

УДК 551.576; 551.583

# Климатический режим нижней облачности над территорией Сибири и его современные изменения. Часть 1. Особенности режима нижней облачности

В.С. Комаров, С.Н. Ильин, А.В. Лавриненко,  
Н.Я. Ломакина, Е.В. Горев, Д.П. Нахтигалова\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 5.03.2013 г.

По данным 47-летних (1966–2012 гг.) наблюдений 25 метеорологических станций исследуется режим нижней облачности над территорией Сибирского региона. Для четырех сезонов (зима, весна, лето, осень) проведен анализ пространственного распределения среднесезонных значений количества облаков нижнего яруса и их повторяемости по пяти градациям (0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов), а также высоты их нижней границы и ее стандартных (среднеквадратических) отклонений.

*Ключевые слова:* облака нижнего яруса, количество, высота нижней границы, климатические характеристики, Сибирский регион; low-level clouds, amount of clouds, cloud base height, climatic characteristics, Siberian region.

## Введение

Известно [1], что облачность имеет ключевое значение в регулировании радиационных потоков, определяющих тепловой режим системы «земная поверхность – атмосфера», и, следовательно, оказывает огромное влияние на формирование и изменения глобального и регионального климата, причем это влияние в отдельных районах и в каждом из сезонов проявляется по-разному и существенно зависит от типа и количества облачности, высоты нижней и верхней границы облаков и их пространственного распределения.

Среди подобных характеристик важнейшую роль играет тип облачности, поскольку облака верхнего яруса в целом способствуют усилению парникового эффекта и тем самым нагреванию климатической системы, а облака нижнего яруса, отражая приходящую солнечную радиацию, наоборот, ее выхолаживают [2, 3]. Однако в разное время года влияние облаков нижнего яруса проявляется по-разному [4]. Если в холодное полугодие эти облака, создавая парниковый эффект, повышают температуру земной поверхности, то в теплое полугодие они, отражая приходящую солнечную радиацию, ту же температуру понижают. Поэтому учет облачности (в том числе нижнего яруса) приобрел первостепенное значение при решении многих фундамен-

тальных задач климатологии, связанных с анализом чувствительности климата к характеристикам облачности, с численным моделированием климата, оценкой его колебаний и долгопериодных изменений и т.п.

Большая потребность в сведениях об облачности (особенно нижнего яруса) возникла и при решении различных прикладных задач, связанных, в частности, с использованием спутниковых оптических систем землеобзора и лидарных систем дистанционного зондирования атмосферы, поскольку в реальных условиях эта облачность препятствует их эффективному функционированию. Поэтому для метеорологического обеспечения спутниковых оптических систем на этапе их проектирования и оперативного планирования используют обычно климатические модели облачной атмосферы [5], а на этапе реального функционирования – методы вероятностной оценки успешности обзора земной поверхности при различном числе пролетов ИСЗ над исследуемым районом [6]. В то же время для развертывания и более эффективного применения лидарных систем при наличии сплошной облачности, когда невозможна сама оценка состояния надоблачного слоя атмосферы [7], необходим предварительный поиск районов с наименьшей вероятностью ее появления.

Следовательно, получение климатической информации о характеристиках облачности (и особенно облаков нижнего яруса) является довольно актуальным. Здесь следует подчеркнуть, что облачность относится к числу наиболее изменчивых во времени и в пространстве метеорологических

\* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iao.ru); Сергей Николаевич Ильин; Андрей Викторович Лавриненко (gfm@iao.ru); Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iao.ru); Евгений Владимирович Горев; Дарья Петровна Нахтигалова.

явлений, а это требует постоянной переоценки ее характеристик по новейшим данным, причем как на глобальном, так и на региональном уровнях.

К настоящему времени появилось большое количество публикаций по климатологии облаков (см., например, [2, 8–10]). Однако подавляющее их число посвящено в основном исследованию глобального поля облачности и в меньшей степени анализу его региональных особенностей (в частности, над таким малоосвещенным регионом, как Сибирь). Кроме того, все исследования проводились, главным образом, на примере общей облачности и практически не затрагивали анализа облаков нижнего яруса. Только в [11, 12] рассмотрена статистика нижней облачности, однако по данным лишь одного г. Томска. И наконец, при анализе облачных полей в качестве исходных данных взяты в основном ряды наблюдений, не охватывающие последние годы (особенно период 2006–2012 гг.), когда преобладавшее в Северном полушарии потепление климата, наблюдаемое с 1976 г., сменилось тенденцией к его похолоданию [4].

