

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-139-151>

УДК 551.583.1(470+571)

Изменение характеристик облачности на территории России

Н.Н. Коршунова, Т.В. Дементьева

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,
г. Обнинск Калужской обл., Россия
nnk@meteo.ru*

Исследуются такие характеристики облачности, как повторяемость пасмурного (8–10 баллов) и ясного (0–2 балла) неба. Анализ сезонной повторяемости этих характеристик позволил выявить некоторые региональные особенности. Для включения в национальную систему мониторинга облачности рассчитаны нормы за новый базовый период 1991–2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, повторяемости случаев с различным состоянием неба (ясное, полужасное, пасмурное) по общей и нижней облачности, а также нормы повторяемости различных форм облачности. Проанализированы многолетние изменения повторяемости ясного и пасмурного неба, которые выявили практически повсеместное уменьшение повторяемости ясного неба по общей облачности во все сезоны.

Ключевые слова: общая облачность, нижняя облачность, формы облачности, пасмурное небо, ясное небо

Changes in cloud characteristics on the territory of Russia

N.N. Korshunova, T.V. Dementieva

*All-Russian Research Institute
of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC),
Obninsk, Kaluzhsky region, Russia
nnk@meteo.ru*

Such characteristics of the cloud cover as the frequency of cloudy (8–10/10) and clear (0–2/10) sky are investigated. The analysis of the seasonal frequency of these characteristics revealed some regional features. To be included in the national cloud monitoring system, the normals for the new base period of 1991–2020 for the average amount of total and low-level clouds, the frequency of cases with different sky conditions (clear, semi-cloudy, cloudy) for total and low-level clouds, as well as the frequency of various forms of clouds were calculated. Long-term changes in the frequency of clear and cloudy sky are analyzed, which revealed an almost universal decrease in the frequency of clear sky for the total cloud cover in all seasons.

Keywords: total cloud cover, low-level clouds, cloud forms, cloudy sky, clear sky

Введение

Облачность является важнейшим компонентом климатической системы, поскольку в значительной степени влияет на поступление солнечной радиации и на обратное земное излучение. Ранее исследователи для изучения облачности использовали данные наблюдений наземных метеорологических станций [3, 5, 11] и аэрологических зондов [1, 21]. На метеорологических станциях наблюдатель визуально определяет форму облаков [2] и оценивает степень покрытия небосвода облаками [15]. Однако при наличии сплошной облачности нижнего яруса невозможно оценить состояние облачности среднего и верхнего ярусов. Кроме того, наземная наблюдательная сеть Росгидромета очень неравномерна, особенно в северных и северо-восточных районах Азиатской территории России (АТР), что не позволяет получить достоверные данные об облачности в этих регионах.

В последние годы появляется все больше работ по исследованию облачности с использованием спутниковых данных [17, 20]. Спутниковые данные отличаются от наземных более высоким пространственным и временным разрешением, но имеют свои недостатки. Во-первых, обработка спутниковых данных очень сложна и трудоемка, во-вторых, спутниковая информация чаще всего отражает состояние самого верхнего слоя облаков. Кроме того, спутниковые данные доступны за довольно короткий временной период, что не позволяет изучить долгопериодные климатические изменения характеристик облачности.

В связи с возросшей в последние годы изменчивостью климата необходимо вести постоянное наблюдение за состоянием климатической системы, учитывая максимальное число параметров, в том числе облачности. Необходимость включения облачности в национальную систему климатического мониторинга назрела давно. В течение последних лет в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» проводились подготовительные работы по разработке подсистемы мониторинга облачности, которые начались с подготовки верифицированных массивов данных для информационной базы. Создан специализированный массив «Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса» [7]. База данных содержит информацию о среднемесячном количестве общей облачности и облачности нижнего яруса с 1966 года для 518 пунктов наблюдений, выбранных на основании Списка станций Росгидромета, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом, регулярно (один раз в год) пополняется данными за прошедший год. Эмпирико-статистический анализ количества облачности, проведенный с целью апробации этого массива в [8], позволил выявить некоторые сезонные и региональные особенности, хорошо согласующиеся с последними на тот момент данными мониторинга климатических параметров, что свидетельствовало о высоком качестве специализированного массива и возможности его использования в исследовательских и прикладных целях.

Целью данной работы является обобщение исследований характеристик облачности на территории России по данным большого числа наземных метеорологических станций для включения этого важнейшего компонента в национальную систему климатического мониторинга.

Данные

В исследовании использовались данные 8-срочных наблюдений 1356 метеорологических станций Российской Федерации за период 1966–2020 гг., которые содержатся в архивах Госфонда ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ВОСХОД [14], ТММ1 [6] и ТМС [12].

