

Изменчивость характеристик снежного покрова на территории России

Н.Н. Коришунова, С.Г. Давлетшин, Н.М. Аржанова*

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
Россия, 249035, г. Обнинск Калужской обл., ул. Королева, д. 6;

*адрес для переписки: nnk@meteo.ru

Реферат. Рассматриваются различные аспекты пространственно-временной изменчивости на территории России характеристик снежного покрова и ледяной корки, полученных по данным специализированных массивов высокого качества, созданных во ВНИИГМИ-МЦД. Описывается пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих тенденцию (среднюю скорость) изменений максимальных за зимний период значений высоты снежного покрова, числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеостанции, а также запас воды в снеге на интервале 1976-2020 годов. Кроме этого, приводятся результаты регионального анализа по районам, выбранным на основании классификации Б.П. Алисова. Рассмотрено также изменение режима оттепелей, которые оказывают значительное влияние на снегонакопление. Для анализа ледяной корки использовались две характеристики – продолжительность залегания и максимальная толщина. Рассчитаны средние многолетние значения этих характеристик по регионам для полевых и лесных маршрутов. Описывается пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих тенденцию изменений максимальной толщины ледяной корки и числа дней с ледяной коркой, а также числа дней с ледяной коркой, которая при толщине 5 мм сохраняется 10 дней и более. Такую ледяную корку относят к опасным агрометеорологическим явлениям.

Ключевые слова. Снежный покров, максимальная высота снежного покрова, запас воды в снеге, ледяная корка, продолжительность залегания ледяной корки, максимальная толщина ледяной корки.

Variability of snow cover characteristics over the territory of Russia

N.N. Korshunova, S.G. Davletshin, N.M. Arzhanova*

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center,
6, Koroleva, 249035, Obninsk, Russia;

*Correspondence address: nnk@meteo.ru

Abstract. Various aspects of the spatio-temporal variability of the characteristics of the snow cover and ice crust obtained from the data of specialized

high-quality datasets compiled at ARIHMI-WDC are analyzed for the territory of Russia. The spatial distribution of local trend estimates characterizing the average rate of changes in the maximum values of the snow cover depth for the winter period, the number of days with snow covering more than 50% of the territory around the meteorological station, as well as water content in snow for the 1976-2020 interval are described. The results of regional analysis are also given for the regions selected following B.P. Alisov. Changes in the regime of thaws, which have a significant effect on snow accumulation, are considered as well. The ice crust is analyzed using two characteristics: the duration of occurrence and the maximum thickness. Regionally averaged long-term mean values of these characteristics were calculated by field and forest routes. The spatial distribution of local trends characterizing the tendency of changes in the maximum thickness of the ice crust and the number of days with ice crust, as well as the number of days with ice crust persisted for 10 days or more at a thickness of 5 mm, is described. Such an ice crust is classified as a dangerous agrometeorological phenomenon.

Keywords. Snow cover, maximum snow depth, water content in snow, ice crust, duration of ice crust occurrence, maximum ice crust thickness.

Введение

Мониторинг характеристик снежного покрова, изучение их изменчивости особенно актуальны для России, поскольку почти половину года огромные территории в стране покрыты снегом, *о чем еще в XIX веке говорил А.И. Воейков*: «...Нигде влияние снежного покрова так не велико, как в России, так как нигде нет равнины настолько обширной, отдаленной от морей и покрытой зимой снегом» (Воейков, 1884).

Снежный покров за счет своих уникальных физических свойств (высокая отражательная способность и низкая теплопроводность) и запаса воды, играет важную роль в энергетическом и водном балансе Земли, а также в формировании климата, являясь при этом чувствительным индикатором его изменений. Особенно чувствительны характеристики снежного покрова (даты установления и схода снежного покрова, продолжительность залегания, высота снежного покрова) к изменениям приповерхностной температуры воздуха (Кренке и др., 2012; Peng et al., 2013). Как указывалось ранее (Второй оценочный доклад..., 2014), период после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением во временных рядах среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осреднённых для территории России и в глобальном масштабе. Однако, зависимость изменения характеристик снежного покрова к изменению температуры воздуха нельзя назвать однозначной. Как отмечается в (Кислов и др., 2009), повышение температуры может сопровождаться как уменьшением, так и увеличением запасов снега по причине того, что, во-первых, снег не тает, если температура не переходит 0°C; во-вторых, повышение температуры автоматически вызывает рост насыщающей величины парциального давления водяного пара, что приводит к увеличению запасов влаги в воздухе и осадков в зимний период, как в твердой, так и жидкой фазе.

Чувствительность снежного покрова Северной Евразии к процессу глобального потепления достаточно хорошо изучена (МГЭИК: Изменение климата, 2013; Brown and Robinson, 2011; Brown, Derksen, 2013). В то же время на состояние снежного покрова влияют наблюдаемые в последние годы изменения режима осадков, частоты оттепелей, метелей и т.д. (Гройсман и др. 2014; Борисова, Журавлев, 2012; Mankin, Diffenbaugh, 2015).

Наблюдаемое уменьшение площади, покрытой льдом летом в Северном Ледовитом океане, которое происходит в последние десятилетия (Serreze et al., 2007; Groisman, Soja, 2009; Ghatak et al., 2012), приводит к образованию источника водяного пара для сухой полярной атмосферы в начале холодного сезона, что также не может не отражаться на состоянии снежного покрова. По данным Национального центра данных по снегу и льду (National Snow and Ice Data Centre), 15 сентября 2020 была зафиксирована минимальная площадь морского льда в Арктике за 2020 год, она составила 3.74 миллиона квадратных километров. Годовой минимум арктического морского льда в 2020 году стал вторым рекордно низким за всю историю наблюдений.

В последние годы опубликовано много работ, посвященных изучению характеристик снежного покрова северной Евразии (Шмакин, 2010; Попова, Полякова 2013, Попова и др. 2014). Подробный обзор полученных в этих исследованиях результатов представлен в обзоре SWIPA (Снег, Вода, лед, и Пермафрост в Арктике) (Callaghan et al., 2011). Проведенные исследования указывают на значительные региональные особенности в состоянии и изменениях снежного покрова. Региональные изменения характеристик снежного покрова имеют ряд особенностей, связанных с местными условиями. Региональному аспекту в последние годы также уделялось большое внимание (Переведенцев и др., 2011; Петров и др., 2012; Попова и др., 2015; Максютова, 2017).

В связи с высокой естественной пространственно-временной изменчивостью снежного покрова и его быстрыми изменениями под действием меняющегося климата очень важной стала задача получения достоверной информации о снежном покрове с высоким пространственным и временным разрешением на обширных территориях. Возможность наиболее полно описать современное состояние снежного покрова, оценить изменения его основных характеристик появилась благодаря созданию во ВНИИГМИ-МЦД новых специализированных массивов данных высокого качества (около 1000 метеорологических станций на территории России), регулярно пополняемых данными за истекший зимний период (Булыгина и др., 2014; Булыгина и др., 2015).

Данные и методы анализа

Современное состояние климатических характеристик снежного покрова проведено по данным ежедневных наблюдений за высотой снежного покрова и степенью покрытия снегом окрестностей станции для 820 метеостанций России (рис. 1а). Все эти метеорологические станции отнесены к типу незащищенных. Анализ влагозапаса и характеристик ледяной корки осуществлялся по данным маршрутных снегомерных съемок на 958 метеостанциях

(рис. 2). Эти данные доступны на сайте ВНИИГМИ-МЦД (<http://www.meteo.ru>). Из 958 станций на 665 проводятся наблюдения в поле, на 425 – в лесу (на части станций осуществляются наблюдения и в поле, и в лесу).

