

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «АСЕХ-2004»

А. В. ЮЛИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Анализируются метеорологические и ледовые условия в приполюсном районе Арктики по данным многосуточных непрерывных наблюдений, проведенных в высокоширотной экспедиции на ледоколе «Oden» в августе–сентябре 2004 г. Специальные судовые ледовые наблюдения позволили получить интересные данные многосуточных наблюдений за дрейфом и толщиной ледяного покрова.

ВВЕДЕНИЕ

В августе–сентябре 2004 г. в Северном Ледовитом океане состоялась уникальная морская экспедиция «АСЕХ-2004» («Arctic Coring Expedition-2004»), основной целью которой являлось глубоководное бурение морского дна на хребте Ломоносова на широте 88° с.ш., среди многолетних дрейфующих льдов.

Экспедиция была организована Полярным секретариатом Шведской академии наук в рамках Международной объединенной океанической программы по бурению («IODP») и объединяла ученых из 10 стран мира, в том числе и России. В экспедиции участвовали два ледокола – атомный ледокол «Советский Союз» (Россия) и ледокол «Oden» (Швеция) и судно ледового класса «Vidar Viking» (Швеция), оборудованное глубоководной буровой установкой.

Бурение скважин и получение образцов осадочных пород проводилось на глубине океана около 1200 метров в районе с координатами от 87° 30' до 88° 00' с.ш. между меридианами 135° 00' – 140° 00' в.д. Подготовительные работы и непосредственно бурение происходило с 14 августа по 5 сентября. Специфика проведения этих работ состояла в необходимости точного позиционирования буровой платформы во время работы над точкой бурения с допустимым отклонением не более 50 м, несмотря на постоянно меняющийся по скорости и направлению ветер и дрейф многолетних льдов. Такое позиционирование буровое судно «Vidar Viking» обеспечивало системой спутниковой навигации и работой подруливающих устройств.

В обеспечении сохранения положения судна «Vidar Viking» над точкой бурения также участвовали сопровождавшие ледоколы. Атомный ледокол «Советский Союз» на удалении от 0,8 до 2 миль от точки бурения по линии дрейфа разбивал крупные ледяные поля до обломков с линейными размерами не более 20–100 м. Ледокол «Oden» на удалении от 0,4 до 0,8 миль дробил крупнобитый лед до мелкобитого с линейными размерами, не превышающими 10–20 м. Напор мелкобитого льда судно «Vidar Viking» выдерживало с помощью собственных подруливающих двигателей.

В период операции проводился постоянный мониторинг гидрометеорологических и ледовых условий в районе бурения, основной целью которого было на-

блюдене за обстановкой и заблаговременное предупреждение о возможности наступления условий, выходящих за предельные значения. Мониторинг гидрометеорологической обстановки включал в себя комплекс стандартных метеорологических и специальных ледовых наблюдений за дрейфом, линейными размерами и толщиной ледяного покрова. Необходимо отметить, что проведение круглосуточного гидрометеорологического мониторинга стало одним из главных условий успешного выполнения работ экспедиции.

При прогнозировании возникновения опасных гидрометеорологических условий бурение прекращалось и оборудование поднималось на борт судна. Всего было предпринято 4 попытки бурения дна. Две из них были прекращены по техническим и гидрометеорологическим условиям, две попытки бурения стали успешными. В результате были взяты образцы осадочных пород на всю толщину их залегания – 428,7 м, с глубины океана 1200 м, что позволило получить уникальные палеонтологические данные. Общее время бурения составило 400 ч, что в свою очередь позволило провести многосуточные наблюдения за гидрометеорологической и ледовой обстановкой в районе работ.

ПРИБОРЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Метеорологические наблюдения выполнялись с помощью автоматической станции VASALA MAWS 101 (производство Финляндии) в стандартные синоптические сроки. Приемные датчики метеостанции располагались на верхнем мостике ледокола «Oden» на высоте 30 м от уровня моря.

