

УДК 531.578.46

Современные особенности изменения снежности зим на территории Восточно-Европейской равнины

© 2012 г. Л.М. Китаев

Институт географии РАН, Москва

lkitaev@mail.ru

Статья принята к печати 22 февраля 2012 г.

Восточно-Европейская равнина, осадки, пространственная и временная изменчивость, снегозапасы, снежность, температура воздуха.

Air temperature, East European Plain, precipitation, snow storage, snowiness, spatial and temporal variability.

Для периода 1966–2006 гг. уточнены пространственное распределение и многолетняя изменчивость снежного покрова Восточно-Европейской равнины. В целом для данной территории характерно стабильное состояние снегозапасов. Выявлены особенности многолетних изменений площадей с большой и экстремально большой снежностью. В отмеченные годы площадь с большой и экстремально большой снежностью не превышала соответственно 12 и 4% общей площади. Совпадения периодов экстремально большой снежности с периодами экстремальных значений приземной температуры воздуха и суммарных осадков зимнего периода редки и носят случайный характер.

Исследование понятия снежности [7], которое используется в качестве характеристики местности и отражает состояние снежного покрова, предполагает анализ метеобстановки, прежде всего связанной с условиями формирования аномалий снегозапасов [1, 3, 10]. Вопросы типизации зим по снежности рассматривались, в частности, Г.Д. Рихтером, А.А. Григорьевым и М.И. Будыко, В.М. Котляковым, Н.Н. Галаховым, и во всех случаях в основу типизации были положены особенности метеорологического режима [2, 4, 7, 12]. Цель настоящей работы — уточнить особенности и многолетнюю динамику многоснежных зим Восточно-Европейской равнины (в границах России) на фоне изменений климата последних десятилетий.

Исходные материалы и методика исследований

Использовались данные наблюдений 370 метеостанций для периода 1966–2006 гг., подготовленные ВНИИГМИ-МЦД в соответствии с «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» [9]. Густая и достаточно равномерная сеть станций, расположенных на территории Восточно-Европейской равнины в границах России, обеспечивает интерполяцию данных в равномерную сетку с пространственным разрешением $1 \times 1^\circ$. Температура воздуха, осадки и снегозапасы анализировались для четырёх месяцев: ноября, декабря, января и февраля. Средние температуру воздуха и сумму осадков рассчитывали по суточным значениям с начала ноября до конца каждого месяца. Для анализа снегозапасов использовали их значения на конец каждого месяца.

Выбранный временной интервал соответствует периоду снегонакопления, поскольку прирост снегозапасов в марте по сравнению с февралём незначителен, кроме того, в южных регионах исследуемой территории в это время уже начинается снеготаяние. Полученные значения температуры воздуха, осадков и снегозапасов были интерполированы в узлы регулярной сетки с разрешением $1 \times 1^\circ$ по стандартной методике. Выбор такого пространственного разрешения объясняется использованием его в более ранних исследованиях. Помимо этого, результаты применяемого метода интерполяции адекватны имеющимся на сегодня картографическим отображениям снежного покрова [6]. Отметим, что анализ снегозапасов и их площадных изменений проводился с учётом изменений площади ячеек в соответствии с проекционным изменением координатной сетки. С этой целью снегозапасы каждой ячейки корректировались весовым площадным коэффициентом

$$K = [1/(|S_{1...n}|+1)]/[1/(|S_1|+1)+1/(|S_2|+1)+...+1/(|S_n|+1)],$$

где K — весовой коэффициент ячейки, для которой рассчитывались снегозапасы; S_1, \dots, S_n — площадь ячейки, для которой рассчитывались снегозапасы; S_1, S_2, \dots, S_n — площади остальных ячеек.

