

УДК 551.576.2: 551.583

## Региональные особенности долгопериодного изменения облачного покрова в Сибирском секторе Северного полушария за последние 45 лет (1969–2013 гг.)

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

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

Поступила в редакцию 19.08.2014 г.

Рассмотрены результаты статистического анализа региональных особенностей долговременного изменения облачного покрова над территорией Сибири по данным климатического районирования этого региона по режиму общей и нижней облачности, проведенного с использованием 45-летних (1969–2013 гг.) рядов метеорологических наблюдений 60 станций, расположенных в Сибирском секторе Северного полушария.

Установлено, что во все сезоны и за год в целом при пространственном осреднении данных по всему Сибирскому сектору, а также по территории Западной и Восточной Сибири в отдельности, в течение базового 45-летнего периода (1969–2013 гг.), а также в 1976–2005 гг., когда наблюдалось интенсивное глобальное потепление, проявилась явная тенденция к увеличению количества общей и нижней облачности. В последние годы (2006–2013 гг.), когда появилась тенденция к ослаблению интенсивности глобального потепления, на территории всего Сибирского сектора во все сезоны (кроме осеннего) и в целом за год произошло существенное уменьшение количества общей и нижней облачности.

*Ключевые слова:* количество нижней и общей облачности, долговременные изменения, тренды, климатическое районирование, Сибирский регион; amount of total and lower cloudiness, long-term changes, trends, climatic zoning, Siberian region.

### Введение

Облачность, как известно, является одним из главных регуляторов радиационных потоков, определяющих тепловой режим системы «земная поверхность–атмосфера», и, следовательно, характеристики облаков (средние значения, изменения во времени и в пространстве) оказывают определяющее влияние на формирование и колебание климата [1]. Особенно важную роль в изменении глобального и регионального климатов играют долговременные изменения самого состояния облачного покрова, влияющие на вариации приземной температуры [2, 3]. Кроме того, поскольку характеристики облачного покрова относятся к числу наиболее изменчивых во времени и пространстве [4], они требуют их постоянной переоценки по мере поступления новых данных синоптических наблюдений. Из этого следует, что изучение долговременных климатических изменений облачного покрова с учетом самых новейших данных представляет большой научный и практический интерес.

Поэтому не случайно, что проблеме долговременного изменения состояния облачного покрова уделяется большое внимание как в России, так и за

рубежом (см., например, [2, 3, 5–11]). Однако до настоящего времени по ряду причин (например, из-за использования данных, относящихся к различным периодам метеорологических наблюдений, наличия в статистических рядах неоднородностей, вызванных изменениями методики и сроков измерения, отсутствия сведений об облачности за последние годы и т.п.) остается еще не определенным, особенно на региональном уровне, характер существующих тенденций долговременного изменения количества общей и нижней облачности. Это касается, в первую очередь, малоосвоенных территорий, в том числе и территории Сибирского сектора Северного полушария (или сокращенно Сибирского сектора), расположенного между 50 и 75° с.ш. и между 60 и 135° в.д. Кроме того, при исследовании существующих трендов долговременного изменения облачного покрова в Сибирском секторе из-за использования (в климатическом анализе данных) различного числа метеорологических станций (оно может меняться от десятков и более сотни [8, 12] до нескольких и даже единичных станций [6, 11, 13]) трудно сравнить между собой полученные в них результаты и, следовательно, получить достоверные сведения о современной тенденции этого изменения.

Учитывая это обстоятельство, авторы статьи провели специальные исследования по оценке локальных особенностей долговременного изменения состояния облачного покрова в Сибирском секторе

\* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iaeo.ru); Геннадий Григорьевич Матвиенко (magg@iaeo.ru); Сергей Николаевич Ильин; Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iaeo.ru).

Северного полушария с использованием результатов климатического районирования его территории по режиму общей и нижней облачности (методика и результаты такого районирования приведены в [14, 15], а данные оценки локальных особенностей долговременных изменений этих видов облачности рассмотрены в [16]).

Однако наряду с локальными особенностями представляет определенный интерес (с точки зрения сравнительного анализа) рассмотреть также и результаты статистического оценивания долговременных изменений количества общей и нижней облачности в пределах всего Сибирского сектора в целом, которые можно определить путем площадного осреднения данных всех трендов, определенных для каждого из однородных облачных районов, выявленных в процессе климатического районирования. О результатах такого оценивания и пойдет речь в настоящей статье.

