Короткопериодная изменчивость сроков залегания снежного покрова по данным MODIS на севере Евразии в условиях современного климата

Т.Б. Титкова, Л.М. Китаев, В.В. Виноградова

Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия

E-mail: ttitkova@yandex

Короткопериодические колебания сроков залегания снежного покрова на севере Евразии в начале XXI века оценены по спутниковым данным в связи с изменчивостью приземной температуры воздуха и осадков. На Восточно-Европейской равнине, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке устойчивый снежный покров образуется раньше установления отрицательных приземных температур воздуха из-за достаточного здесь для образования снежного покрова количества осадков. В холодный период при меньшем количестве осадков в Центральной Сибири устойчивый снежный покров образуется позже установления отрицательных температур воздуха. Разрушение устойчивого снежного покрова весной повсеместно происходит позже перехода приземной температуры воздуха через нуль. Наибольший статистически значимый вклад в межгодовую изменчивость продолжительности периода с устойчивым снежным покровом и даты его разрушения повсеместно вносят осадки холодного периода и, в меньшей степени, дата перехода температуры через нуль весной. При помощи разложения рядов исследуемых характеристик методом Фурье были выделены характерные периоды в изменчивости сроков снегонакопления: 2000–2004, 2005–2009, 2010–2014 гг. Для первого и последнего пятилетия характерны более поздние сроки образования и разрушения устойчивого снежного покрова по сравнению с временным отрезком 2005–2009 гг.

Ключевые слова: устойчивый снежный покров, отрицательные температуры воздуха, осадки холодного периода

Одобрена к печати: 25.05.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-223-238

Введение

Исследование формирования снежного покрова в условиях меняющегося климата имеет продолжительную историю, обзор существующих методических подходов и основных результатов приведен в работах И.Д. Копанева (1978), А.Н. Кренке и др. (1997), В.П. Галахова (2001), В.М. Котлякова (2004). Достаточное внимание уделяется рассмотрению изменчивости отдельных характеристик снежного покрова в связи с изменением характеристик климата. Так, сезонные изменения погодных условий в различных ландшафтных условиях проиллюстрированы характером стратиграфии снежной толщи; пространственно-временная изменчивость запасов воды в снеге и его плотности связаны с изменениями приземной температуры воздуха и осадков (Коломыц, 2013; Кренке и др., 2001; Осокин, Сосновский, 2014; Попова, Ширяева, Морозова, 2014; Шмакин, 2010). Оперативность в обработке исходных данных и высокая степень пространственно-временного разрешения связаны в настоящее время с наличием данных о характеристиках снежного покрова, восстановленных по спутниковым наблюдениям (Китаев, Титкова, 2010; Китаев и др., 2012; Попова и др., 2015; Tikhonov et al., 2013).

Особый интерес представляет изучение изменчивости продолжительности залегания снега, поскольку сезонные и межгодовые колебания его площади и сроков установления и разрушения устойчивого снежного покрова определяются ходом температуры воздуха и осадков, а через изменения альбедо влияют на теплообмен поверхности и атмосферы (Котляков, 2004; Попова, Ширяева, Морозова, 2014). Данные MODIS/Terra о площади

покрытости суши снегом, восстановленные по спутниковой информации, позволили нам провести оценку сезонной и многолетней динамики сроков залегания снежного покрова севера Евразии в течение последних полутора десятков лет (2000–2015). Конкретная задача исследований состоит в оценке короткопериодических колебаний сроков залегания снежного покрова в связи с изменчивостью приземной температуры воздуха и осадков севера Евразии в начале XXI века.

Исходные данные и методические подходы

В работе использованы спутниковые данные MODIS/Terra, пересчитанные по модели Snow Cover 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG (MOD10C2), версия 5 за 2000–2015 гг. с восьмидневным периодом и пространственным разрешением процента покрытия снегом $0,05 \times 0,05^\circ$ (<http://nsidc.org/data/MOD10C2>). В соответствии с методиками Росгидромета (Наставления..., 1985) в качестве порогового значения наличия устойчивого снежного покрова было выбрано превышение 50%-й покрытости ячейки снегом. Для уточнения роли климата в пространственно-временной изменчивости снежного покрова к анализу привлечены данные суточных наблюдений 550 метеостанций Росгидромета за приземной температурой воздуха и осадками (<http://www.meteo.ru>).