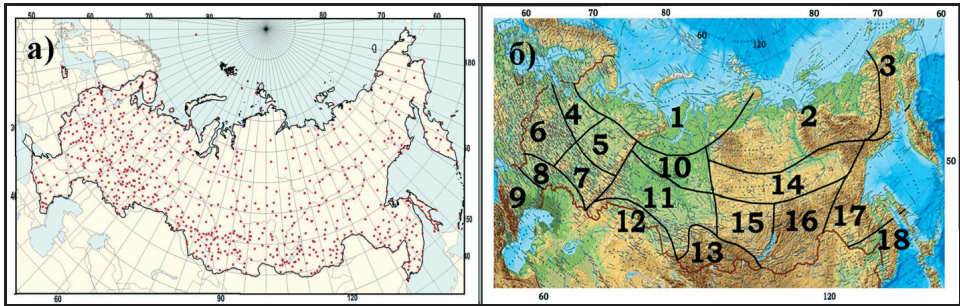


Рисунок 1. а) Расположение 820 метеостанций с ежедневными наблюдениями за снежным покровом; б) Границы климатических квазиоднородных районов:

1, 2 и 3 – атлантическая, сибирская и тихоокеанская Арктика, соответственно; 4, 5, 6, 7 и 8 – северо-запад, северо-восток, юго-запад, юго-восток и степная часть Восточно-Европейской равнины, соответственно; 9 – степи и предгорье Северного Кавказа; 10 и 11 – северная и южная части лесной зоны Западной Сибири, 12 – степная зона Западной Сибири, 13 – Алтайские и Саянские горы и предгорье; 14, 15 и 16 – Восточная Сибирь: центральная часть, бассейн Ангары и Забайкалье, соответственно; 17 и 18 – Дальний Восток между 50°N и 60°N и южнее 50°N , соответственно.

Figure 1. a) Location of 820 meteorological stations with daily observations of snow cover; b) Boundaries of climatic quasi-homogeneous regions:

1, 2, and 3 — Atlantic, Siberian and Pacific Arctic, respectively; 4, 5, 6, 7, and 8 — northwest, northeast, southwest, the southeast and steppe part of the East European Plain, respectively; 9 — steppes and foothills of the North Caucasus; 10 and 11 — northern and southern parts of the forest zone of Western Siberia; 12 — steppe zone of Western Siberia; 13 — Altai and Sayan mountains and foothills; 14, 15, and 16 — Eastern Siberia: the central part, the Angara basin and Transbaikalia, respectively; 17 and 18 — the Far East between 50°N and 60°N and south of 50°N , respectively.

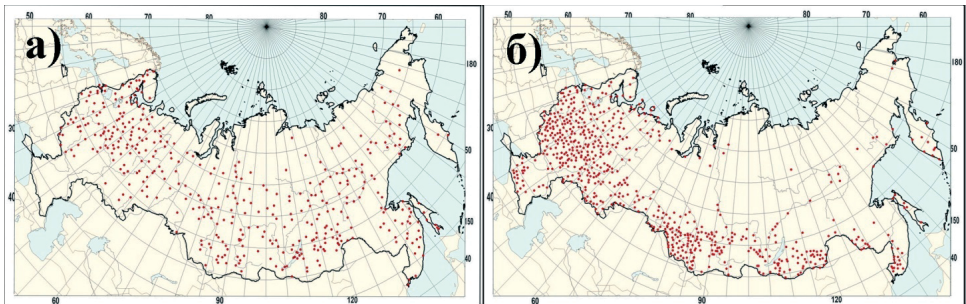


Рисунок 2. Расположение 958 метеостанций с данными маршрутных снегосъемок в лесу (а) и в поле (б)

Figure 2. Location of 958 meteorological stations with data of route snow surveys in the forest (a) and in the field (b)

Региональный анализ проводился по районам, выбранным на основании классификации Алисова (Алисов, 1956). Средние для районов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях

арифметически осреднялись по квадратам сетки ($1^{\circ}\text{N} \times 2^{\circ}\text{E}$), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рис. 1б.

Результаты

Климатические характеристики снежного покрова

Климатические характеристики снежного покрова, по данным ежедневных наблюдений за высотой снежного покрова и степенью покрытия снегом окрестностей станции для 820 метеостанций России получены в (Bulygina et al., 2011) и подробно рассмотрены в (Второй оценочный доклад..., 2014). Напомним основные из них.

Для оценки продолжительности залегания снежного покрова использовалось число дней со степенью покрытия снегом окрестностей станции более 50%. Эта характеристика была предложена и описана в (Булыгина и др., 2007). Наибольшее число дней со снежным покровом наблюдается на побережье северных морей (более 250 дней), а наименьшее – на побережье Каспийского моря (менее 20 дней). На большей части страны более 100 дней в году лежит снег.

Высота снежного покрова зависит не только от общей продолжительности периода с отрицательной температурой и интенсивности твердых осадков, но и от особенностей подстилающей поверхности, ветрового режима и погодных условий конкретного года. Максимальное накопление снега за зимний период в среднемноголетнем в России наблюдается на северо-востоке Европейской территории, в Западной Сибири и на Камчатке (Булыгина и др., 2011). Среднемноголетнее значение максимальной за зимний период высоты снежного покрова превышает в этих районах 80 см. Среднее квадратическое отклонение максимальной высоты снежного покрова на большей части России не превышает 15 см, достигая 20-25 см на севере Западной Сибири, Камчатке, Сахалине и побережье Охотского моря.

Максимальная высота снега и его плотность определяют запас воды в снеге. Пространственное распределение среднемноголетних значений запаса воды в снеге во многом повторяет распределение максимальной высоты снежного покрова.

Многолетние изменения характеристик снежного покрова

В последние десятилетия на фоне повышения глобальной температуры и сокращения площади морского льда в северном полушарии на территории России наблюдаются значительные изменения высоты снежного покрова. Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих тенденцию (среднюю скорость) изменений максимальных за зимний период значений высоты снежного покрова на интервале 1976-2020 годов, рассчитанных непосредственно по данным станционных наблюдений на территории России, показано на рис. 3. Тренд выражен в см/10 лет.

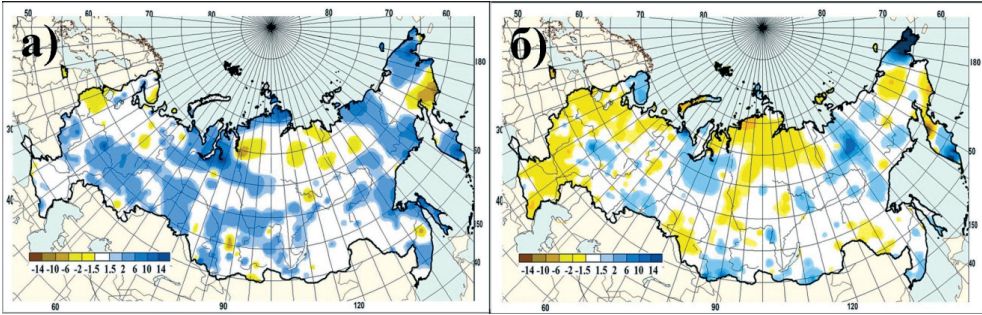


Рисунок 3. а) Коэффициенты линейного тренда (см/10 лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10 лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2020 гг.