## 1. Исходные данные и некоторые методические аспекты их климатической обработки

Как и в случае с оценкой локальных особенностей долговременного изменения облачного покрова [16], основным исходным материалом, используемым для анализа региональных особенностей такого изменения над территорией Сибирского сектора в целом и его отдельных частей (Западной и Восточной Сибири), послужили ежегодные значения среднесезонного и среднегодового количества общей и нижней облачности, полученные по данным многолетних (1969–2013 гг.) 8-срочных наблюдений 60 метеорологических станций (<http://www.ncdc.noaa.gov/>). Эти данные и были использованы для климатического районирования территории Сибирского сектора [15], результаты которого стали основой для оценки современных тенденций изменения количества общей и нижней облачности на региональном уровне. При этом анализ тенденций долговременного изменения облачного покрова проводился для трех периодов наблюдений. К ним относятся такие периоды, как:

– 1969–2013 гг., т.е. период, используемый для характеристики общей (для сектора в целом) тенденции изменения облачного покрова за последние 45 лет и сравнения ее с результатами, полученными в других публикациях;

– 1976–2005 гг. – период, в течение которого наблюдалось интенсивное глобальное потепление климата (см., например, [3, 17]);

– 2006–2013 гг. – период, когда стала проявляться явно выраженная тенденция не только к уменьшению интенсивности глобального потепления, особенно на региональном уровне, но и медленный процесс похолодания, который охватывает всю территорию Сибири [10, 18–21].

На основе указанных данных с помощью площадного осреднения ежегодных среднесезонных и среднегодовых значений количества общей и нижней облачности, определенных для каждого однородного облачного района с учетом его площади, осуществлялась оценка их пространственно-осредненных значений для всей территории Сибирского сектора в целом, а также его отдельных (западной и восточной) частей. Полученные результаты и послужили основой для расчета общих (для указанных территорий) кривых межгодового хода, линейных трендов и величин их интенсивности, определяющих главные особенности долговременного изменения количества общей и нижней облачности над территорией Западной и Восточной Сибири и Сибирского сектора Северного полушария, которые проявились в течение трех рассматриваемых периодов.

## 2. Обсуждение результатов климатического анализа

Рассмотрим собственно результаты климатического анализа региональных особенностей долговременного изменения облачного покрова над территорией Западной и Восточной Сибири и Сибирского сектора в целом, проведенного для трех различных периодов (1969–2013, 1976–2005 и 2006–2013 гг.). При этом вначале исследуем особенности долговременного изменения количества общей и нижней облачности, оцененного по данным всего рассматриваемого 45-летнего периода (1969–2013 гг.). На рис. 1 и 2 в качестве примера приведены для указанных территорий и периодов наблюдений кривые межгодового хода и линейные тренды долговременного изменения среднесезонных и среднегодовых значений общей и нижней облачности, а в табл. 1 – величины интенсивности этих трендов.

Таблица 1

**Интенсивность трендов среднесезонного и среднегодового количества общей и нижней облачности в Западной и Восточной Сибири и в Сибирском секторе в целом для различных временных интервалов 1969–2013, 1976–2005 и 2006–2013 гг.**

Регион	Общая облачность					Нижняя облачность				
	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
	1969–2013 гг.									
Западная Сибирь	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,04	0,09	0,07
Восточная Сибирь	0,04	0,06	0,08	0,10	0,07	0,11	0,13	0,07	0,15	0,11
Сибирский сектор	0,04	0,06	0,07	0,08	0,06	0,09	0,10	0,06	0,12	0,09

Регион	Общая облачность					Нижняя облачность				
	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
1976–2005 гг.										
Западная Сибирь	0,05	0,03	0,06	0,02	0,04	0,16	0,09	0,09	0,14	0,11
Восточная Сибирь	0,03	0,07	0,07	0,09	0,06	0,13	0,18	0,09	0,17	0,14
Сибирский сектор	0,03	0,05	0,07	0,06	0,05	0,15	0,14	0,09	0,13	0,13
2006–2013 гг.										
Западная Сибирь	-0,80	-0,31	-0,10	0,50	-0,18	-1,05	-0,41	-0,52	0,39	-0,40
Восточная Сибирь	-0,67	-0,53	-0,49	0,25	-0,36	-0,49	-0,17	-0,92	0,24	-0,34
Сибирский сектор	-0,74	-0,42	-0,30	0,38	-0,27	-0,77	-0,29	-0,72	0,32	-0,37