С использованием интерполированных данных рассчитывались средние значения снегозапасов и метеопараметров, а также величины стандартного отклонения, коэффициенты вариации и параметры линейных трендов для различных характеристик снегозапасов. Статистическая значимость коэффициентов линейных трендов определялась с использо-

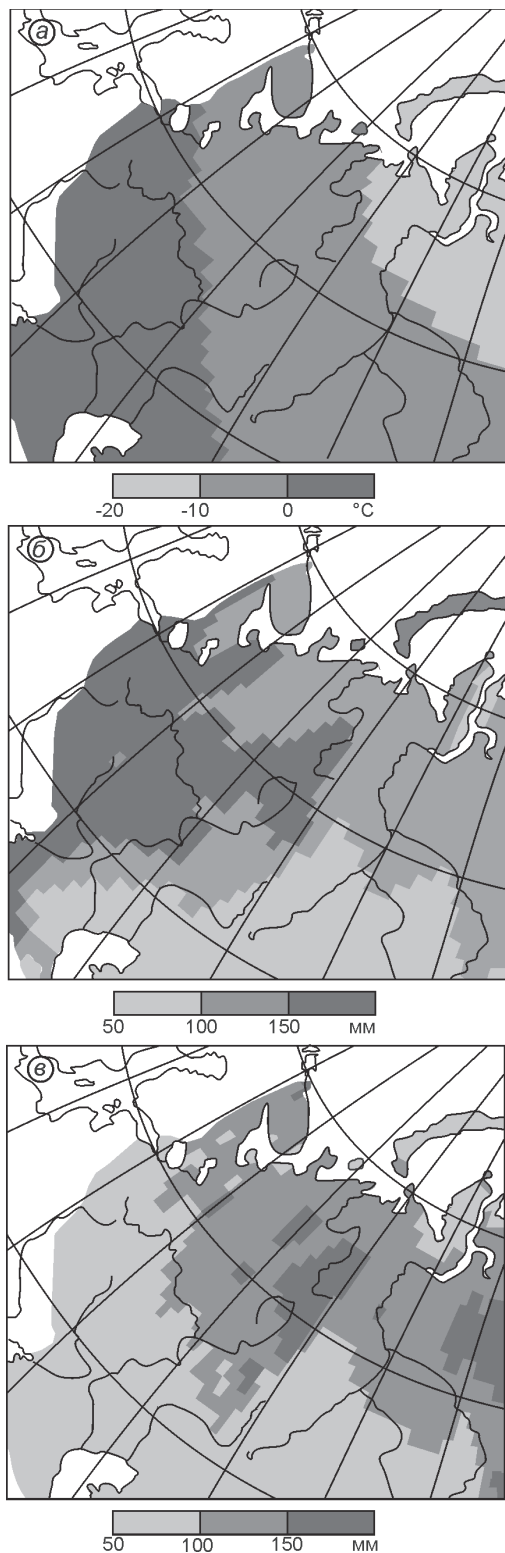


Рис. 1. Средние данные за период 1966–2006 гг.: *a* – температуры воздуха (ноябрь–февраль), °C; *b* – суммы осадков (ноябрь–февраль), мм; *в* – снеговзапасов (на конец февраля), мм
Fig. 1. Mean values for 1966–2006: *a* – air temperature (November–February), °C; *b* – sum of precipitation (November–February), mm; *в* – snow water equivalent (end of February), mm

ванием критериев Фишера и Стьюдента. Проведена также их оценка по отношению к величине стандартного отклонения.

Многолетние изменения снеговзапасов

С ноября по февраль снеговзапасы возрастают на всей исследуемой территории примерно в 3 раза, увеличиваясь с юга на север в соответствии с распределением осадков и приземной температурой воздуха зимнего периода (рис. 1, табл. 1). Удлинение рядов данных позволило уточнить выявленный ранее характер многолетней изменчивости снеговзапасов [5, 8, 11]. Установлено, что в целом для Восточно-Европейской равнины отмечается их стабильное состояние в течение всего исследуемого периода (см. табл. 1). Однако, как было отмечено и ранее [5], в отличие от стабильных существенных снеговзапасов на севере рассматриваемого региона в его южной части отмечается многолетнее уменьшение снеговзапасов. На севере потепление сопровождается увеличением осадков, что на фоне сохраняющихся достаточно низких температур воздуха обеспечивает устойчивость состояния снежного покрова. Для рассматриваемой территории месячные значения стандартного отклонения многолетнего хода средних снеговзапасов изменяются от 11,4 до 7,9 мм, ожидаемо уменьшаясь от ноября к февралю.