В данном случае исследуются сроки залегания устойчивого снежного покрова, лежащего непрерывно в течение зимы или не менее месяца с перерывами не более трех дней подряд или в общей сложности (Наставления..., 1985). Соответственно, при восьмидневной частоте спутниковых наблюдений за дату образования устойчивого снежного покрова каждой ячейки нами принимается последний день восьмидневки со снегом, после которого снежный покров отмечался еще три срока (в сумме четыре восьмидневки — 32 дня). За дату разрушения устойчивого снежного покрова для каждой ячейки принимался срок спутниковых наблюдений, после которого в последующие три срока (в сумме четыре восьмидневки — 32 дня) снег отсутствовал. Для проведения статистического анализа даты установления и разрушения снежного покрова пересчитаны в количество дней от 1 января соответствующего года. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова представлена как разница между датами его образования и разрушения. Адекватность восстановленных по спутниковым данным характеристик залегания снежного покрова проверена сравнением с пространственно-временной изменчивостью характеристик, полученных в ходе наблюдений метеорологическими станциями (Титкова, Виноградова, 2017).

Для выявления взаимосвязи сроков залегания устойчивого снежного покрова с изменчивостью погодных условий в данных наблюдений метеорологических станций были выбраны даты перехода среднесуточной приземной температуры воздуха через нуль в сторону понижения осенью и через нуль в сторону повышения весной, если температура не переходит через нуль в течение трех дней. С учетом этих дат осени и весны рассчитывалась продолжительность периода с отрицательными температурами. Рассмотрена сумма осадков

за осенне-зимне-весенний период с отрицательной среднесуточной приземной температурой воздуха.

Территория северной Евразии исследована в границах России, статистический анализ проведен для крупных физико-географических регионов по секторам:

- Восточно-Европейская равнина — 31–60° в.д.
- Западная Сибирь — 61–90° в.д.
- Центральная Сибирь — 91–120° в.д.
- Северо-Восточная Сибирь — 121–150° в.д.
- Дальний Восток — 151–190° в.д.

Для проведения статистического анализа восстановленные по спутниковым данным характеристики снежного покрова с исходным шагом регулярной сетки $0,05 \times 0,05^\circ$ пересчитаны в узлы с шагом $1 \times 1^\circ$, что позволило устранить проявления микро- и мезомасштабной пространственной изменчивости. Визуализация результатов осуществлена: для характеристик снежного покрова — картами, где исходные значения интерполированы в узлы регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$, для приземной температуры воздуха и осадков — по метеостанциям. При этом следует отметить, что обобщения, полученные для высокогорий, могут быть менее достоверными, нежели закономерности, выявленные для равнинных территорий, вследствие сложности учета влияния расчлененного рельефа на изменчивость климатических характеристик (Володичева и др., 2004; Кислов, Суркова, 2009; Кислов, Морозова, 2012).

Изменчивость сроков залегания снежного покрова и характеристик климата

Закономерности распределения сроков залегания и схода снежного покрова в 2000–2015 гг. представлены на *рис. 1а* и *2а*. Они соответствуют результатам исследований предшествующих десятилетий (Кренке, Китаев, Кадомцева, 1997; Кренке и др., 2001).

Наименьшая продолжительность залегания снежного покрова отмечается в условиях относительно теплых зим Восточно-Европейской равнины, далее на восток она растет при усилении континентальности и увеличении снегозапасов в Центральной Сибири и осадков на Дальнем Востоке.

Изменения характеристик снежного покрова: дата образования, дата разрушения устойчивого снежного покрова, период с устойчивым снежным покровом и их статистические характеристики (стандартное отклонение, коэффициент линейного тренда) представлены в *табл. 1*. Наибольшая межгодовая вариабельность сроков залегания снега в соответствии с величинами стандартного отклонения характерна для Восточно-Европейской равнины (*табл. 1*) как следствие отепляющего влияния Атлантики. Региональные различия продолжительности залегания снежного покрова соответствуют различиям дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова. Следует отметить, что тренды характеристик снежного покрова за период 2000–2015 гг. в целом для физико-географических районов с вероятностью 0,9 не значимы.

Таблица 1. Средние величины характеристик снежного покрова по спутниковым данным за 2000–2015 гг.

	Физико-географические регионы					
	Восточно-Европейская равнина	Западная Сибирь	Центральная Сибирь	Северо-Восточная Сибирь	Дальний Восток	Вся Россия
Образование устойчивого снежного покрова						
Дата	330	312	300	296	293	177
Стандартное отклонение, дни	19	15	15	13	16	17
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	–0,05	0,01	0,15	–0,07	–0,33	–0,30
Разрушение устойчивого снежного покрова						
Дата	104	115	123	124	139	119
Стандартное отклонение, дни	9	8	9	8	6	8
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	–0,32	–0,24	–0,36	–0,08	0,05	–0,23
Устойчивый снежный покров						
Период	139	168	188	193	293	177
Стандартное отклонение, дни	24	12	16	15	17	17
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	–0,29	–0,39	–0,47	–0,18	0,09	–0,30

Примечание: в качестве даты образования и схода снежного покрова используется номер дня года, отсчитанный от 1 января.