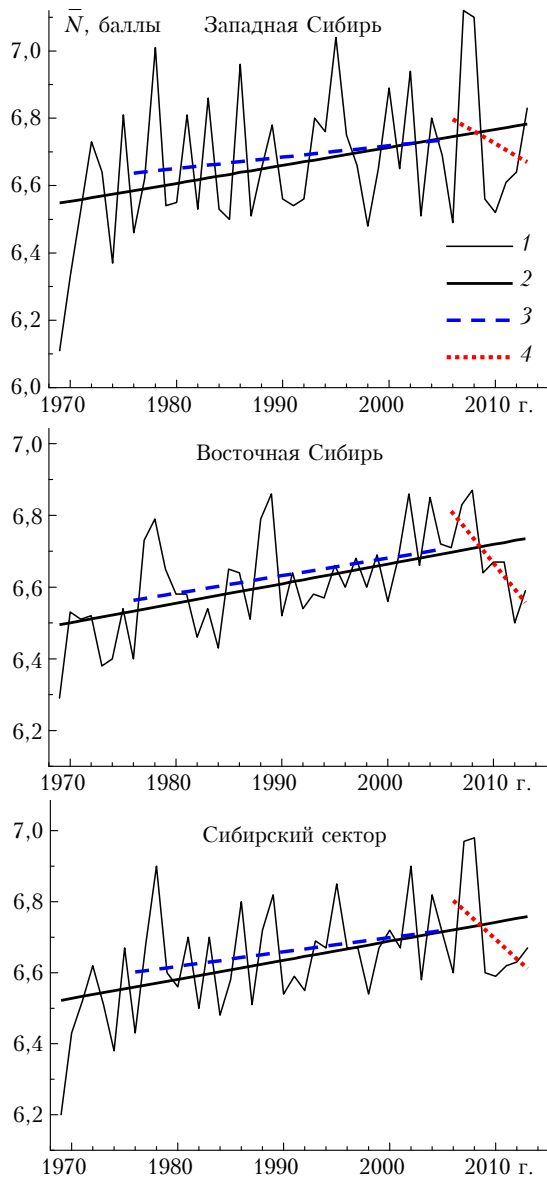


Рис. 1. Долгопериодные изменения среднегодового количества общей облачности (1) и их линейные тренды, полученные по данным 1969–2013 (2), 1976–2005 (3) и 2006–2013 гг. (4) для территорий Западной и Восточной Сибири, а также для Сибирского сектора в целом

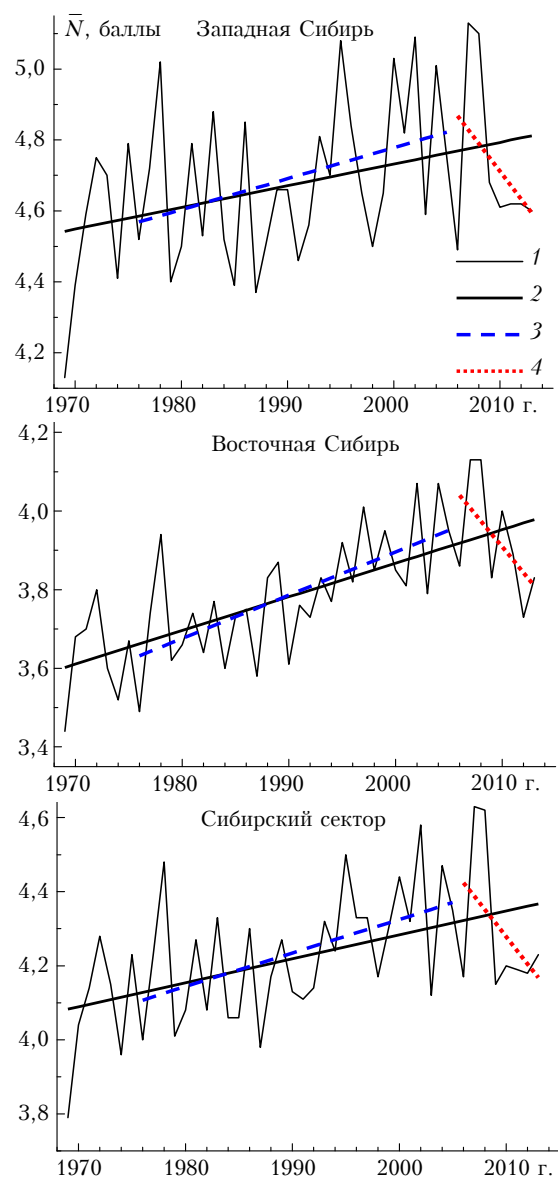


Рис. 2. Долгопериодные изменения среднегодового количества нижней облачности (1) и их линейные тренды, полученные по данным 1969–2013 (2), 1976–2005 (3) и 2006–2013 гг. (4) для территорий Западной и Восточной Сибири, а также для Сибирского сектора в целом