Чтобы оценить многолетние тенденции изменчивости пространственного распределения снеговзапасов для каждого года (каждого месяца), в узлах регулярной сетки $1 \times 1^\circ$ были рассчитаны стандартное отклонение и коэффициенты вариации (рис. 2, табл. 2). В малоснежном ноябре коэффициент вариации и стандартное отклонение выше декабрьских, однако от декабря к февралю значения этих параметров растут. При этом коэффициент вариации и стандартное отклонение имеют незначимые или малые значения параметров линейного тренда, что свидетельствует о стабильности простран-

Таблица 1. Статистические параметры многолетних изменений снеговзапасов за 1966–2006 гг. с ноября по февраль*

Месяц	Средне-много-летнее, мм	Коэффициент линейного тренда <i>a</i> , мм/10 лет	Коэффициент детерминации R^2	Стандартное отклонение, мм
Ноябрь	33	-2	0,06	11
Декабрь	50	-2	0,04	10
Январь	75	1	0,02	9
Февраль	92	0	0,00	8

*В табл. 1–3 курсивом выделены коэффициенты статистически не значимых трендов.

Таблица 2. Характеристики пространственной неоднородности снегозапасов и их изменений за 1966–2006 гг. (с ноября по февраль)

Месяц	Значение	Коэффициент линейного тренда a ($Cv/10$ лет), δ (мм/10 лет)	Коэффициент детерминации R^2
<i>Коэффициент вариации Cv</i>			
Ноябрь	0,99	-0,04	0,16
Декабрь	0,45	0,00	0,00
Январь	0,58	-0,03	0,10
Февраль	0,58	-0,04	0,25
<i>Стандартное отклонение δ</i>			
Ноябрь	31	0,2	0,00
Декабрь	22	-0,4	0,00
Январь	43	0,3	0,00
Февраль	52	-0,9	0,01

ственного распределения снежного покрова на рассматриваемой территории в 1966–2006 гг. (см. табл. 2).

Особенности многолетних изменений снежности зим

Как уже отмечалось, при исследованиях снежности используют различные сочетания метеопказателей. Так, в работах Г.Д. Рихтера [12], А.А. Григорьева и М.И. Будыко [4] типизация зим по снежности проводилась по диапазону значений температур воздуха и толщины снега. Типизация Н.Н. Галахова [2] основана на анализе относительных величин, в частности учитывается отклонение толщины снежного покрова от нормы, а за пороговую величину отклонения для мало- и многоснежных зим принимается величина, равная $\pm 25\%$. Разработаны типизации снежности зим (в том числе с использованием стандартного отклонения) и для горных регионов – территорий с крайне неоднородным пространственным распределением толщины снежного покрова и большой вероятностью формирования экстремальных снегозапасов [1, 10]. В последнем случае для выделения зим с большой и экстремально большой снежностью рассматривали годы с аномалиями снегозапасов, величина которых превышает стандартное отклонение. В значительной мере это соответствует типизации зим по снежности Н.Н. Галахова [2] и А.Д. Олейникова [1, 10]. В нашем случае для каждой ячейки регулярной сетки оценена временная изменчивость снегозапасов за 1966–2006 гг. Для этого сначала рассчитывались стандартное отклонение δ_s и его удвоенное значение $2\delta_s$, а затем, с учётом среднесноголетней величины снегозапасов S_{cp} , для каждой ячейки

