

УДК 551.576; 551.583

# Статистическая структура и долговременные изменения нижней слоистообразной облачности над регионом Сибири как основа для метеорологической поддержки решения прикладных задач. Часть 1. Статистика нижней слоистообразной облачности

В.С. Комаров, Г.Г. Матвиенко, Н.Я. Ломакина,  
С.Н. Ильин, А.В. Лавриненко\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 31.03.2015 г.

Приводятся результаты статистического анализа характеристик нижней слоистообразной облачности, полученные по данным 8-срочных метеорологических наблюдений 60 сибирских станций за последние 45 лет (1969–2013 гг.). Были проведены исследования количества и высоты нижней границы слоистообразных облаков нижнего яруса ( $Sc$ ,  $St$ ,  $Ns$ ) для четырех сезонов. При анализе количества нижней слоистообразной облачности использованы такие статистические показатели, как его средние значения (баллы) и повторяемости (%) по пяти градациям: 0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов, а при анализе высот нижней границы – средние значения (км) и повторяемости (%) по шести градациям: 0,05–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,2; 1,2–1,6; 1,6–2,0 км, дополненным градацией «отсутствие облаков» (0).

*Ключевые слова:* нижняя слоистообразная облачность, количество облачности, высота нижней границы, статистические характеристики, Сибирский регион; lower stratiform clouds, cloud amount, cloud base height, the statistical characteristics, Siberian region.

## Введение

Известно, что для решения многих прикладных задач дистанционного оптического зондирования атмосферы и, в частности, связанных:

– с повышением продолжительности и эффективности работы наземных лидарных измерительных систем в местах их развертывания, требующих предварительной оценки вероятности появления и сохранения низкой сплошной облачности, поскольку она препятствует оценке состояния верхних надоблачных слоев атмосферы [1];

– решением обратных задач лазерного зондирования нижней границы облаков нижнего яруса, базирующимся на использовании априорных данных о фоновых характеристиках высоты этой границы и ее пространственно-временной изменчивости [2];

– повышением эффективности дистанционного зондирования атмосферы из космоса в условиях появления сплошной облачности нижнего яруса, полностью исключающей возможность получения какой-либо информации о состоянии атмосферных подоблачных слоев [3], – необходимы на предварительном этапе априорные данные о статистичес-

кой структуре характеристик слоистообразной облачности нижнего яруса ( $Sc$ ,  $St$ ,  $Ns$ ) и в первую очередь о ее количестве и высоте нижней границы, определяемые для различных регионов земного шара. Кроме того, из-за значительной межгодовой изменчивости характеристик нижней облачности необходимо оценить также и современные тенденции их долговременного изменения.

В связи с актуальностью данной проблемы и отсутствием публикаций по статистике нижней облачности для Сибирского региона (она рассмотрена в [4, 5] лишь на примере одного г. Томска), авторами настоящей статьи были начаты широкие исследования в данном направлении. Первые результаты этих исследований были опубликованы в работах [6, 7], однако они носят предварительный характер, поскольку получены по данным ограниченного числа (всего 25) синоптических станций, что явно недостаточно для такого значительного по площади региона, как Сибирь. К тому же не все статистические показатели (например, повторяемость различных градаций высот нижней границы облаков) стали предметом рассмотрения в указанных работах.

Учитывая это, в настоящей статье приводятся новые и более полные результаты статистического анализа характеристик нижней слоистообразной облачности и в [8] оценки их долговременного из-

\* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iao.ru); Геннадий Григорьевич Матвиенко (mgg@iao.ru); Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iao.ru); Сергей Николаевич Ильин; Андрей Викторович Лавриненко (gfm@iao.ru).

менения, полученные по данным 60 сибирских станций за последние 45 лет (1969–2013 гг.).

## 1. Исходные данные и некоторые аспекты их обработки

Основными исходными данными для настоящего исследования послужили 45-летние (1969–2013 гг.) ряды 8-срочных метеорологических наблюдений за количеством и высотой нижней границы слоистообразных облаков нижнего яруса (*Sc*, *St*, *Ns*), полученные для 60 синоптических станций Сибири из архива NOAA (<http://www.ncdc.noaa.gov/>) и представленные на рис. 1 (здесь же выделены 25 станций, использованных в [6]). При этом выбор временного ряда с 1969 г. (а не с 1966 г. – начала перехода метеорологической сети России на 8-срочные наблюдения) связан с более поздним переходом на эти сроки большого числа сибирских станций.

Кроме того, значительное число сибирских станций по ряду причин (из-за прекращения наблюдений на ряде станций, произошедшего в конце 1980-х гг., наличия у многих станций коротких временных рядов, большего числа пропусков в архивных данных и т.п.) были исключены из рассмотрения. К этому добавим, что количество используемых на каждой станции наблюдений составляло не менее 75% от их общего числа за месяц. Все это позволило для всех анализируемых станций сформировать временные ряды одинаковой длины и достаточной однородности, обеспечивающие получение сравнимых между собой статистических показателей взятых характеристик нижней облачности.