Учитывая все вышесказанное, авторами настоящей статьи проведено детальное исследование режима нижней облачности (к ней по существующей классификации относят облака *Sc*, *St*, *Ns*, *Cu* и *Cb*) над территорией Сибири по данным продленных (до 2012 г.) рядов наблюдений. Результаты этого исследования рассмотрены ниже.

## 1. Характеристика исходных данных и некоторые вопросы их анализа

Основным исходным материалом для исследования режима нижней облачности (ее количества и высоты нижней границы) над территорией Сибири послужили многолетние (1966–2012 гг.) восьмисрочные синоптические наблюдения за облачностью 25 станций (<http://www.ncdc.noaa.gov/>). При этом выбор временного ряда с 1966 г. связан с переходом метеорологической сети России только с этого года на использование данных восьмисрочных наблюдений.

Что касается самого исследования, то оно проводилось с помощью следующих климатических показателей. Так, при анализе количества нижней облачности использованы его средние значения  $\bar{N}_H$  (баллы) и повторяемость (%) облаков по пяти градациям  $N_i$  (0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов). Эти градации применяются обычно при оценке режима облачной атмосферы в прикладных целях [5, 13]. В то же время при анализе высот нижней границы облаков нижнего яруса взяты средние значения  $\bar{H}_{НГ}$  (км) и стандартные (среднеквадратические) отклонения  $\sigma_H$  (км). При этом в обоих случаях исследования режима нижней облачности (ее количества и высоты нижней границы) были использованы среднесезонные значения указанных климатических показателей, рассчитанные для четырех сезонов (зимы, весны, лета и осени).

## 2. Особенности пространственного распределения количества нижней облачности по территории Сибири

Перейдем непосредственно к анализу полученных результатов, причем рассмотрим вначале особенности пространственного распределения среднего количества облаков нижнего яруса  $\bar{N}_H$  по территории Сибири, полученного по данным 1966–2012 гг. С этой целью воспользуемся рис. 1 (цветная вклейка), на котором в картографическом виде показано пространственное распределение среднесезонного количества облаков нижнего яруса для четырех сезонов (зимы, весны, лета и осени).

Сразу же подчеркнем, что особенности пространственного распределения среднего количества нижней облачности будем рассматривать отдельно для каждого сезона.

*Зима.* Для этого сезона характерны следующие особенности.

– Во-первых, зимой наибольшее количество облаков нижнего яруса (порядка 3,0–4,7 балла) отмечается в полярной зоне всего Сибирского региона, а также над территорией Западной Сибири, где хорошо развита циклоническая деятельность (только в одном январе повторяемость подвижных циклонов составляет здесь от 15 до 20% [14]).

– Во-вторых, в тот же сезон над Восточной Сибирью (в отличие от Западной) количество нижней облачности существенно меньше и в среднем за зимний период не превышает 2,9 балла, причем область ее наименьших значений (порядка 1,5–1,8 балла) охватывает большую часть Якутии (между 60 и 70° с.ш.) и Забайкалье (ст. Багдарин и Чита) и находится в тесной связи с высоким атмосферным давлением и низкими температурами, характерными для господствующего здесь Сибирского антициклона.

*Весна.* В данный сезон, в отличие от зимы, наблюдается несколько иная картина. Если над Западной Сибирью (к северу от 60° с.ш.) также отмечается наибольшее количество нижней облачности (порядка 4,0–4,7 балла), то к югу от 60° с.ш. оно заметно меньше (около 3,5–3,9 балла). В то же время над Восточной Сибирью при некотором росте количества нижней облачности (по сравнению с зимним сезоном) по-прежнему сохраняется его минимум, равный в среднем 2,5–3,3 балла.

*Лето.* В этот сезон область наибольшего количества нижней облачности (порядка 4,6–6,9 балла) сохраняется лишь в полярной зоне всего Сибирского региона и в субполярных широтах Западной Сибири, где наблюдается повышенная циклоническая деятельность (повторяемость подвижных циклонов достигает здесь 15% [14]). Над остальной территорией Сибирского региона количество нижней облачности мало зависит от географического положения станции и варьирует в пределах 3,3–4,5 балла.

