

**В.И.БЕССОНОВ, С.В.ФРОЛОВ**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт*

### **ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ В 2004–2005 ГГ.**

*В работе обобщается опыт поиска ледяных полей для организации дрейфующих станций СП-33 и СП-34 в 2004–2005 гг. с использованием спутниковой информации. Сформулирована технологическая схема поиска и мониторинга ледяных полей, представлено ее описание. Вследствие трудности однозначной оценки характеристик выбранных объектов в период максимальной разрушенности ледяного покрова в высоких широтах (август–сентябрь) сделан вывод о необходимости проведения серии подспутниковых экспериментов, производственной базой которых могут служить дрейфующие станции СП, для совершенствования методов интерпретации (дешифровки) спутниковой информации.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Современное развитие техники дистанционного зондирования позволяет широко использовать для изучения природной среды, в том числе ледяного покрова морей, большой комплекс разнообразных приборов. Из этого комплекса наиболее важным и достаточно широко используемым средством дистанционного зондирования являются радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО), установленные на борту искусственных спутников Земли (ИСЗ) и позволяющие определять характеристики ледяного покрова независимо от освещенности поверхности Земли и практически при любых метеорологических условиях.

Достоинства спутниковых радиолокационных наблюдений за ледяным покровом позволяют решать при организации дрейфующих станций в Арктическом бассейне ряд наиболее важных вопросов. К таким вопросам относятся: выбор достаточно по размерам, близкого к округлой форме, как признак наиболее устойчивого к разломам в будущем, и наиболее толстого ледяного поля для безопасного пребывания на нем людей в строго определенном районе Северного Ледовитого океана. В сентябре–октябре 1988 г. при организации последней в истории советских исследований в Арктике дрейфующей станции СП-31, впервые были успешно использованы данные радиолокационных наблюдений с советского ИСЗ «Океан». Ледяное поле, на котором была открыта эта станция, имело размеры в поперечнике более 5 км, толщину льда более 6 м и находилось к северо-востоку от о. Врангеля.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ПОИСКЕ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ СП-33 В 2004 Г.**

В начале 2004 г. после решения вопроса об организации очередной дрейфующей станции СП-33 встала необходимость поиска подходящего для нее ледяного поля. Район поиска ледяных полей, потенциально возможных для организации дрейфующей станции, был определен расчетным методом таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

- станция будет организована в первую декаду сентября 2004 г.;
- дрейф станции должен продолжаться около 2 лет;
- в апреле 2005 г. станция должна находиться в приполюсном районе;
- станция не должна попасть в антициклональный дрейф льдов;
- в августе 2006 г. станция должна находиться на подходе к проливу Фрама.

По результатам расчетов, проведенных в ААНИИ и основанных на учете климатических данных по дрейфу льда, составлены следующие рекомендации:

- высадку станции целесообразно произвести в районе, расположенном вблизи точки с координатами 83° с.ш., 151° в.д.;
- для поиска льдины на предварительном этапе необходим мониторинг ледяного покрова в районе, ограниченном 77° и 82° с.ш., 155° и 180° в.д.

Расчеты были основаны на учете результирующих скоростей дрейфа льда за годовые, полугодовые и трехмесячные периоды. Скорости дрейфа льда получены по данным отечественных и зарубежных дрейфующих станций, а также автоматических буев, включая данные дрейфа буев за последние годы (1998–2002 гг.).

В ААНИИ было принято решение использовать положительный предыдущий опыт использования спутниковых радиолокационных наблюдений. В настоящее время Россия не имеет на орбите Земли спутника с РЛС БО на борту, который мог бы помочь в решении поставленной задачи. Подобные ИСЗ имеет Канада, которая использует спутник RADARSAT-1 только в коммерческих целях, и Европейское Космическое Агентство (ESA), использующее космический аппарат ENVISAT для проведения научных исследований.

