Снежный покров и снежные лавины

УДК 624.144.5

Изменения толщины снежного покрова и суточной интенсивности снегопадов, влияющие на расходы по уборке магистралей в российских городах

© 2012 г. А.В. Борзенкова, А.Б. Шмакин

Институт географии РАН, Москва

andrey_shmakin@mail.ru

Статья принята к печати 3 января 2012 г.

Изменения климата, расходы на уборку снега, снегопад, снежный покров, холодный период года.
Climate change, cold period of year, snow cleaning costs, snow cover, snowfall.

Исследованы осадки холодных сезонов 1950–2006 гг. на территории России и их влияние на расходы по уборке снега в некоторых российских городах. Рассмотрены общее количество осадков за холодный период, а также число дней с осадками 0–2, 2–5 и более 5 мм/сут. За последнее время на территории России при общей тенденции к увеличению количества снега везде уменьшилось число слабых снегопадов; число снегопадов средней и большой интенсивности возросло на востоке Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири, но уменьшилось на северо-востоке Сибири. Вероятная причина наблюдаемых изменений – смена режима атмосферной циркуляции в середине 1970-х годов. Если в 1950–1974 гг. в формировании осадков января доминировал циркуляционный механизм SCAND, то 1975–2006 гг. были периодом усиления положительной фазы NAO. В Москве и Ханты-Мансийске расходы на уборку магистралей от снега возрастали, что в первую очередь связано с развитием этих городов (а в Ханты-Мансийске и с бóльшим числом снегопадов). В Санкт-Петербурге и Петропавловске-Камчатском расходы на уборку снега в период до 2006 г. сокращались. Здесь существенную роль в изменении анализируемого экономического показателя сыграл метеорологический фактор.

Введение

Снегопады и снежный покров – важнейшие компоненты природной среды умеренных и высоких широт. Снежный покров имеет большое значение для сельского хозяйства, так как именно он предохраняет всходы от вымерзания, на чём основано озимое земледелие, и обеспечивает запасы воды для весеннего развития растений. Увеличение количества снега благоприятно для регионов с развитой туристической инфраструктурой, ориентированной на зимние виды спорта. Однако при обильных снегопадах растут нагрузки на здания, возникают сбои в работе транспорта, требуется очистка улиц и магистралей и пр. В городе сильный снегопад может не только парализовать движение на автодорогах, но и привести к загрязнению атмосферы. Вместе с тем в регионах, где используют вездеходы, увеличение продолжительности снежного сезона и количества выпадающего снега будет положительно влиять на транспортную ситуацию.

Достаточно много работ посвящено исследованиям снежного покрова и значительно меньше – изменению интенсивности зимних осадков. Так, в статье [4] отмечается увеличение снегозапасов и площади снежного покрова почти на всей территории бывшего СССР, за исключением запада Русской равнины и Казахстана. В работе [10] дана оценка среднемноголетней повторяемости чрезвычайных ситуаций в связи с увеличением толщины снежного покрова на 5 см и более за сутки с ноября по март для периода 1961–2001 гг. В этой же работе приводятся статистические характеристики ситуаций со снегопадами интенсивностью более 3 мм/сут, которые непрерывно продолжались несколько суток. В статье [2] говорится о тенденции увеличения числа дней в году с сильными осадками и о росте интенсивности осадков в целом. В этой же работе делается вывод, что во второй половине XX в. произошёл «сдвиг» среднегодового климата Северного полушария в сторону более тёплых и влажных усло-

вий. В статье [13] на основе многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха установлены два отрезка времени: 1) «базовый» период 1951–1980 гг., когда средняя температура по России была близка к средней за XX в.; 2) период «современного потепления» (1989–2001 гг.), когда среднегодовая температура по России превышает среднюю за базовый период на 1 °С, причём в каждом из отрезков времени отсутствует тренд этой температуры. Выполнено также исследование изменений толщины снежного покрова в феврале за 1951–2006 гг. [12], которое показало, что в целом по России толщина снега увеличилась. Произошло это за счёт Сибири и Дальнего Востока. На западе и северо-западе Восточно-Европейской равнины толщина снега в последние десятилетия сократилась.