Анализ рис. 1 и 2 и данных табл. 1 показывает, что над территорией Западной и Восточной Сибири и над всем Сибирским сектором Северного полушария преобладает повсеместное увеличение количества общей и нижней облачности с незначительной интенсивностью (соответственно 0,04–0,10 и 0,04–0,15 балла/10 лет во все сезоны и 0,06–0,07 и 0,07–0,11 балла/10 лет за год в целом). При этом такой вывод, сделанный для нижней облачности и Сибирского сектора в целом, не подтверждает результаты, полученные ранее в [6, 8], согласно которым над азиатской частью России во второй половине XX в. – начале XXI в. преобладала тенденция к уменьшению количества облаков нижнего яруса.

Наряду с анализом тенденций климатического изменения пространственно-осредненных среднесезонных и среднегодовых значений количества общей и нижней облачности, оцененных для территорий Западной и Восточной Сибири и Сибирского сектора в целом по данным 45-летнего (1969–2013 гг.) периода, интересно рассмотреть также особенности такого изменения для двух различных по своему характеру периодов, охватывающих: 1976–2005 гг. (эти годы, как говорилось выше, соответствуют периоду последнего и наиболее интенсивного потепления глобального климата) и 2006–2013 гг., когда наметилась явная тенденция к ослаблению интенсивности такого потепления, а в некоторых регионах (в том числе Сибирском [18–21]) проявилась даже тенденция к похолоданию климата.

Анализ рис. 1 и 2 и данных табл. 1 показывает, что в 1976–2005 гг. характер линейных трендов долговременного изменения пространственно-осредненных среднесезонных и среднегодовых количеств общей и нижней облачности, оцененных для всей территории Западной (или Восточной) Сибири и Сибирского сектора в целом, подобен трендам, свойственным для всего 45-летнего периода.

Действительно, в 1976–2005 гг., как и за весь рассматриваемый 45-летний период (1969–2013 гг.), отмечалось увеличение среднесезонных значений количества общей и нижней облачности с интенсивностью 0,03–0,09 и 0,09–0,18 балла/10 лет соответственно, причем для облаков нижнего яруса интенсивность трендов в 1976–2005 гг. была заметно выше, чем в базовый 45-летний период. Такой же характер долговременного изменения сохраняется и у среднегодовых значений количества общей и нижней облачности (при интенсивности 0,04–0,06 и 0,11–0,14 балла/10 лет).

В отличие от 1976–2006 гг., в период с 2006 по 2013 г. над территорией Сибирского сектора и его западной и восточной частей имело место существенное уменьшение (исключая лишь осень) среднесезонного и среднегодового количества общей и нижней облачности, интенсивность которого составляла во все сезоны (кроме осени)  $-0,10 \div -0,80$  и  $-0,17 \div -1,05$  балла/10 лет, а в целом по году  $-0,18 \div -0,36$  и  $-0,34 \div -0,40$  балла/10 лет соответственно.

Подобное изменение количества общей и нижней облачности от 1976–2005 к 2006–2013 гг., на-

блюдаемое в Сибирском секторе Северного полушария, обусловлено, согласно [22], сменой широтной (западной) циркуляции, преобладающей в 80–90 гг. XX в. на долготные (северные) процессы, играющие главную роль в начале XXI в. и приводящие к уменьшению облачного покрова.