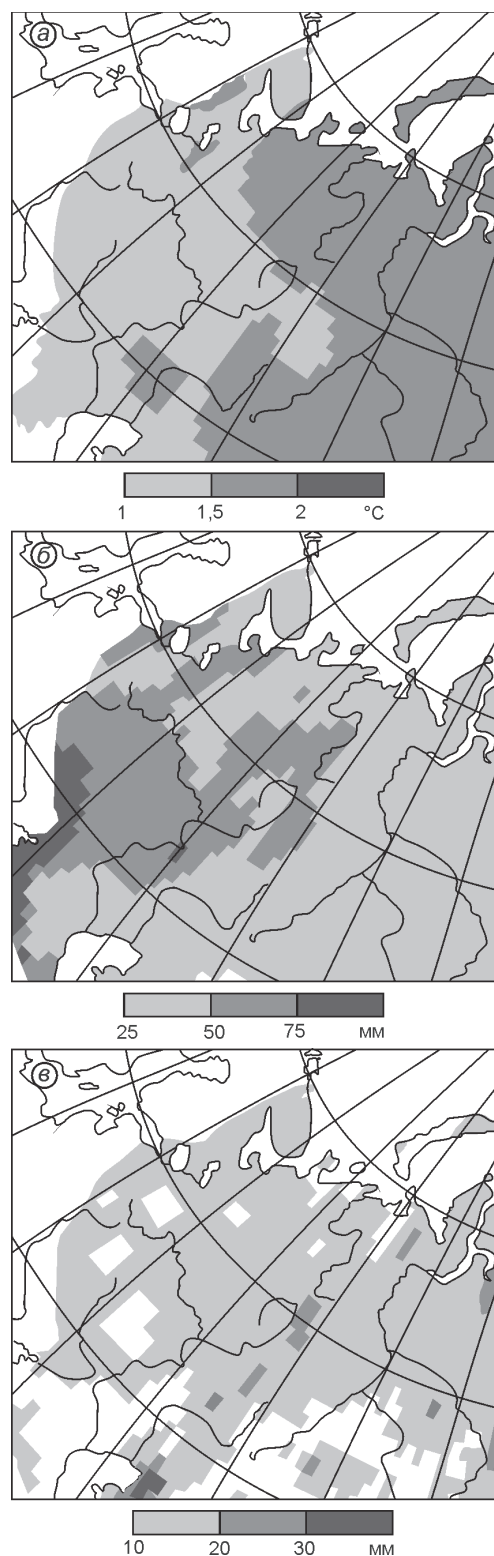


Рис. 2. Стандартное отклонение за период 1966–2006 гг.: a – температуры воздуха (ноябрь–февраль), °C; b – осадков (сумма за ноябрь–февраль), мм; c – снегозапасов (на конец февраля), мм
 Fig. 2. Standard deviation for 1966–2006: a – air temperature (November–February), °C; b – sum of precipitation (November–February), mm; c – snow water equivalent (end of February), mm

Таблица 3. Статистические параметры изменений площадей территорий с большой снежностью ($S_{cp} + \delta < S_i < S_{cp} + \delta$) и экстремально большой снежностью ($S_i >> S_{cp} + 2\delta$) за 1966–2006 гг. (с ноября по февраль)

Месяц	Средняя площадь, % от общей	Коэффициент линейного тренда a , %/10 лет	Коэффициент детерминации R^2
<i>Большая снежность</i>			
Ноябрь	9,6	-0,9	0,02
Декабрь	9,2	-0,9	0,03
Январь	12,5	0,8	0,02
Февраль	12,2	0,0	0,00
<i>Экстремально большая снежность</i>			
Ноябрь	3,3	-1,5	0,12
Декабрь	4,1	-0,9	0,03
Январь	3,5	-0,4	0,02
Февраль	3,4	-0,6	0,05

находили значения снегозапасов S_i , соответствующие диапазонам, указанным в формуле (1). Первый диапазон значений (слева) принимается соответствующим большой снежности, второй диапазон (справа) – экстремально большой снежности:

$$S_{cp} + \delta_s < S_i < S_{cp} + 2\delta_s; S_i > S_{cp} + 2\delta_s. \quad (1)$$

После этого для каждого месяца каждого года рассчитывали число ячеек со значениями снегозапасов, «попадающими» в указанные диапазоны, а далее определяли площадь территории (в процентах от общей), где снежность была большой или экстремально большой (табл. 3).