Само исследование проводилось сезонно с помощью следующих статистических параметров. Так, при анализе количества нижней слоистообразной облачности использованы, как и в [6], его среднее значение  $\bar{N}_H$  (баллы) и повторяемость (%) по пяти градациям  $N_i$ : 0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов, а при анализе высот нижней границы этого типа облачности – среднее значение  $\bar{H}_{НГ}$  (км) и повторяемость (%) по шести градациям высоты нижней границы  $N_i$ : 0,05–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,2; 1,2–1,6; 1,6–2,0 км, дополненных градацией «отсутствие облаков» (0). Сразу же подчеркнем, что поскольку повторяемость этих градаций оценивается только для нижней облачности с высотой ее нижней границы, не превышающей 2 км, то сумма их повторяемостей не равна 100%, а повторяемость градации 0 рассчитана от общего числа случаев наличия и отсутствия облаков.

## 2. Особенности статистической структуры количества нижней слоистообразной облачности

Рассмотрим полученные результаты, отражающие особенности статистической структуры характеристик нижней слоистообразной облачности, которые типичны для Сибирского региона, причем в первую очередь остановимся на анализе количества облаков нижнего яруса. На рис. 2, а показано пространственное распределение среднесезонного количества нижней слоистообразной облачности для четырех сезонов (зимы, весны, лета и осени).