В настоящее время в Интернете на сайте Danish Technical Institute, Danish Centre Remote Sensing помещаются оперативные, практически в реальном времени, изображения с ИСЗ ENVISAT, покрывающие значительные площади Арктического бассейна с разрешением 1 км. На подготовительном этапе экспедиции по этим данным в ААНИИ строились монтажи радиолокационных изображений, проводился их анализ. Анализ этих данных показал, что в районе поиска наблюдалось преобладание однолетних льдов, которые после летнего таяния будут иметь толщину, не превышающую 1–1,5 м, что являлось крайне нежелательным обстоятельством для безопасной работы станции в будущем. Несмотря на это, в однолетних льдах удалось выявить 6 достаточных по размерам ледяных полей, которые по округлым краям и сильной яркости изображения опознавались как поля старого льда с толщиной не менее 2,5–3,0 м и могли стать ледяной платформой для организации на одном из них дрейфующей станции.

Начиная с 12 мая по выбранному району из норвежского Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена в ААНИИ стали поступать первые изображения с ИСЗ ENVISAT с разрешением от 75 до 300 м. Всего в ААНИИ поступило тринадцать таких изображений. До середины июня наблюдался вполне достаточный контраст между однолетними и старыми льдами, который позволял уверенно опознавать зоны льда с различными возрастными характеристиками и характерные ледовые объекты, по перемещениям которых определялись скорость и направление дрейфа льда. С конца июня – начала июля, вследствие интенсивного таяния и образования на поверхности морского льда большого числа озерков, участков или целых полей затопленного льда, различие между однолетними и старыми льдами полностью исчезло. Тон и характер изображения этих льдов стали совершенно одинаковыми, и различить их оказалось невозможным.

С учетом недостаточной надежности данных с ИСЗ ENVISAT, которая могла вызвать серьезные затруднения при поиске ледяных полей непосредственно с борта судна, в ААНИИ было принято решение заказать по району поиска полей две радиолокационные съемки с ИСЗ RADARSAT-1. Данные с ИСЗ RADARSAT-1

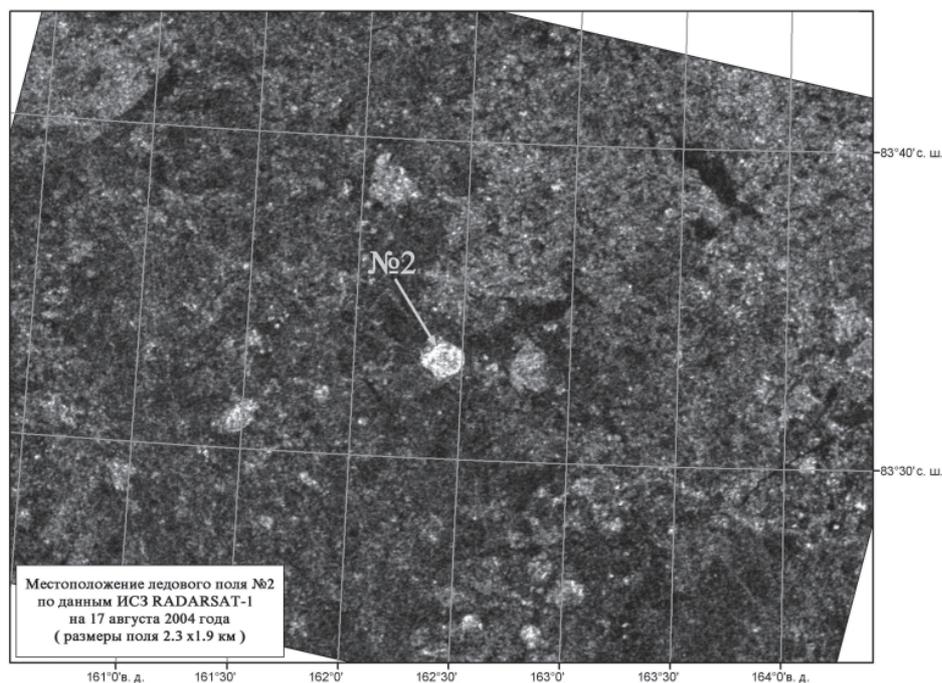


Рис. 1. Радиолокационное изображение морских льдов ИСЗ RADARSAT-1 в районе ледового поля № 2, полученное 17 августа 2004 г.