Рис. 1. Средние даты за период 2000–2015 гг.: а) — становления снежного покрова; б) — перехода приземной температуры через ноль осенью

Для уточнения климатических особенностей формирования снежного покрова нами рассмотрены средние за исследуемый период (2000–2015) характеристики приземной температуры воздуха (*табл. 2*) — даты перехода через ноль зимой и осенью, продолжительность периода с отрицательными температурами, их стандартное отклонение и коэффициент линейного тренда. Средняя дата перехода приземной температуры воздуха через ноль осенью и весной представлена на *рис. 1б* и *2б*.

Рис. 2. Средние даты за период 2000–2015 гг.: а) — схода снежного покрова; б) — перехода приземной температуры через ноль весной

Даты перехода приземной температуры воздуха через ноль осенью и весной меняются от региона к региону синхронно с изменениями сроков установления и разрушения снежного покрова, но не всегда совпадают с ними по времени. Региональные особенности соотношения сроков образования и разрушения устойчивого снежного покрова с датами перехода приземной температуры воздуха через ноль осенью и весной, выявленные во второй половине XX века (Бушманов, 1959; Щербакова, 1959), сохраняют значимость и в последние десятилетия. В условиях относительно теплого осенне-зимне-весеннего периода Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири и на Дальнем Востоке устойчивый снежный покров образуется в среднем на семь и пять дней раньше установления отрицательной приземной температуры воздуха — в связи с достаточными для образования снежного покрова осадками. В холодных условиях, при меньших осадках, предзимья Центральной Сибири устойчивый снежный покров образуется позже установления отрицательной температуры воздуха, в среднем на 11 дней. Весной разрушение устойчивого снежного покрова повсеместно происходит

позже перехода приземной температуры воздуха через нуль, от 10–12 дней на Восточно-Европейской равнине до одного дня на Дальнем Востоке.

Таблица 2. Характеристики приземной отрицательной температуры воздуха за 2000–2015 гг.

	<i>Физико-географические регионы</i>					
	<i>Восточно-Европейская равнина</i>	<i>Западная Сибирь</i>	<i>Центральная Сибирь</i>	<i>Северо-Восточная Сибирь</i>	<i>Дальний Восток</i>	<i>Вся Россия</i>
Переход через 0 °С осенью						
Дата	337	307	289	295	295	312
Стандартное отклонение, дни	17	13	11	10	20	14
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	0,87	0,13	–0,02	–0,11	0,44	–0,42
Переход через 0 °С весной						
Дата	55	93	104	119	139	119
Стандартное отклонение, дни	23	13	11	19	6	8
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	–0,19	0,03	–0,42	–0,19	0,05	–0,23
Температура ниже 0 °С						
Период	92	167	104	119	139	119
Стандартное отклонение, дни	33	21	11	19	6	8
Коэффициенты линейного тренда, дня / год	1,28	0,11	–0,42	–0,19	0,05	–0,23

Тренды характеристик отрицательной температуры, если рассматривать в целом физико-географические районы, так же как и для характеристик снежного покрова, с вероятностью 0,9 не значимы. При этом в отдельных районах тренды за такой небольшой период оказались значимы. Следует отметить существенный сдвиг даты перехода температуры воздуха через нуль осенью за период 2000–2015 гг. на более поздние сроки (более двух дней) в северо-западной части Восточно-Европейской равнины и более раннего перехода среднесуточной температуры к отрицательным значениям (на 2–4 дня) в среднем и нижнем Поволжье, в Забайкалье и в Магаданской области.

Весной значимые более ранние даты перехода температуры через нуль стали наблюдаться на юге Восточно-Европейской равнины (до трех дней), в Центральной и Северо-Восточной Сибири (до пяти дней). При этом в центре Европейской равнины дата перехода среднесуточной температуры через нуль наступает позднее на 2–4 сут. Та же значимая тенденция прослеживается на севере Кольского п-ова (до пяти суток), юге Западной Сибири (до трех суток), Алтайском крае и на западном побережье Камчатки (двое суток).

По нашим расчетам, значимая тенденция наибольшего сокращения числа дней с температурой ниже 0 °С, наблюдается в Ненецком АО (до пяти дней), в Сибири (до 3–4 дней),

в Забайкалье (до пяти дней), на Чукотке и на Камчатке (более шести дней), в Приамурье (до четырех дней). Увеличение числа дней с температурой ниже 0°C наблюдается в южных областях, включая Поволжье, на южном Урале (до двух дней).