Авторы многих работ объясняют наблюдаемые аномалии осадков во второй половине XX в. усилением циклонической активности в высоких широтах Евразии, которое связано с изменением крупномасштабной атмосферной циркуляции [4, 6, 14, 16, 17]. В работе [6] выделено несколько районов Северной Евразии, однородных по характеру колебаний толщины снега и их связи с циркуляционными индексами. Наиболее значительное изменение толщины снежного покрова характерно для северо-запада и северо-востока Русской равнины, а также почти для всей северной половины Сибири до бассейна Лены: во всех указанных регионах наблюдается рост этой величины с начала 1970-х годов. Этот тренд, как и температурные аномалии, обусловлен индексом NAO – усилением зонального переноса и активизацией циклонической активности на севере Евразии. Для остальных районов такого чёткого тренда как к увеличению, так и к уменьшению аккумуляции снега за исследуемый период не установлено [6]. В работе [15] даны преобладающие механизмы атмосферной циркуляции, влияющие на снегонакопление в Северной Евразии во второй половине XX в. В 1950–1974 гг. при формировании поля твёрдых осадков преобладающую роль играл SCAND, а в 1975–2001 гг. – NAO.

Проблема расходов на уборку снега затронута в работе [3], авторы которой дают оценки для среднего количества убираемого в Москве снега в зависимости от снежности зим. Рассчитан также экономический эффект использования прогнозов [11] для автотранспорта в пределах города, учитывающих затраты на расчистку дорог снегоочистительной техникой. Тема затрат городских служб, связанных с экстремальной погодой, в том числе снегопадами, рассмотрена в докладе А.А. Ляхова и И.Ю. Тимофеева [5] на Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности в 2006 г.

Целью данной работы – исследование изменений интенсивности и суммы осадков холодного периода за 1950–2006 гг. на территории России и отражение этого в условных расходах на уборку снега с городских магистралей Москвы, Санкт-Петербурга, Пскова, Ханты-Мансийска и Петропавловска-Камчатского.

Методика исследований

Для анализа пространственного распределения осадков холодного периода и их изменений использовались данные около 175 метеостанций на территории России, а также некоторых станций Казахстана и Украины, расположенных близко к границе России. Всего исследуемая часть архива ВНИИГМИ-МЦД (http://www.meteo.ru) содержит данные по 223 станциям, находящимся на территории бывшего СССР. Из архива выбирались дни с осадками при среднесуточной температуре ниже 0 °С. Предполагалось, что эти осадки преимущественно выпадали в виде снега. Затем подсчитывались общее количество осадков за те дни, когда температура воздуха была ниже 0 °С, а также число дней с осадками разных градаций (0–2, 2–5, более 5 мм/сут) в холодный период (среднесуточная температура менее 0 °С) для всех исследуемых лет. Параметры рассчитывались не за год, а за сезон – т.е. за второе полугодие текущего года и за первое полугодие следующего года. Анализировали данные с 1949 по 2006 г., т.е. за 57 зимних сезонов. При этом сезон каждого конкретного года включает в себя зиму и начало весны этого года, а также конец осени и начало зимы предыдущего года

Для анализа связей исследуемых характеристик осадков с атмосферной циркуляцией применяли индексы атмосферной циркуляции, полученные центром прогнозов климата NOAA (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc) путём разложения по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.) колебаний поля геопотенциала внетропической зоны Северного полушария на уровне AT_{700}. Использовали следующие индексы: Северо-Атлантического колебания (NAO' в отличие от NAO, вычисляемого традиционным путём по разности давлений); Тихоокеанско-Североамериканский (Pacific-NorthAmerican – PNA); Скандинавский (Scandinavian – SCAND). Для каждой станции за периоды 1950–1980, 1989–2006, 1950–2006, а также 1950–1974, 1975–2006 гг. рассчитаны коэффициенты корреляции исследуемых характеристик снега в январе со значениями индексов атмосферной циркуляции NAO',

PNA и SCAND. Выбор 1950–1974 и 1975–2006 гг. основан на работе [7], в которой показано, что данные временные отрезки колебания зимней температуры воздуха связаны с доминированием разных циркуляционных механизмов. До середины 1970-х годов колебания зимней температуры в наибольшей степени определялись механизмом блокирования зонального переноса в высоких широтах Северной Евразии, описываемым I_{SCAND}. Современному потеплению соответствует усиление зонального переноса (описываемое положительной фазой I'_{NAO}), которое сейчас играет главную роль в колебаниях температуры, хотя и блокирование (индекс I_{SCAND}) продолжает вносить существенный вклад в тренд температуры с середины 1970-х годов.