*Осень.* В осенний период пространственное распределение среднего количества нижней обла-

ности по территории Сибирского региона по своим особенностям повторяет зимнее распределение (правда, при более высоких значениях  $\bar{N}_H$ ). В частности, как и зимой, наибольшее количество облаков нижнего яруса (от 5,0 до 6,4 балла) наблюдается в полярной зоне всего рассматриваемого региона и над территорией Западной Сибири, а наименьшее (в основном не более 4,6 балла) — над Восточной Сибирью, причем его минимум (порядка 2,6–3,0 балла) находится в Забайкалье.

Наряду с пространственным распределением, будет интересным рассмотреть также и сезонный ход количества нижней облачности. С этой целью воспользуемся данными того же рис. 1, из которого следует, что почти над всей территорией Сибири минимум количества облаков нижнего яруса отмечается в зимний сезон, причем наименьшие значения  $\bar{N}_H$  (менее 2–3 баллов) наблюдаются над территорией Восточной Сибири (к югу от 70° с.ш.),

а максимум нижней облачности (до 5–8 баллов) проявляется наиболее ярко в осенние месяцы, когда отчетливо обнаруживается влияние циклонической деятельности [10]. Лишь в Забайкалье (ст. Чара, Багдарин, Чита) максимум нижней облачности наступает летом, когда здесь хорошо развита конвекция атмосферного воздуха.

Поскольку средняя величина как климатическая характеристика количества облаков не является достаточной, то вместе с ней обычно используется также и повторяемость различных градаций облачности. Поэтому далее рассмотрим особенности пространственного изменения повторяемости  $N_i$  по территории Сибири в зависимости от сезона и географического положения станции. Воспользуемся с этой целью данными таблицы, где в качестве примера приведена повторяемость (%) пяти градаций нижней облачности (0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов) для некоторых характерных станций Сибири.

**Повторяемость (%) различных градаций количества облаков нижнего яруса  $N_H$  на некоторых характерных станциях Сибирского региона за 1966–2012 гг.**

Станция	$N_H$ , балл									
	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	41	12	15	22	10	32	13	13	29	14
Салехард	56	06	14	07	17	41	11	16	17	15
Туруханск	47	05	08	10	30	40	11	13	16	20
Александровское	49	14	14	09	14	42	16	17	15	10
Екатеринбург	38	07	13	14	28	39	12	18	15	16
Омск	50	06	09	09	26	48	12	13	12	15
Новосибирск	45	06	13	06	30	44	11	16	09	20
Енисейск	42	07	15	12	24	35	15	26	15	09
<i>Лето</i>					<i>Осень</i>					
Диксон	11	12	10	44	23	15	10	13	42	20
Салехард	23	18	20	25	14	23	08	17	22	30
Туруханск	22	21	20	23	15	26	09	13	21	31
Александровское	13	24	19	31	13	21	18	19	27	15
Екатеринбург	22	21	25	20	12	23	10	16	22	29
Омск	28	24	21	17	10	33	11	13	17	26
Новосибирск	28	22	22	12	16	27	10	14	19	30
Енисейск	23	25	31	16	05	21	13	19	20	27
<b>Восточная Сибирь</b>										
<i>Зима</i>					<i>Весна</i>					
Хатанга	39	09	16	10	26	32	16	19	13	20
Тикси	40	07	18	12	23	37	11	17	17	18
Тура	63	06	09	04	18	36	14	18	14	18
Жиганск	67	11	12	03	07	47	16	17	09	11
Вилуйск	78	04	05	04	09	54	14	11	11	10
Якутск	66	11	13	04	06	45	23	18	08	06
Нижнеудинск	51	12	16	09	12	34	18	20	16	12
Чита	67	13	10	02	08	40	25	24	05	06
<i>Лето</i>					<i>Осень</i>					
Хатанга	14	26	25	23	12	17	15	23	21	24
Тикси	15	19	20	28	18	19	09	16	21	35
Тура	15	16	22	27	20	27	11	15	17	30
Жиганск	17	22	25	21	15	33	15	17	15	20
Вилуйск	21	28	21	20	10	38	12	11	16	23
Якутск	21	36	27	10	06	29	21	22	14	14
Нижнеудинск	21	22	22	19	16	28	17	18	16	21
Чита	16	36	35	09	04	41	25	22	06	06