Относительно небольшая сумма осадков при отрицательных температурах воздуха на Восточно-Европейской равнине (до 200 мм) соответствует наиболее короткому на этой территории периоду с отрицательной температурой воздуха, а значительная вариабельность этого показателя связана с высокой повторяемостью циклонов с Атлантики (рис. 3). Значительные зимние осадки в Западной Сибири (до 250 мм) определяются, прежде всего, продолжительным холодным сезоном.

Рис. 3. Средняя сумма осадков при отрицательных температурах воздуха за период 2000–2015 гг.

Наиболее заметное многолетнее снижение суммарных осадков при отрицательной температуре воздуха происходит в северной половине Европейской части России (более 10 мм), на Урале (до 6 мм), на юге Западной Сибири (до 8 мм), на побережье Чукотки и западе Камчатки (более 10 мм). Положительные тенденции наблюдаются в среднем Поволжье и на юге Восточно-Европейской равнины (до 4 мм). За Уралом многолетнее увеличение суммы осадков при отрицательной температуре характерны для севера Западной Сибири, Таймыра (более 10 мм), Прибайкалья (до 4 мм), востока Камчатского полуострова, Дальнего Востока (более 10 мм).

Зависимость межгодовых изменений сроков залегания снежного покрова от характеристик климата

Значимая корреляционная связь между изменчивостью сроков образования устойчивого снежного покрова и датами перехода приземной температуры воздуха через нуль характерна для Западной и Центральной Сибири (соответственно 0,70 и 0,77). В остальных случаях — для осеннего и весеннего периодов — коэффициенты корреляции не превышают 0,40.

С использованием регрессионного анализа, были выявлены факторы, влияющие на изменчивость сроков залегания снежного покрова.

Межгодовая изменчивость продолжительности залегания снежного покрова рассматривалась в зависимости от суммы осадков для дней с отрицательной приземной температурой воздуха, даты перехода приземной температуры воздуха через нуль осенью и весной, продолжительности периода с отрицательными приземными температурами воздуха. Значения общих коэффициентов регрессии колеблется от 0,53 (Восточно-Европейская равнина) до 0,59 (Дальний Восток). Наибольший и весьма заметный вклад в изменчивость продолжительности периода с устойчивым снежным покровом повсеместно вносят осадки (бета-коэффициенты от 1,72 в Центральной Сибири до 6,79 на Дальнем Востоке) и дата перехода температуры через нуль весной (бета-коэффициенты от –1,63 на Восточно-Европейской равнине до –4,48 на Восточно-Европейской равнине). Меньший, но значимый вклад изменчивости даты перехода приземной температуры через нуль осенью отмечен только для Восточно-Европейской равнины и Дальнего Востока — бета-коэффициенты 2,86 и 4,99. Продолжительность периода с отрицательными приземными температурами воздуха значимого влияния на изменчивость продолжительности залегания устойчивого снежного покрова не оказывает.

Дополнительно оценивалась зависимость межгодовой изменчивости даты разрушения устойчивого снежного покрова от суммы осадков за период с отрицательной приземной температурой воздуха, даты перехода приземной температуры воздуха через нуль осенью и весной, от продолжительности периода с отрицательными приземными температурами воздуха и периода с устойчивым снежным покровом. Общие коэффициенты регрессии в данном случае значимы и чуть выше, чем при рассмотрении изменчивости периода с устойчивым снежным покровом — от 0,56 на Восточно-Европейской равнине до 0,82 на территории Северо-Восточной Сибири. Основной вклад в межгодовую изменчивость даты разрушения снежного покрова принадлежит изменчивости осадков (бета-коэффициенты от 0,37 на Восточно-Европейской равнине до 4,75 в Центральной Сибири), затем следует вклад изменчивости даты перехода приземной температуры через нуль весной (бета-коэффициенты от 0,48 на Восточно-Европейской равнине до 4,65 в Центральной Сибири).

Таким образом, многолетняя изменчивость продолжительности залегания устойчивого снежного покрова и даты его разрушения во всех регионах определяется, прежде всего, изменчивостью суммы осадков за период с отрицательными температурами и изменчивостью даты перехода приземной температуры воздуха через нуль весной.

Короткопериодические изменения сроков залегания снежного покрова

Как упоминалось выше, для исследуемого периода 2000–2015 гг. заметные тенденции многолетних изменений сроков залегания снежного покрова отсутствуют в целом для больших физико-географических районов. Коэффициенты линейного тренда значимы в отдельных областях и районах. Поэтому, ввиду продолжающихся заметных глобальных изменений

климата, остается актуальным вопрос о межгодовой изменчивости характеристик залегания снежного покрова и, в том числе, их периодичности в начале XXI века. Проведя разложение временных рядов сроков залегания устойчивого снежного покрова методом Фурье, мы получили ряды гармоник (ряды Фурье), иллюстрирующие региональные особенности короткопериодических изменений исследуемых характеристик.