отличались большей надежностью по привязке их на местности и могли быть получены непосредственно на борту судна в течение суток. Последнее обстоятельство было крайне важным, так как вероятность того, что в течение этого промежутка времени подобранные ледяные поля не смогут сдрейфовать на значительные расстояния, считалась высокой. Первая радиолокационная съемка района поиска ледяных полей с ИСЗ RADARSAT-1 была осуществлена 17 августа (рис. 1). Четыре поля из шести ранее выбранных были уверенно опознаны, определены координаты их местоположения после более чем 1,5-месячного отсутствия какой-либо детальной информации по району поиска. Координаты остальных двух полей были получены косвенным путем. В результате анализа предыдущих радиолокационных съемок и съемки, проведенной 17 августа, на последнем изображении в районе поиска удалось дополнительно выбрать и определить координаты еще шести полей, одно из которых имело достаточно большие размеры (8×5 км).

Вторая радиолокационная съемка с ИСЗ RADARSAT-1 29 августа была выполнена со сбоями. На следующий день, вследствие невозможности передачи по каналу связи изображения полного высокого разрешения, фрагменты этой съемки с низким разрешением поступили на борт судна, прибывшего в предполагаемый район поиска ледяных полей. Крайне затруднительная интерпретация этого изображения позволила уверенно опознать лишь четыре поля из дополнительных шести полей, определенных на изображении за 17 августа.

Анализ дрейфа опознанных полей показал, что за период с 17 по 29 августа поля сдрейфовали в восточном направлении на расстояние в 63 км. Величина этого дрейфа была сопоставима с результирующим дрейфом полей в этом районе за два предыдущих месяца. Используя полное изображение с высоким разрешением, по-

Таблица 1

**Положение и размеры ледяных полей, выбранных для организации дрейфующей станции СП-33 по данным от 29 августа 2004 г.**

№ ледового поля	Место анализа данных	Координаты ледового поля		Размеры поля, км	Примечание
		Широта	Долгота		
1	НЭС «Ак. Федоров»	—	—	2,9×2,7	Поле потеряно, но можно дать предположительные координаты
	ААНИИ	—	—		
2	НЭС «Ак. Федоров»	83° 38' с.ш.	167° 03' в.д.	2,3×1,9	Поле опознано неуверенно
	ААНИИ	83° 39' с.ш.	167° 05' в.д.		
3	НЭС «Ак. Федоров»	82° 26' с.ш.	166° 51' в.д.	1,7×1,5	Поле не опознано, координаты даны предположительные
	ААНИИ	82° 25' с.ш.	167° 01' в.д.		
4	НЭС «Ак. Федоров»	82° 10' с.ш.	165° 59' в.д.	1,5×0,5	Поле не опознано, координаты даны предположительные
	ААНИИ	82° 01' с.ш.	166° 15' в.д.		
5	НЭС «Ак. Федоров»	81° 55' с.ш.	163° 02' в.д.	2,0×1,7	Поле не опознано, координаты даны предположительные
	ААНИИ	81° 54' с.ш.	162° 47' в.д.		
		81° 54' с.ш.	162° 17' в.д.		
6	НЭС «Ак. Федоров»	—	—	2,9×1,0	Поле потеряно, но можно дать предположительные координаты
	ААНИИ	—	—		
Новые поля					
7	НЭС «Ак. Федоров»	81° 59' с.ш.	161° 50' в.д.	2,7×1,5	Поле не опознано, координаты даны предположительные
	ААНИИ	81° 58' с.ш.	161° 28' в.д.		
		81° 51' с.ш.	161° 10' в.д.		
8	НЭС «Ак. Федоров»	81° 59' с.ш.	161° 50' в.д.	2,9×1,7	Поле не опознано, координаты даны предположительные
	ААНИИ	81° 58' с.ш.	161° 28' в.д.		
		81° 52' с.ш.	161° 56' в.д.		
9	НЭС «Ак. Федоров»	82° 25' с.ш.	172° 08' в.д.	1,6×1,2	Поле опознано уверенно
	ААНИИ	82° 26' с.ш.	172° 16' в.д.		
10	НЭС «Ак. Федоров»	82° 25' с.ш.	172° 08' в.д.	1,3×1,0	Поле опознано уверенно
	ААНИИ	82° 26' с.ш.	172° 16' в.д.		
11	НЭС «Ак. Федоров»	82° 30' с.ш.	173° 47' в.д.	1,4×1,3	Поле опознано уверенно
	ААНИИ	82° 30' с.ш.	173° 45' в.д.		
12	НЭС «Ак. Федоров»	82° 19' с.ш.	175° 45' в.д.	8,0×5,0	Поле опознано уверенно
	ААНИИ	82° 20' с.ш.	175° 47' в.д.		

