

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 551.578.42

doi:10.15356/2076-6734-2017-1-25-33

Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. по спутниковым данным

© 2017 г. Т.Б. Титкова*, В.В. Виноградова

Институт географии РАН, Москва, Россия

*titkova@yandex.ru

Snow occurrence time on the Russia's territory in the early 21st century (from satellite data)

T.B. Titkova*, V.V. Vinogradova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*titkova@yandex.ru

Received April 8, 2016

Accepted October 12, 2016

Keywords: *climatic parameters, MODIS, snow cover, snow coverage.*

Summary

Time of the snow cover appearance, existence and disappearance on the Russia's territory in the early 21st century (2000–2015) was corrected using the MODIS/Terra satellite data (the 8-day discreteness, and the 0.5×0.5° resolution). The satellite data errors were estimated from data of the ground stations observations. The errors were found to be maximal in autumn and minimal in spring. The relationship between the snow cover characteristics and the climate ones was investigated using data obtained at the ground-based stations together with correlation between dates of snow appearance and loss and the climate parameters. The dependences obtained were tested by means of correlation and regression analysis over the longitudinal sectors. Significant coefficients of correlation (the Student criterion of probability was equal to 0.95) were found between time of the snow cover presence and dates of the temperature drop below 0 °C and the amount of days with negative temperatures. Changes in the climate characteristics result in that due to decreasing of the solid precipitation in winter time the snow presence duration becomes shorter over the European part of Russia and in the Western Siberia. The shortening in the Middle Siberia is caused by the spring warming. Durations of the snow occurrence in the Far East area are different. On the Chukotka peninsula the duration is longer because of the autumn fall in temperature while in the Kamchatka region the snow occurrence time is shorter due to significant decrease of a period with negative temperatures in both the autumn and spring seasons.

Поступила 8 апреля 2016 г.

Принята к печати 12 октября 2016 г.

Ключевые слова: *климатические показатели, MODIS, продолжительность залегания снега, снежный покров.*

Оценена погрешность определения параметров снежного покрова в осенний и весенний периоды по спутниковым данным MODIS путём сравнения с материалами наземных наблюдений. По данным MODIS уточнены сроки установления и схода снежного покрова, а также продолжительность его залегания в 2000–2015 гг.; приведены карты этих характеристик. Отслежены тренды характеристик залегания снежного покрова на территории России в разных долготных секторах.

Введение

В условиях быстрых климатических изменений последних десятилетий снежный покров рассматривается как один из наиболее чувствительных индикаторов изменения окружающей среды. Климатические тренды, в том числе холодного периода, за последние десятилетия

представлены в ряде работ, исследующих изменение характеристик снежного покрова [1–7]. В Северном полушарии с 1980-х годов из-за эффекта глобального потепления площадь снежного покрова уменьшилась, особенно в переходные сезоны [1, 8, 9]. Установление снежного покрова смещается на $1,3 \pm 4,9$ дня за десятилетие, а дата схода снежного покрова — на $2,6 \pm 5,6$ дня. Сдвиг

сроков залегания снежного покрова коррелирует с положительной аномалией температуры с чувствительностью $-0,077\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие [9]. Однако изменения снежного покрова в зимний период значительно варьируют от одного региона к другому. Как показывают модельные расчёты, непредсказуемость реакции снега во многом обусловлена неопределённостью региональных и локальных тенденций осадков, внутренняя изменчивость которых может влиять на величину и направление изменений накопления снега на местном уровне [10]. В работе [8] на территории России отмечается увеличение максимальных снегозапасов в Западной Сибири, на о. Сахалин, в восточных районах Европейской части России. Однако в лесной зоне Европейской части России максимальные снегозапасы уменьшаются.

Перспективность применения данных дистанционного зондирования снежного покрова не оставляет сомнения и связана прежде всего с их широким пространственным охватом и высоким разрешением, хотя при этом остаётся достаточно много и нерешённых проблем. Привлечение спутниковых данных позволяет намного качественнее и с лучшим разрешением отслеживать динамику снежного покрова на труднодоступных территориях и в местах, где нет метеостанций (ГМС). Коэффициент корреляции показателей снежного покрова с наземными данными зависит от конкретного продукта спутниковой информации. При сравнении спутниковых и наземных данных о снежном покрове прослеживаются общие тенденции. Наличие снега завывает в осенний период и несколько занижается в весенний [11, 12].