Пасмурным состоянием неба называются те случаи, когда облачность покрывает 80–100 % небосвода, или 8–10 баллов [15]. Повторяемость рассчитывалась как доля (%) случаев того или иного состояния облачности от общего количества наблюдений за месяц. Ясным состоянием неба считаются сроки, облачность во время которых была от 0 до 2 баллов (по 10-бальной шкале) согласно оценке наблюдателя [15].

Климатические нормы для нового базового периода 1991–2020 гг. рассчитаны по реальным данным в соответствии с требованиями ВМО, изложенными в [19]. Это необходимо для получения сопоставимых оценок текущего состояния параметров климатической системы и происходящих изменений климата.

Тенденция изменений повторяемости пасмурного (8–10 баллов) и ясного (0–2 балла) неба оценивалась коэффициентами линейного тренда. Тренд рассчитан методом наименьших квадратов, уровень статистической значимости тренда определялся с помощью критерия Стьюдента.

Результаты представлены в виде карт, подготовленных с помощью ГИС в регулярной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами, обратно пропорциональными квадрату расстояния.

Результаты

Климатические характеристики облачности

Как уже упоминалось, анализ пространственно-временной структуры среднего количества общей и нижней облачности на территории России проведен в [8]. Однако наиболее показательной и наглядной характеристикой облачности является повторяемость пасмурного (8–10 баллов) неба.

На рис. 1 показана сезонная повторяемость пасмурного неба (8–10 баллов) по общей облачности. Максимальная повторяемость пасмурного неба по общей облачности на территории России наблюдается осенью. На большей части страны, за исключением южных районов Европейской территории России (ЕТР), Забайкалья и дальневосточного юга, она составляет 60–70 %, а на северо-востоке ЕТР, в Предуралье превышает 80 %. В Забайкальском крае, где во второй половине осени начинается перестройка

атмосферных процессов на зимний режим, повторяемость пасмурного неба минимальна и не превышает 30–40 %.

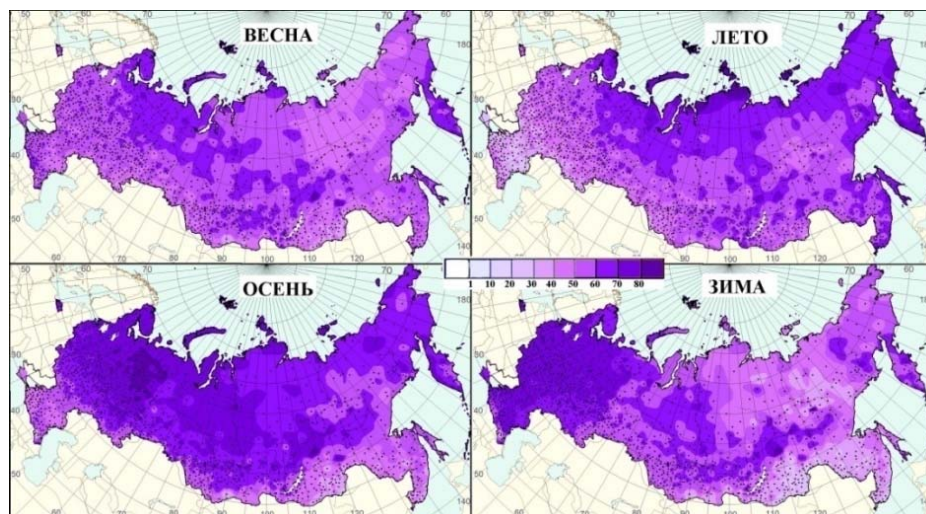


Рис. 1. Сезонная повторяемость (%) пасмурного неба (8-10 баллов) по общей облачности.

Fig. 1. Seasonal frequency (%) of cloudy skies (8-10 points) for total cloud cover.

На дальневосточном юге и Камчатке пасмурная погода чаще всего наблюдается летом, когда юго-восточный муссон выносит с океана большое количество водяного пара. Зона повышенной повторяемости пасмурного неба (60–70 %) летом тянется вдоль всего арктического побережья, превышая 70 % на севере Таймыра и арктических островах. Наименьшая повторяемость пасмурного неба (20–30 %) летом отмечается на юге ЕТР и в Крыму, за исключением высокогорных районов Северного Кавказа.