Figure 3. а) Coefficients of the linear trend (cm /10 years) in the time series of the maximum snow cover depth for the winter period. б) Coefficients of the linear trend (days /10 years) in the series of the number of days with the degree of coverage with snow in the vicinity of the station over 50%. 1976-2020

Наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова в центральных и восточных районах ЕЧР, на большей части Западной Сибири, побережье Охотского моря, севере Таймыра, юге Красноярского края, востоке Республики Саха-Якутия, в Чукотском АО и на юге Камчатки. Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на северо-западе и отдельных станциях на севере ЕЧР, а также на юге Западной Сибири, севере Камчатского края, северо-западе Республики Саха-Якутия, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края. При этом обнаружено, что за последнее время на востоке Европейской территории России и в Западной Сибири число снегопадов средней и большой интенсивности возросло, а на северо-востоке Сибири – уменьшилось (Борзенкова, Шмакин, 2012). Предполагается, что одной из причин этих изменений является смена режима атмосферной циркуляции в середине 1970-х гг. Если в 1950-1974 гг. в формировании осадков января доминировал циркуляционный механизм SCAND, то 1975-2006 гг. были периодом усиления положительной фазы NAO. Увеличение снеготопливных запасов в Западной Сибири и Красноярском крае существенно влияет на гидрологический режим рек бассейна Оби и Енисея (Попова, 2011). Одной из причин уменьшения максимальной высоты снежного покрова на севере Камчатского края может быть уменьшение числа дней с экстремально большими осадками, которое выявлено на северо-востоке Дальневосточного федерального округа (ФО), а также увеличение числа оттепелей весной (Коршунова и др., 2018).

Изменение режима оттепелей оказывает значительное влияние на снегонакопление. На рис. 4 представлены коэффициенты линейного тренда в рядах числа дней с оттепелями. При расчетах числа дней с оттепелью использовалось определение оттепели, данное К.Ш. Хайруллиным (Хайруллин, 1969), когда оттепелью считалось повышение средней суточной температуры воз-

духа до 0°C и выше внутри холодного периода при среднесуточной температуре воздуха устойчиво ниже 0°C . Климатические характеристики оттепелей и их распределение на территории РФ детально описаны в (Коршунова, Давлетшин, 2019).

На ЕЧР наблюдается значительное увеличение оттепелей в зимний период, что приводит к уменьшению высоты снежного покрова. На юге Западной Сибири число дней с оттепелями растет в конце осени – начале зимы (ноябрь–декабрь) и в начале весны (март). На севере АЧР выявлена тенденция увеличения весенних оттепелей.

Следует отметить, что тенденции изменения максимальной высоты снежного покрова во многих районах страны изменились по сравнению с оценками, представленными в предыдущем докладе. Значительно уменьшились области отрицательных трендов в северо-восточных районах ЕЧР и на Южном Урале. В северо-западных областях ЕЧР аномально теплые, с частыми оттепелями зимы последних трех лет поменяли знак тренда на отрицательный.

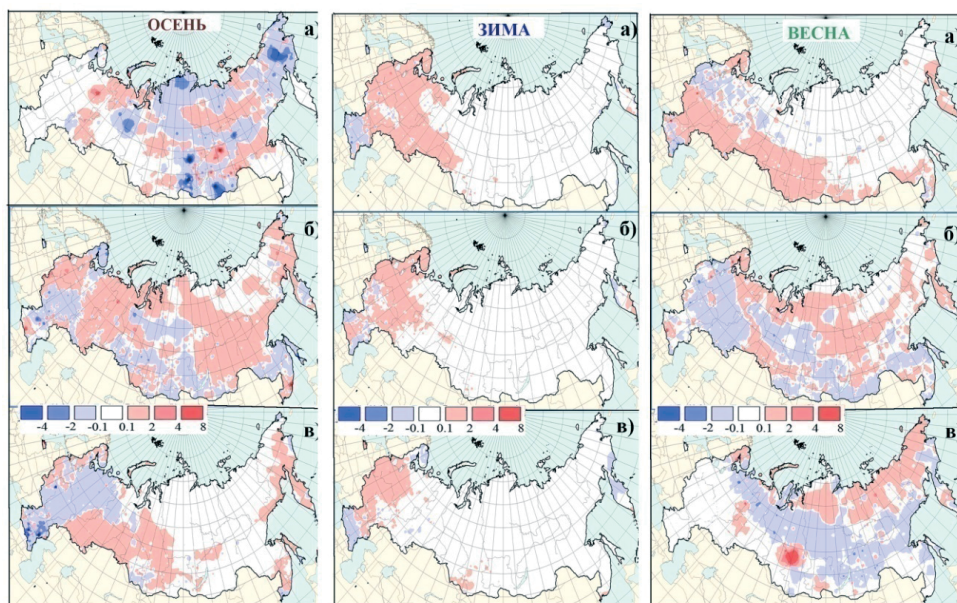


Рисунок 4. Коэффициенты линейного тренда (на 5%-ом уровне значимости) в рядах числа дней с оттепелью

осень: а) сентябрь; б) октябрь; в) ноябрь; зима: а) декабрь; б) январь; в) февраль;
весна: а) март; б) апрель; в) май (Коршунова и др., 2018)

Figure 4. Linear trend coefficients (significant at 5%) in the series of the number of days with thaw:
autumn: а) September; б) October; в) November; winter: а) December; б) January;
с) February; spring: а) March; б) April; в) May (Korshunova et al., 2018)

Увеличилось число дней с сильными снегопадами на большей части Западной Сибири и Красноярского края, куда в последние годы часто проникали атлантические циклоны, принося влажные воздушные массы (Коршунова и

др., 2018), что также привело к смене тенденции в изменении максимальной высоты снежного покрова.

Территория России очень неоднородна по характеру изменения характеристик снежного покрова, в том числе и максимальной высоты. Результаты регионального осреднения по квазиоднородным районам представлены в табл. 1. Статистически значимые на 5%-ом уровне положительные коэффициенты линейного тренда получены для Чукотки и севера Камчатки (район 3), южной части лесной зоны Западной Сибири (район 11), центра Восточной Сибири и бассейна Ангары (районы 14 и 15 соответственно). В целом для России отмечается слабая тенденция увеличения максимальной высоты снежного покрова, которое замедлилось в последние годы из-за аномально теплых зим на большей части страны.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеостанции приведено на рис. 3б (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-ом уровне). В период с 1976 по 2020 гг. на значительной части страны выявлена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части ЕЧР, севере Восточной Сибири, юге Западной Сибири, северо-западе Республики Саха-Якутия, севере Камчатского края, западе Чукотского АО и в Амурской области. Однако, области отрицательных трендов значительно уменьшились по сравнению с предыдущим периодом. В районе Обской Губы, на Нижней Волге и в Дагестане знак тренда поменялся. На севере Западной Сибири появилась тенденция увеличения продолжительности залегания снежного покрова, что обусловлено в значительной степени увеличением сильных снегопадов на фоне увеличения экстремально холодных дней весной (Коршунова и др., 2018). Сохраняется тенденция увеличения числа дней со снежным покровом в Забайкалье, в горных районах Алтая и Саян, на северном и западном побережье Охотского моря, востоке Якутии, северо-западе Приволжского ФО, южном и центральном Урале, в южных районах Камчатки. В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1.17 дня за 10 лет (табл. 1), причем аномалии последних двух очень теплых лет значительно увеличили скорость сокращения продолжительности залегания снежного покрова.