Для статистической обработки полученных рядов вычислены: среднее число снегопадов разной суточной интенсивности; среднее число зимних осадков за каждый из двух обозначенных периодов и их дисперсии; среднеквадратические отклонения. Оценены также значимости отличий рядов по функции Лапласа, определяющей вероятность попадания нормированной нормальной случайной величины в определённый интервал. Кроме того, дана оценка значимости полученных коэффициентов корреляции между рядами исследуемых величин, рассчитанных для январей, и индексами атмосферной циркуляции NAO', PNA и SCAND по критерию Стьюдента.

При условии, что 1 см свежевыпавшего снега в водном эквиваленте (в.э.) соответствует примерно 1 мм (при плотности 100 кг/м^3 [10]), подсчитаны величины, которые условно будут называться количеством снегопадов разной интенсивности за все зимние сезоны исследуемого периода, а также отдельно за январи. Кроме этого, установлено среднее количество осадков при отрицательной температуре воздуха за январи и в целом за холодные сезоны исследуемого периода. Количество 5-миллиметровых сумм (серий) – характеристика, отражающая расходы на уборку снега с дорожных магистралей (согласно нормативам, за один выезд снегоуборочная машина убирает 5 см снега [5]). Она рассчитывается по формуле $n = int((p + 2{,}5)/5)$, где int – целая часть числа; n – число 5-миллиметровых серий осадков за данные сутки; сумма значений n, обозначаемая N, представляет собой общее число таких серий за данный холодный период; p – суточная сумма снегопада в мм в.э. Суммарная длина улиц в исследуемых городах с разными тенденциями социального развития взята из справочника [9].

Город	*Суммарная длина улиц, км*
Москва	3300
Санкт-Петербург	1000
Псков	250
Петропавловск-Камчатский	140
Ханты-Мансийск	40

Эти данные датируются 2005 г., для других годов они определялись по численности населения, исходя из предположения, что протяжённость городских магистралей растёт пропорционально числу жителей. В периоды сокращения численности населения длина улиц считалась неизменной. Ширина улиц для крупных городов (Москва и Санкт-Петербург) принималась равной 15 м, для небольших (Псков, Ханты-Мансийск и Петропавловск-Камчатский) – 10 м. Умножив длину улиц на ширину, получим площадь, с которой необходимо убрать снег городским службам. Примем, что при выпадении от 2 до 5 см снега в сутки снегоуборочные машины выезжают в половине случаев. Тогда число выездов машин N за весь зимний сезон составит: $N = N_5 + N_2/2$, где N_5 – число снегопадов интенсивностью более 5 см/сут за холодный сезон; N_2 – число снегопадов интенсивностью 2–5 см/сут. Если взять за стоимость уборки 100 000 м^2 1 усл. ед., то стоимость очистки города от снега $P = N \times S/100\,000$, где S – общая площадь городских улиц. Таким образом можно рассчитать ежегодные условные затраты на очистку от снега улиц исследуемых городов.

Результаты исследований

Изменение характеристик осадков холодного периода за 1950–2006 гг. на территории России. Сезонная сумма осадков при отрицательной температуре воздуха в среднем с 1950 по 2006 г. изменяется от 0–40 мм на равнинах Дагестана и в Забайкалье до более чем 280 мм на юго-востоке Камчатки (рис. 1, *а*). Минимальные значения наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины, где при выпадении осадков в холодный период года температура воздуха редко опускается ниже 0 °С, а также в регионах с резко континентальным климатом (Восточная Сибирь), где зимой наблюдается минимум годовых осадков. Так, в Забайкалье, вблизи центра азиатского антициклона, осадков в холодный период выпадает менее 40 мм. Максимальные суммы осадков при температуре воздуха ниже 0 °С выпадают на Камчатке, востоке Русской равнины, в Предуралье и в Западной Сибири, а также на северо-востоке Чукотки. Есть данные об очень большой толщине снежного покрова на Кавказе (в частности, в Красной Поляне), однако количественных характеристик у нас нет, поэтому все