Метеостанция позволяла фиксировать направление и скорость ветра каждые 2 с, значения давление, температуру воздуха и воды, дальность видимости – через 1 мин. Все показания метеорологических датчиков, приборов и суточный ход метеорологических параметров выводились на экран монитора, установленного на ходовом мостике ледокола. Дополнительно к наблюдениям в основные метеорологические сроки ряд метеорологических параметров наблюдался более часто, через каждые 30 мин., синхронно с ледовыми наблюдениями.

Все ледовые наблюдения выполнялись круглосуточно, вахтовым методом по методике «равнопромежуточных» наблюдений, то есть наблюдений, проводимых через фиксированные промежутки времени (в экспедиции «АСЕХ-2004» – через каждые 30 мин). В отличие от методики «постоянных» наблюдений, позволяющей сразу фиксировать изменения любой характеристики ледяного покрова, методика «равнопромежуточных» наблюдений обладает определенным недостатком. Проводя наблюдения через фиксированные промежутки времени, наблюдатель не отмечает возможные изменения ледовой обстановки, происходящие между сроками наблюдений.

Наблюдения проводились как визуальными, так и инструментальными методами. Визуально оценивались следующие параметры ледяного покрова:

- общая сплоченность льда, частная сплоченность льда по возрастам (многолетний, двухлетний, однолетний, молодые и начальные льды);
- размер и концентрация ледяных образований (количество полей, обломков полей и битого льда, линейные размеры битого льда);
- толщина льда;
- сжатие льда.

Наблюдения за толщиной льда проводились визуальным методом по двум измерительным рейкам длиной 350 см, прикрепленным к плануширу по левому и правому бортам ледокола.

Инструментально определялись координаты ледоколов и отдельных ледяных полей, площади льдов различной сплоченности и возраста, размеры крупных ледяных полей, характеристики дрейфа ледяного покрова.

Для определения дрейфа льда в период с 14 августа по 5 сентября в районе работ, в радиусе до 10–15 км от точки бурения одновременно размещались и работали от 2 до 4 дрейфующих буйев, оснащенных спутниковой системой GPS. Данные о координатах поступали на борт ледокола «Oden» каждые 30 с, по которым рассчитывались векторы дрейфа. Необходимо отметить, что подобная дискретность измерения являлась избыточной и не отвечала точности используемых приемников системы GPS. При средней скорости дрейфа в 0,1 м/с модуль вектора дрейфа, рассчитанного за 30-секундный интервал, оказывался меньше точности используемых приемников системы GPS. Поэтому использовалась более длительная временная дискретность отсчетов. После обработки поступивших данных о положении буйев вычислялись векторы дрейфа в реальном времени.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Для анализа повторяемости направления и скоростей ветра использовались данные с 30-минутной дискретностью. В период выполнения работ на полигоне (с 14 августа по 5 сентября) преобладали ветры северного, северо-восточного и восточного направлений, повторяемость которых составила 71 %. Распределение повторяемости ветра по направлениям и скоростям приведены в табл. 1 и на рис. 1. Средняя скорость ветра в период работ составила 6,5 м/с. Преобладающие скорости ветра составляли 5,0–7,5 м/с (повторяемость 63 %). Повторяемость сильных ветров, выходящих за предельно допустимые значения (более 12 м/с) составила 9 %. Штормовых ветров (более 15 м/с) не отмечалось. Таким образом, период проведения операций по бурению можно считать исключительно благоприятным по ветровой обстановке.