Цель настоящей работы — определить сроки установления, продолжительности и схода снежного покрова на территории России в начале XXI в. по спутниковым данным MODIS. Анализируются также точность используемого спутникового продукта по сравнению с наземными наблюдениями и связь характеристик снежного покрова с климатическими показателями в холодный период.

Данные и методы

В работе использованы спутниковые данные MODIS/Terra за восьмидневный период, показывающие долю покрытия снежным покровом ячейки 5×5 км. Это продукт модели MODIS/

Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG (MOD10C2) версия 5 за 2000–2015 гг. с пространственным разрешением $0,05 \times 0,05^{\circ}$ [<http://nsidc.org/data/MOD10C2>]. При использовании спутниковых данных встаёт вопрос об их отличии от наблюдаемых значений. Авторы модели восстановления снежного покрова предполагают среднюю ошибку восстановленных снегозапасов в пределах $\pm 25\%$ [13]. Такие ошибки в основном встречаются в осенний период. В период становления снежного покрова микроволновые датчики (SMMR, SSM/I) стабильно показывают меньшую заснеженную площадь по сравнению с данными наблюдений. Это занижение — результат того, что тонкий снежный покров (менее 5 см) не обеспечивает сигнал рассеяния достаточной силы, чтобы быть обнаруженным с помощью модельных алгоритмов. С утолщением снежного покрова соглашение между двумя типами данных улучшается [14]. В качестве порогового значения наличия снежного покрова выбрано превышение 50% покрытия ячейки снегом, чтобы соответствовать определению [6], согласно которому день со снежным покровом на ГМС отмечается, когда более половины видимой окрестности ГМС покрыто снегом. Наша задача — рассмотреть характеристики снежного покрова для всей территории России. Для исключения микро- и мезомасштабных особенностей данные были проинтерполированы на сетку $1 \times 1^{\circ}$.

Согласно наставлению гидрометеорологическим станциям и постам [15], устойчивым считается снежный покров, который лежит непрерывно в течение всей зимы или не менее месяца с перерывами не более трёх дней подряд. Для приближения к принятому правилу авторы настоящей статьи датой начала установления снежного покрова считают в среднем восьмидневный период, если наличие снега в данной ячейке прослеживалось в течение последующих трёх восьмидневных сроков, что в сумме составляет 32 дня.

Продолжительность залегания снежного покрова рассчитывалась за каждый год для периода 2000–2015 гг. как сумма дней, когда отмечался непрерывный снежный покров, которая затем усреднялась. Для получения общей картины снежного покрова для всей территории России карты строили с разрешением $2,5 \times 2,5^{\circ}$. Выявление связи средних характеристик снежного покрова (средняя дата установления и схода снежного по-

крова, продолжительность залегания снежного покрова) с климатическими показателями (дата перехода среднесуточной температуры через 0°C весной и осенью, число дней с отрицательными температурами, сумма температур ниже 0°C , сумма осадков при отрицательных температурах) выполнено с использованием корреляционного и регрессионного анализов по долготным секторам. Значимость коэффициентов корреляции оценена по критерию Стьюдента. Климатические показатели рассчитаны по данным 550 наземных станций, расположенных на территории России, из архива ВНИИГМИ-МЦД [www.meteo.ru].

В связи с разнообразием климатических условий России для анализа особенностей режима снежного покрова территория была разбита на долготные сектора в 30° : Европейская часть $31-60^{\circ}$, Западная Сибирь $61-90^{\circ}$, Восточная Сибирь $91-120^{\circ}$, Дальний Восток $121-150^{\circ}$ в.д. и восток России ($151-190^{\circ}$ в.д.), который разделён на две части – Чукотка севернее 60° с.ш. и Камчатка южнее 60° с.ш. из-за различных тенденций изменения климата в этих районах. Все сектора характеризуются своими особенностями режима залегания и схода снежного покрова в зависимости от степени удалённости от океанов и общей циркуляции атмосферы. В долготных секторах определялись средние климатические тенденции и их связь с характеристиками залегания снежного покрова.