Запас воды в снеге является одной из важнейших характеристик снежного покрова, которая используется при прогнозировании весенних половодий в качестве одного из входных параметров в численных моделях атмосферы. В виду важности и актуальности задачи изучению закономерностей распределения и изменения снегозапасов на территории РФ в последние годы посвящено немало исследований (Петров и др., 2012; Максютובה, 2013; Дубровская, Патрушева, 2013; Сосновский и др., 2018). Интересную деталь отметили авторы в (Сосновский и др., 2018). Используя коэффициент снегонакопления $K_{\text{л}}$ – отношение снегозапасов в лесу к их значению в поле, – удалось установить, что, помимо метеорологических условий, снегонакопление в лесу зависит от породного состава лесонасаждений, полноты, ярусности, возраста, сомкнутости лесного полога.

Общий характер изменений максимального за зиму запаса воды в снеге, по данным маршрутных наблюдений, практически сохранился и в поле, и в лесу, но в последние годы появились некоторые региональные особенности. По данным на полевых маршрутах, наблюдается увеличение запаса воды в снеге в центральных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине и в Приморье (рис. 5а). Следует отметить значительное увеличение запасов воды в снеге в поле на территории всего Камчатского полуострова. В предыдущий период тенденция увеличения отмечалась только на западном побережье. Прекратился рост запасов воды в снеге на полевом маршруте в Архангельской области. Сохраняется тенденция уменьшения на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале и в прибрежных районах Магаданской области. Средний для страны в целом запас воды в снеге, по данным маршрутных снегосъемок в поле, увеличивается на 2.16 мм за 10 лет.

По данным маршрутных наблюдений в лесу (рис. 5б), на территории России по-прежнему преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге, причем на Камчатке эта тенденция усилилась, распространившись на всю территорию полуострова. Наиболее обширная зона положительных коэффициентов линейного тренда охватывает северное и западное побережье Охотского моря, восток Якутии, южные районы Хабаровского края, Приморье и Сахалин. По сравнению с предыдущим периодом поменялся знак тренда в прибрежных районах Магаданской области и прекратилось уменьшение запасов воды в снеге в Ненецком автономном округе. При оценке региональных изменений получены значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге, по данным снегосъемок на лесных маршрутах, для северо-запада Восточно-Европейской равнины (район 4) и северной части лесной зоны Западной Сибири (район 10), на полевых маршрутах – на Чукотке и севере Камчатки (район 3). На дальневосточном юге (район 18) выявлена значимая тенденция увеличения запаса воды в снеге на лесных маршрутах. В поле запас воды в снеге увеличивается в южной части лесной зоны Западной Сибири (район 11) и степной зоне Западной Сибири (район 12) (табл. 1). Средний для страны запас воды в снеге уменьшается на 1.49 мм за 10 лет.

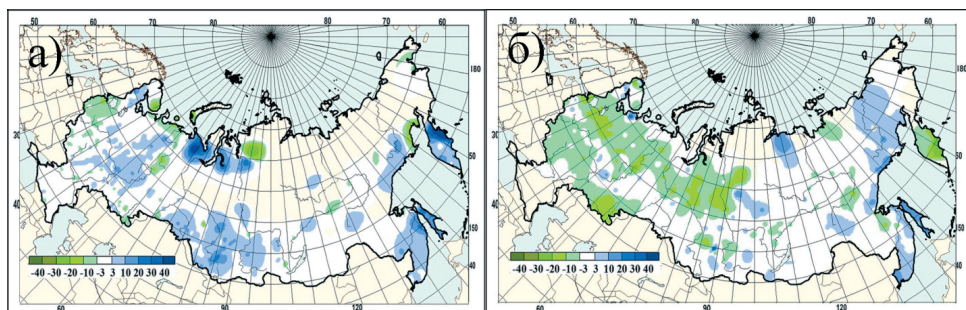


Рисунок 5. Коэффициенты линейного тренда (мм/10 лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2020 гг.

Figure 5. Coefficients of the linear trend (mm / 10 years) in the series of water content in snow for the winter period in the field (a) and in the forest (b). 1976-2020

Таблица 1. Коэффициенты линейного тренда (%/10лет) в рядах осредненных по регионам характеристик снежного покрова за 1976-2020 гг. (значимые на 5%-ом уровне)

Table 1. Coefficients of the linear trend (% /10 years) in the series of region-averaged snow cover characteristics for 1976-2020. (significant at 5% level)

№	Регион	<i>Hmax</i>	<i>Nd</i>	<i>SWEn</i>	<i>SWEл</i>
1	Север ЕТР и Западной Сибири		-3.1		
2	Северная часть Восточной Сибири и Якутии				
3	Чукотка и север Камчатки	9.8		-5.0	
4	Северо-запад Восточно-Европейской равнины		-5.2		-7.8
5	Северо-восток Восточно-Европейской равнины		-3.5		
6	Юго-запад Восточно-Европейской равнины		-6.9		
7	Юго-восток Восточно-Европейской равнины		-6.0		
8	Степная часть Восточно-Европейской равнины				
9	Северный Кавказ				
10	Северная часть лесной зоны Западной Сибири				-3.8
11	Южная часть лесной зоны Западной Сибири	3.9	-2.9	5.3	
12	Степная зона Западной Сибири		-3.9	7.2	
13	Алтай и Саяны				
14	Центр Восточной Сибири	3.1			
15	Бассейн Ангары	3.8			
16	Забайкалье				
17	Дальний Восток (между 50° с.ш. и 60° с.ш.)				
18	Дальний Восток (южнее 50° с.ш.)				8.1

Обозначения: *Hmax* – максимальная за зимний период высота снежного покрова; *Nd* – число дней со снежным покровом; *SWEn* – запас воды в снеге (в поле); *SWEл* – запас воды в снеге (в лесу)

Legend: *Hmax* – maximum snow cover height for the winter period; *Nd* – is the number of days with snow cover; *SWEn* – water content in the snow (in the field); *SWEл* – water content in the snow (in the forest)

Многолетние изменения характеристик ледяной корки

Ледяной коркой называют слой льда на поверхности почвы или снежного покрова, образующийся под влиянием солнечной радиации, глубоких оттепелей, сменяющихся морозами, жидких осадков, осевшего тумана в холодный период года. Различают ледяные корки притертые и висячие. Наиболее опасна притертая корка. Она появляется, когда снег при оттепелях полностью тает, а образовавшаяся вода при похолодании замерзает, образуя ледяную корку, смерзшуюся с верхним слоем почвы и вмержшими в него растениями. Висячая корка может образовываться, когда снег тает сверху и замерзает. Более детальная классификация ледяных корок и настов приведена в (Рихтер, 1945). Из всех неблагоприятных агрометеорологических явлений ледяная корка по негативному влиянию на растения занимает второе место после низких температур. Растения, сильно вмержшие в лед, повреждаются, а иногда и гибнут из-за нарушения газообмена, недостатка кислорода и избытка углекис-

лого газа. Ледяная корка усиливает действие морозов, гибель растений под коркой наступает при более высоких температурах. Значительные проблемы доставляет ледяная корка оленеводству, поскольку затрудняет животным добычу пищи. Несмотря на это, ледяная корка изучена недостаточно. Последним наиболее подробным исследованием этой проблемы можно считать (Bulygina et al., 2010), в котором проведен анализ характеристик ледяной корки, по данным наблюдений 958 метеорологических станций за период 1966-2007 гг.

По данным тех же 958 метеорологических станций России, характеристики ледяной корки (продолжительность залегания и максимальная толщина ледяной корки) рассчитаны за период 1976-2020 гг. В табл. 2 приведены значения этих характеристик, осредненные по территории квази-однородных районов.