Анализ данных таблицы и всего имеющегося статистического материала позволяет получить общее представление о региональном распределении повторяемости облаков нижнего яруса по территории Сибири для различных сезонов. Так, например, в зимний и весенний сезоны повсеместно обнаруживается достаточно высокая повторяемость ясной погоды ( $N_H = 0$  баллов). При этом наибольшая повторяемость значений  $N_H = 0$ , доходящая до 67–78%, отмечается зимой над Якутией (к северу от 60-й параллели) и в Забайкалье и связана с влиянием Сибирского антициклона. В летний и осенний сезоны повторяемость ясной погоды ( $N_H = 0$  баллов) существенно ниже, чем весной и особенно зимой, и не превышает 30% (причем почти над всей территорией Сибирского региона). Лишь осенью на юге Западной Сибири (станции Омск и Тобольск), в центральной части Якутии (Оленск, Жиганск и Вилюйск), а также в Забайкалье (Чита и Багдарин) она несколько выше и доходит до 38–40%.

В отличие от ясной погоды, вероятность сплошного покрытия неба облаками нижнего яруса ( $N_H = 10$  баллов) во все сезоны существенно меньше и нигде не превышает 30%. Что касается остальных (промежуточных) градаций количества нижней облачности, то для них, причем независимо от географического положения станции и сезона, характерна, за редким исключением, относительно малая повторяемость (менее 25%). Только на севере Западной Сибири (ст. Диксон) в летне-осенние сезоны повторяемость градации  $N_H = 7–9$  баллов заметно выше (42–44%). В то же время над центром Якутии и в Забайкалье, но лишь летом, повышенная повторяемость (до 28–36%) характерна для двух градаций  $N_H$ : 1–3 и 4–6 баллов.

### 3. Особенности пространственного распределения высоты нижней границы облаков нижнего яруса

Перейдем теперь подробнее к анализу особенностей пространственного распределения высоты нижней границы облаков нижнего яруса, к которым во внетропических широтах относятся облака с нижней границей не выше 2 км над земной поверхностью [10]. Для такого анализа воспользуемся рис. 2, где представлено в картографическом виде распределение по территории Сибири среднесезонных значений высоты нижней границы  $\bar{H}_{НГ}$  облаков нижнего яруса и ее стандартных (среднеквадратических) отклонений  $\sigma_H$ , рассчитанных для четырех сезонов по данным за 1966–2012 гг.

Анализ рис. 2 показывает, что для среднесезонной высоты нижней границы облаков нижнего яруса характерен рост ее значений от полярных к умеренным широтам, причем такая особенность проявляется во все сезоны и на всей территории Сибирского региона. Так, например, зимой в полярных широтах Западной Сибири значение высоты нижней границы  $\bar{H}_{НГ}$  составляет 0,49 км, а в уме-

ренных широтах она варьирует уже в пределах 0,69–0,96 км. В то же время в этот сезон над Восточной Сибирью она изменяется от 0,56–0,67 км в полярных районах до 0,95–1,46 км к югу от 60° с.ш.

Кроме того, из рис. 2 хорошо видно, что для высоты нижней границы облаков нижнего яруса характерен определенный сезонный ход. При этом высота нижней границы  $H_{НГ}$  имеет повсеместно свой максимум в летний сезон, причем ее наибольшие значения отмечаются на юге Западной Сибири (до 1,08–1,16 км), над центральными районами Якутии (до 1,01–1,16 км), а также в Забайкалье, где они могут доходить даже до 1,21–1,55 км. Появление максимальных высот нижней границы облаков нижнего яруса в указанных районах связано с повышением здесь летом повторяемости облаков конвективного развития, имеющих высоту нижней границы в основном выше, чем у слоистообразной облачности [10].

Что касается распределения стандартных отклонений  $\sigma_H$  высоты нижней границы облаков нижнего яруса по территории Сибирского региона, то для него характерны следующие особенности. *Во-первых*, как это видно из рис. 2, колебания нижней границы облаков нижнего яруса, характеризующиеся значениями стандартного отклонения, являются не столь значительными и величины  $\sigma_H$  повсеместно и независимо от сезона варьируют в основном в пределах 0,20–0,30 км. *Во-вторых*, относительный максимум  $\sigma_H$ , достигающий своего наибольшего значения 0,33–0,37 км на юге Западной Сибири и в Якутии, наблюдается главным образом в весенний, летний и осенний сезоны.