В заключение рассмотрим результаты сравнительного анализа современных тенденций долговременного изменения среднегодового количества общей и нижней облачности в Сибирском секторе, приведенные в некоторых публикациях последних лет [6, 8, 12, 13], и сопоставим их с данными настоящей статьи. Результаты подобного сравнения даются в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты сравнительного анализа тенденций долговременного изменения среднегодового количества общей и нижней облачности, полученных для Сибирского сектора авторами работы и другими исследователями**

Источник	Общая облачность	Нижняя облачность	Период
Настоящая работа	Возрастание	Возрастание	1969–2013
	Возрастание	Возрастание	1976–2005
[6]	Возрастание	Уменьшение	1987–1995
[12]	Возрастание	Уменьшение	1936–1990
[13]	Возрастание	Возрастание	1993–2004
[8]	Уменьшение	Уменьшение	1961–2000
	Уменьшение	Возрастание	1976–2005

Из анализа табл. 2 следует, что, несмотря на имеющиеся различия в продолжительности используемых в этих публикациях периодов наблюдений (в сравнении с нашими данными), все же можно выявить некоторые особенности, свойственные представленным в них трендам.

В частности, лишь в одной из указанных публикаций, а именно в работе Т.Б. Журавлевой и др. [13], отмечается полное совпадение обнаруженных (по данным только одной станции Томск за 1993–2004 гг.) тенденций к увеличению среднегодового количества общей и нижней облачности с результатами настоящего исследования, где взяты наиболее полные и однородные статистические ряды многолетних (1969–2013 гг.) наблюдений 60 Сибирских станций. Они использованы при оценке тенденций изменения облачного покрова в пределах всего Сибирского сектора Северного полушария.

Кроме того, почти во всех рассматриваемых работах [6, 8, 12] делается вывод об уменьшении во второй половине XX в. среднегодового количества нижней облачности, что не соответствует нашим данным. При этом в работе Е.И. Хлебниковой и К.А. Салль [8], в которой дается анализ современного изменения облачного покрова над территорией России (в том числе и над ее азиатской частью) на основе наиболее полных данных стандартных метеорологических и актинометрических наблюдений, также отмечается в период 1951–2000 гг. явная тенденция к уменьшению нижней облачности, хотя в период 1976–2005 гг. преобладает ее незначительный рост. Однако в том и другом случае приведен-

ные в [8] тренды имеют отрицательные значения для общей облачности, что не согласуется с нашими данными.

Подобные расхождения с нашими данными обусловлены тем, что в [8] нарушена однородность используемых рядов, поскольку в одну выборку объединены 4-срочные (за период 1951–2000 гг.) и 8-срочные (начиная с 1969 г.) метеорологические наблюдения, а также на временном интервале 1976–2005 гг. использованы 6-срочные актиметрические наблюдения за облачным покровом.

### Заключение

Таким образом, анализ долговременных изменений количества общей и нижней облачности за весь базовый 45-летний период (1969–2013 гг.), а также за 1976–2005 и 2006–2013 гг., проведенный для Сибирского сектора Северного полушария с использованием результатов климатического районирования его территории по режиму облачного покрова, позволил выявить определенные региональные особенности такого изменения в различные временные интервалы.

В частности, установлено, что:

– при пространственном осреднении данных по всему Сибирскому сектору, а также по территории Западной и Восточной Сибири в отдельности в течение базового 45-летнего периода (1969–2013 гг.), а также в 1976–2005 гг., когда наблюдалось интенсивное глобальное потепление, проявилась явная тенденция к увеличению количества общей и нижней облачности;

– в отличие от указанных периодов, в последние годы (2006–2013 гг.), когда стала проявляется тенденция к ослаблению интенсивности глобального потепления и даже к похолоданию климата, в том числе на территории всего Сибирского сектора, имело место во все сезоны (кроме осеннего) и в целом за год существенное уменьшение количества общей и нижней облачности, которое согласно [22] связано со сменой западной циркуляции, преобладающей в 80–90-е гг. XX в. над Сибирским сектором, на северную, играющую здесь главную роль в первые годы (2001–2012 гг.) XXI в.;

– представленные в настоящей статье результаты существенно уточняют данные, приведенные в последних публикациях [6, 8, 12], посвященных оценке современных долговременных изменений облачного покрова над территорией Сибирского сектора. В первую очередь это касается облаков нижнего яруса, поскольку их количество в 80–90-е гг. XX в. заметно уменьшается, а не возрастает, как следует из наших данных.

1. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Облака и вихри – основа погоды и климата. СПб.: Изд. РГМУ, 2005. 327 с.
2. Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A Survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations 1971–96 // J. Climate. 2007. V. 20, N 4. P. 717–738.