Рис. 4. Ряды Фурье: а) — изменение сроков залегания снежного покрова, дни установления устойчивого снежного покрова (I), дни разрушения устойчивого снежного покрова (II) (номер дня от 1 января), продолжительность залегания снежного покрова (III); б) — изменения сроков перехода приземной температуры воздуха через 0°C осенью (I) и весной (II), продолжительность периода с отрицательными температурами (III); в) — изменения количества дней с осадками в период с отрицательными температурами воздуха. 1 — Восточно-Европейская равнина; 2 — Западная Сибирь; 3 — Центральная Сибирь; 4 — Северо-Восточная Сибирь; 5 — Дальний Восток

Анализировалась сумма трех первых гармоник для сроков образования и разрушения устойчивого снежного покрова осенью и весной, а для продолжительности залегания устойчивого снежного покрова — с охватом общей дисперсии выборок от 70 до 85% (рис. 4А). Наибольшая амплитуда гармоник характерна для даты установления устойчивого снежного покрова, средняя — для продолжительности залегания, наименьшая — для даты схода снежного покрова. Можно предположить, что наличие снежного покрова усиливает инерционность изменчивости снегозапасов за счет охлаждающей роли снежной толщи (Китаев, Титкова, 2012). Синхронность изменения гармоник даты установления и разрушения снежного покрова и продолжительности его залегания позволяет условно разделить весь исследуемый

период на три части по пять лет: 2000–2004 гг., 2005–2009 гг. и 2010–2014 гг. Рассчитанные для этих периодов линейные тренды характеристик снежного покрова (рис. 5) подчеркивают различия выделенных пятилетних периодов.

Рис. 5. Изменение коэффициентов линейного тренда снежного покрова по периодам: А - становления; Б - схода; В - продолжительности залегания

Аналогичным образом ведут себя гармоники сроков перехода температуры через нуль осенью и весной и гармоники продолжительности периода с отрицательными приземными температурами воздуха (рис. 4Б), а также гармоники суммы осадков для периода с отрицатель-

ными температурами воздуха (рис. 4В). Единственным принципиальным отличием от гармоник сроков снежного покрова является «выпадающая» из ансамбля кривых гармоника Восточно-Европейской равнины, по-видимому, как наиболее теплого региона.

Рис. 6. Разница по периодам (2005–2009)–(2000–2004): а) — средней продолжительности залегания снежного покрова (в днях); б) — средней продолжительности периодов с отрицательной температурой (в днях); в) — средней суммы осадков за периоды с отрицательной температурой (в мм). Штриховка — области со значимыми коэффициентами линейного тренда; значки с заливкой — значимые коэффициенты линейного тренда

Выделенные характерные временные отрезки 2000–2004 гг., 2005–2009 гг. и 2010–2014 гг. различаются и пространственным распределением характеристик. В качестве примера на рис. 6а для продолжительности периода залегания устойчивого снежного покрова показаны различия второго и первого пятилетий, а различия третьего и второго пятилетий —

на рис. 7а. В первом случае прослеживается уменьшение продолжительности снежного периода, а во втором — явное увеличение, что соответствует ходу рядов Фурье для продолжительности снежного покрова. Наибольшая интенсивность изменений (в том числе со значимыми коэффициентами линейных трендов за пятилетия) характерна для Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири с максимумом более 30 дней южнее 60° с.ш., и, в несколько меньшей степени, для Дальнего Востока до 20 дней — в связи с влиянием океанических воздушных масс. Интенсивность изменений продолжительности периода с устойчивым снежным покровом от пятилетия к пятилетию на территории Сибири происходила в пределах 10 дней.

Рис. 7. Разница по периодам: (2010–2014)–(2005–2009): а) — средней продолжительности залегания снежного покрова (в днях); б) — средней продолжительности периодов с отрицательной температурой (в днях); в) — средней суммы осадков за периоды с отрицательной температурой (в мм).
Обозначения см. рис. 6

Подобным образом распределены по территории различия для периода с отрицательной приземной температурой воздуха и суммы осадков за этот период (рис. 6б, в и 7б, в), что соответствует рядам Фурье (рис. 4). Наиболее заметные изменения от пятилетия к пятилетию можно отметить в пределах Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири и Дальнего Востока, где в 2005–2009 гг. период с отрицательными температурами был меньше на 20–30 дней, а количество осадков меньше на 20–40 мм.