Результаты анализа

Спутниковые данные. Мы оценили погрешность определения наличия снежного покрова в ячейке $1 \times 1^{\circ}$ по спутниковым данным в период установления и схода снежного покрова по сравнению со стационарными наблюдениями за десятилетний тестовый период 2001–2010 гг. Для проверки соответствия рядов использованы данные 474 ГМС, расположенных на территории России (в зоне $45-80^{\circ}$ с.ш. и $25-190^{\circ}$ в.д.), из архива ВНИИГМИ-МЦД. Погрешность спутниковых данных определялась со знаком в узлах сетки с разрешением $1 \times 1^{\circ}$ по формуле

$$P = (P_n - P_c)/P_n,$$

где P – погрешность; P_n – процент покрытости снежным покровом по данным наземных наб-

Таблица 1. Сравнение наземных и спутниковых данных (MODIS) в период становления и схода снежного покрова на территории России, %

Сектор, градусы в.д.	Средняя погрешность спутниковых данных P , %, осень/весна	Стандартное отклонение покрытости снежным покровом std_P , %, осень/весна
31–60	31/7	13/13
61–90	15/–1	5/12
91–120	11/4	8/12
121–150	11/2	11/13
151–190	11/9	4/11

людений; P_c – процент покрытости снежным покровом по спутниковым данным; далее процент погрешности усреднялся по секторам.

В целом в осенний и весенний периоды для территории России спутниковые данные используемого конкретного продукта занижают наличие снежного покрова. В пределах долготных секторов осенью погрешность больше стандартного отклонения покрытости снежным покровом std_P по данным наземных наблюдений, что согласуется с ранее полученными результатами [12, 14]. Погрешность максимальна в районах, где отмечается большая изменчивость установления снежного покрова по пространству и времени. Это – Европейская часть России южнее 60° с.ш., а также Забайкалье и Сахалин (максимум около 40%). Погрешность уменьшается с продвижением на восток и минимальна для Восточной Сибири (5–10%). В табл. 1 приведена средняя погрешность спутниковых данных по секторам в пределах России.

В весенний период погрешность спутниковых данных сравнительно меньше и на большей части России не превышает 5%. Данные о наличии снежного покрова завышены на территории Западной Сибири, когда большой объём паводковых вод вносит ошибку в отражательные свойства поверхности. В остальных районах ошибка становится меньше стандартного отклонения std_P . Таким образом, использование спутниковой информации для определения наличия снежного покрова больше подходит для внутренних равнинных территорий России с небольшой межгодовой изменчивостью. Это – районы Сибири севернее 65° с.ш. Области с продолжительным периодом становления снежного покрова и его большой изменчивостью (юг Европейской части России) малоэффективны для

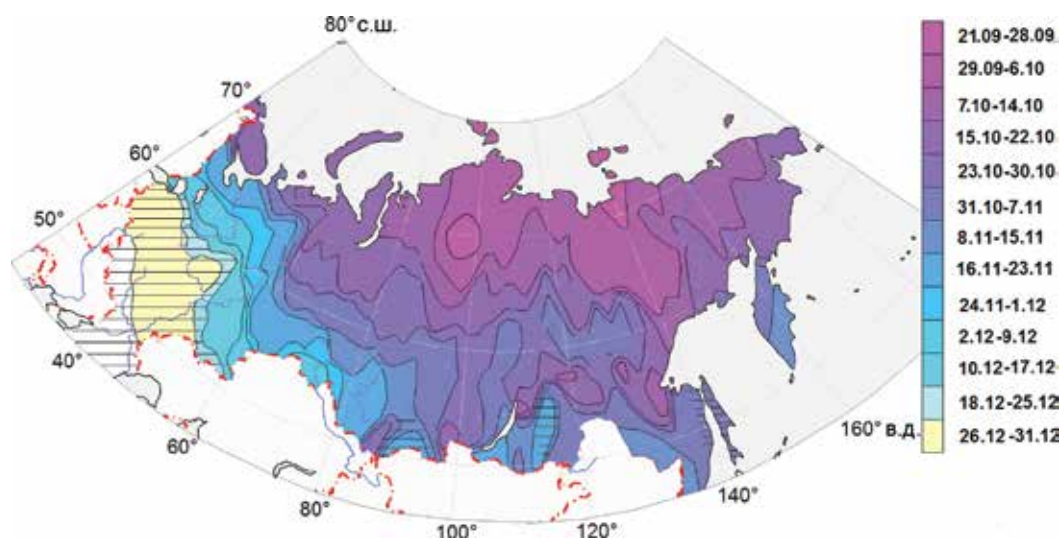


Рис. 1. Даты установления снежного покрова в период 2000–2015 гг.