Зимой наибольшая повторяемость (60–70 %) пасмурного неба по общей облачности наблюдается на всей ЕТР, включая Калининградскую область и Крым. ЕТР в значительной степени подвержена влиянию Атлантики и исландского минимума, откуда приходят глубокие циклоны, приносящие пасмурную с осадками погоду. В последние годы в регионе, как отмечалось в [4, 18], наблюдается увеличение циклоничности, т. е. увеличение повторяемости циклонов. Повышенная повторяемость пасмурного неба в центральных районах Западной Сибири и Красноярского края обусловлена проникновением в эти районы скандинавских ныряющих циклонов, а также выходом южных циклонов из Казахстана. Область повышенной повторяемости большого количества облаков простирается до Прибайкалья и Верхнеленских районов Иркутской области. Значительно реже пасмурное небо наблюдается в центральных районах Якутии

и на дальневосточном юге в зоне действия Сибирского антициклона. Повторяемость пасмурного неба в этих районах составляет 30–40 %. Такая же полоса пониженной повторяемости пасмурного неба наблюдается непосредственно за Уральским хребтом, который выполняет «затеняющую» роль по отношению к влагонесущему потоку.

Наименьшая повторяемость пасмурного неба как по общей, так и по нижней облачности (рис. 2) отмечается весной. Общая облачность 8–10 баллов чаще всего наблюдается на севере ЕТР, где повторяемость превышает 60 %. На АТР зона максимальных значений повторяемости по общей облачности (более 60 %) в виде отдельных очагов протянулась от Полярного Урала до Предбайкалья. Такая же повторяемость пасмурного неба отмечается на Камчатке.

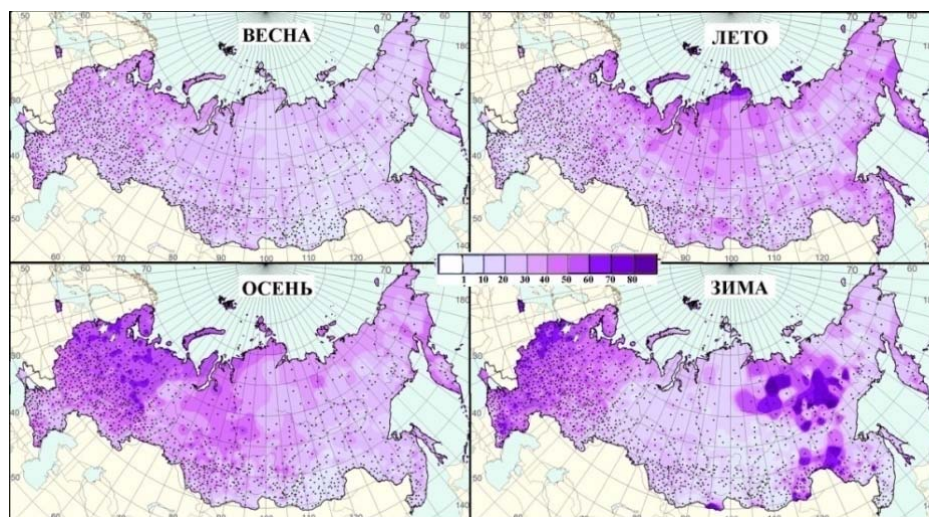


Рис. 2. Сезонная повторяемость (%) пасмурного неба (8-10 баллов) по нижней облачности.

Fig. 2. Seasonal frequency (%) of cloudy skies (8-10 points) for lower cloud cover.

Значения повторяемости облачности нижнего яруса 8–10 баллов значительно ниже, чем общей облачности, но пространственно распределяются схожим образом во все сезоны, кроме зимы. Зимой на большей части Якутии, в восточных районах Забайкальского края и Амурской области значительно увеличилась повторяемость пасмурного неба по нижней облачности. Это связано с уменьшением в этих районах атмосферного давления [13], вызванного ослаблением Сибирского антициклона и смещением его основного и вторичного центров [9, 10].

Для включения в национальную систему мониторинга облачности необходимо решить одну из основных задач мониторинга – оценку аномальности конкретного сезона. Для этого рассчитаны нормы за новый

базовый период 1991–2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, а также по повторяемости случаев с различным состоянием неба (ясное, полужасное, пасмурное) по общей и нижней облачности.

Проанализировано изменение норм повторяемости ясного и пасмурного состояния неба, рассчитанных за два 30-летних периода 1981–2010 и 1991–2020 гг. Значения, отраженные на рис. 3, – это разность средней годовой повторяемости между двумя периодами. Вычитание производилось из значения, полученного за более поздний период.

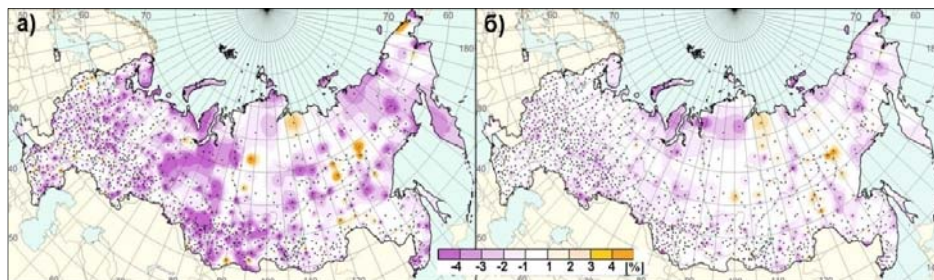


Рис. 3. Изменение норм повторяемости ясного (0–2 балла) состояния неба по облачности нижнего яруса (а) и общей облачности (б).

