

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.578.46:551.509.314

**МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ
И ФОРМИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ**

Л.М. Китаев, Л.Б. Трофимова*, Е.В. Комаровская*, И.С. Данилович*, А.А. Бильдюг*

Институт географии РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия, lkitev@mail.ru

** Республиканский Гидрометеорологический центр, 220114, Минск, пр. Независимости, 110, Беларусь*

Уточняются особенности снегонакопления в связи с изменением количества осадков на фоне многолетних изменений температуры воздуха Восточно-Европейской равнины. Рассмотрена динамика структуры осадков зимнего периода – с ноября по февраль включительно. Выявлено медленное уменьшение суммы твердых осадков и многолетнее увеличение суммы жидких осадков при незначительном росте снеготпасов. Оценены изменения площадей, где снеготпасы больше или меньше суммы твердых осадков, и соотношение снеготпасов и твердых осадков в связи с изменением лесистости.

Снеготпасы, твердые и жидкие осадки, температура воздуха

**LONG-TERM VARIABILITY OF PRECIPITATION AND SNOW COVER FORMATION
OF THE EAST EUROPEAN PLAIN**

L. V. Kitaev, L. B. Trofimova*, E. V. Komarovskaya*, I. S. Danilovich*, A. A. Bil'dyuk*

Institute of Geography, RAS, 109017, Moscow, Staromonetny per., 29, Russia, lkitev@mail.ru

The Republican Hydrometeorological Center, 220114, Minsk, pr. Nezavisimosti, 110, Belarus

Features of snow accumulation as a result of the changes in precipitation on the background of long-term variability of air temperature of the East European plain are specified. The dynamics of structure of precipitation in the winter period (November–February) are considered. A slow decrease in the sum of solid precipitation and a long-term increase in the sum of liquid precipitation at the insignificant increase of snow storage are revealed. Changes in the areas, where snow storage is higher or lower than the sums of solid precipitation are assessed. A parity of snow storage and solid precipitation due to the change are also estimated.

Snow storage, solid and liquid precipitation, air temperature

ВВЕДЕНИЕ

Влияние климата последних десятилетий на изменчивость снегонакопления неоднозначно для Северной Евразии. С одной стороны, многолетнее повышение температуры может определять снижение скорости снегонакопления и соответственно уменьшение снеготпасов, что характерно, в частности, для Скандинавии. С другой стороны, увеличение циклоничности при общем потеплении вызывает усиленное формирование осадков, и в регионах с достаточно низкими зимними температурами (в отдельных регионах севера Сибири) снегонакопление становится более интенсивным. Региональная изменчивость снеготпасов в связи с многолетними изменениями температуры возду-

ха рассматривалась нами в ряде публикаций [Кренке и др., 1997; Китаев, 2006; Данилович, Лопух, 2008; Китаев, Кислов, 2008]. Цель настоящей работы состоит в уточнении особенностей снегонакопления в связи с многолетними изменениями осадков на примере Восточно-Европейской равнины.

В ходе анализа использованы данные наблюдений по России: за запасами воды в снежном покрове по 517 метеорологическим станциям, за температурой и осадками по 68 станциям. Для территории Республики Беларусь использованы данные 19 станций по осадкам, температуре воздуха и запасам воды в снеге. Исследуемый период – 1966–2006 гг.

