщина снега 45 см); 3 – маршрутное термозондирование, зона аккумуляции, абсолютная высота – 795 м, 01.04.1959 ( $T_{\text{воздуха}} = -18,5^{\circ}\text{C}$ , толщина снега 115 см)

области абляции, к которой относятся прифронтовые участки выводных ледников, где и происходит отел. В качестве примера на рис. 3 представлены три температурных профиля, полученных в апреле 1959 г. гляциологической экспедицией Института географии Академии наук СССР (ИГ АН СССР) в районе Русской Гавани (архипелаг Новая Земля). Кривые 1 и 2 отражают результаты измерений температуры в области абляции на леднике Шокальского. Первая из них получена на расстоянии 6–7 км от фронта ледника, вторая – всего в 300 м от фронта. Обе кривые достаточно близки друг к другу, особенно на горизонтах ниже 5-метровой отметки. Скважина, на которой был получен профиль 3, располагалась на станции Ледораздельная, в области аккумуляции, на абсолютной высоте 795 м. Кривая 3 заметно отличается от двух первых профилей как в поверхностном слое (в сторону более низких температур), так и в глубинных слоях (наоборот, в сторону повышения температуры). Приведенные различия температурных профилей в областях аккумуляции и абляции показывают, что надо быть очень осторожным в выборе реперных профилей температуры арктических ледников для задачи определения района образования айсберга. Идеальными для этой задачи являлись бы измерения температуры в районе фронта ледника. При отсутствии таких измерений можно использовать данные, полученные на некотором удалении от фронта, причем крайне желательно, чтобы скважины, в которых измерены температурные профили, располагались бы если и не на одной абсолютной высоте с фронтом ледника, то хотя бы находились в области абляции.

Наиболее подходящие данные по температуре ледников, удовлетворяющие этому требованию, представлены в материалах гляциологических экспедиций ИГ АН СССР,

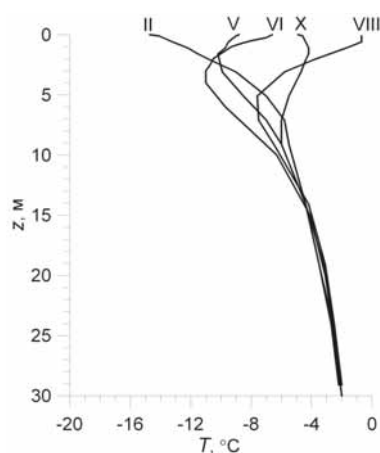


Рис. 4. Среднемесячные вертикальные профили температуры на леднике Шокальского, Новая Земля (1957–1959 гг.)

работавших в 1957–1959 гг. на ЗФИ и Новой Земле по программе Международного геофизического года. Это данные измерений температуры на леднике Седова, о. Гукера Земли Франца-Иосифа [11] и на станции Барьер Сомнений на леднике Шокальского, Новая Земля [12]. На рис. 4 и 5 приведены среднемесячные профили температуры льда для наиболее показательных месяцев для обоих ледников. Сезонные колебания температуры в обоих случаях полностью затухают на глубине 15 м, что хорошо согласуется с приведенными выше оценками Чиковского. При этом на 15-метровом горизонте различие в значениях температуры ледников Седова и Шокальского проявляются достаточно четко и составляют около 4 °С.

К сожалению, авторы не располагают данными по измерениям температуры льда в районах ледниковых фронтов Шпицбергена, Северной Земли, а также о-вов Ушакова и Виктория. В то же время, в силу изложенных выше причин, мы

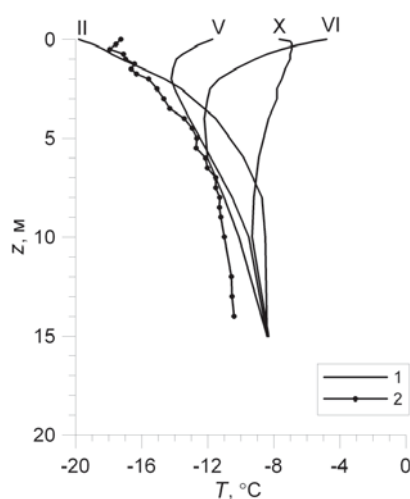


Рис. 5. Вертикальные профили температуры на ледниках ЗФИ: 1 – среднемесячные, ледник Седова (1957–1959 гг.); 2 – измеренный на леднике о. Сальм (18.04.2005)

Таблица 1

Станция	Температура воздуха, °С	Период наблюдений
Баренцбург	–5,80	1912–2003
о. Надежды	–5,76	1946–2003
Мыс Желания	–9,80	1932–1996
Русская Гавань	–7,60	1932–1995
Тихая-Хейса (объединенный ряд)	–12,89	1930–1993

намеренно отказались от использования имеющихся данных по температуре ледниковых куполов как Шпицбергена, так и Северной Земли. По предварительным соображениям, сделанным на основе среднесезонных данных по температурам воздуха на некоторых полярных станциях Баренцева моря (табл. 1), наиболее холодными должны быть айсберги, образовавшиеся на ЗФИ, затем айсберги Новой Земли и, наконец, самыми «теплыми» могут быть айсберги Шпицбергена.