Fig. 3. Change in the rates of frequency of the clear (0-2 points) sky according to low-level clouds (a) and total clouds (б).

Анализ изменения норм повторяемости ясного состояние неба по общей облачности (рис. 3б) показывает, что на большей части страны повторяемость изменилась не более, чем на 1 % (белый цвет). Пунктов, где средний процент случаев ясного неба (фиолетовый цвет) уменьшился, больше, чем пунктов с увеличением того же значения (оранжевый цвет). Нормы повторяемости облачности 0–2 балла нижнего яруса изменились гораздо больше (рис. 3а). На большей части страны нормы за последнее 30-летие уменьшились, особенно заметное уменьшение наблюдается в Западной Сибири (3–4 %).

Нормы повторяемости пасмурного неба по общей и нижней облачности изменились незначительно на большей части России (рис. 4). Можно отметить увеличение на 3–4 % повторяемости пасмурного неба по нижней облачности в отдельных районах Западной Сибири, на юго-востоке Якутии и в континентальных районах Магаданской области. По общей облачности повторяемость пасмурного неба на 3–4 % уменьшилась в северо-западных районах Якутии и на отдельных метеорологических станциях Иркутской области и Забайкальского края.

Для нового базового периода 1991–2020 гг. также рассчитаны нормы повторяемости различных форм облачности. При расчете повторяемости различных форм облаков использовалась методика, приведенная в [16]. При этом, как указывалось в [11], следует учитывать, что повторяемости

облаков верхнего и среднего ярусов не являются абсолютными. В связи с этим сравнивать повторяемость облаков разных ярусов некорректно. В таблице представлены нормы 1991–2020 гг. повторяемости различных форм облаков для метеорологических станций, расположенных в различных климатических зонах. Видно, что преобладающими формами облаков практически на всей территории России являются облака верхнего яруса Ci, среднего яруса Ac и нижнего яруса Sc.

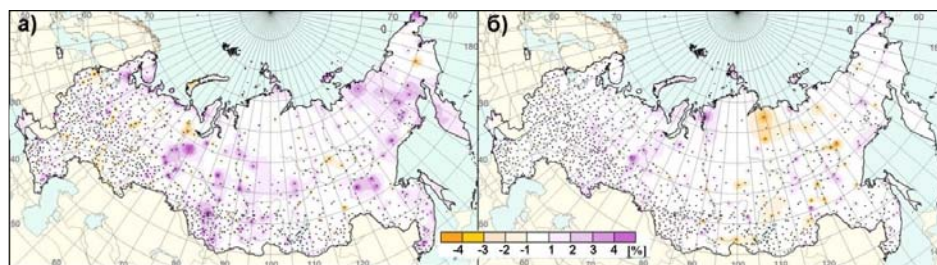


Рис. 4. Изменение норм повторяемости пасмурного (8-10 баллов) состояния неба по облачности нижнего яруса (а) и общей облачности (б).

Fig. 4. Change in the rates of frequency of cloudy (8-10 points) sky conditions according to low-level clouds (a) and total clouds (b).

Таблица. Повторяемость основных форм облаков

Table. The repeatability of the main forms of clouds

Название станции	Форма облаков											Ясно
	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	Sc	Ns	St	Frnb	
Европейская территория России												
Санкт-Петербург	29.6	2.8	7.5	37.9	14.8	12.1	6.2	44.5	10.4	7.5	11.5	12.5
Калининград	30.8	1.3	6.6	32.5	6.4	19.9	7.3	45.4	7.1	3.3	3.4	16.1
Москва	32.2	2.3	4.8	27.1	14.7	14.1	5.8	60.0	5.2	13.2	10.5	15.8
Казань	39.3	2.9	7.3	43.1	26.4	8.4	5.9	37.2	7.5	4.2	6.6	16.5
Симферополь	44.6	2.8	2.0	43.1	5.2	8.4	20.9	24.8	1.5	18.8	4.1	21.1
Сочи	57.0	9.3	8.7	45.8	4.3	20.7	30.2	39.9	0.3	2.9	5.3	18.7
Азиатская территория России												
Якутск	89.4	0.2	23.0	51.8	3.8	14.0	12.2	26.7	0.8	1.0	1.0	8.0
Тюмень	59.0	1.0	7.0	39.0	24.5	14.3	12.3	8.7	3.8	3.1	1.1	18.4
Минусинск	69.1	2.5	7.9	49.6	29.7	13.3	25.2	40.9	0.7	0.2	0.9	15.8
Чита	81.7	0.8	8.4	50.9	17.5	17.3	20.4	15.4	0.2	1.1	1.1	21.8
Владивосток	40.1	4.7	25.0	27.7	19.9	9.8	11.9	20.9	3.7	17.7	5.9	32.9
Петропавловск-Камчатский	64.5	2.0	1.4	58.2	0.6	3.6	29.4	51.2	1.8	11.4	8.0	10.9