Выводы

В условиях Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири и на Дальнем Востоке устойчивый снежный покров образуется в среднем на семь и пять дней раньше установления отрицательных приземных температур воздуха при достаточном для образования снежного покрова количестве осадков. В холодных условиях при меньшем количестве осадков в Центральной Сибири устойчивый снежный покров образуется позже установления отрицательных температур воздуха в среднем на 11 дней. В Северо-Западной Сибири образование устойчивого снежного покрова снова опережает по времени переход приземной температуры через нуль за счет достаточного количества осадков в начале зимы.

Разрушение устойчивого снежного покрова весной повсеместно происходит позже перехода приземной температуры воздуха через нуль весной. Значительная разница между датой перехода приземной температуры воздуха через нуль весной и разрушением устойчивого снежного покрова (порядка 20 дней) отмечена в Центральной Сибири.

Значимая корреляция (порядка 0,7) межгодовой изменчивости характерна для сроков установления устойчивого снежного покрова и перехода приземной температуры воздуха через нуль осенью в Западной и Северо-Восточной Сибири. При значимых общих коэффициентах регрессии наибольший статистически значимый вклад в межгодовую изменчивость продолжительности периода с устойчивым снежным покровом и даты его разрушения повсеместно имеют осадки холодного периода и, в меньшей степени, дата перехода температуры через нуль весной. Продолжительность периода с отрицательными приземными температурами воздуха значимого влияния на сроки залегания устойчивого снежного покрова не оказывает.

Если рассматривать в целом физико-географические районы, за довольно небольшой период начала XXI века (2000–2015) тренды метеопараметров, тесно связанных со снежным покровом, в частности характеристик отрицательной температуры и осадков холодного периода, с вероятностью 0,9 не значимы. При этом значимые изменения затрагивают отдельные регионы России.

За период 2000–2014 гг. выделяются характерные периоды в изменчивости сроков снегонакопления — 2000–2004 гг., 2005–2009 гг., 2010–2014 гг. Заметные изменения снегонакопления от пятилетия к пятилетию сопровождались синхронным изменением температурных характеристик и осадков. Максимальные колебания отмечались в пределах

Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири и Дальнего Востока, где для первого и последнего пятилетия характерны более ранние сроки образования устойчивого снежного покрова в пределах месяца и поздние его разрушения, период с отрицательными температурами был меньше на 20–30 дней, а количество осадков — меньше на 20–40 мм по сравнению с временным отрезком 2005–2009 гг.

Работа выполнена в рамках темы «Исследования механизмов изменений климата и их последствий для окружающей среды и социально-экономических процессов в России», Рег. № 01201352488.

Литература

1. Бушманов А.Ф. Снежный покров на Среднем Урале и его таяние // Ученые записки Свердловского пед. ин-та. 1959. Вып. 18. № 1. С. 78–95.
2. Володичева Н.А., Китаев Л.М., Кренке А.Н., Олейников А.Д. Межгодовые изменения снежности на Кавказе и Восточно-Европейской равнине // Лед и снег. 2004. № 96. С. 138.
3. Галахов В.П. Имитационное моделирование как метод гляциологических реконструкций горного оледенения. Новосибирск: Наука, 2001. 134 с.
4. Кислов А.В., Морозова П.А. Стохастический анализ динамики горного ледника // Вестник Московского ун-та. Серия 5: География. 2012. № 4. С. 9–13.
5. Кислов А.В., Суркова Г.В. Пространственно-детализированный климатический прогноз температуры воздуха и осадков Восточной Сибири на основе учета локальных особенностей подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология. 2009. № 3. С. 43–51.
6. Китаев Л.М., Титкова Т.Б. Оценка снегозапасов по данным спутниковой информации // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 1. С. 76–80.
7. Китаев Л.М., Титкова Т.Б. Локальная изменчивость снегозапасов в условиях современных изменений климата // Динамика многолетних процессов в экосистемах Центрально-Лесного заповедника / под ред. А.С. Желтухина. Великие Луки: ООО «Великолукская городская типография». 2012. С. 33–40.
8. Китаев Л.М., Тихонов В.В., Боярский Д.А., Титкова Т.Б., Комарова Н.Ю. Снежный покров восточно-европейской равнины по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 249–257.
9. Коломыц Э.Г. Структурно-эволюционный полиморфизм снежного покрова // Тез. докл. 2-го Международ. симп. «Физика, химия и механика снега». Южно-Сахалинск. 2013. С. 60–66.
10. Копанев И.Д. Снежный покров на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 181 с.
11. Котляков В.М. Снежный покров и ледники земли. М: Наука, 2004. 448 с.
12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Ч. 2. Метеорологические наблюдения на станциях. Вып. 3. Л: Гидрометеиздат, 1985. 92 с.
13. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Кадошцева Т.Г. Межгодовые изменения снежного покрова на территории СНГ // Материалы метеорологических исследований. 1997. № 16. С. 6–25.
14. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Пространственные особенности межгодового взаимодействия полей параметров климата и снежного покрова севера Евразии // Криосфера Земли. 2001. Т. 5. № 4. С. 84.
15. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Пространственная и временная изменчивость толщины и плотности снежного покрова на территории России // Лед и снег. 2014. Т. 54. № 4. С. 72–80.
16. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лед и снег. 2014. № 3. С. 39–49.
17. 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 // Лед и снег. 2015. Т. 55. № 4. С. 73–86.
18. Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI века по спутниковым данным // Лед и Снег. 2017. № 1. С. 25–33.
19. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Лед и снег. 2010. № 1. С. 43–57.
20. Щербакова Е.Я. Изучение режима снежного покрова СССР // Тр. 3-го Всесоюзного гидрол. съезда. 1959. Т. 3. С. 215–220.
21. Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Alexeeva T.A. Snow Cover Effect on Brightness Temperature of Arctic Ice Fields Based on SSM/I Data // Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Proc. Stockholm, Sweden, Aug. 12–15, 2013. P. 514–518.