Таблица 2. Средние многолетние значения продолжительности залегания и максимальной толщины ледяной корки в холодный период. 1976-2020 гг.
Table 2. Long-term mean values of the duration of occurrence and the maximum thickness of the ice crust in the cold period. 1976-2020

Номер района	Число станций		Продолжительность залегания ледяной корки (дни)		Средняя за год максимальная толщина ледяной корки (мм)	
	Поле	Лес	Поле	Лес	Поле	Лес
1	46	43	12.2	2.1	3.0	0.6
2	4	31	0.3	0.6	0.3	0.4
3	3	6	7.2	0.6	2.7	0.2
4	37	28	9.2	2.3	3.2	0.7
5	39	32	3.2	0.3	1.1	0.1
6	127	37	18.4	3.5	5.9	1.4
7	58	11	8.6	0.7	2.9	0.4
8	30	-	12.9	-	5.7	-
9	23	-	1.3	-	0.8	-
10	1	16	-	1.1	-	0.6
11	73	41	6.2	0.7	2.9	0.3
12	41	2	10.9	-	3.7	-
13	50	26	2.6	0.8	1.2	0.7
14	6	36	4.1	0.4	2.8	0.4
15	27	21	1.2	0.1	0.7	0.1
16	52	51	0.3	0.1	0.2	0.2
17	25	26	3.4	0.4	1.0	0.2
18	23	18	3.0	0.7	1.8	0.4

Во всех районах продолжительность залегания и максимальная толщина ледяной корки больше на полевых маршрутах, за исключением северных районов Восточной Сибири (район 2) и Забайкалья (район 16), поскольку снег в поле подвержен более сильному влиянию ветра и солнечной радиации, поэтому и ледяная корка образуется гораздо чаще. В Забайкалье, где зимой в зоне влияния Сибирского антициклона, в течение всего холодного периода сохраняется устойчивый зимний характер погоды, ледяные корки образуются

только в период снеготаяния, который здесь проходит быстро в силу интенсивного прогревания материка. В результате – минимальная продолжительность существования ледяных корок как в поле, так и в лесу. Максимальные значения как в поле, так и в лесу получены для юго-западной части Восточно-Европейской равнины (район 6). Но, в общем, эти показатели довольно велики во всех западных областях ЕЧР, где из-за сильного влияния Атлантики часто наблюдаются оттепели, о чем упоминалось выше.

В изменении продолжительности залегания и максимальной толщины ледяной корки выявлена тенденция уменьшения на большей части страны и в лесу, и в поле (рис. 6 и 7). Наиболее сильна эта тенденция в западных областях ЕЧР, где на фоне потепления и частых оттепелей, которые способствуют образованию ледяных корок, сокращается и становится более интенсивным процесс весеннего снеготаяния, имеющий обратное действие. Тенденцию увеличения толщины ледяных корок в поле можно отметить на севере Хабаровского края (район Охотска), западном побережье Камчатки, отдельных станциях на юге Республики Саха-Якутия. В лесу наиболее заметна тенденция увеличения максимальной толщины ледяной корки в районе Обской Губы и на Южном Урале.

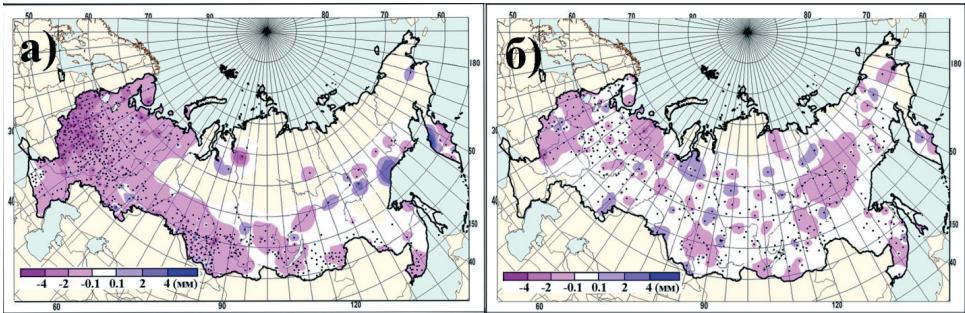


Рисунок 6. Коэффициенты линейного тренда максимальной толщины ледяной корки (мм/10 лет) для полевых (а) и лесных (б) маршрутов снегосъемок в холодный период на территории РФ

Figure 6. Coefficients of the linear trend of the maximum thickness of the ice crust (mm /10 years) for field (a) and forest (b) snow survey routes during the cold period in the territory of the Russian Federation

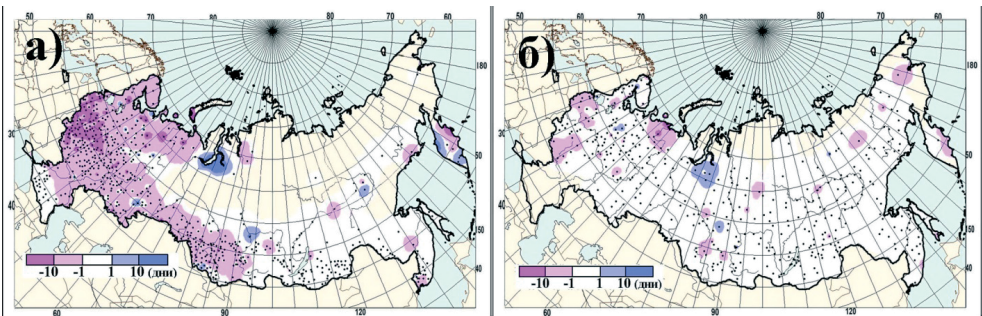


Рисунок 7. Коэффициенты линейного тренда числа дней с ледяной коркой для полевых (а) и лесных (б) маршрутов снегосъемок в холодный период на территории РФ

Figure 7. Coefficients of the linear trend in the number of days with ice crust for field (a) and forest (b) snow survey routes during the cold period over the territory of the Russian Federation

Ледяная корка считается опасным агрометеорологическим явлением, если при толщине 5 мм она удерживалась более 10 дней (Руководящий документ..., 2008). На рис. 8 представлены коэффициенты линейного тренда числа дней с ледяной коркой, которая при толщине 5 мм наблюдалась в течение 10 дней. Как было отмечено в (Bulygina et al, 2010), в лесу средняя максимальная толщина ледяной корки едва достигает 5 мм, тогда как та же величина на открытой местности в сельскохозяйственных районах России и в атлантическом секторе Арктики достигает и превышает критические значения 5 мм и может сохраняться 10 дней и более. В лесу на большей части страны тенденций в изменении числа дней с максимальной толщиной ледяной корки, превышающей критическое значение 5 мм, не выявлено. Слабое уменьшение опасных корок отмечается в западных, юго-западных и северо-восточных районах ЕЧР. В поле число дней с потенциально опасными корками, которые при толщине 5 мм наблюдаются в течение 10 дней, уменьшается на всей территории ЕЧР и юге Западной Сибири.