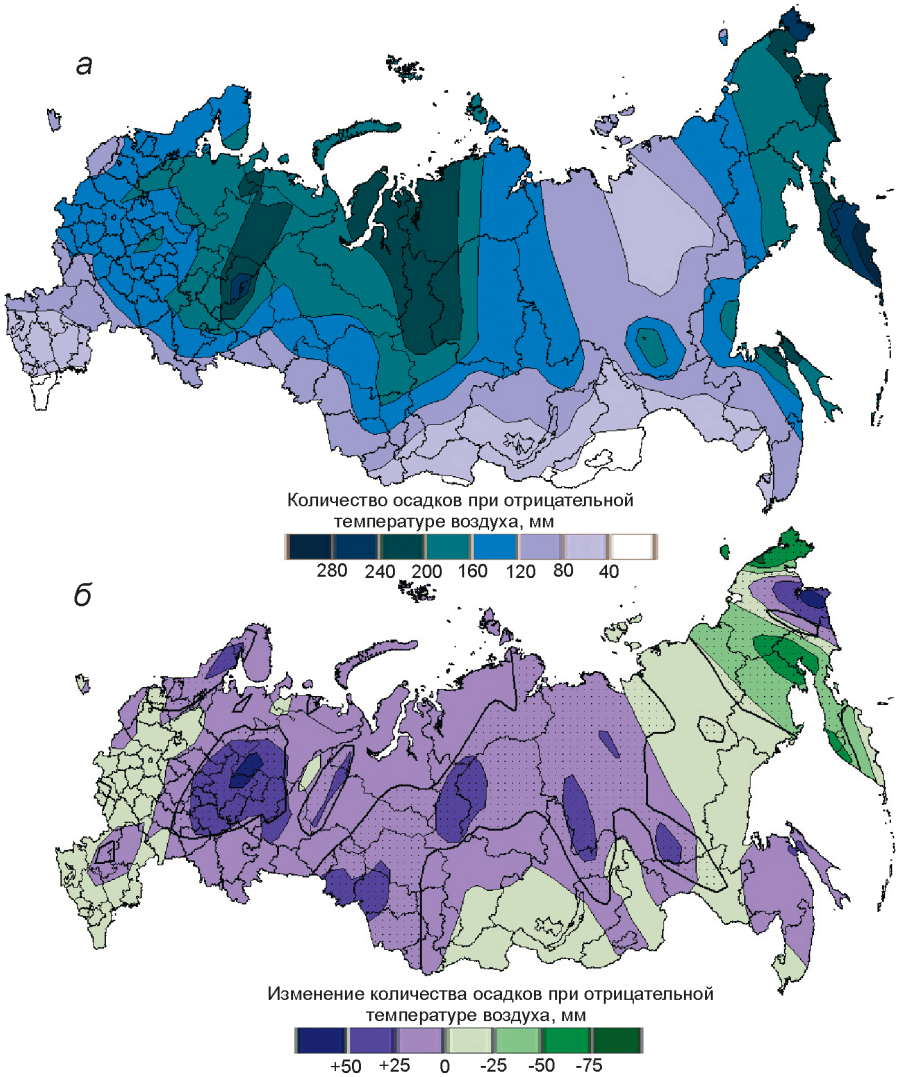


Рис. 1. Сезонная сумма осадков при отрицательной температуре воздуха в среднем за 1950–2006 гг. (*а*); изменение суммы осадков при отрицательной температуре воздуха за 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. (*б*).
На рис. 1–6 статистически значимые изменения показаны точками
Fig. 1. Seasonal precipitation sum under negative air temperature, mean for 1950–2006 (*a*); change of precipitation sum under negative air temperature in 1989–2006 as compared to 1950–1980 (*б*).
In Figs. 1–6 the dots indicate statistically significant deviations

карты, приведённые в данной работе, построены по материалам преимущественно равнинных станций. Отметим, что построенная карта весьма схожа с картой толщины снежного покрова за третью декаду февраля из Сельскохозяйственного атласа СССР [1], в основу которой положены данные гораздо большего числа станций. Поэтому можно считать, что наша карта (см. рис. 1, *а*) хорошо отражает среднюю ситуацию снегонакопления в масштабе субконтинента, включая данные за последние десятилетия.