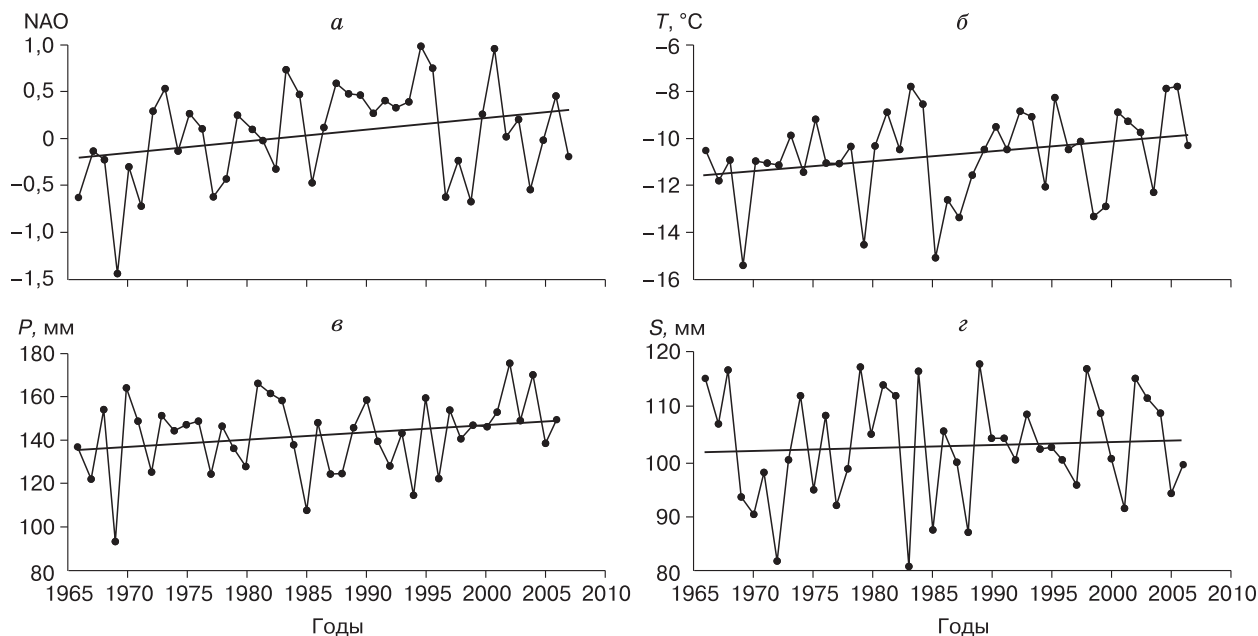


Рис. 1. Многолетние изменения метеорологических параметров:

a – индекса североатлантической осцилляции (NAO); *б* – температуры воздуха (*T*); *в* – количества осадков (*P*); *г* – снегозапасов (*S*) на Восточно-Европейской равнине.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Для Восточно-Европейской равнины влияние Атлантики, наряду с многолетним повышением температуры воздуха, сказывается и на медленном увеличении осадков, в том числе в холодный период года (рис. 1). Коэффициенты линейных трендов индексов североатлантической осцилляции (по данным Национальной администрации США по исследованиям океана и атмосферы, www.cpc.nraa.gov) составляют 0,013 индекса в год ($R^2 = 0,091$), для температуры воздуха и осадков на российской территории 0,042 °C/год ($R^2 = 0,071$) и 0,33 мм/год ($R^2 = 0,057$). В условиях низких зимних температур и увеличения осадков снегозапасы здесь изменяются мало, коэффициент линейного тренда составляет 0,054 мм/год ($R^2 = 0,004$).

На территории Республики Беларусь при многолетнем увеличении осадков (*P*) снегозапасы (*S*) имеют тенденцию к снижению в соответствии с ростом температуры воздуха (*T*): коэффициенты линейных трендов 0,192 мм/год ($R^2 = 0,014$), –0,385 мм/год ($R^2 = 0,037$) и 0,049 °C/год ($R^2 = 0,146$) соответственно. Особенно интенсивное потепление зафиксировано в период 1996–2006 гг., когда здесь, согласно типизации Г.Я. Вангенгейма [1935], преобладал западный перенос воздушных масс. Этот период характеризуется положительными аномалиями годовой температуры воздуха и увеличением снежности при маломеняющейся сумме осадков.

ХАРАКТЕР ОСАДКОВ И СНЕГОНАКОПЛЕНИЕ

Кроме изменчивости общей суммы осадков зимнего периода, нами исследована изменчивость сумм твердых и жидких осадков в период существования снежного покрова. На основе суточных данных наблюдений за 1966–2006 гг. изучено изменение отношений величины снегозапасов и суммы твердых осадков к суммарным осадкам. Величина снегозапасов (*S*) взята на последнюю дату февраля, суммарные осадки (*P_с*) и суммы твердых и жидких осадков (*P_т* и *P_ж*) рассчитаны с ноября по февраль включительно. При этом суммарные осадки и суммы твердых и жидких осадков рассчитывались за время с отрицательными температурами при наличии снежного покрова (покрытие территории 10 баллов). В ходе анализа использовались данные наблюдений метеостанций, где количество дней с пропусками в наблюдениях не превышает 10 % от общего числа за ноябрь, декабрь, январь и февраль соответствующего года. Последующая интерполяция данных наблюдений в узлы регулярной сетки 1 × 1° имеет погрешность не более 10 % [Кислов и др., 2001].