Таблица 1

Распределение повторяемости ветра по направлениям и характеристики скорости ветра

Направление	Повторяемость направления, %	Скорость ветра, м/с		
		средняя	минимальная	максимальная
Северное	34	7,3	1,4	13,5
Северо-восточное	20	5,6	1,0	8,3
Восточное	17	4,3	1,4	8,5
Юго-восточное	2	3,6	1,1	5,8
Южное	1	2,6	2,2	3,3
Юго-западное	6	4,6	1,8	7,8
Западное	8	7,3	0,8	12,6
Северо-западное	11	7,4	0,1	12,8

Важной характеристикой погоды при выполнении любых морских работ является горизонтальная видимость. Видимость крайне важна для обеспечения полетов вертолетов, маневрирования судов экспедиции, оценки ледовой обстановки в районе работ. Хорошая видимость (15 км и более) наблюдалась только треть времени работы (33 %). Более половины времени работы (58 %) горизонтальная видимость была крайне плохой, значительно усложнявшей маневры судов, препятствовавшей проведению ледовых разведок: 37 % времени менее 3 км и 21 % времени менее 1 км.

ДРЕЙФ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Одновременное использование нескольких дрейфующих буйев в сравнительно небольшом районе позволило достаточно точно определять векторы дрейфа в реальном времени.

Поскольку дискретность основных ледовых наблюдений составляла 30 мин, в настоящей работе анализируются векторы дрейфа льда, измеренные в сроки

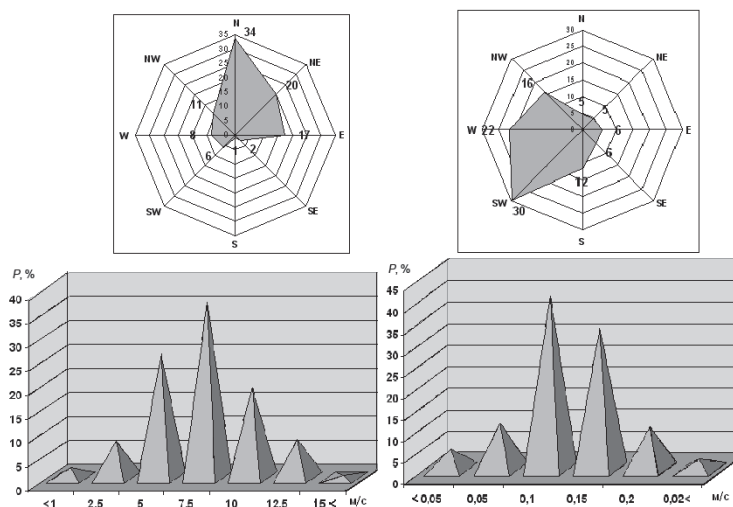


Рис. 1. Повторяемость ветра (слева) и дрейфа ледяного покрова (справа) по направлениям и скоростям

основных ледовых наблюдений (через каждые 30 мин.). При этом в качестве вектора дрейфа, отнесенного к основному сроку ледовых наблюдений, принимался результирующий вектор за 20-минутный интервал времени, предшествовавший основному времени наблюдения. Такой интервал осреднения был выбран для того, чтобы ошибки полученных характеристик дрейфа не выходили за 5 % интервал точности с доверительной вероятностью 95 %. При средней скорости дрейфа ледяного покрова 0,1 м/с, модуль результирующего вектора за 20-минутный интервал времени составлял в среднем 120 м. Ошибка в определении расстояний системой GPS при таком периоде осреднения составляла не более 5 % от величины модуля вектора дрейфа.

Распределение повторяемости дрейфа по направлениям и характерные скорости дрейфа для каждого направления приведены в табл. 2 и на рис. 2.

В период работ преобладал дрейф юго-западного (повторяемость 30 %) и западного (повторяемость 22 %) направлений. Преобладающие скорости дрейфа льда составили 0,10–0,15 м/с (повторяемость 73 %). Дрейф льда со скоростью 0,20 м/с (близкой к критическому значению для проведения операции) наблюдался в 10 % случаев, а более 0,20 м/с (критические скорости для проведения бур-

Таблица 2

Распределение повторяемости дрейфа льда по направлениям и скорости

Направление	Повторяемость направления, %	Скорость дрейфа, м/с		
		средняя	минимальная	максимальная
Северное	5	0,07	0,03	0,02
Северо-восточное	5	0,07	0,02	0,21
Восточное	6	0,08	0,02	0,15
Юго-восточное	6	0,08	0,02	0,15
Южное	23	0,12	0,02	0,21
Юго-западное	30	0,11	0,02	0,24
Западное	22	0,09	0,02	0,16
Северо-западное	16	0,06	0,02	0,11