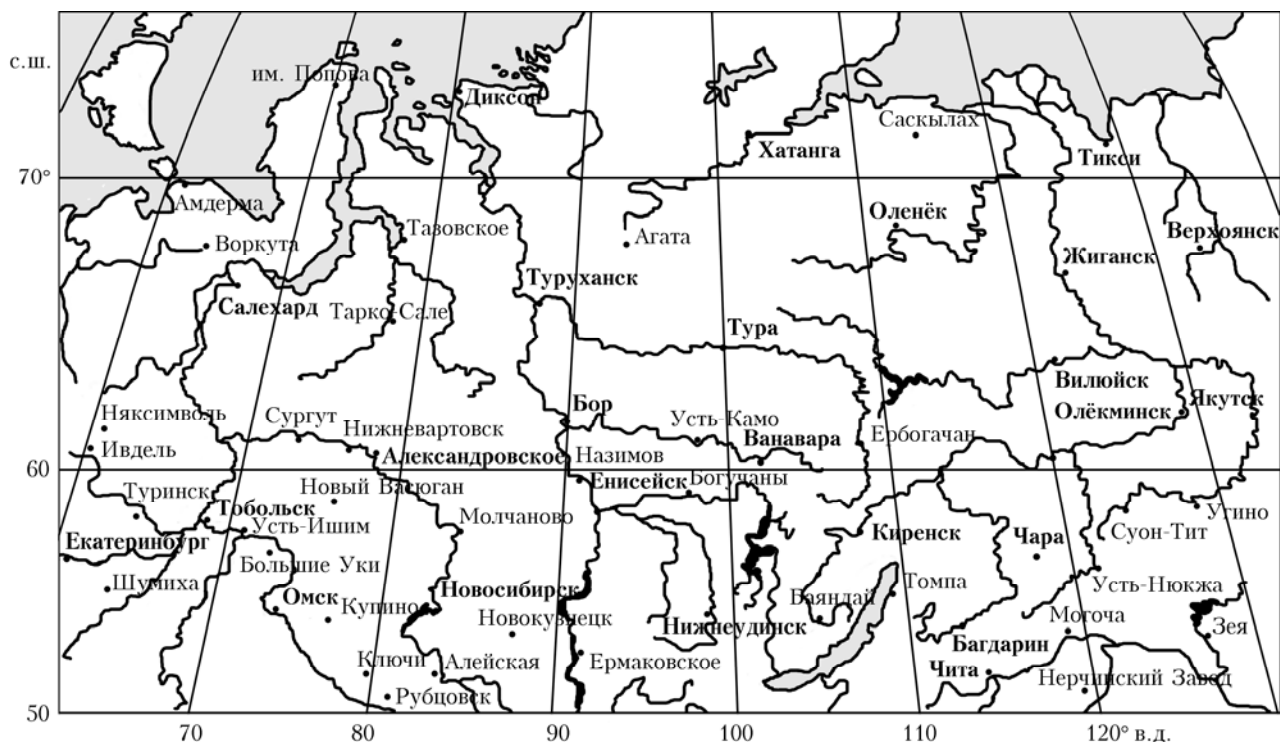
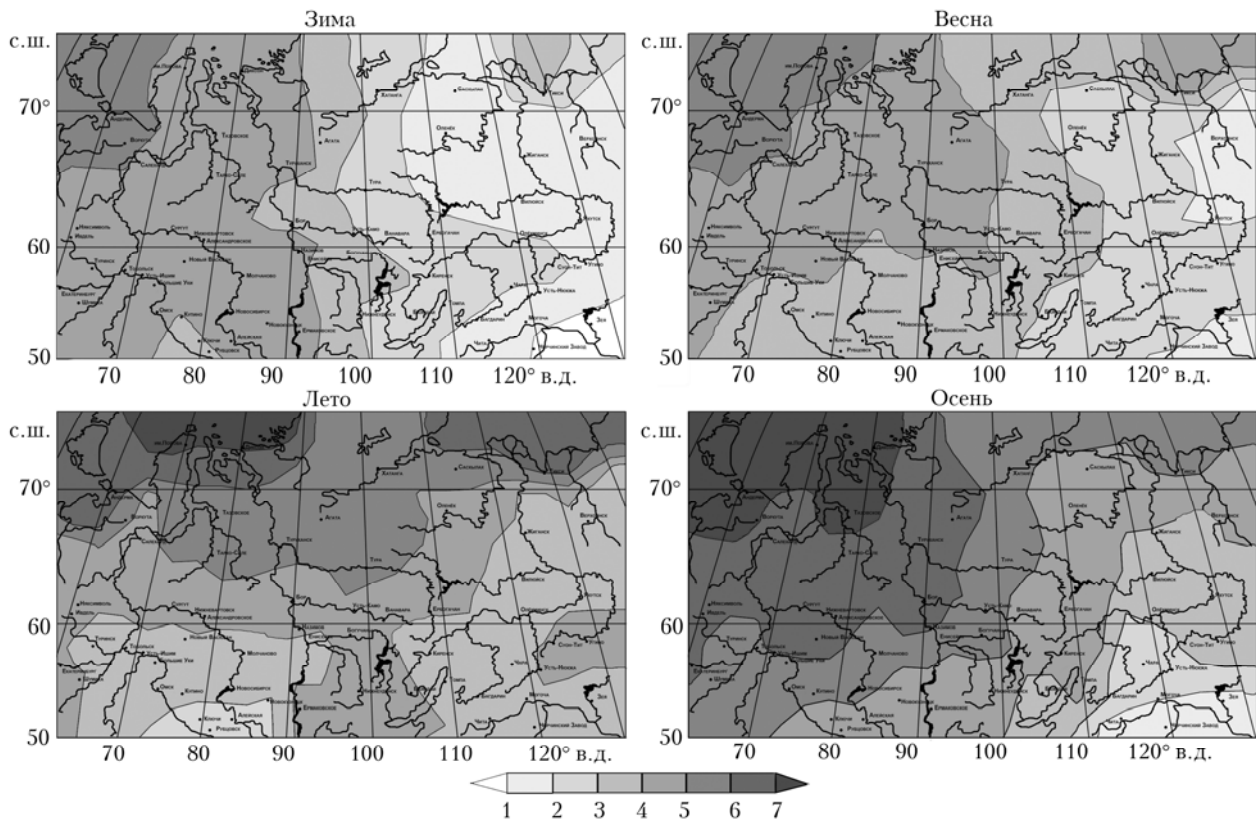
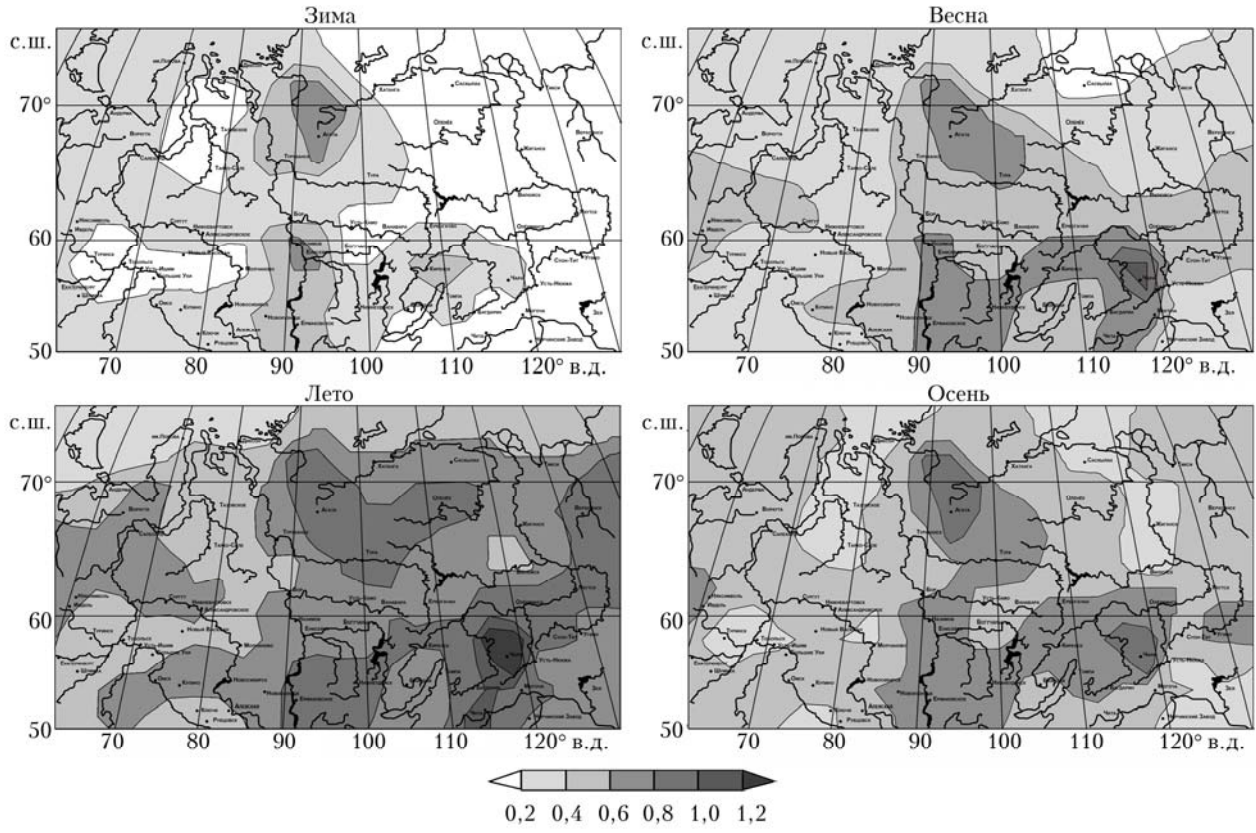