На основной территории России в 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. количество осадков при отрицательной температуре воздуха возрастало, однако оно не превышало +25 мм (см. рис. 1, *б*), значимо увеличиваясь лишь в нескольких областях – в Карелии, на востоке Восточно-Европейской равнины, на Урале, частично в Сибири, на Анадырской низменности. Статистически значимое уменьшение твёрдых осадков (до –75 мм за сезон) наблюдается только на северо-востоке страны – на Чукотке и на западе Камчатки.

Распределение числа снегопадов интенсивностью *0–2 мм/сут* (в в.э.) имеет широтный характер (рис. 2, *а*). Это объясняется тем, что данная характеристика больше зависит от числа дней с отрицательной температурой воздуха, имеющей квазиширотное распределение, чем от факторов, влияющих на выпадение осадков (атмосферная циркуляция, рельеф и др.). При общей тенденции к увеличению количества снега на территории России число слабых снегопадов в 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. значимо уменьшилось на большей части страны (см. рис. 2, *б*). Рост числа слабых снегопадов не наблюдается нигде. Наиболее значительное уменьшение отмечено на севере Урала, в северной части Восточной Сибири и на севере Иркутской области. Незначительно изменилась эта характеристика на территории от

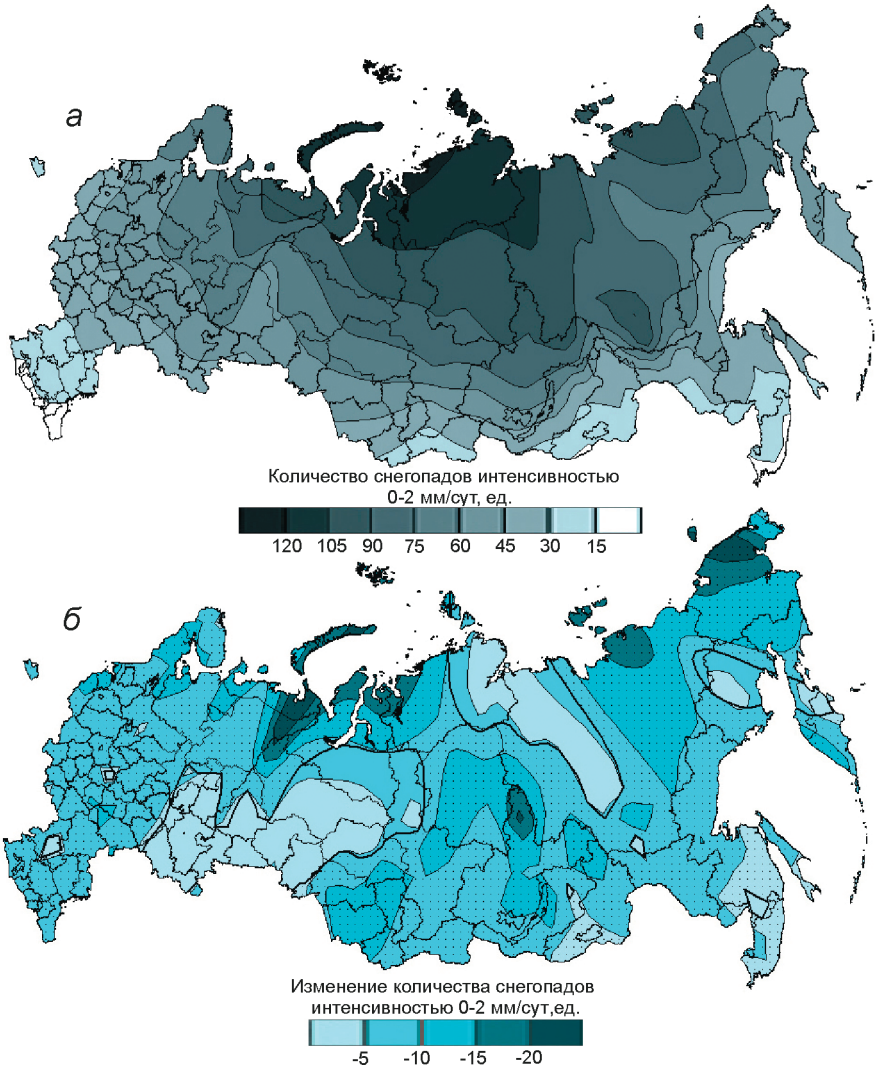


Рис. 2. Среднесезонное число снегопадов интенсивностью 0–2 мм/сут в 1950–2006 гг. (*а*); изменение числа снегопадов интенсивностью 0–2 мм/сут за 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. (*б*)