Анализ линейных трендов дал вполне логичный результат: доля жидких осадков периода залегания снежного покрова невелика, но имеет тенденцию к увеличению, доля твердых осадков преувеличивает и медленно снижается (рис. 2). Процесс происходит на фоне увеличения сумм положительных температур воздуха (рис. 3).

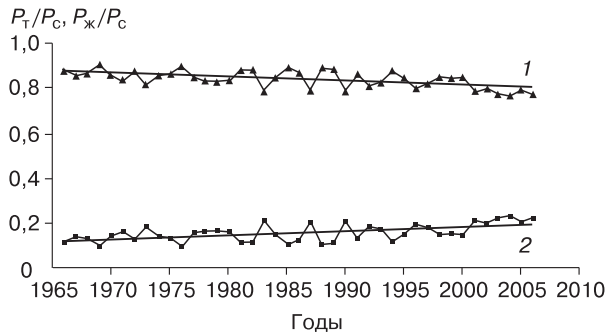


Рис. 2. Многолетние изменения:

1 – отношения суммы твердых осадков к суммарным осадкам ($P_{т}/P_{с}$); 2 – отношения суммы жидких осадков к суммарным осадкам ($P_{ж}/P_{с}$).

Отношение суммы твердых осадков к суммарным осадкам имеет тенденцию к снижению с коэффициентом линейного тренда $-0,018\%/год$ ($R^2 = 0,312$). Отношение снегов запасов к суммарным осадкам медленно увеличивается с коэффициентом линейного тренда $0,0015\%/год$ ($R^2 = 0,071$) (рис. 4), несмотря на увеличение доли жидких осадков (см. рис. 2). Жидкие осадки во время оттепелей приносят влагу в снежную толщу, но кратковременность оттепелей при низких зимних температурах способствует замерзанию влаги в снежной толще. Снежная толща может аккумулировать до 35 % воды, а в отдельных случаях и до 50 % от общей массы снега [Гляциологический словарь, 1984], а суммы жидких осадков в период оттепелей не превышают этих величин.

Соотношение изменчивости снегонакопления и осадков зимнего периода различается в пределах региона и, прежде всего, в связи с различиями температурного режима. Нами рассмотрены северная

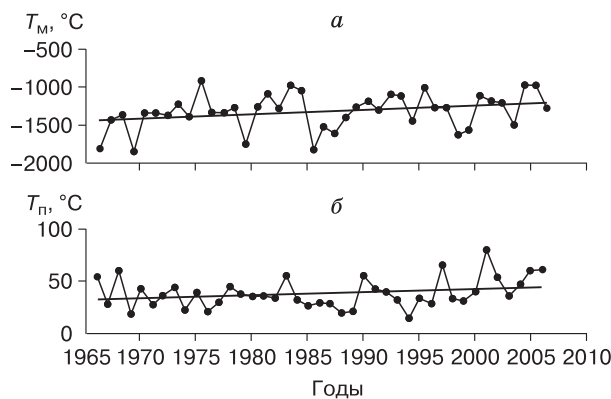


Рис. 3. Многолетние изменения:

а – суммы отрицательных температур воздуха ($T_{м}$); б – суммы положительных температур воздуха ($T_{п}$).