Установлено, что за исследуемый период площадь территорий с аномалиями, соответствующими большой снежности, составляет 9,6–12,2% общей площади, увеличиваясь от ноября к февралю. Накопление снега к середине зимы способствует росту площадей с большими снегозапасами. Площадь с экстремально большой снежностью внутри сезона меняется незначительно – в пределах 3,3–4,1%. Большие и экстремально большие снегозапасы характерны для бассейнов рек Печоры и Северной Двины, т.е. регионов с низкой приземной температурой воздуха, значительными осадками и соответственно с благоприятными условиями для снегонакопления. Для многолетних изменений суммарной площади с проявлениями большой и экстремально большой снежности в начале зимы коэффициенты уравнения линейного тренда отрицательны, хотя по величине в целом они невелики (см. табл. 3). Таким образом, реакцией на потепление можно считать тенденцию к некоторому уменьшению площади территорий с большой и экстремально большой снежностью, причём существеннее

уменьшается площадь с экстремально большой снежностью. Для января и февраля коэффициенты уравнения линейного тренда статистически незначимы, а следовательно, в середине зимы изменений площади с большими и экстремально большими снегозапасами не наблюдается.

Результаты выполненного множественного регрессионного анализа показали, что зависимость многолетних изменений площадей с большой и экстремально большой снежностью от колебаний приземной температуры воздуха можно установить с точностью лишь до знака (коэффициент регрессии не превышает 0,26). Для осадков такая связь не обнаружена. Полученные данные позволили также рассмотреть изменения площади с экстремально неблагоприятными зимними условиями, которые связаны с одновременными проявлениями экстремальных величин приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов. С этой целью для исследуемых месяцев за каждый год выделены узлы регулярной сетки с экстремально большими значениями сумм осадков P_i , т.е. выходящие за верхнюю границу диапазона удвоенной величины стандартного отклонения осадков $2\delta_p$ (формула 2), а также с экстремально низкими значениями приземной температуры воздуха, т.е. выходящие за нижнюю границу диапазона удвоенной величины стандартного отклонения температуры $-2\delta_t$ (формула 3):

$$P_i > P_{cp} + 2\delta_p; \quad (2)$$

$$t_i < t_{cp} - 2\delta_t. \quad (3)$$

Во всех случаях учитывались отклонения от средне-многолетней величины соответствующего показателя. Затем определяли площади территорий (в процентах от общей площади), где одновременно отмечались экстремальные значения: 1) снежности, приземной температуры воздуха и осадков; 2) снежности и осадков; 3) снежности и приземной температуры воздуха. Результаты анализа показали, что указанные сочетания метеопараметров приурочены к тем же областям, для которых характерна большая и экстремально большая снежность, т.е. бассейны рек Печоры и Северной Двины. При этом площадь с одновременным проявлением исключительно большой снежности, экстремально больших сумм осадков и экстремально низкой приземной температурой воздуха не превышает 1% общей площади исследуемой территории, а коэффициенты линейных трендов малы или незначимы. Изменчивость площадей с сочетанием экстремальных значений метеопараметров соответствует изменениям площадей с большой и экстремально большой снежностью: в обоих случаях площади уменьшаются в ноябре и декабре и не меняются в январе и феврале.

Выводы

Для периода 1966–2006 гг. уточнены некоторые особенности пространственного распределения и многолетней изменчивости снежного покрова Восточно-Европейской равнины в пределах границ России. Установлено, что для региона в целом тренды многолетних изменений снеготолщин отсутствуют как в начале, так и в середине зимнего периода. Пространственная неоднородность в распределении снеготолщин исследуемой территории также меняется незначительно. Рассмотрена многолетняя динамика площадей с большой снежностью ($S_{cp} + \delta_s < S_i < S_{cp} + 2\delta_s$) и экстремально большой снежностью ($S_i > S_{cp} + 2\delta_s$). Территории с большой и экстремально большой снежностью ограничены бассейнами рек Печоры и Северной Двины. Их площадь в общем объёме исследуемой территории равна соответственно 12 и 4%. Многолетние изменения площадей с большой и экстремально большой снежностью соответствуют изменениям снеготолщин и региональным особенностям их распределения.