Штриховкой показаны районы, где ошибка более 25%

Fig. 1. Dates of setting-up of snow cover during 2000–2015.

Hatching areas show the regions where the error above 25%

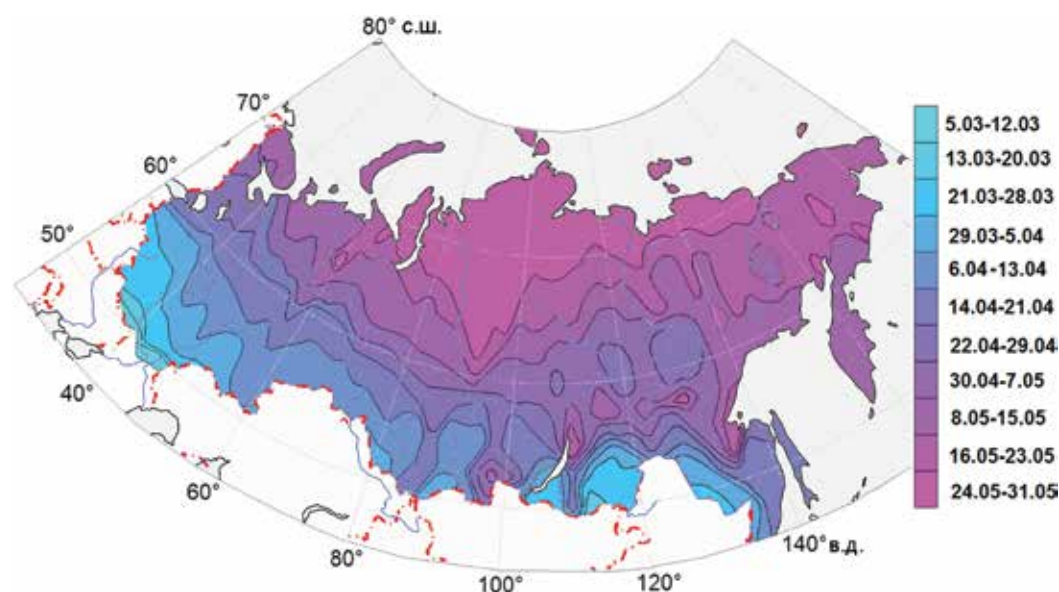


Рис. 2. Даты схода снежного покрова в период 2000–2015 гг.

Fig. 2. Dates of loss of snow cover during 2000–2015

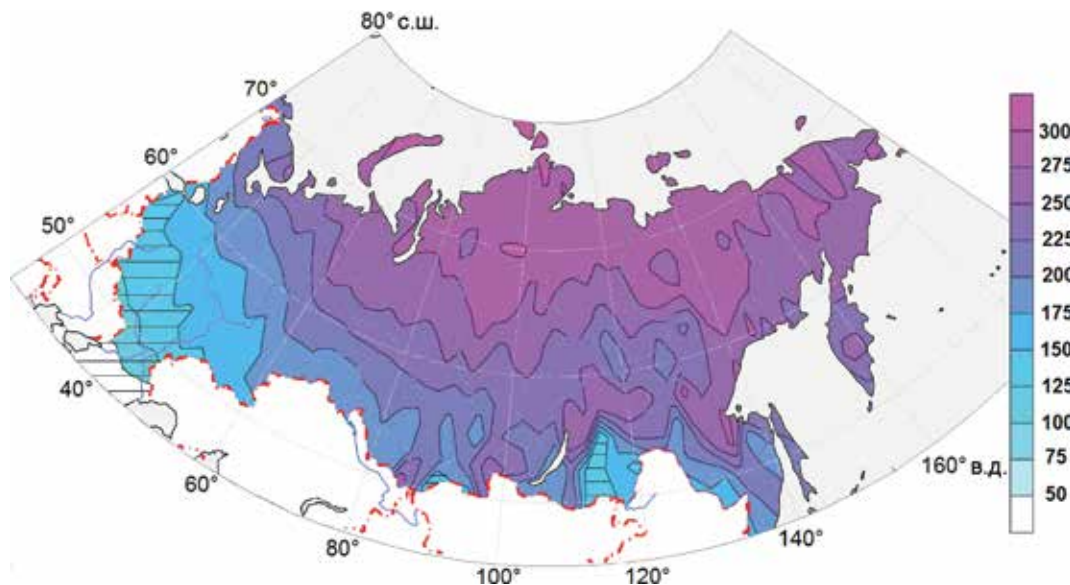
идентификации снежного покрова по дистанционным данным, особенно в осенний период.