Fig. 2. Mean seasonal number of snowfall events with intensity 0–2 mm per day in 1950–2006 (*a*); change of seasonal number of snowfall events with intensity 0–2 mm per day in 1989–2006 as compared to 1950–1980 (*б*)

Приволжской возвышенности до западных предгорий Алтая, включая значительную часть Западно-Сибирской низменности, а также в пределах некоторых территорий Якутии, Таймырского автономного округа, Магаданской области и Камчатки.

По другому распределяются снегопады средней интенсивности – *от 2 до 5 мм/сут* (рис. 3, *а*). Здесь максимум наблюдается в Предуралье, где выпадают осадки, принесённые воздушными массами с Атлантики, и в Западной Сибири, которая также входит в зону атлантического переноса. Немногим меньше снегопадов средней интенсивности на Сахалине, Камчатке, на территориях Чукотского автономного округа и Магаданской области, находящихся в зоне активности тихоокеанских циклонов. Минимальное число снегопадов средней интенсивности – на юге Европейской части России, а также в областях, близких к центру азиатского антициклона (Читинская область). Эта карта во многом схожа с картой распределения общего количества осадков при отрицательной температуре воздуха, однако на ней не выделяется главный максимум твёрдых осадков на Камчатке и в прилегающих районах, что, по-видимому, связано с высокой повторяемостью сильных снегопадов в этом регионе.

Количество снегопадов средней интенсивности в 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. значимо увеличилось в восточной части Русской равнины, в северо-восточной части Западной Сибири, на западе и юге Якутии, а также в районе Барабинской низменности (см. рис. 3, *б*). Статистически значимое уменьшение числа средних снегопадов, как и в случае общего количества осадков холодного периода, произошло лишь в крайней северо-восточной части страны.

Несколько иной вид имеет карта распределения по территории России числа сильных снегопадов с интенсивностью, *превышающей 5 мм/сут*