Рис. 2. Примеры характерных измерений многолетнего льда толщиной 330 см (слева) и однолетнего льда толщиной 120 см (справа) (общая длина измерительной рейки – 350 см, одного деления – 10 см)

ния) наблюдался только в 2 % от общего времени наблюдений. Таким образом, можно констатировать, что в период проведения операции по бурению направление и скорость дрейфа льда были благоприятными.

Проведенные наблюдения позволяют провести оценку зависимости между ветром и дрейфом льда, а также оценить направление и скорость течения, независимого от местного ветра, так называемого «постоянного» течения.

Согласно общепринятым допущениям о взаимосвязи ветра и дрейфа льдов, результирующий вектор суммарного дрейфа (U) является суммой двух векторов – вектора чисто ветрового дрейфа (W) и вектора постоянного течения (C), т.е. $U = W + C$.

При этом считается, что скорость чисто ветрового дрейфа пропорциональна скорости ветра, $W = kV$, где k – ветровой коэффициент; W – модуль вектора скорости чисто ветрового дрейфа; V – модуль вектора скорости ветра.

К имеющейся выборке наблюдений за векторами дрейфа и ветра (более 800 наблюдений) применялся корреляционный метод обработки данных наблюдений за дрейфом [1]. Этот метод позволил получить значение среднего угла отклонения направления дрейфа льда от направления ветра (α), ветровой коэффициент (k) и элементы постоянного течения (направление и скорость). Рассчитанные элементы приведены в табл. 3. Угол отклонения направления дрейфа льда, обусловленный ветром составил 30° , значение ветрового коэффициента 0,027. Направление и скорость «постоянного» течения соответственно составили 261° и 2,8 м/с.

Проведенные расчеты хорошо подтверждаются данными фактических наблюдений за дрейфом льда при малых скоростях ветра, когда ветровая составляющая не является доминирующей. При уменьшении скорости ветра до 2 м/с и менее дрейф ледяного покрова всегда разворачивался в западном направлении. Среднее направление дрейфа при безветрии составило 249° , при средней скорости 0,04 м/с. Однако необходимо отметить, что наблюдаемый дрейф льда при отсутствии ветра не является в чистом виде дрейфом, обусловленным поверхностным течением. Этот дрейф также включают в себя инерционную, приливо-отливную и градиентную составляющие.

Таблица 3

Расчетные параметры ветрового дрейфа и «постоянного» течения

Дискретность наблюдений, мин	Коэффициент ветрового дрейфа		Угол отклонения (ок. град.)	Ветровой коэффициент (к)	Течение	
	τ_1	τ_2			Направление, град.	Скорость, м/с
30	0,75	0,35	30	0,027	261	2,8

ТОЛЩИНА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Измерения толщины льда в высоких широтах Северного Ледовитого океана всегда были сопряжены с большими техническими трудностями и требовали значительных материальных ресурсов. Регулярных площадных измерений толщины арктических льдов крайне мало. Наиболее информативными являются наблюдения в высокоширотных рейсах ледоколов и судов, а также данные профильных измерений с подводных лодок. Но интерес к толщинам ледяного покрова в высоких широтах всегда был большим, как для решения различных прикладных задач, например возможности организации научных станций, так и научных проблем. Последнее время интерес к этой характеристике особенно усилился в связи с исследованиями изменения климата. Изменение объема льда в Северном Ледовитом океане является объективным показателем состояния климатической системы. В этой связи любые наблюдения за толщиной льда в высоких широтах Северного Ледовитого океана представляют особый интерес.