Снежный покров. На рис. 1 и 2 представлены карты средних дат установления и схода снежного покрова в начале XXI в. Изменчивость дат установления и схода снега по дистанционным данным из года в год за период 2000–2015 гг. достаточно велика (табл. 2). На Европейской части России, в пределах долготного

сектора 31–60° в.д., в Западной Сибири (61–90° в.д.), в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (91–150° в.д.) средняя дата установления и схода снежного покрова варьирует в пределах месяца, что приводит к изменению возможного срока залегания снега до двух месяцев. Поскольку ошибка даты установления снежного покрова на юге Европейской части России по спутниковым данным превышает 40%, этот район

Таблица 2. Даты установления и схода снежного покрова за период 2000–2015 гг. по секторам по данным MODIS

Сектор, градусы в.д.	Установление снежного покрова			Сход снежного покрова		
	среднее	минимум	максимум	среднее	минимум	максимум
31–60	2–9.12	31.10–7.11	10–17.12	14–21.04	21–28.03	22–29.04
61–90	8–15.11	7–14.10	24.11.–1.12	22–29.04	6–13.04	30.04–7.05
91–120	23–30.10	29.09–6.10	16–23.11	30–7.05	14–21.04	8–15.05
121–150	15–22.10	29.09–6.10	8–15.11	8–15.05	22–29.04	8–15.05
151–190 севернее 60° с.ш.	7–14.10	13–20.09	8–15.11	16–23.05	30.03–7.05	16–23.05
151–190 южнее 60° с.ш.	31–7.11	7–14.10	24.11–1.12	8–15.05	22–29.04	16–23.05

**Рис. 3.** Продолжительность залегания снежного покрова в период 2000–2015 гг., дни.

Штриховкой показаны районы, где ошибка более 25%

Fig. 3. Duration of snow cover in the period 2000–2015, days.

Hatching areas show the regions where the error above 25%

на рис. 1 и 2 оставлен с открытой датой. Районы, где ошибка выходит за рамки допустимой, заштрихованы. Самое раннее появление устойчивого снежного покрова наблюдается во второй половине сентября на севере Сибири. По мере продвижения на юг эти сроки сдвигаются на более поздние даты. К концу ноября вся территория России восточнее Урала в основном покрыта устойчивым снежным покровом.

На Европейской части России устойчивый снежный покров ложится на Кольском полуострове и северо-востоке территории примерно в середине октября, постепенно распространяясь на юго-запад. В центральных районах снег ложится только в декабре. В южных районах появление снега можно ожидать в разгар зимы — в самом конце декабря, начале января,

и снежный покров здесь неустойчив. Процесс весеннего снеготаяния и разрушения устойчивого снежного покрова в центральных районах Европейской части России начинается в середине марта и в северных районах завершается в начале июня (см. рис. 2). Наибольшая продолжительность (более 300 дней) залегания снежного покрова характерна для северо-восточных районов России и северного побережья (рис. 3). По мере продвижения к югу продолжительность залегания снежного покрова уменьшается. На юге Европейской части снежный покров держится от нескольких недель до 50 дней, что несколько меньше, чем среднее число дней со снежным покровом, приведённое в книге «Климат России» [16], но здесь ошибка по спутниковым данным выше допустимой.

Таблица 3. Корреляция средних характеристик снежного покрова по данным MODIS с климатическими показателями за период 2000–2015 гг.*

Сектор, градусы в.д	День установления снежного покрова и среднесуточные отрицательные температуры	День схода снежного покрова и среднесуточные положительные температуры	Продолжительность залегания снежного покрова и число дней с отрицательными температурами	Продолжительность залегания снежного покрова и сумма осадков при отрицательных температурах
31–60	0,78	0,74	0,82	0,10
61–90	0,59	0,80	0,87	0,45
91–120	0,85	0,84	0,91	0,58
121–150	0,61	0,72	0,74	0,35
151–190	0,71	0,80	0,73	0,00

*Жирным шрифтом выделены значимые значения корреляции с вероятностью 0,95; курсивом – значимые значения корреляции с вероятностью 0,8.