В большинстве районов северной половины ЕТР преобладающей формой облачности являются облака нижнего яруса Sc, повторяемость которых превышает 40 %. Следует отметить значительно возросшую повторяемость этой формы облаков в Москве по сравнению с данными, приведенными в [11]. Помимо климатических факторов, это может быть связано со значительной урбанизацией московского региона. На юге ЕТР, включая Крым, возрастает повторяемость облаков верхнего и среднего ярусов (Ci и Ac). На АТР преобладающей формой облачности являются облака верхнего яруса Ci. Однако в тех районах, где облака нижнего яруса наблюдаются реже, довольно значительна повторяемость Cs (Якутск).

Анализируя годовой ход преобладающих форм облачности в различных регионах страны (рис. 5), можно отметить наибольшую повторяемость в течение всего года облаков нижнего яруса в Москве и верхнего яруса в Минусинске.

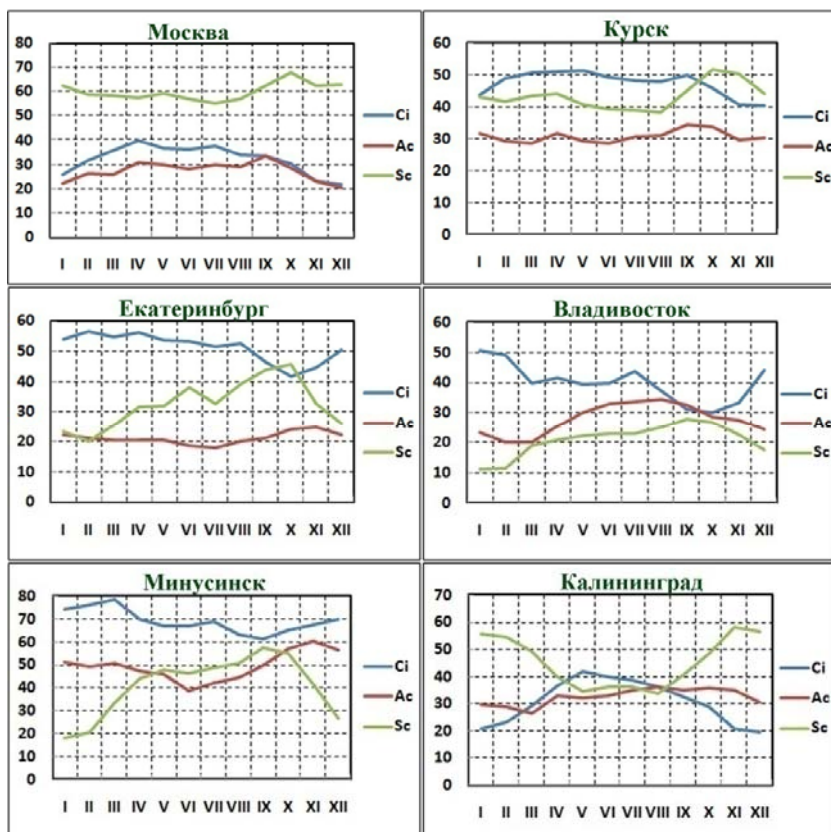


Рис. 5. Годовой ход преобладающих форм облачности на отдельных метеорологических станциях Российской Федерации.

Fig. 5. Annual course of the prevailing forms of clouds at individual meteorological stations of the Russian Federation.

В Екатеринбурге повторяемость облаков нижнего яруса увеличивается в течение теплого периода, достигая максимума в октябре (46 %), причем наряду с Sc велика повторяемость Ci и Cb. В Калининграде, наоборот, летом отмечается минимальная повторяемость облаков Sc (около 35 %). В холодный период повторяемость Sc в Калининграде достигает почти 60 %. Во Владивостоке в августе-сентябре повторяемость облаков всех ярусов почти сравнивается, что связано с частым выходом в это время на дальневосточный юг глубоких южных циклонов (тайфунов). При сплошной облачности в системе тайфуна сложно выделить отдельные формы облаков.