Помимо различий, обусловленных принадлежностью к той или иной группе арктических островов, могут заметно отличаться друг от друга по температуре и отдельные ледники, принадлежащие одному и тому же архипелагу. В апреле 2005 г. экспедиция ААНИИ на научном судне «Михаил Сомов» выполнила измерения температуры на леднике о. Сальм Земли Франца-Иосифа при помощи 16-метровой термокосу в точке, расположенной вблизи фронта ледника. Полученный температурный профиль представлен на рис. 5 вместе с результатами измерений на леднике Седова. Заметных различий по температуре следует ожидать у ледников о. Северный Новой Земли, имеющего большую меридиональную протяженность, однако мы не располагаем какими-либо данными, позволяющими оценить эти различия.

В настоящее время мы располагаем данными по глубоким (более 6 м) профилям температуры 8 больших айсбергов, обнаруженных в разное время в различных районах Баренцева моря. Температурные профили 4 айсбергов, обнаруженных в 1989–1990 гг. к востоку и юго-востоку от Шпицбергена, представлены в работе [20]; в 2003 г. была установлена термокоса на столообразном айсберге, обнаруженном в районе Штокмановского ГКМ [18]; наконец, в 2005 г. экспедицией ААНИИ было установлено термокосу на трех айсбергах: 1 – в районе ЗФИ и 2 – у берегов Новой Земли. Все 8 профилей приведены на рис. 6. Так случилось, что все измерения, проводившиеся разными экспедициями в разных районах моря и в разные годы, были выполнены в апреле – первой декаде мая. Тем не менее различия в температуре воздуха как в момент измерений, так и в предшествующие им периоды обусловили значительный разброс значений температуры поверхности айсбергов и всего поверхностного слоя толщиной 4–6 м.

Начиная от горизонта 6 м и ниже прослеживается разделение температурных профилей на 3 группы. Наиболее «теплую» группу представляют два айсберга, обнаруженные в 2005 г. у о. Северный Новой Земли (кривые 1 и 2). Один из этих айсбергов был обнаружен в заливе Иностранцева, второй – в 54 милях к западу от него и в 22 милях к ССЗ от Русской Гавани. На наш взгляд, уже это является достаточным основанием считать местом их образования ледники из цепочки выводных ледников, вытянувшейся вдоль северной части западного берега о. Северный: от ледника Шокальского до ледника Петерсена. Значения температуры льда в самых нижних точках профилей (на глубине 13–14 м) новоземельских айсбергов находились в пределах –1...–2 °С. Это на 2–3° выше температуры на такой же глубине от дневной поверхности ледника Шокальского по приведенным выше данным полувекковой давности.

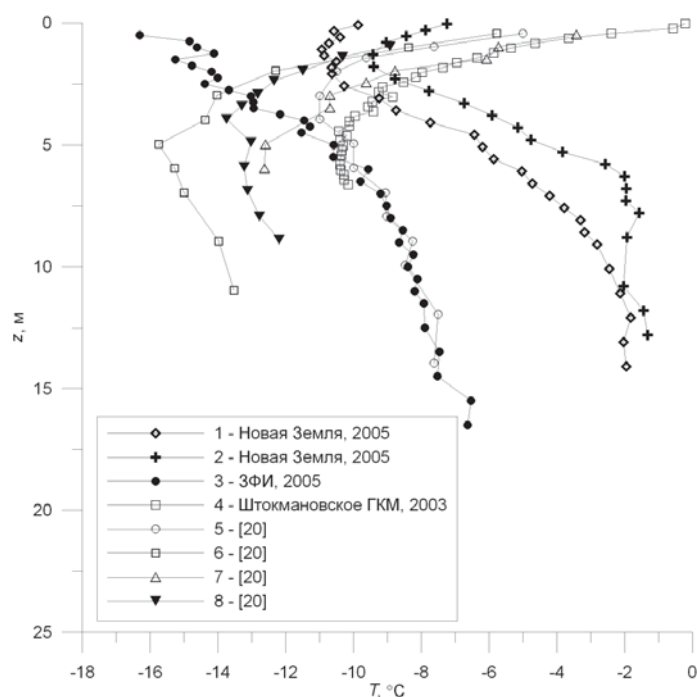


Рис. 6. Вертикальные профили температуры в больших столообразных айсбергах в Баренцевом море (пояснения в тексте)