лученное 29 августа с ИСЗ RADARSAT-1, в ААНИИ были опознаны десять ранее выбранных полей, координаты которых были оперативно переданы на борт судна. Сравнение этих данных с координатами полей, определенных на борту судна в результате интерпретации обрывочных, с низким разрешением, данных радиолокационной съемки, показало практически полную их идентичность (табл. 1).

**АВИАЦИОННАЯ ЛЕДОВАЯ РАЗВЕДКА ДЛЯ ПОИСКА ЛЕДЯНОГО ПОЛЯ СП-33**

Авиационная ледовая разведка с борта вертолета по поиску выбранных ледяных полей началась 30 августа, с приходом судна в район работ. Ледовая разведка осуществлялась при крайне ограниченной видимости, не превышающей 2–4 км и низкой высоте облачности в 50–100 м. Поиск начался с поля № 3 и не дал положительного результата.

На борту судна было принято решение продолжить поиски, начав с самого большого по размерам поля № 12. Несмотря на сложные метеорологические условия, во время второго полета удалось обнаружить это поле. Толщина поля оказалась равной 1,8 м, что явно недостаточно для безопасной жизни и работы людей на нем. Фактические координаты положения поля показали, что оно оказалось заметно восточнее положения, определенного на основании анализа последнего радиолокационного изображения. Это говорило либо о возможном сильном дрейфе льда за последние сутки, либо о неточных координатах углов радиолокационной сцены, полученных в Канаде при обработке изображения (иначе точности привязки сцены к местности), либо об этих причинах вместе. Косвенным путем



Рис. 2. Сводная карта ледовой обстановки в районе поиска ледяных полей по данным ледовых разведок № 4–8 от 1–3 сентября 2004 г.

можно было предположить, что и остальные выбранные поля оказались заметно восточнее предполагаемых точек положений. Данное обстоятельство могло привести к тому, что выбранные поля могли попасть в будущем в антициклональный дрейф льдов, что не входило в намеченный план работы дрейфующей станции. Крайняя ограниченность экспедиции по времени и сложные метеорологические условия заставили начать поиски подходящих ледяных полей в северных направлениях от положения судна.

3 сентября осмотрен район от 84° 40' с.ш. до 86° 10' с.ш. между меридианами 140° 00'–155° 00' в.д. (рис. 2). В осмотренном районе было отмечено преобладание полей сморози двухлетнего льда с толстым (5–6 баллов). Произведено шесть посадок и замеров толщины льда, которая составила 1,35–1,95 м. Отмечена перспективность поиска льдины для СП в северо-западном секторе от точки 84° 40' с.ш., 155° 00' в.д. В тот же день, при выполнении ледовой разведки № 8 в точке 85° 07' с.ш., 155° 05' в.д. было зафиксировано обширное поле сморози обломков двухлетнего льда размером 3,5×4,2 км. Замеренные толщины льда на ровных участках составили от 1,9 до 4,0 м. По единодушному мнению гидрологов, начальника СП-33 А.А.Висневского и начальника экспедиции И.Е.Фролова, эта льдина своей формой и толщиной являлась наиболее перспективной для организации станции СП-33, по сравнению со всеми ранее осмотренными ледяными полями. Караван последовал к выбранной льдине, на которой и была организована СП-33.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ПОИСКЕ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ СП-34 В 2005 Г.