Short-period variability in snow cover duration in the north of Eurasia in modern climate conditions from MODIS data

T.B. Titkova, L.M. Kitaev, V.V. Vinogradova

Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia

E-mail: titkova@yandex

Short-period fluctuations of snow cover duration in the north of Eurasia in the early 21st century were estimated from satellite data depending on changes in surface air temperature and precipitation. On the East European Plain, Western Siberia and the Far East, constant snow cover is formed before the establishment of negative surface air temperatures due to precipitation sufficient for the formation of snow cover. In the cold conditions of Central Siberia with less rain, the constant snow cover forms after the establishment of negative air temperatures. In spring, the constant snow cover is destroyed everywhere after the transition of the surface air temperature through zero. The greatest statistically significant contribution to the interannual variability of constant snow cover period and dates of its destruction are precipitation of the cold period and, to a lesser extent, the date of temperature transition through zero in spring. Through the decomposition of characteristics by the Fourier method, periods were identified in the variability of the timing of snow accumulation: 2000–2004, 2005–2009, 2010–2014. The first and the last periods are characterized by later terms of formation and destruction of constant snow cover in comparison with 2005–2009.

Keywords: constant snow cover, negative air temperatures, precipitation of the cold period

Accepted: 25.05.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-223-238

References

1. Bushmanov A.F., Snezhnyi pokrov na Srednem Urale i ego taayanie (Snow cover in the Middle Urals and its melting) *Uchenye zapiski Sverdlovskogo pedagogicheskogo bystituta*, 1959, Issue 18, No. 1, pp. 078–95.
2. Volodicheva N.A., Kitaev L.M., Krenke A.N., Oleinikov A.D., Mezhdodovye izmeneniya snezhnosti na Kavkaze i Vostochno-Evropeiskoi ravnine (Interannual snow change in the Caucasus and the East European Plain), *Sneg i led*, 2004, No. 96, pp. 138.
3. Galakhov V.P., *Imitatsionnoe modelirovanie kak metod glyatsiologicheskikh rekonstruktsii gornogo oledeneniya* (Simulation modeling as a method of glaciological reconstruction of mountain glaciation), Novosibirsk: Nauka, 2001, 134 p.
4. Kislov A.V., Morozova P.A., Stokhasticheskii analiz gornogo lednika (Stochastic analysis of mountain glacier dynamics), *Vestnik MGU. Series 5. Geography*, 2012, pp. 9–13.
5. Kislov A.V., Surkova G.V., Prostranstvenno-detalizirovannyi klimaticheskii prognoz temperatury vozdukha i osadkov Vostochnoi Sibiri na osnove ucheta lokal'nykh osobennostei podstilayushchei poverkhnosti (Space-detailed climatic forecasting of air temperature and precipitation in Eastern Siberia on the basis of accounting for local features of the underlying surface), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, No. 3, pp. 43–51.
6. Kitaev L.M., Titkova T.B., Otsenka snegozapasov po dannym sputnikovoi informatsii (Estimating snow storage using satellite information), *Earth's Cryosphere*, 2010, Vol. 14, No. 1, pp. 76–80.
7. Kitaev L.M., Titkova T.B., Lokal'naya izmenchivost' snegozapasov v usloviyakh sovremennykh izmenenii klimata (Local variability of snowfalls in the context of modern climate change), *Dinamika mnogoletnikh protsesov v ekosistemakh Tsentral'no-Lesnogo zapovednika* (Dynamics of multi-year processes and ecosystems of the Central Forest Reserve), Velikie Luki: OOO "Velikolukskaya gorodskaya tipografiya", 2012, pp. 33–40.
8. Kitaev L.M., Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Titkova T.B., Komarova N.Yu., Snezhnyi pokrov vostochno-evropeiskoi ravniny po dannym mnogochastotnoi mikrovolnovoi sputnikovoi radiometrii (Snow Cover of the East European Plain According to the Multi-Frequency Microwave Satellite Radiometry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, pp. 249–257.
9. Kolomyts E.G., Strukturno-evolyutsionnyi polimorfizm snezhnogo pokrova (Structural evolutionary polymorphism of the snow cover), *Tesisy dokladov 2 Mezhdunarodnogo simpoziuma "Fizika, Khimiya i mekhanika snega"* (Proc. Int. Symp. "Physics, chemistry and mechanics of snow"), Yuzhno-Sakhalinsk, 2013, pp. 60–66.
10. Kopanev I.D., *Snezhnyi pokrov na territorii SSSR* (Snow cover in the territory of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978, 181 p.
11. Kotlyakov V.M., *Snezhnyi pokrov i ledniki zemli* (Snow cover and glaciers of the Earth), Moscow: Nauka, 2004, 448 p.
12. *Nastavleniya gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Chast' 2. Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh* (Manual of hydrometeorological stations and posts. Part II. Meteorological observations at stations), Issue 3, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 92 p.
13. Krenke A.N., Kitaev L.M., Kadomtseva T.G., Mezhdodovye izmeneniya snezhnogo pokrova na territorii SNG (Interannual snow cover changes in the territory of the CIS), *Materialy meteorologicheskikh issledovani*, 1997, No. 16, pp. 6–25.