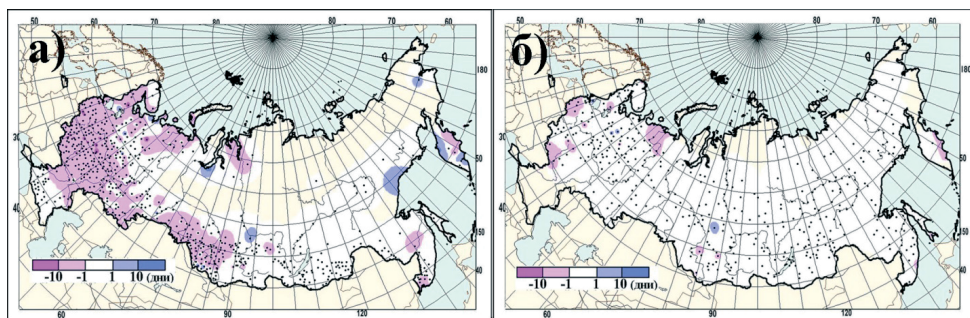


Рисунок 8. Коэффициенты линейного тренда числа дней с ледяной коркой, которая при толщине 5 мм наблюдалась в течение 10 дней, для полевых (а) и лесных (б) маршрутов снегосъемок в холодный период на территории РФ

Figure 8. Coefficients of the linear trend of the number of days with an ice crust, which persisted 10 days or more with a thickness above 5 mm for field (a) and forest (b) snow survey routes during the cold period on the territory of the Russian Federation

Заключение

Анализ изменения климатических характеристик снежного покрова (максимальная высота, число дней со снежным покровом, максимальный запас воды в снеге), который проводился, по данным наблюдений по постоянной рейке на 820 станциях и маршрутных снегосъемок на 958 станциях России, позволил выявить следующие закономерности.

Увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на большей части ЕЧР, Западной и Восточной Сибири, побережье Охотского моря, севере Таймыра, юге Красноярского края, востоке Республики Саха-Якутия, в Чукотском АО. В целом для России отмечается слабая тенденция увеличения максимальной высоты снежного покрова, которое замедлилось в последние годы из-за аномально теплых зим на большей части страны.

В период с 1976 по 2020 гг. на значительной части страны выявлена тен-

денция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части ЕЧР, севере Восточной Сибири, юге Западной Сибири, северо-западе Республики Саха-Якутия, севере Камчатского края, западе Чукотского АО и в Амурской области.

Увеличение снегозапасов в поле наблюдается в центральных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине и в Приморье. Сохраняется тенденция уменьшения на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале и в прибрежных районах Магаданской области. В лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

Обнаруженное уменьшение толщины ледяной корки и продолжительности периодов ее залегания, особенно потенциально опасной, за последние годы имеет практическое значение для живой природы и хозяйственной деятельности человека.

Благодарности

Авторы признательны за поддержку научным темам и проектам, в рамках которых выполнялись разные разделы данной работы:

– Тема 1.3.1.1 «Мониторинг климата Российской Федерации, ее регионов и федеральных округов (субъектов РФ)»;

– Проект 3.2 «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга».

Список литературы

- Алисов Б.П. (1956) *Климат СССР*. – М., Московский Университет., 127 с.
- Борзенкова А.В., Шмакин А.Б. (2012) Изменения толщины снежного покрова и суточной интенсивности снегопадов, влияющие на расходы по уборке магистралей в российских городах. – *Лед и снег*, № 2(118), с. 59-70.
- Борисова А.В., Журавлев Г.Г. (2012) Динамика метелей Томской области. – В кн.: *Климатология и гляциология Сибири: Материалы Междунар. науч.-практ. конф.* – Томск: изд. ЦНТИ. с. 47-49.
- Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. (2007) Изменения характеристик снежного покрова в последние десятилетия. – В кн.: *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, № 173, с. 54-66.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н. (2011) Снежный покров на территории России и его пространственные и временные изменения за период 1966-2010 гг. – *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, М., ИГКЭ, т. 24, с. 211-227.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. (2015) *Описание массива данных «Маршрутные снегомерные съемки»*. Свидетельство о государствен-

ственной регистрации № 2013620279. <http://meteo.ru/data/166-snow-surveys#описание-массива-данных>

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. (2014) *Описание массива данных «Характеристики снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР»*. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201. <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описание-массива-данных>.

Воейков А.И. (1884) *Климаты земного шара и в особенности России*. – С.-Петербург: Издание картографического заведения А. Ильина., 132 с.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. (2014) – М., Росгидромет, 1009 с.

Гройсман П.Я., Богданова Е.Г., Алексеев В.А., Черри Ж.Е., Булыгина О.Н. (2014) Влияние погрешности в измерениях снегопадов на суммы атмосферных осадков и их тренды по Северной Евразии. – *Лёд и снег*, т. 54, № 2, с. 29-43. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-29-43.

Дубровская Л.И., Патрушева Н.Е. (2013) Анализ изменчивости снегозапасов на заболоченных водосборах левобережья средней Оби. – *Географический вестник*, вып. 2 (25), с. 40-45.

Кислов А.В., Китаев Л.М., Евстигнеев В.М. (2009) Изменение снежного покрова при прогнозируемом изменении потеплении климата в XXI в. (на примере Восточно-Европейской равнины. – *Вестник Московского университета, сер. 5. География*, № 5, с. 35-41.

Коршунова Н.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Давлетшин С.Г. (2018) Оценка экстремальности температурного режима и режима осадков на территории РФ и ее регионов. – *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 183, с. 20-30.

Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. (2019) Климатические характеристики оттепелей на территории России. – *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 184, с. 24-32.

Кренке А.Н., Черенкова Е.А, Чернавская М.М. (2012) Устойчивость залегания снежного покрова на территории России в связи с изменением климата. – *Лёд и снег*, № 1(117), с. 29-37.

Максютова Е.В. (2013) Многолетние колебания толщины снежного покрова и максимальных снегозапасов на территории Предбайкалья. – *Лёд и снег*, т. 53, № 2, с. 40-47. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-40-47.

Максютова Е.В. (2017) Режим снежного покрова Предбайкалья в изменяющемся климате. – *Лёд и снег*, т. 57, № 2, с. 221-230.

МГЭИК (2013) *Изменение климата. Резюме для политиков. Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата*, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США, 2013. 36 с., doi:10.1017/SBO9781107415324.004.

Переведенцев Ю.П., Батршина С.Ф., Исмагилов Н.В., Наумов Э.П., Шан-талинский К.М. (2011) Динамика снежного покрова на территории Республики Татарстан. – *Лёд и снег*, № 1, с. 53-57.

Петров А.И., Инишев Н.Г., Дубровская Л.И. (2012) Закономерности формирования снегозапасов на заболоченном водосборе южно-таежной зоны Западной Сибири. – *Вестн. Томского гос. университета. Сер. естеств. наук*, № 360, с. 182-187.

Попова В.В. (2011) Вклад снегозапасов в изменения стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана в период современного потепления. – *Лед и снег*, № 3(115), с. 69-78.

Попова В.В., Полякова И.А. (2013) Изменение сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936-2008 гг.: влияние глобального потепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции. – *Лёд и снег*, № 2(122), с. 29-39.

Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. (2014) Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией. – *Лёд и снег*, № 3(127), с. 39-49.

Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б., Семенов В.А., Черенкова Е.А., Ширяева А.В., Китаев Л.М. (2015) Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений. – *Лёд и снег*, т. 55, № 4. с. 73-86. doi: 10.15356/2076673420154738.

Рихтер Г.Д. *Снежный покров, его формирование и свойства*. – Изд-во Академии наук СССР, 120 с.

Руководящий документ № 52.88.699-2008. (2008) *Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновения опасных природных явлений*. – Росгидромет, М., 33 с.

Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. (2018) Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях. – *Лёд и снег*, т. 58, № 2, с. 183-190.

Хайруллин К.Ш. (1969) *Оттепели на территории СССР*. – Л., Гидрометеоиздат, 88 с.

Шмакин А.Б. 2010 Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия. – *Лед и снег*. Вып. № 1, с. 43-57.