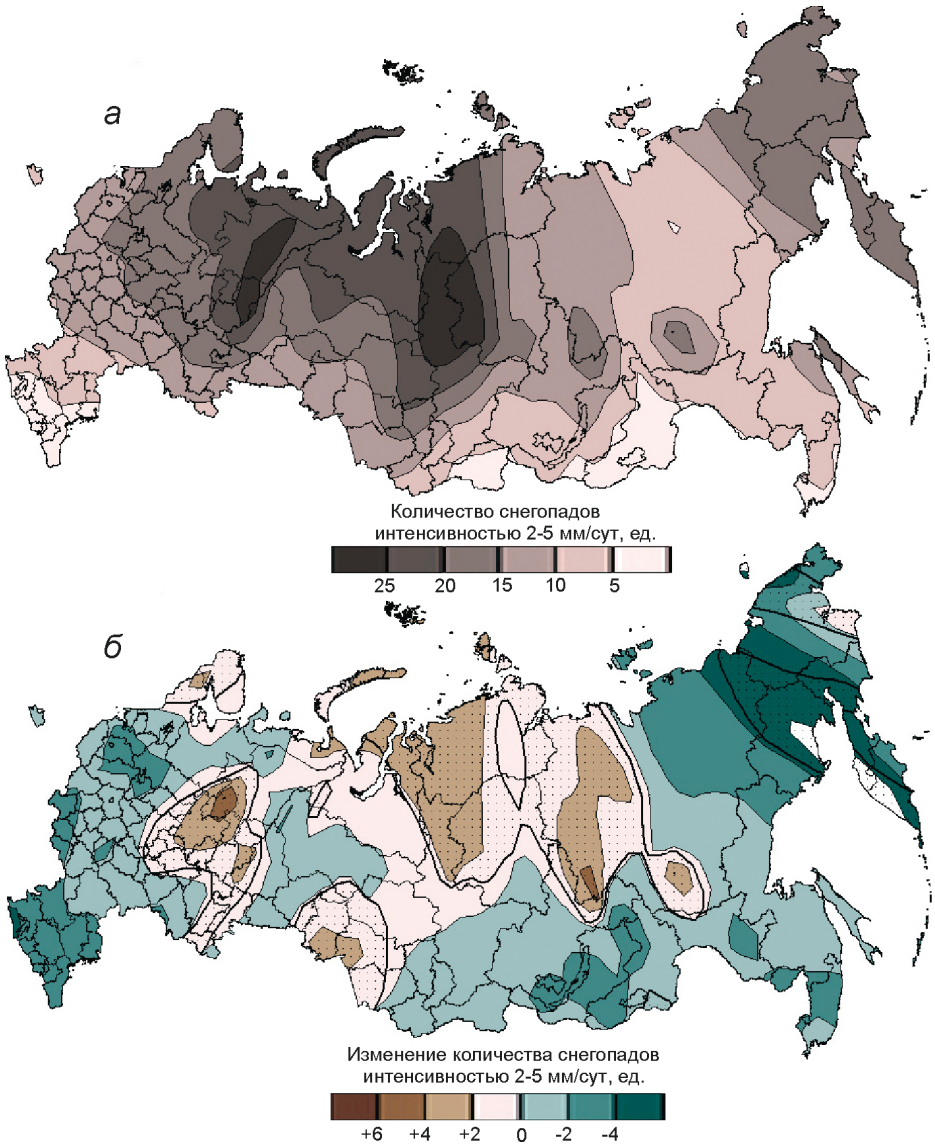


Рис. 3. Среднесезонное число снегопадов интенсивностью 2–5 мм/сут за 1950–2006 гг. (*а*); изменение числа снегопадов интенсивностью 2–5 мм/сут за 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. (*б*)

Fig. 3. Mean seasonal number of snowfall events with intensity 2–5 mm per day in 1950–2006 (*a*); change of seasonal number of snowfall events with intensity 2–5 mm per day in 1989–2006 as compared to 1950–1980 (*б*)

(рис. 4, *а*). Данная характеристика распределяется более меридионально. Число сильных снегопадов примерно одинаковое (в среднем от четырёх до восьми за сезон) на территории с запада Восточно-Европейской равнины до Среднесибирского плоскогорья с небольшим максимумом в Предуралье. При этом с увеличением континентальности климата или с повышением средней температуры воздуха (на юго-востоке российской части Кавказа и в Прикаспии, а также на юге Урала) число сильных снегопадов снижается до менее четырёх за сезон. Практически отсутствуют сильные снегопады в Якутии и на юге Сибири, однако по мере приближения к Тихоокеанскому побережью их число возрастает: в Приморье отмечается от четырёх до восьми сильных снегопадов за сезон; на Чукотке и Камчатке – до 12–16, а на восточном побережье Камчатки, для которой характерен абсолютный максимум данной характеристики на территории страны, – более 16.

Практически также распределяется параметр «*число 5-миллиметровых серий осадков при отрицательной температуре воздуха*», поскольку фактически он прямо пропорционален числу снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут (см. рис. 4, *б*). Изменение его по временным периодам также аналогично изменениям распределения числа сильных снегопадов, поэтому в дальнейшем при анализе изменений характеристик осадков по территории страны данный параметр рассматриваться не будет.

Картина распределения изменений числа снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут в 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. практически аналогична изменению количества осадков холодного периода (см. рис. 4, *в* и рис. 1, *б*). Здесь также наблюдаются статистически значимые