Рис. 1. Сеть метеорологических станций, использованных для обобщения данных в настоящей статье и в [6] (выделены жирным шрифтом)



*a*



*б*

Рис. 2. Пространственное распределение по территории Сибири среднесезонного количества нижней слоистообразной облачности (баллы) (*a*) и высоты (км) ее нижней границы (*б*)

Видно, что пространственно-временное распределение среднесезонного количества нижней слоистообразной облачности по территории Сибири имеет достаточно сложный характер и зависит от сезона и географического положения района исследования. При этом пространственное распределение среднесезонного количества рассматриваемого типа облаков, полученное по данным 60 станций, в значительной степени уточняет аналогичное распределение, описанное нами ранее в работе [6] при использовании данных только 25 сибирских станций. В первую очередь это касается появления над территорией Сибири новых и не выявленных ранее областей максимальных и минимальных значений среднесезонного количества облаков нижнего яруса и существенного уточнения в ряде районов величин  $\bar{N}_H$  и границ их распространения.

Так, например, зимой над территорией субполярной зоны Западной Сибири (к северу от 65° с.ш. и западнее 70° в.д.) четко выделяется область максимальных (более 5,0 балла) значений  $\bar{N}_H$ , а над юго-востоком Восточной Сибири – область минимального (менее 1,0 балла) количества нижней облачности, что заметно меньше 1,5–1,8 балла, приведенных в [6]. Весной западно-сибирский максимум ( $\bar{N}_H > 5,0$  балла) занимает существенно большую территорию, охватывая полярные районы (до 75° с.ш.), а над значительной частью Восточной Сибири (в основном к востоку от 110° в.д.) выяви-

лась обширная область несколько больших, чем зимой (от 2,5 до 3,0 балла), значений количества нижней слоистообразной облачности, которые заметно превышают данные [6]. Летом, в отличие от [6], на юге Западной Сибири (между 73 и 88° в.д.) проявилась небольшая область минимальных значений  $\bar{N}_H$  (менее 3,0 балла), а в умеренной зоне Восточной Сибири (в полосе 55–61° с.ш. и к востоку от 121° в.д.) – область повышенного количества нижней слоистообразной облачности (более 4,0 балла). И наконец, осенью, когда над территорией Сибири наблюдается ее наибольшее среднесезонное количество, западно-сибирский максимум выражен наиболее ярко ( $\bar{N}_H > 7,0$  балла), что заметно выше 5,0–6,4 балла, приведенных в [6]. Кроме того, на юге Западной Сибири количество нижней облачности повсеместно меньше, а не больше 5,0 балла, как указано в [6]. В то же время над крайним юго-востоком Восточной Сибири (восточнее 110° в.д.) выделяется область наименьших (менее 2,0 балла) значений  $\bar{N}_H$ , что существенно ниже (3,0 балла) количества, приведенного в той же работе [6].

Известно, что среднее значение не является достаточным, поскольку оно не позволяет судить об изменчивости метеовеличин, в том числе и количестве облаков. Поэтому для устранения данного недостатка нами взята также повторяемость их количества по градациям (в нашем случае это 0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов), значения которой даны в табл. 1.

Таблица 1

**Повторяемость (%) различных градаций количества нижней слоистообразной облачности  $N_H$  на некоторых характерных станциях Сибири**

Станция	$N_H$ , баллы									
	0	1–3	4–6	7–9	10	0	1–3	4–6	7–9	10
<b>Западная Сибирь</b>										
<i>Зима</i>					<i>Весна</i>					
Диксон	40	12	15	23	10	31	13	13	30	13
Амдерма	31	11	14	16	28	28	13	13	20	28
Салехард	37	10	17	10	26	32	16	20	13	19
Туруханск	40	8	18	13	21	37	11	17	18	17
Тарко-Сале	49	3	8	11	29	45	6	9	15	25
Александровское	46	6	9	9	30	41	13	12	11	23
Екатеринбург	38	7	13	15	27	39	12	17	16	16
Омск	49	5	9	9	28	47	12	13	13	15
Новосибирск	47	4	14	5	30	47	11	15	7	20
Енисейск	38	10	26	12	14	35	15	27	15	8
<i>Лето</i>					<i>Осень</i>					
Диксон	11	11	10	45	22	13	10	13	44	18
Амдерма	15	18	12	26	30	9	11	14	30	36
Салехард	14	27	26	23	10	16	16	23	21	24
Туруханск	15	19	20	28	18	18	9	16	22	35
Тарко-Сале	22	15	18	25	20	24	7	10	22	37
Александровское	26	20	22	16	18	22	10	12	16	40
Екатеринбург	24	20	22	20	14	22	10	16	23	29
Омск	28	24	21	17	10	32	11	14	18	25
Новосибирск	31	24	24	10	11	28	11	17	10	34
Енисейск	22	25	31	16	6	20	13	30	20	17