Анализ информации ИСЗ ENVISAT в апреле–мае 2005 г. показал, что к северо-востоку от Новосибирских островов, севернее 80 параллели наблюдается язык преобладания старых льдов. На основе этой информации было принято решение провести с высоким разрешением (100 м) рекогносцировочную радиолокационную съемку района с ИСЗ RADARSAT-1, которая могла позволить определить перспективные ледяные поля, пригодные для организации новой дрейфующей станции.

Первая радиолокационная съемка района поиска ледяных полей с ИСЗ RADARSAT-1 была осуществлена 10 августа. Анализ этого снимка показал, что в

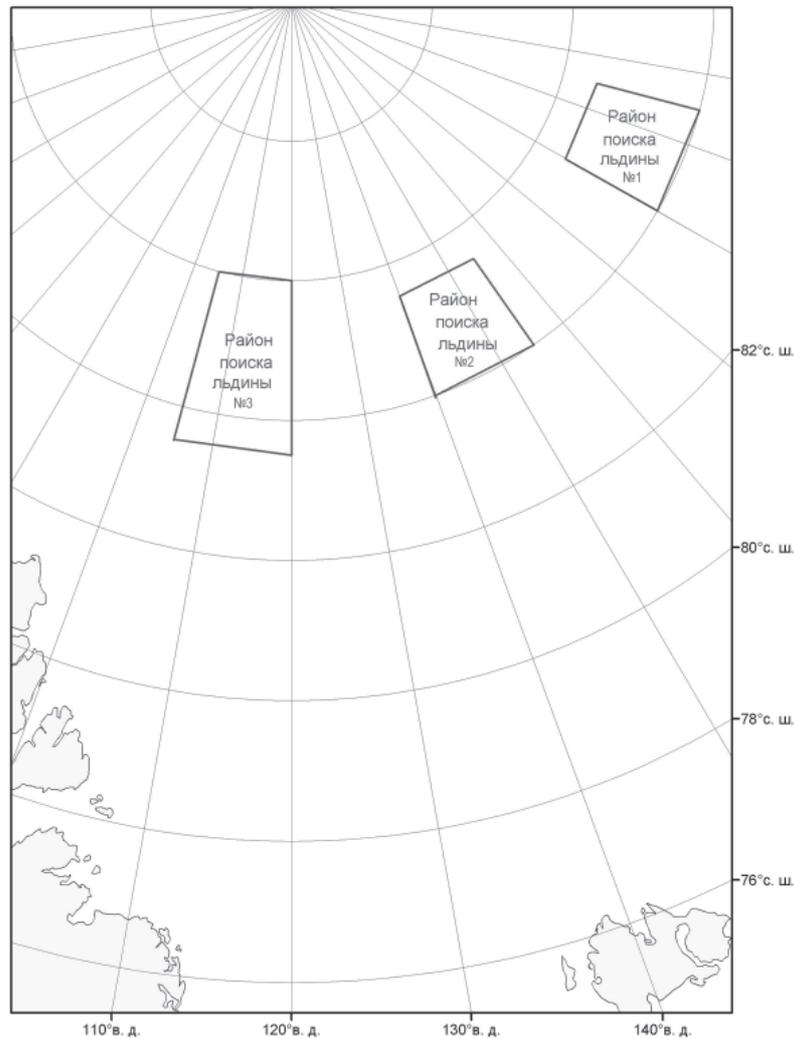


Рис. 3. Районы поиска ледяных полей для дрейфующей станции СП-34

районе радиолокационной съемки отсутствуют ледяные поля, на которых возможна организация дрейфующей станции. Плавание НЭС «Академик Федоров» вблизи указанного района в конце августа показало преобладание однолетних льдов в районе и трудности в поиске ледяных полей достаточной толщины.

После завершения работ по закрытию дрейфующей станции СП-33 было принято решение по определению нескольких возможных районов поиска ледяных полей. Анализ положения кромки старых льдов в Арктическом бассейне, фактического дрейфа льдов и текущей спутниковой информации, принимаемой на борту НЭС «Академик Федоров», позволил определить три района поиска ледяного поля для дрейфующей станции СП-34 (рис. 3). По просьбе руководства экспедиции научно-оперативная группа в ААНИИ организовала с 6 по 13 сентября четыре радиолокационные съемки с ИСЗ ENVISAT и RADARSAT-1 по наиболее перспективным районам № 1 и № 2 (рис. 4).