Вторая группа температурных профилей на рис. 6 относится к айсбергам, которые на момент их обнаружения находились настолько далеко друг от друга, что расстояния между ними сопоставимы с горизонтальными размерами Баренцева моря. Профиль 3 получен на айсберге вблизи о. Сальм (ЗФИ) в 2005 г., профиль 4 – на айсберге в районе Штокмановского ГКМ, профиль 5 взят из работы [20] и относится к айсбергу, обнаруженному в 1990 г. к востоку от Шпицбергена. Значения температуры на горизонтах 14–15 м на профилях 3 и 5 составляют около  $-8^{\circ}\text{C}$ , что очень близко к данным, полученным на леднике Седова, и на 3 градуса выше, чем на леднике о. Сальм. Нижняя точка измерения температуры на профиле 4 располагалась на глубине всего 6,4 м. Однако по значению двух параметров – температуры и температурного градиента на этом горизонте – можно отнести этот профиль к той же группе, в которую вошли кривые 3 и 5. С нашей точки зрения, вторую группу айсбергов по происхождению можно достаточно уверенно отнести к айсбергам ЗФИ.

Третья – наиболее холодная – группа температурных профилей (кривые 6–8) относится к айсбергам, обнаруженным недалеко от Шпицбергена в 1989 г. Значения температуры в нижних точках этих профилей (на 6–11 м) находятся в пределах  $-12\text{...}-14^{\circ}\text{C}$ . Близость этих айсбергов к Шпицбергену (причем сразу трех одновременно) дает основание предположить об их происхождении на этом архипелаге. Однако, как уже упоминалось, Лосет [20] предположил, что рассматриваемые айсберги образовались на ЗФИ, хотя и признал, что надежных подтверждений этому нет. Из всех имеющихся в нашем распоряжении измерений температуры на ледниках самым близким к профилям 6–8 является температурный профиль, полученный в 2005 г. на о. Сальм. Значения температуры в слое 6–11 м на этом леднике составили  $-10,5\text{...}-12,7^{\circ}\text{C}$ .



Результаты сравнения имеющихся в нашем распоряжении температурных профилей нескольких айсбергов и ледников дают основания предположить, что большая часть из рассмотренных здесь айсбергов образовались на ледниках ЗФИ (исключая два новоземельских айсберга, обследованных в 2005 г.). Причем о происхождении на ЗФИ трех из них, разбросанных по всей акватории Баренцева моря (районы ЗФИ – 2005 г.; Шпицбергена – 1990 г. и Штокмановского ГКМ – 2003 г.), можно говорить с большой долей уверенности. Предположение о происхождении на ЗФИ трех айсбергов, обнаруженных в 1989 г., на наш взгляд, требует дополнительных исследований.

В принципе, основываясь на весьма небольшом объеме информации по температурам айсбергов и выводных ледников, уже сейчас можно с некоторой долей вероятности определять район образования айсбергов. Для более надежных оценок необходимо расширять объем данных по температуре айсбергов и айсберго-продуцирующих ледников. В настоящее время это является одной из задач, над которой работает группа авторов.

Интересные результаты может принести совместное использование термокос и дрейфующих буйев для исследования преобладающих направлений распространения айсбергов в Баренцевом море. Установленный на айсберге буй позволяет определить траекторию и характеристики дрейфа, однако не может определить историю айсберга до момента его обнаружения. Ответ на этот вопрос может дать измеренный при помощи термокосы температурный профиль. Особенно это актуально для исследования айсбергов, обнаруженных в районах, перспективных с точки зрения хозяйственного освоения, как это было при обнаружении айсбергов на акватории Штокмановского ГКМ в 2003 г. В этом случае вопрос, откуда пришел этот айсберг, становится, возможно, даже более важным, чем куда и с какой скоростью он направится дальше.

*Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 05-05-64732 и № 07-05-97622. Установка термокос на айсбергах и ледниках в 2003, 2005 году проводилась в экспедициях ААНИИ по проектам комплексных ледовых исследований в целях освоения Штокмановского ГКМ по заказу ЗАО «Севморнефтегаз» и ряда других нефтегазодобывающих компаний.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Арктики. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1985. 204 с.
2. Бузин И.В. Мониторинг льдов и айсбергов в приложении к задачам освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 172–179.
3. Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я. Евразийская Арктика // Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. М.: Наука, 2006. С. 97–114.
4. Говоруха Л.С. Современное наземное оледенение Советской Арктики. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 256 с.
5. Гросвальд М.Г. и др. Оледенение Земли Франца-Иосифа. М.: Наука, 1973. 350 с.
6. Корякин В.С. Ледники Арктики. М.: Наука, 1988. 160 с.
7. Котляков В.М., Архипов С.М., Хендерсон К.А., Нагорнов О.В. Глубокое бурение ледников Евразийской Арктики как источник данных о палеоклимате // Мат-лы гляциол. исслед. 2004. № 96. С. 3–24.
8. Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 288 с.
9. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 638 с.



10. Наумов А.К., Зубакин Г.К., Гудошников Ю.П., Бузин И.В., Скутин А.А. Льды и айсберги в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения // Тр. РАО-03. 2003. С. 337–342.
11. Разумейко Н.Г. Температура снега и льда. Стационарные наблюдения на леднике Седова. Маршрутное термозондирование льда на куполах Чурляниса и Джэксона и леднике Седова // Мат-лы гляциол. исслед. Земля Франца-Иосифа. 1963. Вып. 2. 118 с.
12. Хмелевской И.Ф. Температура снега, фирна и льда. Стационарные наблюдения на станции Барьер Сомнений и маршрутные исследования // Мат-лы гляциол. исслед. Новая Земля. 1963. Вып. 2. 92 с.
13. Чижов О.П. и др. Оледенение Новой Земли. М.: Наука, 1968. 340 с.
14. Чиковский С.С. О термическом влиянии материкового льда на переохлаждение морских вод // Проблемы Арктики и Антарктики. 1970. Вып. 33. С. 57–66.
15. Diemand D. Iceberg temperatures in the North Atlantic – theoretical and measured // Cold Regions Science and Technology. 1984. № 9. P. 171–178.
16. Dowdeswell J.A., Bassford R.P., Gorman M.R., Williams M., Glazovsky A.F., Macheret Yu.Ya., Shepherd A.P., Vasilenko Ye.V., Savatyugin L.M., Hubberten H.-W., Miller H. Form and flow of the Academy of Sciences Ice Cap, Severnaya Zemlya, Russian High Arctic // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107. № B4. 10.1029/2000JB000129.
17. Hagen J.O., Kohler J., Melvold K., Winther J.-G. Glaciers in Svalbard: mass balance, runoff and freshwater flux // Polar Research. 2003. Vol. 22(2). P. 145–159.
18. Kubyshkin N.V. Field research of structure, temperature and density of iceberg ice in the Barents Sea // Proc.18<sup>th</sup> Int. Conf. on Port and Ocean Eng. Under Arctic Conditions (POAC'05). 2005. Vol. 2. P. 531–541.
19. Kubyshkin N.V., Buzin I.V., Glazovsky A.F., Skutin A.A. Determination of the area of generation of big icebergs in the Barents Sea – temperature distribution analysis // Proc.16<sup>th</sup> Int. Offshore and Polar Eng. Conf. (ISOPE-2006). 2006. Vol. I. P. 634–638.
20. Løset S. Thermal Energy Conservation in Icebergs and Tracking by Temperature // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. № C6. P. 10001–10012.
21. Sanford K.S. Tabular Icebergs Between Spitsbergen and Franz-Josef Land // Geographical Journal. 1955. Vol. 121. P. 164–170.
22. Zubakin G.K., Naumov A.K., Skutina Ye.A. Icebergs of the Western Sector of the Russian Arctic // Proc.18<sup>th</sup> Int. Conf. on Port and Ocean Eng. Under Arctic Conditions (POAC'05). 2005. Vol. 2. P. 565–574.

*N.V.KUBYSHKIN, I.V.BUZIN, A.A.SKUTIN*

#### **ON DETERMINATION OF FORMATION AREA OF THE BIG ICEBERGS IN THE BARENTS SEA – TEMPERATURE DISTRIBUTION ANALYSIS**

*On the basis of analysis of published materials and field data on temperature distribution in icebergs and iceberg-producing glaciers of Franz-Josef Land and Novaya Zemlya obtained by AARI in 2003, 2005, the most possible areas of formation of some large iceberg are determined. In particular, the conclusion that the big tabular iceberg, found at the Shtokman gas-condensate field in 2003 was most likely formed at one of the outlet glaciers of Franz-Josef Land is made. Earlier, the glaciers of Novaya Zemlya were pointed out as the source of this iceberg.*