Станция	$N_H$ , баллы									
	0	1–3	4–6	7–9	10	0	1–3	4–6	7–9	10
<b>Восточная Сибирь</b>										
	<i>Зима</i>					<i>Весна</i>				
Хатанга	50	14	14	9	13	43	17	17	14	9
Тикси	42	14	12	9	23	34	16	11	12	28
Тура	64	6	9	4	17	36	14	18	14	18
Жиганск	71	7	10	4	8	54	15	13	8	10
Вилуйск	79	4	5	3	9	55	13	11	11	10
Ванавара	61	10	14	4	11	36	18	23	13	10
Якутск	67	11	13	4	5	46	23	19	6	6
Нижнеудинск	50	13	16	10	12	33	18	20	16	13
Багдарин	62	15	11	3	8	36	26	20	10	8
Чита	68	13	10	2	7	40	25	24	5	6
Зея	82	7	4	1	6	48	22	14	8	8
Нерчинский завод	90	2	1	1	6	62	11	10	6	11
	<i>Лето</i>					<i>Осень</i>				
Хатанга	13	24	19	32	12	21	18	19	28	14
Тикси	11	16	13	23	37	18	14	15	19	34
Тура	23	17	21	20	19	26	12	14	16	32
Жиганск	21	31	22	14	12	29	15	17	16	23
Вилуйск	27	23	19	20	11	39	11	10	16	24
Ванавара	19	25	31	16	9	27	14	21	15	23
Якутск	21	36	25	13	5	29	20	23	14	14
Нижнеудинск	20	22	22	19	17	28	11	18	16	21
Багдарин	13	30	29	20	8	37	26	18	8	11
Чита	17	36	34	9	4	40	25	22	6	7
Зея	26	32	19	14	9	49	19	13	9	16
Нерчинский завод	36	21	18	11	14	63	9	8	6	14

Из табл. 1 и всего полученного для 60 станций статистического материала следует, что зимой, весной и осенью почти повсеместно, исключая лишь Западную Сибирь, а также полярные районы Восточной Сибири (но только в осенний сезон), наибольшую повторяемость (в основном от 30 до 55%) имеет градация «отсутствие облаков» ( $N_H = 0$  баллов). При этом зимой она достигает на крайнем юго-востоке Восточной Сибири даже 82–90%, что заметно выше ее значений 67–78%, приведенных в [6]. Летом же повсеместно, а осенью лишь над Западной Сибирью повторяемость ясной погоды существенно ниже, чем зимой и весной, и не превышает 30%.

В отличие от ясной погоды повторяемость дней со сплошной облачностью нижнего яруса ( $N_H = 10$  баллов), а также ее промежуточных градаций, существенно меньше и во все сезоны не превышает соответственно 20–30 и 20%.

### 3. Особенности статистической структуры высоты нижней границы слоистообразных облаков нижнего яруса

Рассмотрим особенности статистической структуры второй характеристики облаков нижнего яруса — высоты их нижней границы, причем вначале

проанализируем распределение по территории Сибири среднесезонных значений (рис. 2, б). Из рис. 2, б следует, что если зимой почти над всей территорией Западной Сибири высоты нижней границы указанных облаков имеют пониженные значения с двумя минимумами менее 0,2 км (один из них находится в субполярной зоне, а второй в умеренных широтах — южнее 60° с.ш.), то над территорией Восточной Сибири в тот же сезон обнаруживаются, наоборот, вблизи 90-го меридиана две области с повышенными (до 0,63 км) значениями этой высоты, а к востоку от 110° в.д. — одна обширная область с наименьшими (для всей Сибири) значениями  $\bar{H}_{НГ}$ , имеющая на крайнем юго-востоке высоты нижней границы менее 0,1 км. При этом данная область в [6] не была выявлена, однако по новым данным она отчетливо проявляется, что связано с высоким атмосферным давлением, характерным для зимнего Сибирского антициклона, и низкой приземной температурой, препятствующими образованию здесь низкой облачности, но способствующими появлению туманов.

Весной, в отличие от зимы, над всей территорией Сибири, исключая лишь небольшой район полярной зоны (к востоку от 110° с.ш.), отмечается общее повышение высот нижней границы облаков нижнего яруса, исчезновение двух минимумов, наблюдаемых над Западной Сибирью, и появление

здесь области повышенных значений (до 0,60–0,65 км), расположенной в районе Уральского хребта (между 60 и 65° с.ш.). Кроме того, над Восточной Сибирью имеют место значительное увеличение территории с повышенными высотами нижней границы, появление в Забайкалье ее максимальных (для всей Сибири) значений, равных 0,80–0,98 км, и полное исчезновение области с наименьшими значениями  $\bar{H}_{НГ}$  (менее 0,1 км), наблюдаемой в зимний сезон.

Летом отмечаются самое высокое (в годовом ходе) положение нижней границы облаков нижнего яруса и хорошо выраженный широтный ход с минимумом 0,3–0,4 км в полярных районах Сибири и максимумом (в основном до 0,8 км) на ее остальной территории, причем область самых больших значений  $\bar{H}_{НГ}$  (до 1,00–1,34 км) располагается в Забайкалье, между 115–120-м меридианами. Это связано с заметным повышением здесь летом повторяемости подвижных циклонов (до 15%), возникающих в бассейне рек Оби и Енисея, которые, перемещаясь в восточном направлении, достигают над указанным районом наибольшего развития [9].