Многолетние изменения характеристик облачности

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений повторяемости пасмурного неба, показано на рис. 6. Приведены значения трендов, значимых на 5%-ном уровне. Заметно, что во все сезоны на территории России преобладают области, где выявлена тенденция увеличения повторяемости пасмурного неба. Особенно ярко эта тенденция выражена зимой на ЕТР, Урале и в примыкающих к нему районах Западной Сибири, что обусловлено увеличением в этих районах циклоничности. Коэффициенты линейного тренда в западных и центральных областях ЕТР составляют 2–4 %-пункт/10 лет. Наиболее значительные отрицательные коэффициенты линейного тренда зимой получены в северных и центральных районах Якутии и прибрежных районах Магаданской области.

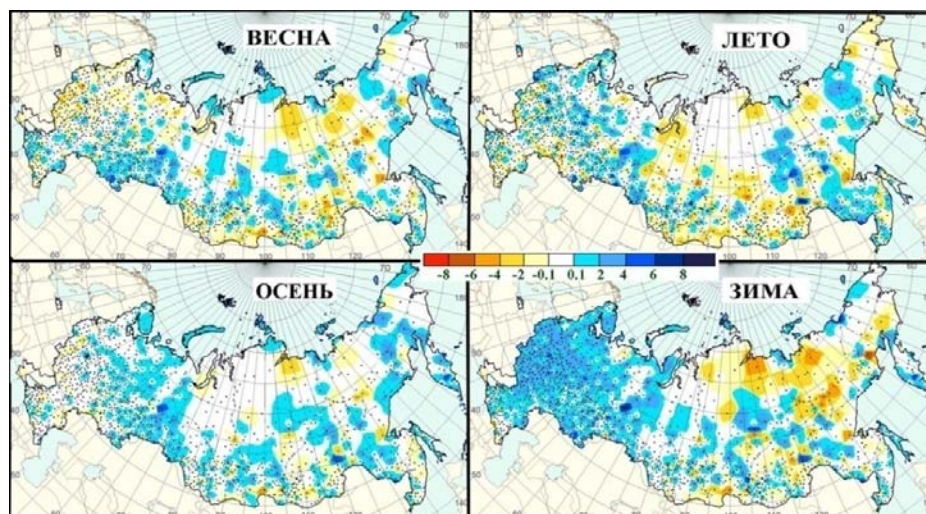


Рис. 6. Коэффициенты линейного тренда (%-пункт/10 лет) повторяемости пасмурного (8–10 баллов) неба по общей облачности (значимые на 5%-ном уровне).

Fig. 6. Linear trend coefficients (%-point /10 years) of the frequency of cloudy (8–10 points) sky for total cloud cover (5% level of significance).

Летом и весной пространственное распределение трендов носит более очаговый характер. Однако можно отметить, что весной на ЕТР, в северных и центральных районах Якутии, горных районах Алтая и Саян, на севере Забайкалья преобладают отрицательные значения коэффициентов линейного тренда, а на Южном Урале, Камчатке и Сахалине – положительные. Наименьшие изменения повторяемости пасмурного неба происходят осенью, хотя области с положительными значениями коэффициентов линейного тренда преобладают. Значительные площади занимают «белые» области, т. е. области, где повторяемость пасмурного неба не меняется. Интересно, что в Крыму во все сезоны выявлена тенденция слабого уменьшения пасмурного неба по общей облачности.

Анализ пространственного распределения локальных оценок трендов ясного неба (0–2 балла) показывает практически повсеместное уменьшение повторяемости ясного неба по общей облачности во все сезоны (рис. 7). Тенденция увеличения повторяемости ясного неба выявлена зимой и весной в северных и центральных районах Якутии, на отдельных метеорологических станциях муниципальных районов Красноярского края, Магаданской области и Хабаровского края. Летом слабое увеличение повторяемости ясного неба, помимо упомянутых районов, получено в центральных районах Красноярского края и на востоке Западной Сибири.