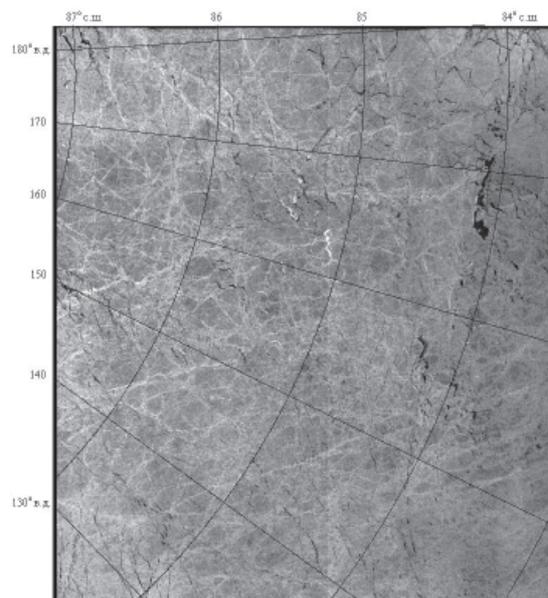


Рис. 4. Радиолокационное изображение с ИСЗ ENVISAT за 04:12 UTC 9 сентября 2005 г.

Поиск ледяного поля в районе № 1 руководством экспедиции было решено не проводить из-за высокой вероятности вовлечения поля в антициклональный круговорот, удаленности района от российских баз.

На основе полученной информации на борту судна было определено 6 перспективных ледяных полей и вычислены направления и величины их дрейфа к моменту подхода судна в район № 2. Вначале эти данные были получены при анализе радиолокационного снимка за 9 сентября и 13 сентября (табл. 2). Анализ этих данных показал существенное различие по величине дрейфа полей. Ледовая разведка, проведенная в конце суток 13 сентября по поиску ранее выделенного ледяного поля, показала, что фактическая величина дрейфа примерно за тот же промежуток времени оказалась еще больше. В результате значительного смещения ледяных полей найти поля, выбранные по радиолокационным снимкам, не представилось возможным вследствие ограниченного времени.

Таблица 2

**Местоположение и размеры ледяных полей, выбранных для организации дрейфующей станции СП-34 по данным радиолокационной съемки с ИСЗ ENVISAT на 9 сентября 2005 г. их ориентировочное положение на 13 сентября 2005 г.**

№ ледяного поля	Координаты ледяного поля на 04:12 UTC 9.09 2005 г.		Ориентировочные координаты ледяного поля на 03:43 UTC 13.09 2005 г.		Размеры поля, км
	Широта	Долгота	Широта	Долгота	
1	86° 02' с.ш.	163° 30' в.д.	86° 15' с.ш.	171° 19' в.д.	26×17
2	85° 55' с.ш.	157° 27' в.д.	86° 12' с.ш.	164° 44' в.д.	20×15
3	85° 29' с.ш.	159° 30' в.д.	85° 40' с.ш.	165° 45' в.д.	8×6
4	85° 22' с.ш.	157° 05' в.д.	85° 33' с.ш.	163° 10' в.д.	8×9
5	84° 59' с.ш.	152° 30' в.д.	85° 13' с.ш.	157° 50' в.д.	4×5
6	84° 04' с.ш.	155° 38' в.д.	84° 17' с.ш.	160° 16' в.д.	10×7

Анализ принятого на борту снимка ИСЗ NOAA 14 сентября позволил предположить, что в северо-западной части района поиска № 3 могут находиться ледяные поля, пригодные для организации станции. Район поиска ледяного поля был ограничен прямоугольником с координатами: 84° 20' с.ш., 105° 00' в.д. — 85° 00' с.ш., 105° 00' в.д. — 85° 00' с.ш., 120° 00' в.д. — 84° 20' с.ш., 120° 00' в.д., с возможным отклонением к северу от него. Было принято решение о движении судна в этот район с попутным наблюдением за ледяными полями, пригодными для организации дрейфующей станции.