И наконец, распределение высоты нижней границы облаков нижнего яруса по территории Сибири осенью в значительной степени совпадает с весенним распределением (правда, на фоне более высо-

ких значений высоты нижней границы), поскольку, как и весной, над полярными и субполярными районами Сибири, расположенными к северу от 65° с.ш., проявились две области с пониженными (до 0,4 км) значениями  $\bar{H}_{НГ}$ , одна из которых находится примерно между 70-м и 90-м меридианом, а вторая – большей частью между 110–122° в.д. Над остальной же территорией Сибири, как и весной, отмечаются повышенные значения с четырьмя максимумами  $\bar{H}_{НГ}$  (в основном до 0,7–0,8 км), первый из которых находится вблизи Уральского хребта, второй и третий в зоне 50–70° с.ш. и между 86 и 108° в.д., а четвертый в Забайкалье, где к тому же наблюдается наиболее высокое (до 0,96 км) положение нижней границы облаков нижнего яруса.

Наряду со среднесезонными значениями представляет практический интерес также оценка повторяемости высот нижней границы облаков нижнего яруса в зависимости от ее высотного положения. С этой целью воспользуемся табл. 2, где в качестве примера приводятся для некоторых характерных станций Сибири повторяемости высот нижней границы облаков нижнего яруса для ряда заданных градаций: 0,05–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,2; 1,2–1,6 и 1,6–2,0 км. Здесь же дается градация 0, указывающая на вероятность появления безоблачных условий.

Таблица 2

Повторяемость (%) различных градаций высоты нижней границы облаков нижнего яруса  $H_{НГ}$  на некоторых характерных станциях Сибири

Станция	$H_{НГ}$ , км													
	0,05–0,2	0,2–0,4	0,4–0,8	0,8–1,2	1,2–1,6	1,6–2,0	0	0,05–0,2	0,2–0,4	0,4–0,8	0,8–1,2	1,2–1,6	1,6–2,0	0
<b>Западная Сибирь</b>														
	<i>Зима</i>							<i>Весна</i>						
Диксон	3,4	7,9	16,7	3,7	0,6	0,6	41,1	4,0	12,7	25,7	4,3	0,8	0,3	31,8
Амдерма	2,3	8,9	21,0	7,0	0,7	0,1	29,8	3,1	11,2	26,4	7,8	0,7	0,1	25,7
Салехард	2,2	5,9	8,5	4,7	2,2	0,2	37,5	1,4	3,7	10,2	14,4	6,4	0,4	31,8
Туруханск	0,1	0,7	22,9	17,2	0,7	0,1	46,2	0,1	0,9	23,4	22,9	3,5	0,1	40,1
Тарко-Сале	1,6	4,4	11,2	3,4	1,0	0,1	47,8	1,1	3,4	16,5	10,8	2,3	0,3	43,7
Александровское	1,6	3,7	20,1	7,3	2,9	0,8	45,8	0,8	1,9	13,9	16,0	7,8	2,8	40,8
Екатеринбург	0,2	1,5	9,4	21,5	2,1	0,2	38,1	0,4	1,4	6,2	26,2	8,4	2,4	38,5
Омск	2,1	4,0	9,7	6,9	1,6	0,6	49,3	0,7	1,7	7,0	14,5	6,1	3,6	47,5
Новосибирск	0,9	4,2	14,3	3,3	1,8	0,6	35,0	0,7	2,2	6,6	14,5	7,4	6,4	34,9
Енисейск	0,1	0,2	2,5	21,5	3,7	0,1	42,3	0,1	0,2	3,9	28,2	12,6	0,2	36,0
	<i>Лето</i>							<i>Осень</i>						
Диксон	11,7	14,6	27,0	8,5	2,5	0,9	10,9	6,8	13,1	34,8	9,2	2,2	0,7	15,3
Амдерма	5,7	12,2	27,1	13,2	1,8	0,3	14,2	3,9	12,7	34,6	15,4	2,6	0,3	9,1
Салехард	0,9	2,6	11,5	31,2	21,5	1,4	12,7	3,6	7,8	15,6	19,8	11,3	0,8	15,8
Туруханск	0,3	1,7	30,7	34,0	9,8	0,1	15,7	0,7	3,8	42,0	23,1	2,7	0,1	19,7
Тарко-Сале	1,3	3,8	16,8	23,2	11,1	1,8	21,2	4,1	8,5	22,3	11,9	3,6	0,5	23,4
Александровское	0,5	2,1	14,2	29,7	13,0	6,4	20,8	2,1	5,7	24,9	16,2	9,5	4,2	22,5
Екатеринбург	0,5	1,7	6,0	34,4	15,1	7,1	21,7	0,9	3,0	13,8	34,1	7,3	1,5	22,2
Омск	0,4	1,2	6,1	24,6	10,4	10,9	28,8	1,7	4,0	12,3	17,0	7,5	3,9	32,0
Новосибирск	0,6	1,6	2,8	23,2	11,9	18,3	22,8	1,9	4,9	10,6	16,3	8,3	6,7	20,7
Енисейск	0,1	0,6	4,5	31,5	22,7	0,3	23,1	0,3	0,9	10,6	39,2	10,6	0,2	21,3