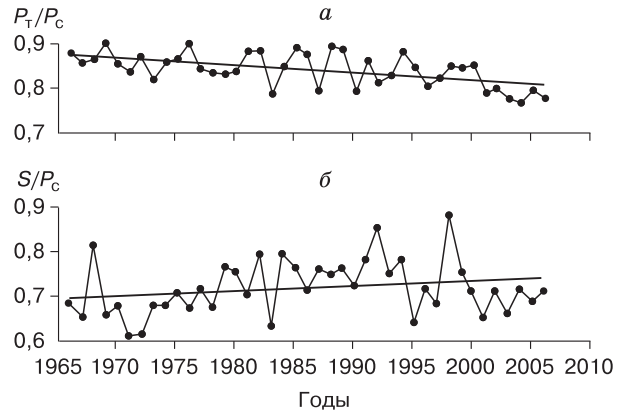


Рис. 4. Многолетние изменения:

а – отношения суммы твердых осадков к суммарным осадкам ($P_{т}/P_{с}$); б – отношения снегов запасов к суммарным осадкам ($S/P_{с}$).

и южная части Восточно-Европейской равнины – севернее и южнее 55° с.ш. Эта условная граница принята в соответствии с расположением зоны оптимального увлажнения: разница соотношения осадков и испарения севернее и южнее этой зоны весьма существенна ввиду различий температуры воздуха. В северной части Восточно-Европейской равнины отношение снегов запасов к суммарным осадкам имеет многолетнюю тенденцию к увеличению при снижении доли твердых осадков (табл. 1). На юге региона отношение снегов запасов к суммарным осадкам постепенно уменьшается: снижение доли твердых осадков происходит здесь более интенсивно по сравнению с северной частью региона (см. табл. 1, 2).

Таблица 1. Многолетние тенденции изменений снегов запасов (S), твердых ($P_{т}$) и суммарных ($P_{с}$) осадков

Восточно-Европейская равнина	$P_{т}/P_{с}$		$S/P_{с}$	
	a	R^2	a	R^2
Северная часть	-0,0017	0,254	0,0015	0,072
Южная часть	-0,0027	0,121	-0,0015	0,025
В целом	-0,0018	0,312	0,0011	0,049

Примечание к табл. 1–3. a – коэффициент линейного тренда; R^2 – коэффициент детерминации.

Таблица 2. Тенденции изменения суммы положительных температур воздуха зимнего периода

Восточно-Европейская равнина	Характеристики линейного тренда	
	a	R^2
Северная часть	0,411	0,114
Южная часть	0,884	0,124
В целом	0,442	0,121

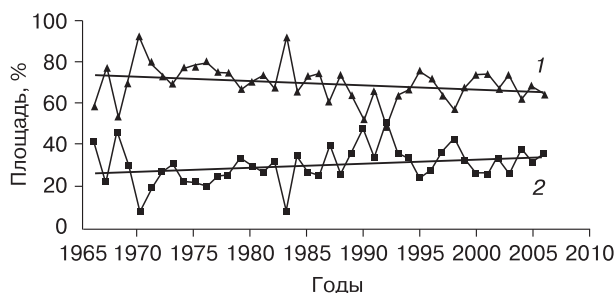


Рис. 5. Многолетние изменения площадей (% от общей):

1 – $S < P_T$; 2 – $S > P_T$.

Выявленные особенности формирования снеготазпасов подтверждаются характером их пространственного распределения (рис. 5). Территория, где снеготазпасы превышают сумму твердых осадков, формируясь и за счет жидких зимних осадков, составляет в среднем 30,2 % от общей площади региона и имеет тенденцию к увеличению с коэффициентом линейного тренда 0,214 %/год ($R^2 = 0,081$). Величина снеготазпасов остальной территории меньше суммы твердых осадков, но при этом нельзя исключать участия в их формировании жидких осадков, хотя и явно в меньших по сравнению с предыдущим случаем количествах. Площадь этой территории в среднем составляет 69,8 % региона и имеет тенденцию к уменьшению с коэффициентом линейного тренда $-0,214$ %/год ($R^2 = 0,081$).