Brown, R.D., Robinson, D. A. (2011) Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922-2010 including an assessment of uncertainty, *The Cryosphere* 5, pp. 219-229.

Brown, R.D., Derksen, C. (2013) Is Eurasian October snow cover extent increasing. *Environ. Res. Lett.*, 8, 024006 (7 pp.) doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.

Bulygina, O.N., Groisman, P.Ya., Razuvaev, V.N. and Radionov, V.F. (2010) Snow cover basal ice layer changes over Northern Eurasia since 1966, *Environ. Res. Lett.*, 5, 015004.

Bulygina O.N., Groisman, P.Ya., Razuvaev, V.N. and Korshunova, N.N. (2011) Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966, *Environ. Res. Lett.*, 6 045204 (10 pp) .

Callaghan, T.V., Johansson, M., Brown, R.D., Groisman, P.Ya., Labba, N., Radionov, V., Contributors (2011) Changing Snow Cover and its Impacts. Ch. 4, 59 pp. In: *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). AMAP Report to the Arctic Council* [Available at <http://amap.no/swipa/>].

Ghatak, D., Deser, C., Frei, A., Gong, G., Phillips, A., Robinson, D., Stroeve, J. (2012) Simulated Siberian snow cover response to observed Arctic sea ice loss, 1979-2008, *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, D23108, doi:10.1029/2012JD018047, 2012.

Groisman, P.Ya., Soja, A.J. (2009) Ongoing climatic change in Northern Eurasia: justification for expedient research, *Environ. Res. Lett.* 4 045002.

Mankin, J.S., Diffenbaugh, N.S. (2015) Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends, *Climate Dynamics*. vol. 45, is. 3, pp. 1099-1116, doi: 10.1007/s00382-014-2357-4.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Zhou., Wang, T. (2013) Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades, *Journ. of Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 1-1, doi:10.1088/1748-9326/8/1/014008.

Serreze, M.C., Holland, M.M. and Stroeve J. (2007) Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover, *Science* 315 1533-6.

References

Alisov, B.P. (1956) *Klimat SSSR* [Climate of the USSR], Moskovskiy Universitet, Moscow, Russia, 127 p.

Borzenkova, A.V., Shmakin, A.B. (2012) Izmeneniya tolshchiny snezhnogo pokrova i sutochnoy intensivnosti snegopadov, vliyayushchiye na raskhody po uborke magistralei v rossiyskikh gorodakh [Changes in snow cover thickness and daily snowfall intensity affecting highway cleaning costs in Russian cities], *Led i sneg*, no. 2(118), pp. 59-70.

Borisova, A.V., Zhuravlev, G.G. (2012) Dinamika meteley Tomskoy oblasti: Klimatologiya i glyatsiologiya Sibiri [The dynamics of blizzards in the Tomsk region: Climatology and glaciology of Siberia], *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, izd. TSNTI, Tomsk, pp. 47-49.

Bulygina, O.N., Korshunova, N.N., Razuvayev, V.N. (2007) *Izmeneniya kharakteristik snezhnogo pokrova v posledniye desyatiletia*. [Changes in snow cover characteristics in recent decades]. *Trudy VNIIGMI-MCD*, no. 173, pp. 54-66.

Bulygina, O.N., Razuvayev, V.N., Korshunova, N.N. (2011) *Snezhnyy pokrov na territorii Rossii i yego prostranstvennyye i vremennyye izmeneniya za period 1966-2010 gg.* [Snow cover on the territory of Russia and its spatial and temporal changes for the period 1966-2010.], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*. Moscow, IGCE, vol. 24. pp. 211-227.

Bulygina, O.N., Razuvayev, V.N., Aleksandrova, T.M. (2015) «Opisaniye massiva dannykh «Marshrutnyye snegomernyye s"yemki»» Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii № 2013620279 ["Description of the data array" Route snow surveying"] URL: <http://meteo.ru/data/166-snow-surveys#opisaniye-massiva-dannykh>.

Bulygina, O.N., Razuvayev, V.N., Aleksandrova, T.M. (2014) «Opisaniye massiva dannykh «Kharakteristiki snezhnogo pokrova na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR»» Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2014621201. <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#opisaniye-massiva-dannykh> ["Description of the data set "Characteristics of snow cover at meteorological stations in Russia and the former USSR"] Certificate of state registration of the database No. 2014621201. URL: <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описание-массива-данных>.

Voyeykov, A.I. (1884) *Klimaty zemnogo shara i v osobennosti Rossii* [Climates of the Globe and Especially Russia.], Izdaniye kartograficheskogo zavedeniya A.Ill'ina, S.-Peterburg, Russia, 132 p.

Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [The second assessment report of Roshydromet on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation.] (2014), Roshydromet, Moscow, Russian, 1009 p.

Groysman, P.YA., Bogdanova, Ye.G., Alekseyev, V.A., Cherri, ZH.Ye., Bulygina O.N. (2014) *Vliyaniye pogreshnosti v izmereniyakh snegopadov na summy atmosferynykh osadkov i ikh trendy po Severnoy Yevrazii* [Influence of errors in snowfall measurements on precipitation totals and their trends in Northern Eurasia], *Lod i Sneg*. vol. 54, no. 2. pp. 29-43. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-29-43.

Dubrovskaya, L.I., Patrusheva, N.Ye. (2013) *Analiz izmenchivosti snegozapasov na zabolochennykh vodosborakh levoberezh'ya sredney Obi* [Analysis of variability of snow reserves in swampy catchments of the left bank of the middle Ob], *Geograficheskiy vestnik*, issue 2 (25), pp. 40-45.

IPCC, 2013: Climate Change, 2013: Summary for Policy Makers. Physical scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Change, United Kingdom, and New York, USA, 2013. 36 c. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Kislov, A.V., Kitayev, L.M., Yevstigneyev, V.M. (2009). Izmeneniye snezhnogo pokrova pri prognoziruyemom izmenenii potepleni klimata v XXI v. (na primere Vostochno-Yevropeyskoy ravniny [Changes in snow cover with predicted changes in climate warming in the XXI century. (on the example of the East European Plain)], *Vestnik Moskovskogo Universiteta*. Ser. 5. Geografiya, no. 5. pp. 35-41.

Korshunova, N.N., Bulygina, O.N., Razuvayev, V.N., Davletshin, S.G. (2018) Otsenka ekstremal'nosti temperaturnogo rezhima i rezhima osadkov na territorii RF i yeye regionov [Assessment of the extreme temperature and precipitation regime on the territory of the Russian Federation and its regions], *Trudy VNIIGMI-MCD*, issue 183, pp. 20-30.

Korshunova, N.N., Davletshin, S.G. (2019) Klimaticheskiye kharakteristiki ottepeley na territorii Rossii Issue [Climatic characteristics of thaws in Russia], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 184, pp. 24-32.

Krenke, A.N., Cherenkova, Ye.A., Chernavskaya, M.M. (2012) Ustoychivost' zaleganiya snezhnogo pokrova na territorii Rossii v svyazi s izmeneniyem klimata [Stability of snow cover on the territory of Russia due to climate change], *Led i sneg*, no. 1(117), pp. 29-37.

Maksyutova, Ye.V. (2013) Mnogoletniye kolebaniya tolshchiny snezhnogo pokrova i maksimal'nykh snegozapasov na territorii Predbaykal'ya [Long-term fluctuations in the thickness of the snow cover and maximum snow reserves on the territory of Cisbaikalia, *Led i sneg*, vol. 53. no. 2, pp. 40-47. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-40-47.