Сравнение карты продолжительности залегания снежного покрова по спутниковым данным за 2000–2015 гг. и числа дней со снежным покровом в работе «Климат России» [16], где осреднение проводилось по ГМС максимум за период 1891–1980 гг. и минимум за 20 лет, показывает хорошее соответствие не только общей структуры полей, но и деталей, например, в горных районах Забайкалья, Камчатки. Если сравнивать эти карты, то видно, что продолжительность залегания снежного покрова становится меньше в центральных и южных районах Европейской части (от нескольких дней до двух недель) и больше – во всей Азиатской части России (от недели до трёх недель).

Климат. Сроки залегания снежного покрова зависят от климатических показателей, в частности от даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью и весной, числа дней с температурой ниже 0 °С, количества осадков, выпадающих при температуре воздуха ниже 0 °С. В табл. 3 представлены коэффициенты корреляции характеристик сроков установления, схода и продолжительности залегания снежного покрова и климатических показателей. Значимые коэффициенты корреляции (с вероятностью 0,95) прослеживаются между снежным покровом, датами перехода температуры через 0 °С и суммой дней с отрицательными температурами. С суммой зимних осадков корреляция значима с вероятностью 0,80 только в Западной Сибири (61–90° в.д.) и на Дальнем Востоке (121–150° в.д.). На Европейской части (30–90° в.д.) и восточной оконечности России (151–190° в.д.) эта корреляция незначима, что подтверждается регрессионным анализом за-

легания снежного покрова с климатическими показателями. Наибольшая связь (средний показатель 0,72) отмечается между продолжительностью залегания снежного покрова и числом дней с отрицательными температурами и меньшая – с суммой осадков при отрицательных температурах (средний показатель составляет 0,2).

Отметим, что число дней с температурой ниже 0 °С за последние 15 лет на большей части территории России сокращается – линейный тренд отрицательный, кроме востока России (151–190° в.д.) (Чукотка) (табл. 4). Тренды даты перехода температуры через 0 °С осенью показывают, что существенный сдвиг этой даты на более поздние сроки отмечается в северо-западной части Европейской территории России и на Камчатке. Весной на Европейской части России переход к положительным температурам происходит позже, что также характерно и для Чукотки. На остальной части России тренды отрицательные, т.е. отмечается тенденция более раннего наступления весны.

На большей части территории России в начале XXI в. (2000–2015 гг.) наблюдаются отрицательные тренды осадков холодного периода, что приводит к сокращению снежного покрова. Значимые отрицательные тренды суммы осадков при отрицательных температурах в начале XXI в. отмечаются в северной половине Европейской части России. Положительные тренды суммы осадков при отрицательной температуре воздуха наблюдаются на Дальнем Востоке и Камчатке. Таким образом, изменение климатических характеристик приводит к тому, что на Европейской части России (31–60° в.д.) сокращается продолжительность залегания снежного покрова из-за значимого уменьшения твёр-

Таблица 4. Тренды дат характеристик снежного покрова (MODIS) и климатических показателей за период 2000–2015 гг. по секторам в днях

Сектор, градусы в.д.	Установление снежного покрова	Установление отрицательных температур осенью	Сход снежного покрова	Установление положительных температур весной	Продолжительность залегания снежного покрова	Число дней с отрицательными температурами	Сумма осадков при отрицательных температурах, мм
31–60	0	7	–10	4	–6	–1	–16
61–90	0	2	–14	–1	–5	–15	–27
91–120	2	0	–16	–7	–7	–23	–6
121–150	1	2	–12	–2	1	–8	18
151–190, севернее 60° с.ш.	–5	–2	–9	2	4	2	–23
151–190 южнее 60° с.ш.	6	14	–11	–9	–7	–31	22

*Жирным шрифтом выделены значимые изменения с вероятностью 0,95.

дых осадков, которое влияет на более раннюю дату схода снежного покрова весной при небольшом положительном тренде даты перехода среднесуточных температур через 0 °С. В Западной Сибири (61–90° в.д.) тенденция к снижению продолжительности залегания снежного покрова обусловлена как значимым уменьшением зимних осадков, так и более ранним началом весны. В Средней Сибири (91–120° в.д.) значимое уменьшение периода со снежным покровом происходит в результате более раннего весеннего потепления. В Дальневосточном секторе (121–150° в.д.) незначительный рост продолжительности снежного периода при сокращении периода с отрицательными температурами обусловлен увеличением количества твёрдых осадков.