В заключение следует отметить, что во второй части настоящей статьи будут рассмотрены результаты оценок современного изменения среднегодового и среднесезонного количества нижней облачности, проведенных путем сравнения их климатических норм, рассчитанных для различных районов Сибири по данным последовательных временных интервалов, которые находятся в пределах взятого 47-летнего периода (1966–2012 гг.).

1. Кондратьев К.Я., Биненко В.И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. Чернокульский А.В., Мохов И.И. Сравнительный анализ характеристик глобальной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 3. С. 12–29.
3. Hartmann D.L., Ockert-Bell M.E., Michelsen M.L. The effect of cloud type on the Earth's energy balance: Global analysis // J. Climate. 1992. N 5. P. 1281–1304.
4. Шерстюков Б.Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 293 с.
5. Комаров В.С., Ременсон В.А. Состояние и развитие моделей атмосферы для решения задач атмосферной оптики // Оптика атмосф. и океана. 1988. Т. 1, № 7. С. 3–16.
6. Воробьев В.И., Розанова И.В., Розанов Р.Е. Априорная оценка вероятности успешного обзора земной поверхности из космоса по климатическим данным

- о количестве общей облачности // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 1. С. 38–41.
7. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 232 с.
  8. Hughes N.A. Global climatologies: historical review // J. Climatol. and Appl. Meteorol. 1984. V. 23, N 5. P. 724–751.
  9. Матвеев Ю.Л., Матвеев Л.Т., Солдатенко С.А. Глобальное поле облачности. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 278 с.
  10. Облака и облачная атмосфера: Справочник / Под ред. И.П. Мазина и А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 647 с.
  11. 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.
  12. 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.
  13. Гайкинварельдер Т.Н. О выборе градаций для режимной обработки облачности // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1976. Вып. 25. С. 117–121.
  14. Климатология / Под ред. О.А. Дроздова и Н.В. Кобышевой. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 567 с.

*V.S. Komarov, S.N. Il'in, A.V. Lavrinenko, N.Ya. Lomakina, E.V. Gorev, D.P. Nakhtigalova.*  
**Climate conditions of low clouds over the territory of Siberia and its modern change. Part 1. Features of low clouds conditions.**

The low clouds conditions over the territory of the Siberian region are researched, using the 47-year (1966–2012) observation data of 25 meteorological stations. The spatial distribution of the seasonal average values of the amount of low-level clouds and their frequency according to five gradations (amount of clouds: 0, 1–3, 4–6, 7–9, and 10), as well as the cloud base heights and its standard deviations was analysed for four seasons (winter, spring, summer, autumn).