На фоне современного потепления отмечается многолетнее уменьшение площадей с большой и экстремально большой снежностью в ноябре и декабре. В то же время в середине зимы эта характеристика стабильна на протяжении всего исследуемого периода. Многолетнее увеличение площадей с экстремально большой снежностью происходит более интенсивно, чем рост площадей с большой снежностью, что, вероятно, может расцениваться как потенциальная возможность возникновения критических ситуаций для функционирования городского хозяйства, транспорта и пр. Регрессионная зависимость многолетних изменений площадей с большой и экстремально большой снежностью от колебаний приземной температуры воздуха и количества осадков выявляется лишь с точностью до знака. Опасность возникновения критических ситуаций в связи с возможностью проявления большой или экстремально большой снежности в сочетании с экстремально высокими суммами осадков и экстремально низкой приземной температурой воздуха невелика, так как площадь территорий с одновременным проявлением таких аномалий остаётся незначительной в течение всего исследуемого периода.

Литература

1. Володичева Н.А., Олейников А.Д. Снежность зим и лавинная опасность на Большом Кавказе в XX столетии // География, общество, окружающая среда: Т. 1 / Под ред. В.Н. Конищева и Г.А. Сафьянова. М.: Издательский дом «Городец». 2004. С. 422–434.
2. Галахов Н.Н. Выделение типов зим по высоте и динамике снежного покрова на большей части СССР // Роль снежного покрова в природных процессах. М.: Наука, 1961. С. 11–26.
3. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 527 с.
4. Григорьев А.А., Будыко М.И. Классификация климатов СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. № 3. С. 49–61.
5. Китаев Л.М. Связь сезонных изменений температуры воздуха и снежного покрова Северной Европы // Криосфера Земли. 2006. № 3. С. 76–82.
6. Китаев Л.М., Хромова Т.Е. Применение автоматизированных методов при анализе полей снежного покрова // Изв. РАН. Сер. геогр. 1998. № 4. С. 43–49.
7. Котляков В.М. Снежный покров Земли и ледники. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 429 с.
8. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Снеготолщины и продолжительность залегания снежного покрова в России // Криосфера Земли. 2000. № 4. С. 32–44.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам: Вып. 3. Ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 208 с.
10. Олейников А.Д., Володичева Н.А., Бояришинов А.В. Снежность зим и лавинная деятельность на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений // МГИ. 2000. Вып. 88. С. 74–83.
11. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние Северо-Атлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. Статистический анализ данных наблюдений // Метеорология и гидрология. 2006. № 5. С. 62–74.
12. Рихтер Г.Д. Роль снежного покрова в физико-географическом процессе // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1948. Вып. 40. С. 64–75.

Summary

Character of spatial and long-term variability of snow cover is specified for the period 1966–2006. Long-term decrease of snow storage in November and December and absence of changes in January and March are revealed. The standard deviation for regional spatial distribution changes according to changes of snow storage. Long-term changes of the area with displays of the large snowiness ($S_{cp} + \delta_s < S_i < S_{cp} + 2\delta_s$) and extremely large snowiness ($S_i > S_{cp} + 2\delta_s$) are estimated. The territories where large and extremely large snowiness are displayed does not exceed 12% from the total area, it is not very perilously for economic activity. Long-term changes of the area with displays by the large and extremely large snowiness correspond to long-term changes of snow storage. The area with simultaneous display of extremely large snowiness, extremely large sums of precipitation and extremely low air temperature is small and does not vary year by year. Hence, concurrence of extreme parameters dispositions also cannot be considered dangerous.