Станция	$H_{нг}$ , км														
	0,05–0,2	0,2–0,4	0,4–0,8	0,8–1,2	1,2–1,6	1,6–2,0	0	0,05–0,2	0,2–0,4	0,4–0,8	0,8–1,2	1,2–1,6	1,6–2,0	0	
<b>Восточная Сибирь</b>															
	<i>Зима</i>							<i>Весна</i>							
Хатанга	0,3	0,8	7,8	4,7	0,6	0,4	50,1	0,5	1,6	14,2	10,5	1,0	0,2	42,7	
Тикси	0,0	0,1	1,7	1,4	0,5	0,3	41,9	1,6	4,4	13,8	8,3	1,7	0,3	34,0	
Тура	0,0	0,0	0,1	2,3	4,2	0,3	68,6	0,1	0,1	2,2	22,4	19,3	0,5	37,8	
Жиганск	0,2	1,1	3,7	1,6	0,7	0,4	71,3	0,4	1,9	5,9	8,7	7,7	2,1	54,4	
Вилуйск	0,0	0,2	1,4	0,9	0,2	0,0	79,1	0,1	0,5	6,0	17,7	3,9	0,1	54,8	
Ванавара	0,0	0,2	2,6	7,5	3,6	0,1	61,4	0,1	0,5	4,6	26,1	17,2	0,2	36,5	
Якутск	0,2	0,2	0,9	2,0	1,3	0,4	67,0	0,1	0,3	2,0	15,1	8,9	7,2	45,6	
Нижнеудинск	0,0	0,0	0,1	10,2	12,7	0,3	48,7	0,0	0,1	0,3	23,0	30,7	0,9	38,1	
Багдарин	0,0	0,0	0,0	0,5	4,3	0,2	62,0	0,0	0,0	0,4	6,8	32,2	1,3	35,5	
Чита	0,8	0,6	0,1	0,7	2,7	1,0	67,0	0,1	0,2	0,4	8,4	15,8	10,1	40,4	
Зея	0,4	0,0	0,2	0,4	0,4	0,0	77,5	0,1	0,1	2,4	18,8	10,0	0,7	46,5	
Нерчинский завод	0,0	0,0	0,0	2,0	0,3	0,0	87,1	0,0	0,0	0,4	17,0	8,5	0,1	60,2	
	<i>Лето</i>							<i>Осень</i>							
Хатанга	2,2	5,4	16,9	25,9	8,5	0,7	13,1	2,5	6,2	20,4	12,8	3,0	0,7	20,9	
Тикси	4,8	11,2	24,0	20,5	6,1	0,5	11,2	0,5	4,0	18,2	15,9	4,0	0,1	18,2	
Тура	0,3	0,5	5,4	42,7	29,3	1,5	14,6	0,2	0,4	5,9	31,1	17,8	0,7	27,7	
Жиганск	0,9	3,4	10,3	11,3	22,4	6,2	21,0	2,8	9,1	17,0	8,4	7,4	1,9	29,6	
Вилуйск	0,2	0,9	9,0	38,9	8,9	0,4	27,2	0,2	1,1	9,4	21,5	4,5	0,2	38,8	
Ванавара	0,2	0,9	4,7	30,2	31,8	0,5	19,5	0,3	1,7	11,2	25,3	15,5	0,5	27,6	
Якутск	0,2	0,7	4,0	27,1	14,3	16,5	20,7	0,6	1,4	7,3	20,4	12,5	5,0	28,9	
Нижнеудинск	0,1	0,2	1,0	29,9	39,0	2,6	20,3	0,1	0,2	1,0	30,4	26,3	1,1	27,5	
Багдарин	0,1	0,4	2,2	15,7	55,8	2,2	13,4	0,0	0,1	0,7	6,0	26,6	1,2	37,6	
Чита	0,5	1,3	1,7	18,8	25,1	17,4	16,5	0,4	0,6	0,9	7,7	14,9	6,8	40,2	
Зея	0,3	0,5	4,5	35,3	16,9	1,2	24,3	0,1	0,3	3,1	15,0	8,0	0,2	46,4	
Нерчинский завод	0,0	0,2	1,4	31,4	14,9	0,2	34,3	0,0	0,0	0,3	14,6	5,5	0,0	60,7	

Анализ табл. 2, а также данных всех 60 сибирских станций показывает, что во все сезоны над территорией Сибири, несмотря на небольшие значения повторяемости для всех используемых градаций, четко выявляются градации с наибольшими повторяемостями (в основном до 20–30%) высоты нижней границы облаков нижнего яруса. К ним относятся такие градации, как 0,4–0,8; 0,8–1,2 и 1,2–1,6 км. При этом градация 0,4–0,8 км с наибольшей повторяемостью высоты нижней границы наблюдается во все сезоны над полярными районами Сибирского региона, а над Западной Сибирью зимой – уже почти повсеместно. Градации высоты нижней границы облаков нижнего яруса 0,8–1,2 и 1,2–1,6 км с наибольшей повторяемостью чаще всего проявляются весной, летом и осенью, причем первая из них имеет наибольшие значения повторяемости (до 34%) над Западной Сибирью летом, а вторая – во все сезоны, но только на юге Восточной Сибири (особенно в Прибайкалье и Забайкалье), где их максимальные значения летом могут достигать 40–56%.

И все же, несмотря на относительно малые значения, наибольшая повторяемость высот нижней границы облаков нижнего яруса, характерная для указанных градаций, имеет во все сезоны хорошо выраженный широтный ход, отличающийся их

ростом от полярных к южным районам Сибири. При этом максимальное повышение этих высот (от 0,4–0,8 до 1,2–1,6 км) имеет место над Восточной Сибирью.