Для северной части региона площадь территории, где снеготазпасы больше суммы твердых осадков, существенна – 48,8 % (табл. 3). При стабильных низких температурах воздуха и больших снеготазпасах значительная часть выпадающих во время оттепелей жидких осадков пополняет запас воды в снеге, задерживаясь в его толще. В южной части Восточно-Европейской равнины территория, где снеготазпасы больше твердой части осадков, значительно меньше – 14,9 % от общей площади. Более теплые условия и более частые оттепели, сопровождающиеся жидкими осадками,

Таблица 3. Изменение площади территорий с различным отношением снеготазпасов к сумме твердых осадков зимнего периода

Восточно-Европейская равнина	S/P_T	Площадь, % от общей	Характеристики линейного тренда	
			a	R^2
Северная часть	>1	48,8	0,061	0,02
	<1	51,2	$-0,061$	0,02
Южная часть	>1	14,9	0,031	0,02
	<1	85,1	$-0,031$	0,02
В целом	>1	30,2	0,214	0,08
	<1	69,8	$-0,214$	0,08

при меньших снеготазпасах здесь приводят к снижению запасов воды в снеге за счет более интенсивного его испарения и, по-видимому, водоотдачи в почву.

СООТНОШЕНИЯ СНЕГОТАЗПАСОВ И ОСАДКОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЛЕСИСТОСТИ

Взаимосвязи осадков и снеготазпасов изучены на сегодняшний день достаточно подробно. Известно, что отношение снеготазпасов к суммарным осадкам, пошедшим на их формирование (снегоемкость территории) зависит от зимних условий: количества оттепелей, особенностей метелевого переноса, интенсивности испарения снега и пр. [Котляков, 2004]. Известны также различия величины снеготазпасов лесных массивов и открытых пространств [Мишон, 1971; Китаев, 1992].

Характер изменчивости зависимости соотношения осадков и снеготазпасов в связи с особенностями растительности уточнены нами для севера Восточно-Европейской равнины (севернее 55° с.ш.). Доля леса (%) определена на основе данных о лесном фонде, аэрофотосъемок и космических снимков [Кренке и др., 1997]. Отношения суммы твердых осадков и снеготазпасов к суммарным осадкам осреднялись для территорий с лесистостью 0–25, 25–50, 50–75 и 75–100 %. Для этих же территорий осреднялась сумма положительных температур за время существования снежного покрова в период с ноября по февраль включительно. Различия отношений суммы твердых осадков к суммарным осадкам в разных условиях залесенности невелики (рис. 6). В то же время отношение снеготазпасов к суммарным осадкам растет с увеличением залесенности на фоне увеличения суммы положительных температур. Для залесенности более 75 % отношение снеготазпасов к суммарным осадкам даже превышает долю твердых осадков; по-видимому, имеет место интенсивное

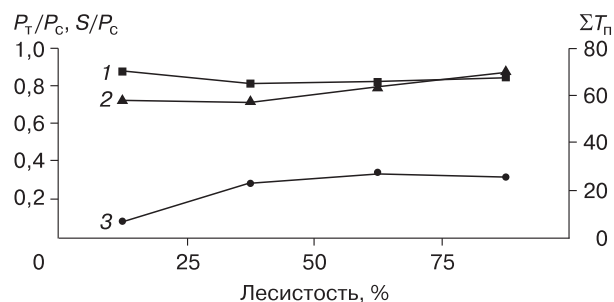


Рис. 6. Зависимости от изменений лесистости Восточно-Европейской равнины севернее 50° с.ш.:

1 – отношения суммы твердых осадков к суммарным осадкам (P_T/P_C); 2 – отношения снеготазпасов к суммарным осадкам (S/P_C); 3 – суммы положительных температур воздуха ($\Sigma T_{п}$).

участие жидких осадков в формировании снежной толщи и лучшее сохранение здесь снежного покрова.

Увеличение температуры воздуха к югу Восточно-Европейской равнины вызывает рост испаряемости снега [Кузьмин, 1953; Сабо, 1956; Алпатьев, Перченко, 1963; Котляков, 2004]. В связи с этим, в частности, многолетнее увеличение температуры воздуха при теплых зимах в бассейне Балтийского моря (Республика Беларусь) приводит к медленному многолетнему снижению здесь снегоемкости территории: отношение снеготолщины к суммарным осадкам уменьшается со скоростью 0,003 %/год ($R^2 = 0,043$).