3. Шерстюков Б.Г. Изменение, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 293 с.
4. Хромов С.П., Петросянец М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ; Изд-во «Колос», 2004. 582 с.
5. Henderson-Sellers A. Continental cloudiness this century // Geo Journal. 1992. V. 27, N 3. P. 255–262.
6. Байкова И.М., Ефимова Н.А., Строчкина Л.А. Современное изменение облачного покрова над территорией России // Метеорол. и гидрол. 2002. № 9. С. 52–61.
7. Dai A., Karl T.R., Sun B., Trenberth K.E. Recent Trends in Cloudiness over the United States: A Tale of Monitoring Inadequacies // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2006. V. 87, N 5. P. 597–606.
8. Хлебникова Е.И., Салль К.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорол. и гидрол. 2009. № 7. С. 5–13.
9. Eastman R., Warren S.G. A 39-Yr Survey of Cloud Changes from Land Stations World-Wide 1971–2009: Long-Term Trends, Relation to Aerosols, and Expansion of the Tropical Belt // J. Climate. 2013. V. 26, N 4. P. 1286–1303.
10. Tang Q., Leng G. Changes in Cloud Cover, Precipitation, and Summer Temperature in North America from 1982 to 2009 // J. Climate. 2013. V. 26, N 5. P. 1733–1744.
11. Абакумова Г.М. Тенденция многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в г. Москва // Метеорол. и гидрол. 2000. № 9. С. 5–62.
12. Жеребцов Г.А., Коваленко В.Л., Молодых С.И. Радиационный баланс атмосферы и климатические проявления солнечной переменности // Оптика атмосф. и океана. 2004. V. 17, № 12. С. 1003–1017.
13. Журавлева Т.Б., Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К., Смирнов С.А. Статистика облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений. 1993–2004 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2006. V. 19, № 10. С. 880–887.
14. Комаров В.С., Нахтигалова Д.П., Ильин С.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности как основа для построения локальных облачных моделей атмосферы. Часть 1. Методические основы // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 895–898.
15. Комаров В.С., Нахтигалова Д.П., Ильин С.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности как основа для построения локальных облачных моделей атмосферы. Часть 2. Результаты климатического районирования // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 899–905.
16. Комаров В.С., Матвиенко Г.Г., Ильин С.Н., Ломакина Н.Я. Оценка локальных особенностей долговременного изменения облачного покрова над территорией Сибири с использованием результатов ее климатического районирования по режиму общей и нижней облачности // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 1 (в печати).
17. Climate Change. The Physical Science Basis / Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. New York; Cambridge: University Press, 2007. 996 p.
18. Шерстюков Б.Г., Салугашвили П.С. Новые тенденции в изменениях климата северного полушария Земли

- в последнее десятилетие // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2010. Вып. 175. С. 43–51.
19. *Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Лавриченко А.В.* Современные изменения климата пограничного слоя атмосферы над территорией Сибирского региона / Под общей ред. Г.Г. Матвиенко. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. 212 с.
  20. *Каримов К.А.* Региональные климатические изменения температурного режима атмосферы / Матер. XX Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 22–27 июня 2014. Новосибирск; Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. С. D154–D158.
  21. URL: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-22172286/Global-warming-stopped-16-years-ago-reveals-Met-office-report>
  22. *Кононова Н.К.* Сезонные особенности колебаний циркуляции атмосферы Сибирского сектора Северного полушария в XX–XXI вв. // Десятое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тез. Рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во Агра-Пресс, 2013. С. 72–73.

***V.S. Komarov, G.G. Matvienko, S.N. Il'in, N.Ya. Lomakina. Regional features of long-term changes of cloud cover in the Siberian sector of the Northern hemisphere during the last 45 years (from 1969 to 2013).***

This paper presents the statistical analysis results of the regional features of long-term changes in cloud cover over the territory of Siberia realized by the data of climatic zoning of the region according to total and lower cloudiness conditions, using the 45-year (1969–2013) series of meteorological observations of 60 stations located in the Siberian sector of the Northern hemisphere.

It has been found that in all seasons and for the year as a whole a visible trend to increase of total and lower cloudiness took place at a spatial averaging of data across the Siberian sector and also on the territory of Western and Eastern Siberia separately during the 45-year period (from 1969 to 2013), as well as from 1976 to 2005, when the intense global warming was observed. A significant decrease of total and lower cloudiness took place over the Siberian sector during all seasons (except autumn) and for the whole year in recent years (from 2006 to 2013), when a tendency to weakening of the intensity of global warming became apparent.