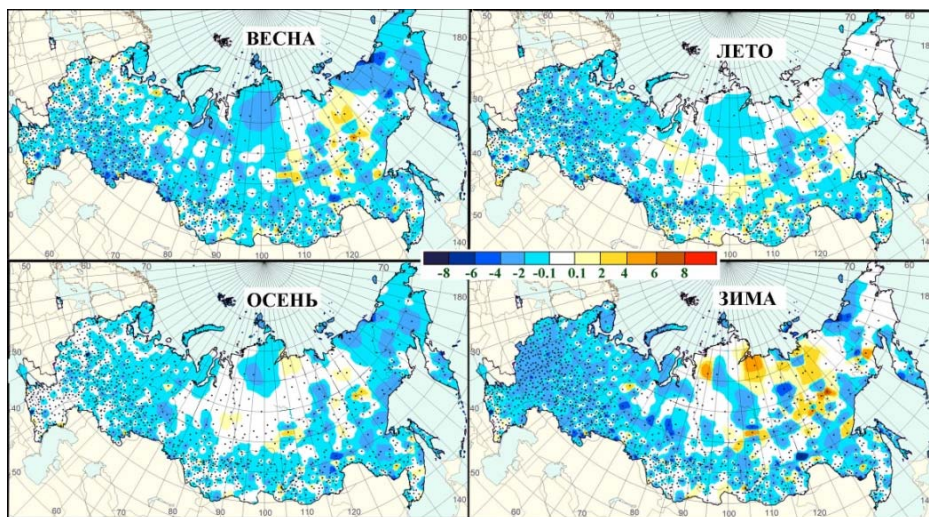


Рис. 7. Коэффициенты линейного тренда (%-пункт/10 лет) повторяемости ясного (0-2 балла) неба по общей облачности (значимые на 5%-ном уровне).
Fig. 7. Linear trend coefficients (%-point/10 years) of the frequency of clear (0-2 points) sky for total cloud cover (5% level of significance).

Заключение

Наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения требуют постоянного мониторинга всех компонентов климатической системы, в том числе облачности, которая играет важную роль в формировании радиационного баланса планеты. Анализ сезонной повторяемости облачности пасмурного (8–10 баллов) и ясного (0–2 балла) неба позволил выявить некоторые региональные особенности. В частности, выявлено, что на большей части Якутии, в восточных районах Забайкальского края и Амурской области значительно увеличилась повторяемость пасмурного неба по нижней облачности. Это связано с уменьшением в этих районах атмосферного давления, вызванного ослаблением Сибирского антициклона и смещением его основного и вторичного центров.

Для включения в национальную систему мониторинга облачности рассчитаны нормы за новый базовый период 1991–2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, повторяемости случаев с различным состоянием неба (ясное, полужасное, пасмурное) по общей и нижней облачности, а также нормы повторяемости различных форм облачности. Проанализированы многолетние изменения повторяемости ясного и пасмурного неба, которые выявили практически повсеместное уменьшение повторяемости ясного неба по общей облачности во все сезоны. Проведенные исследования различных характеристик облачности позволяют разработать методику мониторинга облачности.

Список литературы

1. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 152 с.
2. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова; [Д.П. Беспалов и др.; ред.: Л.К. Сурыгина]. СПб.: Д'АРТ, 2011. 248 с.
3. Байкова И.М., Ефимова Н.А., Строкина Л.А. Современное изменение облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. 2002. № 9. С. 52-61.
4. Бардин М.Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 1995. № 11. С. 24-37.
5. Берлянд Т.Г., Сиротенко Л.А. Глобальное распределение общего количества облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 71 с.
6. Гусаров С.Д. и др. Архив ТММ1. Основные метеорологические наблюдения. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1983. 35 с.
7. Дементьева Т.В. Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621717 от 18.09.2020.
8. Дементьева Т.В., Коршунова Н.Н. Эмпирико-статистический анализ количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 197-204.
9. Ипполитов И.И., Кабанов В.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2008. № 1 (4). С. 323-344.

10. *Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И.* Изменчивость климата Азиатской территории России в 1975–2012 гг. // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 13-21.
11. *Кобышева Н.В. и др.* Климат России / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 654 с.
12. *Ковалев Н.П., Правосудько Т.П.* Архив ТМС. Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987. 118 с.
13. *Коришнова Н.Н., Швець Н.В.* Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 1 (387). С. 131-147. DOI: 10.3762/2618-9631-2023-1-131-147
14. *Мамонтов Н.В.* Описание метеорологического архива ВОСХОД режимно-справочного банка данных «Метеорология и климат». Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1982. 44 с.
15. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 301 с.
16. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 1–34. Л.: Гидрометеоиздат, 1988–1990.
17. *Покровский О.М.* Климатология облачности по результатам международного спутникового проекта // Труды ГГО. 2012. Вып. 565. С. 115-131.
18. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 15-25.
19. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм // ВМО-№ 1203. 2017. 21 с.
20. *Чернокульский А. В., Мохов И. И.* Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исследования Земли из космоса. 2010. № 3. С. 12-29.
21. *Черных И.В., Алдухов О.А.* Оценки числа облачных слоев по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29-39.