Ледовая разведка, проведенная в указанном районе, позволила выбрать ледяное поле, на котором была организована станция СП-34.

#### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПО ВЫБОРУ ЛЕДЯНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ СП**

Опыт работ, проведенных в 2004 и 2005 гг., позволяет сформулировать следующую технологическую схему по выбору ледяного поля для дрейфующих станций СП.

На предварительном этапе (в весенний период, когда существует отчетливый контраст между однолетними и старыми льдами на снимках РЛ-диапазона) осуществляется выбор наиболее перспективных районов поиска потенциальных объектов для организации дрейфующей станции, производится предварительный выбор льдин и постоянный мониторинг дрейфа льда в выбранных районах (по данным ИСЗ, дрейфующих буев). Перспективные районы определяются с учетом долгосрочного прогноза (расчета) возможного дрейфа льда. На этом этапе используются данные ИСЗ ENVISAT.

На этапе проведения морской операции определяются сроки выхода судна в район поиска, определенный на предварительном этапе. На этот срок осуществляется заказ снимка RADARSAT (или ENVISAT), по данным этих снимков производится идентификация предварительно выбранных объектов, уточняются их координаты, оценивается дрейф. Одновременно с этим осуществляется мониторинг распределения льда и его дрейфа по данным ИСЗ видимого диапазона (ИСЗ NOAA, TERRA).

В момент выхода судна в район поиска и анализа спутниковой информации в точку положения ледяных объектов (с учетом фактического дрейфа) производится авиационная разведка. При обнаружении льдины осуществляется посадка вертолета и измерение толщины льда (в нескольких точках льдины). Если толщина льда отвечает требованиям, осуществляется десантирование на льдину группы исследователей, которые производят подробную толщиномерную съемку, размечают место для организации лагеря, место швартовки судна и т.п.

#### **ВЫВОДЫ**

Радиолокационные снимки ИСЗ целесообразно использовать при организации дрейфующих станций в высоких широтах Арктического бассейна, однако их интерпретация (дешифровка) требует высокой квалификации операторов. Очевидно, что из всех средств дистанционного зондирования только спутниковые РЛС позволяют получить наиболее полную характеристику ледовой обстановки в выбранном районе, включая возрастной состав дрейфующих льдов. Заблаговременное и регулярное получение данных радиолокационных съемок позволяет осуществить выбор подходящих ледяных полей и производить наблюдения за их дрейфом, вплоть до подхода судна в район работ и начала визуального поиска.

При всей информационной значимости снимков ИСЗ РЛ-диапазона следует признать, что существующие методы их интерпретации (дешифровки) не позволяют однозначно оценить характеристики выбранных объектов, особенно в период максимальной разрушенности ледяного покрова в высоких широтах (август–сентябрь). Для совершенствования методов интерпретации (дешифровки) спут-

никовой информации необходимо проведение серии подспутниковых экспериментов, производственной базой которых могут служить дрейфующие станции СП.

Визуальный поиск полей имеет быстрый успех лишь при благоприятных метеорологических условиях и высокой квалификации бортонаблюдателей. Поскольку погодные условия в высоких широтах Арктического бассейна в августе – сентябре редко бывают благоприятными, необходимо планировать достаточное количество времени (ориентировочно 7–10 суток) для поиска надежных ледяных полей.

V.I.BESSONOV, S.V.FROLOV

#### SOME TECHNOLOGIES OF LOOKING FOR ICE FIELDS FOR DRIFT SCIENCE STATION ORGANIZATION IN 2004–2005 YEARS

*Present work is devoted to experience of reliable ice fields searching for the drifting stations «North Pole-33» (2004) and «North Pole-34» (2005), using of satellite information. Technological scheme of searching and monitoring the ice fields are determined. It is difficult to estimate ice cover characteristics uniquely during the maximal ice melting stage in the high latitudes. Therefore, interpretation of the satellite information requires additional ground truth measurements. The measurements can be carried out on the drifting North Pole stations.*