14. Krenke A.N., Kitaev L.M., Razuvaev V.N., Martuganov R.A., Prostranstvennye osobennosti mezhgodovogo vzaimodeistviya polei parametrov klimata i snezhnogo pokrova severa Evrazii (Spatial features of the inter-annual interaction of the climate and snow cover fields in the north of Eurasia), *Earth's Cryosphere*, 2001, Vol. 5, No. 4, pp. 84.
15. Osokin N.I., Sosnovskii A.V., Prostranstvennaya i vremennaya izmenchivost' tolshchiny i plotnosti snezhnogo pokrova na territorii Rossii (Spatial and temporal variability of thickness and density of snow cover on the territory of Russia), *Led i Sneg*, 2014, Vol. 54, No. 4, pp. 72–80.
16. Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A., Sroki ustanovleniya snezhnogo pokrova na sevsre Evrazii: pryamye i obratnye svyazi s krupnomasshtabnoi atmosferno tsirkulyatsiei (Snow cover onset dates in the north of Eurasia: relations and feedback to the macro-scale atmospheric circulation), *Led i Sneg*, 2014, No. 4, pp. 39–49.
17. Popova V.V., Morozova P.A., Titkova T.B., Semenov V.A., Cherenkova E.A., Shiryayeva A.V., Kitaev L.M., Regional'nye osobennosti sovremennykh izmenenii zimnei akkumulyatsii snega na severe Evrazii po dannym nablyudenii, reanaliza i sputnikovykh izmerenii (Regional features of present winter snow accumulation variability in the North Eurasia from data of observations, reanalysis and satellites), *Led i Sneg*, 2015, Vol. 55, No. 4, pp. 73–86.
18. Titkova T.B., Vinogradova V.V., Sroki zaleganiya snezhnogo pokrova na territorii Rossii v nachale XXI veka po sputnikovym dannym (The timing of the occurrence of snow cover in Russia at the beginning of the 21st century on satellite data), *Led i Sneg*, 2017, No. 1, pp. 25–33.
19. Shmakina A.B., Klimaticheskie kharakteristiki snezhnogo pokrova Severnoi Evrazii i ikh izmeneniya v poslednie desyatiletiya (Climatic characteristics of snow cover of Northern Eurasia and their variation in the last decades), *Led i Sneg*, 2010, No. 1, pp. 43–57.
20. Shcherbakova E.Ya., Izucheniye rezhima snezhnogo pokrova SSSR (Study of the snow cover regime of the USSR), *Trudy 3-go Vsesoyuznogo gidrologicheskogo sezda*, 1959, Vol. 3, pp. 215–220.
21. Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Alexeeva T.A., Snow Cover Effect on Brightness Temperature of Arctic Ice Fields Based on SSM/I Data, *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Proceedings*, Stockholm, Sweden, Aug. 12–15, 2013, pp. 514–518.