Как уже отмечалось, в восточной части России (151–190° в.д.) необходимо отдельно рассматривать два региона – Чукотку и Камчатку, где изменения продолжительности залегания снега разнонаправленные. Так, на Чукотке осенью дата установления отрицательных температур и соответственно начала снежного периода сдвигается на более ранние сроки. Весной переход к положительным температурам происходит немного позже, но на фоне уменьшения количества твёрдых осадков дата схода снежного покрова наступает раньше. Камчатка характеризуется отрицательным трендом продолжительности залегания снежного покрова из-за уменьшения продолжительности периода с отрицательными температурами. Это обусловлено значимым трендом дат более позднего начала холодного периода и более раннего начала весны при увели-

чении количества зимних осадков. Такая тенденция подтверждается выводами работы [1].

Заключение

В осенний и весенний периоды для территории России спутниковые данные MODIS занижают наличие снежного покрова. Осенью погрешность максимальна для районов, где велика изменчивость установления снежного покрова в пространстве и времени (Европейская часть России южнее 60° с.ш., Забайкалье и Сахалин). Поэтому здесь дистанционные данные имеют невысокую эффективность для идентификации снежного покрова, особенно в осенний период. В весенний период спутниковая информация о наличии снежного покрова достаточно достоверна и хорошо подходит для анализа временного и пространственного схода снежного покрова. Спутниковую информацию для определения параметров снежного покрова целесообразнее использовать для внутренних северных равнинных территорий России с небольшой межгодовой изменчивостью.

Территория России неоднородна по характеру изменений продолжительности снежного периода в XXI в. Изменение климатических характеристик приводит к тому, что продолжительность залегания снежного покрова на Европейской части (31–60° в.д.) сокращается в результате значимого уменьшения твёрдых осадков. В Западной Сибири (61–90° в.д.) в большей степени это связано с весомым уменьшением количества снега и в меньшей степени – с ранним наступлением весны; в

Средней Сибири (91–120° в.д.) — с весенним потеплением. Незначительное увеличение продолжительности снежного периода на Дальнем Востоке (121–150° в.д.) обусловлено увеличением количества твёрдых осадков. На Чукотке отмечается тенденция роста продолжительности залегания снега, вызванная осенним похолоданием, а на Камчатке сокращение залегания снежного покрова происходит в результате значимого уменьшения периода с отрицательными температурами осенью и весной.

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
2. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Турков Д.В. Климатическая роль изменений снежного покрова в период потеплений // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 4. С. 44–51.
3. Кренке А.Н., Черенкова Е.А., Чернавская М.М. Устойчивость залегания снежного покрова на территории России в связи с изменением климата // Лёд и Снег. 2012. № 1 (117). С. 29–37.
4. Попова В.В., Полякова И.А. Изменение сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936–2008 гг.: влияние глобального потепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 29–39.
5. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лёд и Снег. 2014. № 3 (127). С. 39–49.
6. Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б., Семенов В.А., Черенкова Е.А., Ширяева А.В., Китаев Л.М. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений // Лёд и Снег. 2015. Т. 55. № 4. С. 73–86. doi:10.15356/2076-6734-2015-4-73-86
7. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Лёд и Снег. 2010. № 1. С. 43–57.
8. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н. Снежный покров на территории России и его пространственные и временные изменения за период 1966–2010 гг. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем: Т. 24. М.: изд. Ин-та глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2011. С. 211–227.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Acknowledgements. The work supported by the Basic Research Program of the Presidium of Russian Academy of Sciences «Search fundamental studies for the development of Russian Arctic».