И наконец, отметим, что во все сезоны максимальную повторяемость имеет градация «отсутствие облаков» (0), причем зимой над территорией Якутии и Забайкалья ее значения могут достигать до 80–90%, что совпадает с наличием в этот же сезон области наименьших значений количества нижней облачности (порядка 0,8–1,0 балла).

### Заключение

Таким образом, проведенный анализ статистической структуры количества и высоты нижней границы слоистообразной облачности нижнего яруса ( $Sc$ ,  $St$ ,  $Ns$ ), реализованный на основе данных 60 синоптических станций Сибири за временной интервал 1969–2013 гг., позволяет сделать следующие выводы.

1. Пространственное распределение среднесезонного количества нижней слоистообразной облачности по территории Сибири имеет достаточно сложный характер и явную зависимость от географического положения области исследования. Дей-



ствительно, если над территорией Западной Сибири и независимо от сезона количество таких облаков является максимальным (до 5–7 баллов и даже более), то над Восточной Сибирью оно минимально, особенно зимой в районах Якутии и Забайкалья, где количество нижней облачности не превышает 1,5–2 баллов.

2. Наибольшую повторяемость (в основном от 30 до 55%) во все сезоны (кроме некоторых районов летом) имеют дни с ясной погодой (т.е. когда количество нижней облачности равно 0 баллов), причем зимой на крайнем юго-востоке Восточной Сибири она может достигать 82–90%. Летом повсеместно, а осенью лишь над территорией Западной Сибири повторяемость ясных дней заметно ниже, чем зимой и весной, и не превышает 30%.

3. В отличие от дней с ясной погодой повторяемость дней со сплошной облачностью нижнего яруса (10 баллов), а также ее промежуточных градаций (1–3, 4–6 и 7–9 баллов) во все сезоны не превышает соответственно 20–30 и 20%.

4. Зимой над всей территорией Сибири преобладают пониженные (0,1–0,4 км) значения высоты нижней границы облаков нижнего яруса с двумя очагами максимумов (0,6–0,8 км) вдоль 90-го меридиана. Летом отмечается самое высокое положение нижней границы облаков нижнего яруса и хорошо выражен широтный ход с минимумом 0,3–0,4 км в полярных районах и максимумом до 1,00–1,34 км на юге Сибири (особенно в Забайкалье). Весной и осенью пониженные значения (0,2–0,4 и 0,4–0,6 км соответственно) высоты нижней границы слоистообразных облаков нижнего яруса наблюдаются над Западной Сибирью, а над Восточной Сибирью – ее повышенные (до 0,60–0,98 км) значения.

5. Во все сезоны над территорией Сибири, несмотря на небольшие значения повторяемостей высоты нижней границы облаков нижнего яруса в каждой из выбранных градаций, нами все же выявлены три градации с наибольшей повторяемостью

(0,4–0,8; 0,8–1,2 и 1,2–1,6 км). При этом градация 0,4–0,8 км наблюдается во все сезоны над полярными районами Сибири, а также над территорией Западной Сибири. В то же время градации 0,8–1,2 и 1,2–1,6 км наиболее часто проявляются весной, летом и осенью над Восточной Сибирью, особенно в ее южных районах, где их повторяемость может достигать 40–56%

1. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 232 с.
2. Зуев В.Е. Лазер-метеоролог. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 179 с.
3. Кондратьев К.Я., Тимофеев К.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из Космоса. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 280 с.
4. Журавлева Т.Б., Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К., Смирнов С.В. Статистика облачности над Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 10. С. 880–886.
5. Складнева Т.К., Журавлева Т.Б. Повторяемость основных форм облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 1. С. 65–68.
6. Комаров В.С., Ильин С.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я., Горев Е.В., Нахтигалова Д.П. Климатический режим нижней облачности над территорией Сибири и его современные изменения. Часть 1. Особенности режима нижней облачности // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 7. С. 579–583.
7. Нахтигалова Д.П. Многолетний режим облачного покрова над территорией Сибирского региона и его современные изменения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <http://www.science.education.ru/110-9820>
8. Комаров В.С., Матвиенко Г.Г., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Лавриненко А.В. Статистическая структура и долговременные изменения нижней слоистообразной облачности над регионом Сибири как основа для метеорологической поддержки решения прикладных задач. Часть 2. Долговременные изменения нижней слоистообразной облачности // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 7. С. 630–637.
9. Климатология / Под ред. О.А. Дроздова и Н.В. Кобышевой. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 567 с.

*V.S. Komarov, G.G. Matvienko, N.Ya. Lomakina, S.N. Il'in, A.V. Lavrinenko. Statistical structure and long-term change of the lower stratiform clouds over Siberia as a base for meteorological support for solution of applied problems. Part 1. Statistics of lower stratiform clouds.*

The paper presents the results of the statistical analysis of characteristics of the lower stratiform clouds, obtained according to the 8-term meteorological observations of 60 Siberian stations for the last 45 years (from 1969 to 2013). Researches of the amount and the base of stratiform low clouds (*Sc*, *St*, *Ns*) have been conducted for four seasons. Wherein the statistics such as the average value (balls) and the frequency (%) for five ranges: 0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 were used in the analysis of the amount of lower stratiform clouds and the averages (km) and repeatability (%) for six ranges of the base height: 0.05–0.2; 0.2–0.4; 0.4–0.8; 0.8–1.2; 1.2–1.6; 1.6–2.0 km, supplemented with the gradation “cloudiness” (0) were used in the analysis of the cloud base.