Наблюдения за толщиной дрейфующего льда в экспедиции «АСЕХ-2004» проводились на протяжении более чем 500 ч с дискретностью в 30 мин. При средней скорости дрейфа, равной 0,1 м/с, это равносильно выполнению толщиномерной съемки на разрезе длиной 180 км, с шагом измерения приблизительно через 180 м.

Наблюдения за толщиной льда проводились визуальным методом по 2 рейкам длиной 350 см, прикрепленным к планширу по левому и правому бортам ледокола. Точность измерения составляла ± 5 см. Фиксировалась толщина только ровных льдов. Среди всего диапазона изменений толщины льда четко выделялись три основные группы: молодые льды с толщиной в диапазоне 5–15 см, льды с толщиной в диапазоне 1,0–2,0 м и льды с толщиной в диапазоне 2,0–3,0 м (рис. 3).

Льды в диапазоне 5–15 см являлись начальными и молодыми видами льдов (нилас, серый лед). Льды в диапазоне толщины 1,0–2,0 м идентифицировались как однолетние и двухлетние льды. Льды в диапазоне толщины 2,0–3,0 м идентифицировались как многолетние льды. Основными классификационными признаками являлись: состояние верхней и нижней поверхности, формы ледяных образований, цвет льда, формы и размеры снежниц, разрушенность и торосистость льда [2]. Определение возрастного состава льдов проводилось в соответствии с инструкциями ААНИИ по визуальным наблюдениям за ледяным покровом с судна.

Одновременно с визуальными наблюдениями с борта ледокола (профильные наблюдения) выполнялись вертолетные визуальные ледовые разведки (площад-

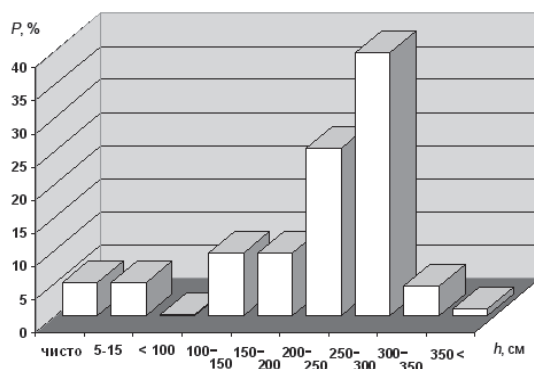


Рис. 3. Распределение толщины ровного льда, полученное по результатам многосуточных профильных измерений

ные наблюдения). Ледовые авиаразведки проводились практически ежедневно, когда позволяла видимость. Ледовые авиаразведки выполнялись по стандартной методике ААНИИ [5]. Наблюдения с вертолета позволяли отслеживать перемещение больших ледяных полей (линейными размерами более 2 км) и оценивать количество льдов различного возраста по всей осматриваемой площади. За один полет с высоты 100–150 м удавалось осматривать район площадью приблизительно 40×40 км. Полеты проводились параллельными равноудаленными галсами с расстоянием между ними 4–5 км. Такие полеты позволяли подробно описывать состав ледяного покрова в исследуемом районе. Возрастной состав льда и его количество определялись в баллах визуальным методом, по характерным классификационным признакам, в соответствии с руководством по производству ледовой авиационной разведки [2, 3].

Очевидно, что ровный ледяной покров, одинаково идентифицируемый по внешним признакам и отнесенный к одной возрастной градации, имеет одинаковое распределение толщины. Следовательно, можно достаточно уверенно утверждать, что распределение толщины льда, полученное по результатам профильных наблюдений на разрезе с борта ледокола «Оден», достаточно достоверно отражает распределение толщины ледяного покрова на всей осмотренной с помощью ледовой авиаразведки площади, что составляет при длине профиля в 180 км и ширине полосы осмотра в 40 км около 7,2 тыс км².