References

1. *Vtoroy otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii.* The second estimated report of Roshydromet on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Roshydromet, 2014: 1009 p. [In Russian].
2. Krenke A.N., Kitaev L.M., Turkov D.V. Climatic changes the role of the snow cover during the period of warming. *Izvestiya Ross. Akad. Nauk, Seriya Geogr.* Proc. of the RAS, Geographical Series. 2001, 4: 44–51. [In Russian].
3. Krenke A.N., Cherenkova E.A., Chernavskaya M.M. Stability of snow cover on the territory of Russia in relation to climate change. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2012, 1 (117): 29–37. [In Russian].
4. Popova V.V., Polyakova I.A. Change of stable snow cover destruction dates in Northern Eurasia, 1936–2008: impact of global warming and the role of large-scale atmospheric circulation. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2013, 2 (122): 29–39. [In Russian].
5. Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A. Snow cover setting-up dates in the north of Eurasia: relations and feedback to the macro-scale atmospheric circulation. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2014, 3 (127): 39–49. [In Russian].
6. Popova V.V., Morozova P.A., Titkova T.B., Semenov V.A., Cherenkova E.A., Shiryayeva A.V., Kitaev L.M. Regional features of present winter snow accumulation variability in the North Eurasia from data of observations, reanalysis and satellites. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2015, 4 (55): 73–86. doi:10.15356/2076-6734-2015-4-73-86 [In Russian].
7. Shmakina A.B. Climatic characteristics of snow cover of Northern Eurasia and their variation in the last decades. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2010, 1: 43–57. [In Russian].
8. Bulygina O.N., Razuvayev V.N., Korshunova N.N. The snow cover on the territory of Russia and its spatial and temporal changes in 1966–2010. *Problemy Ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. Institut globalnogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN (Moskva)* Environmental monitoring and modeling of ecosystems Problems. Institute of Global Climate and Ecology of Roshydromet and Russian Academy of Sciences (Moscow). 2011, 24: 211–227. [In Russian].

9. Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Zhou., Wang T. Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades // *Journ. of Environmental Research Letters*. 2013. V. 8. № 1. P. 1–10. doi:10.1088/1748-9326/8/1/014008.
10. Mankin J.S., Diffenbaugh N.S. Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends // *Climate Dynamics*. 2015. V. 45. Is. 3. P. 1099–1116. doi: 10.1007/s00382-014-2357-4.
11. Brown R.D., Derksen C. Is Eurasian October snow cover extent increasing? // *Environment Research Letters*. 2013. V. 8. № 2. 024006. doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.
12. Mudryk L.R., Derksen C., Kushner P.J., Brown R. Characterization of Northern Hemisphere snow water equivalent datasets, 1981–2010 // *Journ. of Climate*. 2015. October. doi: 10.1175/JCLI-D-15-0229.1.
13. Chang A.T.C., Foster J.L., Hall D. Snow water equivalence determination by microwave radiometry // *Cold Regions Science and Technology*. 1982. № 5. P. 259–267.
14. Armstrong R.L., Brodzik M.J., Kummerow C.D., Jiang J., Uratuka S. A twenty-four year record of northern hemisphere snow cover derived from passive microwave remote sensing // *Conf. on Microwave Remote Sensing of the Atmosphere and Environment III*. Bellingham. 2003. V. 4894. P. 373–380.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях: Вып. 3. Л: Гидрометеиздат, 1985. 92 с.
16. Климат России / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.
9. Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Zhou., Wang T. Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades. *Environmental Research Letters*. 2013, 8 (1): 1–10 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014008.
10. Mankin J.S., Diffenbaugh N.S. Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends. *Climate Dynamics*. 2015, 45 (3): 1099–1116. doi: 10.1007/s00382-014-2357-4.
11. Brown R.D., Derksen C. Is Eurasian October snow cover extent increasing? *Environment Research Letters*. 2013, 8 (2): 024006. doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.
12. Mudryk L.R., Derksen C., Kushner P.J., Brown R. Characterization of Northern Hemisphere snow water equivalent datasets, 1981–2010. *Journ. of Climate*. 2015, October. doi: 10.1175/JCLI-D-15-0229.1.
13. Chang A.T.C., Foster J.L., Hall D. Snow water equivalence determination by microwave radiometry. *Cold Regions Science and Technology*. 1982, 5: 259–267.
14. Armstrong R.L., Brodzik M.J., Kummerow C.D., Jiang J., Uratuka S. A twenty-four year record of northern hemisphere snow cover derived from passive microwave remote sensing. *Conf. on Microwave Remote Sensing of the Atmosphere and Environment III*. Bellingham 2003. V. 4894: 373–380.
15. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam*. Direction to hydrometeorological stations. Meteorological observations at stations. Is. 3. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985: 92 p. [In Russian].
16. *Klimat Rossii*. Climate of Russia. Ed. N.V. Kobysheva. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2001. 655 p. [In Russian].