ВЫВОДЫ

Для территории Восточно-Европейской равнины выявлены соотношения изменений снеготолщины и осадков зимнего периода на фоне многолетних изменений температуры воздуха. В целом при усилении циклоничности снеготолщина региона имеет тенденцию к медленному увеличению при возрастании осадков и температуры воздуха. Для периода 1966–2006 гг. рассчитано соотношение сумм жидких и твердых осадков снежного периода. Выявлено многолетнее увеличение суммы жидких осадков и соответственно медленное снижение суммы твердых осадков на фоне роста суммы положительных температур воздуха. Увеличивается также отношение снеготолщины к суммарным осадкам, а отношение снеготолщины к сумме твердых осадков уменьшается. Следовательно, вклад жидких осадков в формирование снежного покрова увеличивается за счет водоудерживающих свойств снега.

Территория, где снеготолщина превышает сумму твердых осадков и формируются в значительной мере и за счет жидких зимних осадков, составляет в среднем 30,2 % площади региона и имеет многолетнюю тенденцию к увеличению. Территория, где снеготолщина меньше суммы твердых осадков, составляет в среднем 69,8 % региона и от года к году уменьшается. Таким образом, поскольку снеготолщина региона имеет многолетнюю тенденцию к росту, увеличивающиеся от года к году жидкие осадки этому способствуют, задерживаясь в снежной толще при низких зимних фоновых температурах. Данный процесс, прежде всего, характерен для севера региона, а на юге за счет более высокой температуры воздуха сумма жидких осадков увеличивается быстрее, снеготолщина же имеет тенденцию к многолетнему уменьшению вследствие большего испарения снега и водоотдачи в почву в более теплых условиях.

Отношение снеготолщины к суммарным осадкам растет с увеличением залесенности при маломеняющемся отношении суммы твердых осадков к суммарным и на фоне увеличения суммы положительных температур.

Многолетнее возрастание на фоне потепления доли жидких осадков в зимний период способствует тенденции медленного увеличения снеготолщины региона (чему, в частности, способствует залесенность территории), усиливая, кроме того, сезонные изменения структуры снежной толщи.

Литература

- Алпатьев А.М., Перченко Ф.Ф. Суммарное испарение с поверхности снежного покрова на Европейской территории СССР // Труды Азерб. геогр. об-ва. Баку, 1963, т. 2, с. 496–503.
- Вангенгейм Г.Я. Опыт применения синоптических методов к изучению характеристик климата. Л., Гидрометеиздат, 1935, 125 с.
- Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л., Гидрометеиздат, 1984, 527 с.
- Данилович И.С., Лопух П.С. Перспективы прогнозирования формирования максимального весеннего стока рек Беларуси на ближайшую и далекую перспективу // Вестн. БГПУ, 2008, № 4, с. 35–42.
- Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С. Статистическая структура крупномасштабных особенностей поля снежного покрова // Метеорология и гидрология, 2001, № 8, с. 98–104.
- Китаев Л.М. Изучение распределения снежного покрова в центральной лесостепи // Изв. РАН. Сер. геогр., 1992, № 1, с. 64–68.
- Китаев Л.М. Связь сезонных изменений температуры воздуха и снежного покрова Северной Европы // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 3, с. 76–82.
- Китаев Л.М., Кислов А.В. Региональные различия снеготолщины – современные и будущие изменения (на примере Северной Европы и севера Западной Сибири) // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 98–104.
- Котляков В.М. Снежный покров и ледники земли. М., Наука, 2004, 447 с.
- Кренке А.Н., Китаев Л.М., Турков Д.В. и др. Изменения снежного покрова и их климатическая роль // Криосфера Земли, 1997, т. I, № 1, с. 39–46.
- Кузьмин П.П. К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова // Труды ГИ, 1953, вып. 41 (95), с. 34–52.
- Мишон В.М. Закономерности залегания максимальных снеготолщин в условиях овражно-балочного рельефа и островной лесной растительности // Сборник работ Курской гидромет. обсерватории. Курск, 1971, вып. 5, с. 51–57.
- Сабо Е.Д. Испарение со снежного покрова в районе Ергеней // Снег и талые воды, их изучение и использование: Сб. М., АН СССР, 1956, с. 87–91.

Поступила в редакцию
4 февраля 2010 г.