Преобладающая сплоченность ледяного покрова, продрейфовавшего через стационарную точку наблюдения со средней скоростью 0,10–0,15 м/с, составляла 9,5 баллов (95 % акватории покрыто дрейфующим льдом). Оставшиеся 5 % акватории занимала чистая вода в виде разрывов между полями, разводий и каналов. С 25 августа в районе началось устойчивое ледообразование. Появились начальные и молодые формы льда. Общее количество начальных и молодых льдов в среднем составляло около 0,5 баллов (5 % акватории покрыто молодым льдом). Остальную площадь акватории, около 90 %, занимали дрейфующие однолетние и многолетние льды различной толщины.

Из наблюдений следует, что во второй половине августа – начале сентября 2004 г. в районе с координатами по широте от 87° 30' до 88° 00' с.ш. между меридианами 135° 00'–140° 00', по осмотренному району с размерами в 7,2 тыс. км² дрейфующие льды, среди которых преобладали многолетние, занимали 95 % площади. По толщине ледяной покров состоял на 5 % из начальных и молодых льдов, толщиной 5–15 см, на 19 % из льдов с преобладающей толщиной 150–200 см, на 65,2 % из льдов с преобладающей толщиной 200–300 см и на 5,6 % из льдов, толщина которых превышала 350 см (табл. 4).

Таблица 4

Количественный состав и преобладающие толщины льда на полигоне работы

Возраст льда	Общее количество, %	Преобладающий диапазон толщины, см	Повторяемость, %
Льда нет (чистая вода)	5	0	5
Начальные и молодые	5	5–15	5
Однолетние и двухлетние	20	менее 100 100–150 150–200	0,2 9,5 9,5
Многолетние	70	200–250 250–300 300–350 более 350	25,3 39,9 4,5 1,1

Практически половина всех наблюдаемых льдов имела толщину на ровных участках 250 см и более (45,5 %). По данным И.П.Романова [3], в приполюсном районе количество льдов толщиной 240 см и более в среднем за десятилетие с 1972 по 1981 г. составило 50 %, изменяясь в диапазоне от 37 % до 63 %. Таким образом, количество льда толщиной более 240–250 см, полученное по данным профильных измерений в 2004 г., практически не отличается от данных, приведенных за десятилетие с 1972 по 1981 г., приближаясь к середине интервала.

Средневзвешенная толщина ледяного покрова по данным измерений 2004 г. составила 240 см. По данным Атласа морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне [4] среднемноголетняя толщина ледяного покрова в августе–сентябре в рассматриваемом районе за весь ряд наблюдений до 1990 г. составляла 280–300 см, изменяясь в диапазоне 240–320 см. Средневзвешенная толщина льда на профиле в 2004 г. меньше среднемноголетней толщины льда за период до 1990 г. и ближе к минимальным значениям диапазона изменений, но все же не выходит из интервала наблюдавшихся ранее толщин.

Таким образом, полученные данные по толщине ледяного покрова в приполюсном районе в 2004 г. не дают оснований говорить о существенном уменьшении средней толщины многолетних льдов. Полученные данные по толщине льда на профиле, которые можно считать случайной выборкой, скорее свидетельствуют о том, что межгодовые изменения толщины льда не выходят из интервала естественной изменчивости, данные о которой накапливаются с конца 30-х гг. прошлого столетия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудкович З.М. Корреляционный метод обработки данных наблюдений за дрейфом льда // Проблемы Арктики и Антарктики. 1965. Вып. 21. С. 56–56.
2. Номенклатура морских льдов (условные обозначения для ледовых карт). Л.: Гидрометеиздат, 1976. 76 с.
3. Романов И.П. Ледяной покров арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 212 с.
4. Романов И.П. Атлас морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 152 с.
5. Руководство по производству ледовой авиаразведки. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 240 с.

A. V. YULIN

THE MAIN RESULTS OF THE ICE OBSERVATIONS IN THE HIGH-LATITUDE EXPEDITION «ACEX-2004»

The meteorological and ice conditions in the near-Pole area of the Arctic according to the data of persistent observations executed during the high-latitude expedition on board the icebreaker «Oden» in August–September, 2004, are under analysis. The specialized ship-borne observations gave an opportunity to obtain interesting data on ice drift and thickness.