Maksyutova, Ye.V. (2017) Rezhim snezhnogo pokrova Predbaykal'ya v izmenyayushchemsya klimate [Snow Cover Regime in Cisbaikalia in a Changing Climate], *Led i sneg*, vol. 57, no. 2, pp. 221-230.

Perevedentsev, YU.P., Batrshina, S.F., Ismagilov, N.V., Naumov, E.P., Shantalinskiy, K.M. (2011) Dinamika snezhnogo pokrova na territorii Respubliki Tatarstan [Dynamics of snow cover on the territory of the Republic of Tatarstan], *Lod i Sneg*, no. 1, pp. 53-57.

Petrov, A.I., Inishev, N.G., Dubrovskaya, L.I. (2012) Zakonomernosti formirovaniya snegozapasov na zabolochennom vodosbore yuzhno-tayezhnoy zony Zapadnoy Sibiri [Regularities of the formation of snow reserves in the swampy catchment of the southern taiga zone of Western Siberia], *Vestn. Tomskogo gos. universitetata*. Ser. yestestv. Nauk, no. 360, pp. 182-187.

Petrov, A.I., Inishev, N.G., Dubrovskaya, L.I. (2012) Zakonomernosti formirovaniya snegozapasov na zabolochennom vodosbore yuzhno-tayezhnoy zony Zapadnoy Sibiri [Regularities of the formation of snow reserves in the swampy catchment of the southern taiga zone of Western Siberia], *Vestn. Tomskogo gos. un-ta*. Ser. yestestv. Nauk, no. 360, pp. 182-187.

Popova, V.V. (2011) Vklad snegozapasov v izmeneniya stoka krupneyshikh rek basseyna Severnogo Ledovitogo okeana v period sovremennogo potepleniya [Contribution of snow reserves to changes in the runoff of the largest rivers in the

Arctic Ocean basin during the period of modern warming.] *Led i sneg*, no. 3(115), pp. 69-78.

Popova, V.V., Polyakova, I.A. (2013) *Izmeneniye srokov razrusheniya ustoychivogo snezhnogo pokrova na severe Yevrazii v 1936-2008 gg.: vliyaniye global'nogo potepleniya i rol' krupnomasshtabnoy atmosferynoy tsirkulyatsii* [Changes in the timing of destruction of stable snow cover in the north of Eurasia in 1936-2008: the impact of global warming and the role of large-scale atmospheric circulation], *Lod i sneg*, no. 2(122), pp. 29-39.

Popova, V.V., Shiryayeva, A.V., Morozova, P.A. (2014) *Sroki ustanovleniya snezhnogo pokrova na severe Yevrazii: pryamyye i obratnyye svyazi s krupnomasshtabnoy atmosferynoy tsirkulyatsiyey* [The timing of the establishment of snow cover in the north of Eurasia: direct and feedback connections with large-scale atmospheric circulation], *Lod i Sneg*, no. 3(127). pp. 39-49.

Popova, V.V., Morozova, P.A., Titkova, T.B., Semenov, V.A., Cherenkova, Ye.A., Shiryayeva, A.V., Kitayev, L.M. (2015) *Regional'nyye osobennosti sovremennykh izmeneniy zimney akkumulyatsii snega na severe Yevrazii po dannym nablyudeniya, reanaliza i sputnikovykh izmereniy* [Regional features of modern changes in winter snow accumulation in the north of Eurasia according to observations, reanalysis and satellite measurements], *Lod i sneg*, vol. 55, no. 4(127), pp. 73- 86. doi: 10.15356/ 2076673420154738.

Richter G.D. (1945) *Snezhnyy pokrov, ego formirovaniye i svoystva* [Snow cover, its formation and properties], Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 120 p.

Rukovodyashchiy dokument № 52.88.699-2008. (2008) *Polozheniye o poryadke deystviy uchrezhdeniy i organizatsiy pri ugroze vozniknoveniya i vozniknovenii opasnykh prirodnykh yavleniy* [Guidance document No. 52.88.699-2008. Regulations on the order of actions of institutions and organizations in the event of the threat of occurrence and occurrence of hazardous natural phenomena], Rosgidromet, Moscow, Russian, 33 p.

Sosnovskiy, A.V., Osokin, N.I., Chernyakov, G.A. (2018) *Dinamika snegozapasov na ravninnoy territorii Rossii v lesu i v pole pri klimaticheskikh izmeneniyakh* [Dynamics of snow reserves on the plain territory of Russia in the forest and in the field under climatic changes], *Lod i sneg*, vol. 58, no. 2, pp. 183-190.

Khayrullin, K.SH. (1969) *Ottepeli na territorii SSSR* [Thaws in the USSR.], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russian, 88 p.

Shmakin, A.B. (2010) *Klimaticheskiye kharakteristiki snezhnogo pokrova Severnoy Yevrazii i ikh izmeneniya v posledniye desyatiletiya* [Climatic characteristics of the snow cover of Northern Eurasia and their changes in recent decades], *Lod i sneg*, Issue 1.

Brown, R.D., Robinson, D. A. (2011) Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922-2010 including an assessment of uncertainty, *The Cryosphere* 5, pp. 219-229.

Brown, R.D. and Derksen, C. (2013) Is Eurasian October snow cover extent increasing? *Environ. Res. Lett.*, 8, 024006 (7 pp.) doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.

Bulygina, O.N., Groisman, P.Ya., Razuvaev, V.N. and Radionov, V.F. (2010) Snow cover basal ice layer changes over Northern Eurasia since 1966, *Environ. Res. Lett* 5 015004.

Bulygina, O.N., Groisman, P.Ya., Razuvaev, V.N. and Korshunova, N.N. (2011) Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966, *Environ. Res. Lett.* 6 (2011) 045204 (10 pp) .

Callaghan, T.V., Johansson, M., Brown, R.D., Groisman, P.Ya., Labba, N., Radionov, V., and Contributors (2011) Changing Snow Cover and its Impacts. Ch. 4, 59 pp. In: *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). AMAP Report to the Arctic Council* [Available at <http://amap.no/swipa/>].

Ghatak, D., Deser, C., Frei, A., Gong, G., Phillips, A., Robinson, D., Stroeve, J. (2012) Simulated Siberian snow cover response to observed Arctic sea ice loss, 1979-2008, *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, D23108, doi:10.1029/2012JD018047, 2012.

Groisman, P.Ya., Soja, A.J. (2009) Ongoing climatic change in Northern Eurasia: justification for expedient research, *Environ. Res. Lett.* 4 045002.

Mankin, J.S., Diffenbaugh, N.S. (2015) Influence of temperature and precipitation variability on near-term snow trends, *Climate Dynamics*. vol. 45, is. 3, pp. 1099-1116. doi: 10.1007/s00382-014-2357-4.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Zhou., Wang, T. (2013) Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades, *Journ. of Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 1. pp. 1-10. doi:10.1088/1748-9326/8/1/014008.

Serreze, M C., Holland, M. M. and Stroeve, J. (2007) Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover, *Science* 315 1533-6.

Статья поступила в редакцию (Received): 19.04.2021;

Статья доработана после рецензирования (Revised): 29.04.2021;

Принята к публикации (Accepted): 06.05.2021.

Для цитирования / For citation:

Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г., Аржанова Н.М. (2021) Изменчивость характеристик снежного покрова на территории России. - *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 1, с. 80-100. doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-80-100.

Korshunova N.N., Davletshin S.G., Arzhanova N.M. (2021) Variability of snow cover characteristics over the Russian territory. *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 7, no. 1, pp. 80-100. doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-80-100.