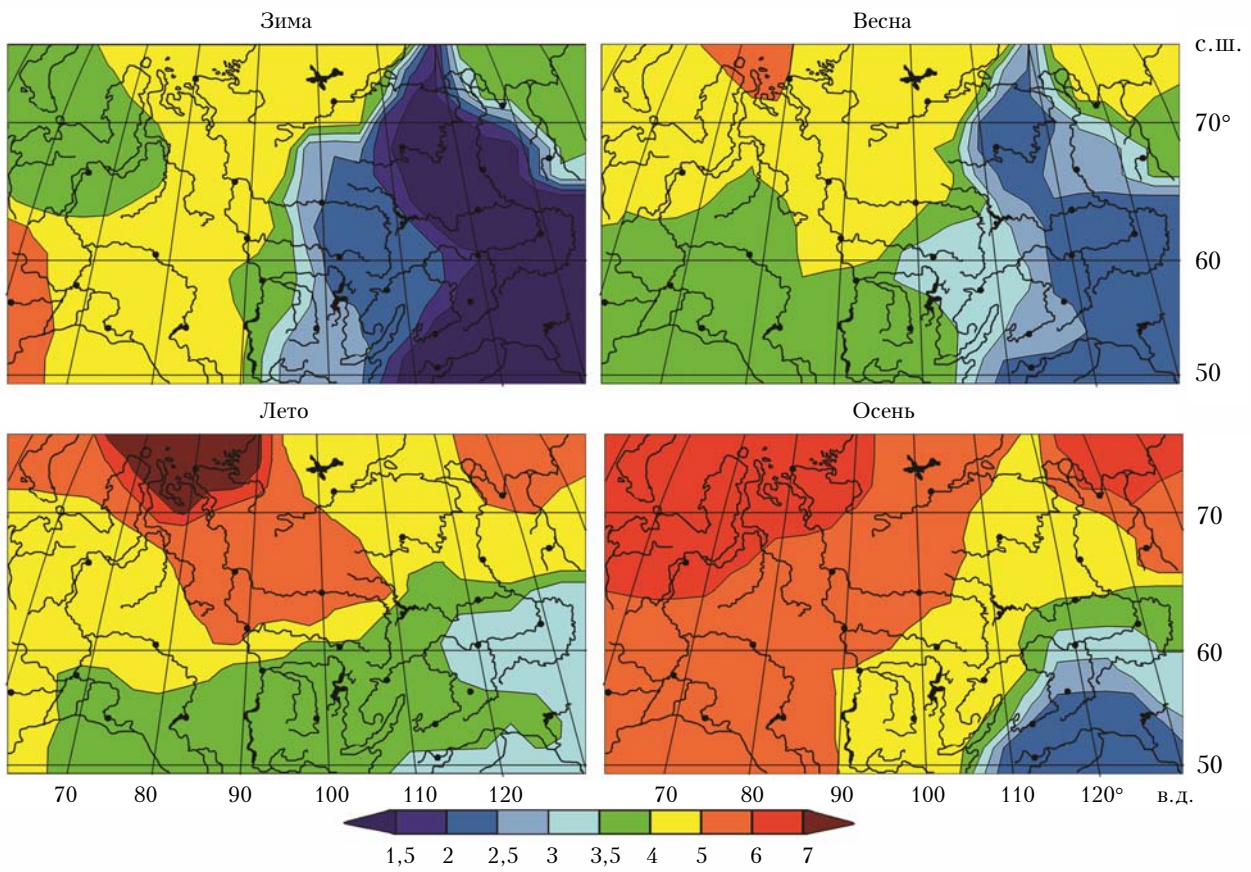
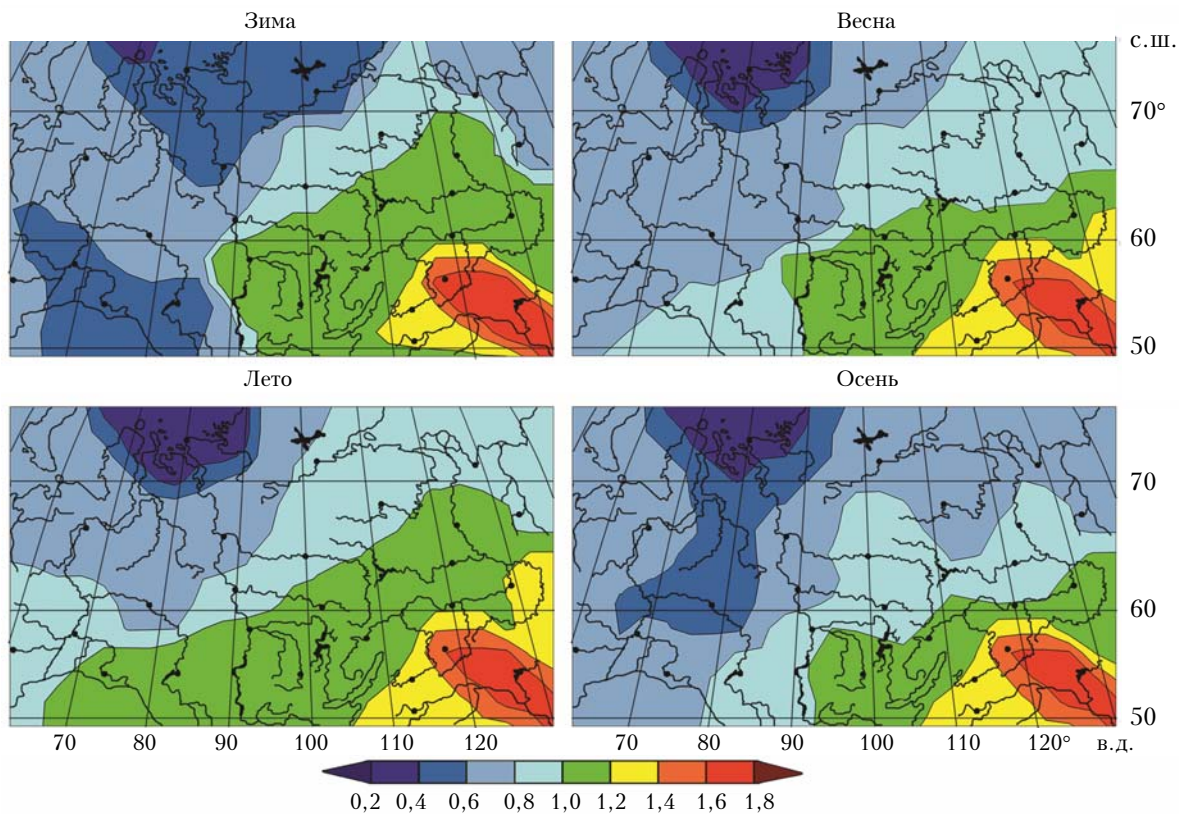
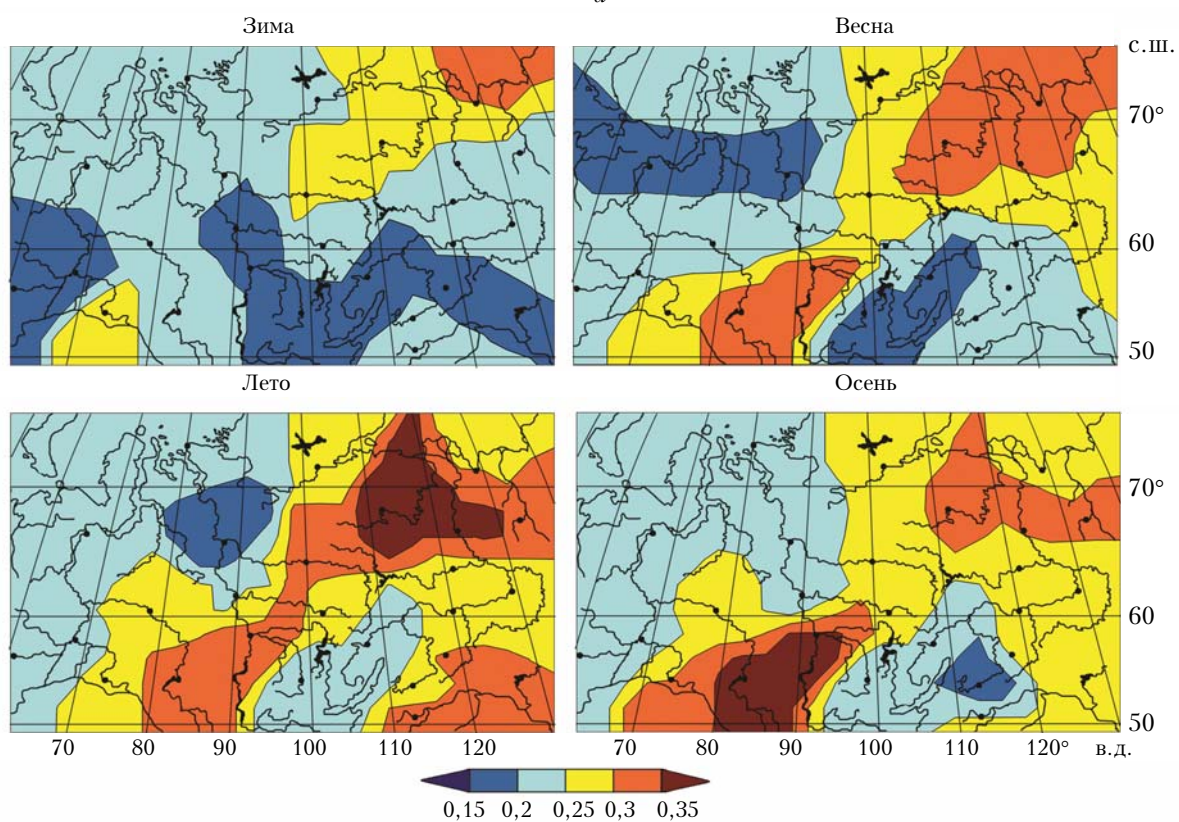


Рис. 1. Пространственное распределение по территории Сибири среднесезонного количества нижней облачности (баллы)





*a*



*б*

Рис. 2. Пространственное распределение по территории Сибири среднесезонных значений высоты (км) нижней границы облаков нижнего яруса (*a*) и ее стандартных отклонений (*б*)