References

1. *Aldukhov O.A., Chernykh I.V.* Metody analiza i interpretacii dannyh radiozondirovaniya atmosfery. T. 2. Vosstanovlennye oblachnye sloi [Methods of analysis and interpretation of atmospheric radiosonde data. Vol. 2. Recovered cloud layers]. Obninsk: RIHMI-WDC publ., 2013, 152 p. [in Russ.].
2. *Atlas oblakov* [Atlas of Clouds]. Feder. sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet), Gl. geofiz. observatoriya im. A.I. Voeykova; [D.P. Bespalov i dr.; red.: L.K. Surygina]. Saint-Petersburg: D'ART publ., 2011, 248 p. [in Russ.].
3. *Baikova I.M., Efimova N.A., Strokina L.A.* Current Change of Cloud Cover over Russian Territory. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. *Meteorol. Hydrol.*], 2002, no. 9, pp. 52-61 [in Russ.].
4. *Bardin M.Yu.* Variability of cyclonicity characteristics in the middle troposphere of the temperate latitudes of the Northern Hemisphere. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. *Meteorol. Hydrol.*], 1995, no. 11, pp. 24-37 [in Russ.].
5. *Berlyand T.G., Sirotenko L.A.* Global'noe raspredelenie obshchego kolichestva oblakov. [Global distribution of the total number of clouds]. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1980, 71 p. [in Russ.].
6. *Gusarov S.D. et al.* Arhiv TMM1. Osnovnye meteorologicheskie nablyudeniya. Opisaniye arhiva. Obninsk: RIHMI-WDC publ., 1983, 35 p. [in Russ.].
7. *Dementieva T.V.* Srednemesyachnoye kolichestvo obshchey oblachnosti i oblachnosti nizhnego yarusy: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registracii bazy dannyh № 2020621717 ot 18.09.2020. [Average monthly amount of total clouds and clouds of the lower tier // Certificate of state registration of the database No. 2020621717 of 18.09.2020] [in Russ.].

8. Dementieva T.V., Korshunova N.N. Empirical and statistical analysis of the amount of total clouds and clouds of the lower tier on the territory of Russia. *Trudy VNIIGMI-MTSD [Proceedings of RIHMI-WDC]*, 2020, no. 187, pp.197-204 [in Russ.].

9. Ippolitov I.I., Kabanov V.V., Loginov S.V., Kharyutkina E.V. Structure and dynamics of meteorological fields in the Asian territory of Russia during the period of intense global warming 1975-2005. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2008, no. 1(4), pp. 323-344 [in Russ.].

10. Ippolitov I.I., Loginov S.V., Kharyutkina E.V., Moraru E.I. Climate variability of the Asian territory of Russia in 1975-2012. *Geography and Natural Resources*, 2014, vol. 35, no. 4, pp. 310-318.

11. Kobysheva N.V. *in dr. Klimat Rossii [Climate of Russia]*; edited by N.V. Kobysheva. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat publ., 2001, 654 p. [in Russ.].

12. Kovalev N.P., Pravosudko T.P. Arhiv TMS. Tekushchaya meteorologicheskaya informatsiya stanciy. Opisaniye arhiva. [Archive of TMS. Current meteorological information of the stations. Description of the archive]. Obninsk: RIHMI-WDC, 1987, 118 p. [in Russ.].

13. Korshunova N.N., Shvets N.V. Regional peculiarities of changes in the norms of the main climatic parameters on the territory of Russia *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2023, vol. 387, no. 1, pp.131-147. DOI: 10.3762/2618-9631-2023-1-131-147 [in Russ.].

14. Mamontov N.V. Opisaniye meteorologicheskogo arhiva VOSKHOD rezhimno-spravochnogo banka dannyh «Meteorologiya i klimat» [Description of the meteorological archive of the VOSKHOD regime reference data bank "Meteorology and Climate"]. Obninsk: RIHMI-WDC, 1982, 44 p. [in Russ.].

15. Nastavleniya gidrometeorologicheskim stanciyam i postam [Instructions to hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part1. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1985, 301 p. [in Russ.].

16. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Ch. 1-6. Is. 1-34. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1988-1990. [in Russ.].

17. Pokrovsky O.M. Climatology of clouds according to the results of the international satellite project. *Trudy GGO [Proceedings of Voeikov Geophysical Observatory]*, 2012, no. 565, pp. 115-131 [in Russ.].

18. Popova V.V., Shmakin A.B. Circulation mechanisms of large-scale air temperature anomalies in winter in Northern Eurasia at the end of the twentieth century. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 2006, no. 12, pp. 15-25 [in Russ.].

19. WMO Guidelines on the Calculation of climate standards. *WMO-No. 1203*, 2017, 21 p.

20. Chernokulsky A.V., Mokhov I. I. Sravnitel'nyy analiz harakteristik global'noy i zonal'noy oblachnosti po razlichnym sputnikovym i nazemnym nablyudeniym [Comparative analysis of the characteristics of global and zonal clouds by various satellite and ground observations]. *Earth Studies from space*, 2010, no. 3, pp. 12-29 [in Russ.].

21. Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Estimating the Number of Cloud Layers through Radiosonde Data from Russian Aerological Stations for 1964–2014. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2018, vol. 43, no. 3, pp. 152-160. DOI: 10.3103/S1068373918030032.

*Поступила 17.07.2023; одобрена после рецензирования 20.09.2023;
принята в печать 06.10.2023.*

*Submitted 17.07.2023; approved after reviewing 20.09.2023;
accepted for publication 06.10.2023.*