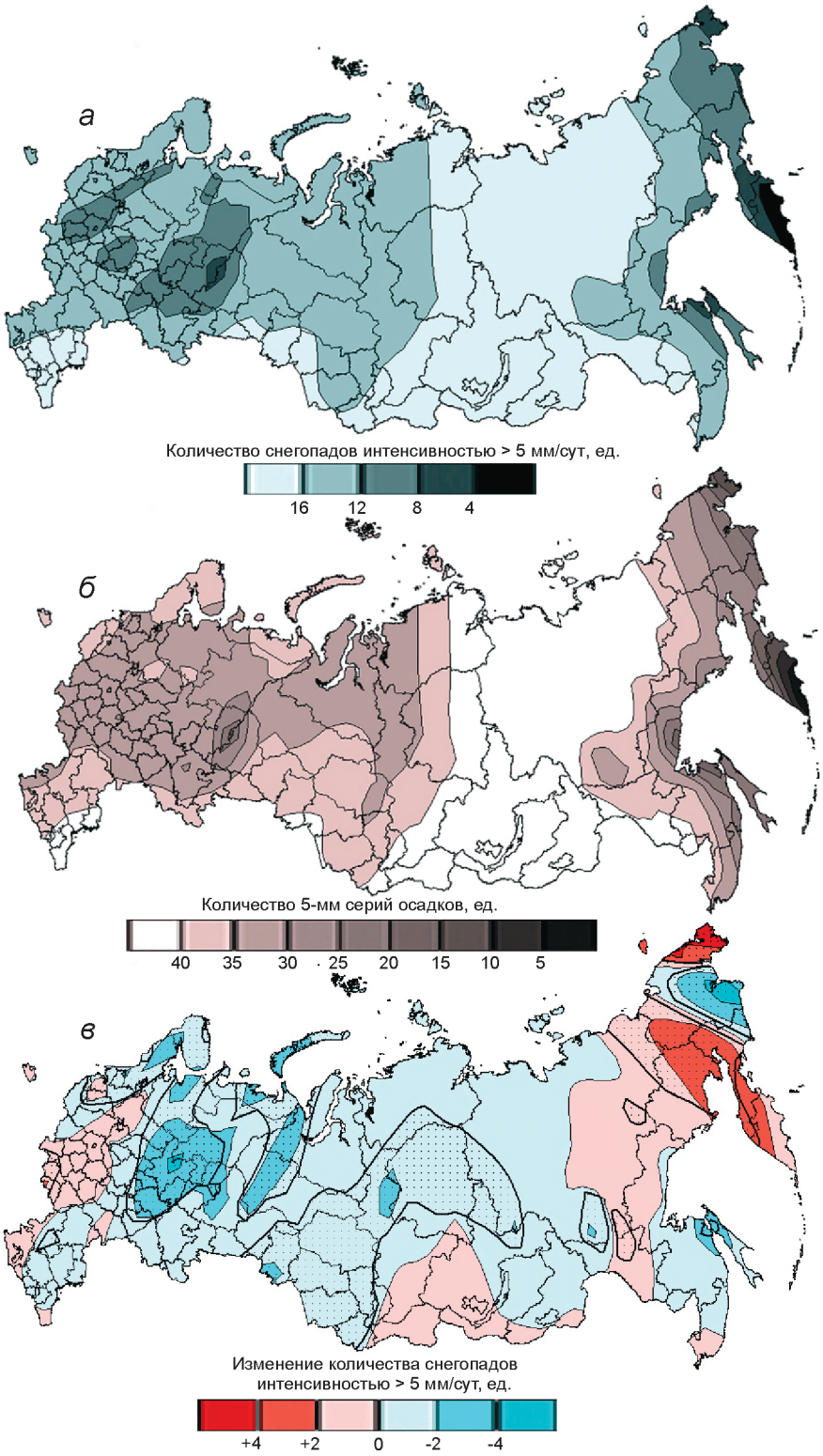


Рис. 4. Среднесезонное число снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут в 1950–2006 гг. (*а*); среднегодовое число 5-миллиметровых серий осадков при отрицательной температуре воздуха за 1950–2006 гг. (*б*); изменение числа снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут в 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. (*в*)

Fig. 4. Mean seasonal number of snowfall events with intensity > 5 mm per day in 1950–2006 (*а*); mean annual number of 5-mm series of precipitation under negative air temperature in 1950–2006 (*б*); change of seasonal number of snowfall events with intensity > 5 mm per day in 1989–2006 as compared to 1950–1980 (*в*)

максимумы роста на востоке Восточно-Европейской равнины, в Западной Сибири и в районе Анадыря, а очаги сокращения – на остальной части севера Восточной Сибири. Таким образом, изменение общего количества осадков холодного периода в гораздо большей степени зависит от изменения числа сильных снегопадов, чем слабых.

Связь изменений характеристик осадков холодного периода с вариациями индексов атмосферной циркуляции. Проанализируем карты распределения коэф-

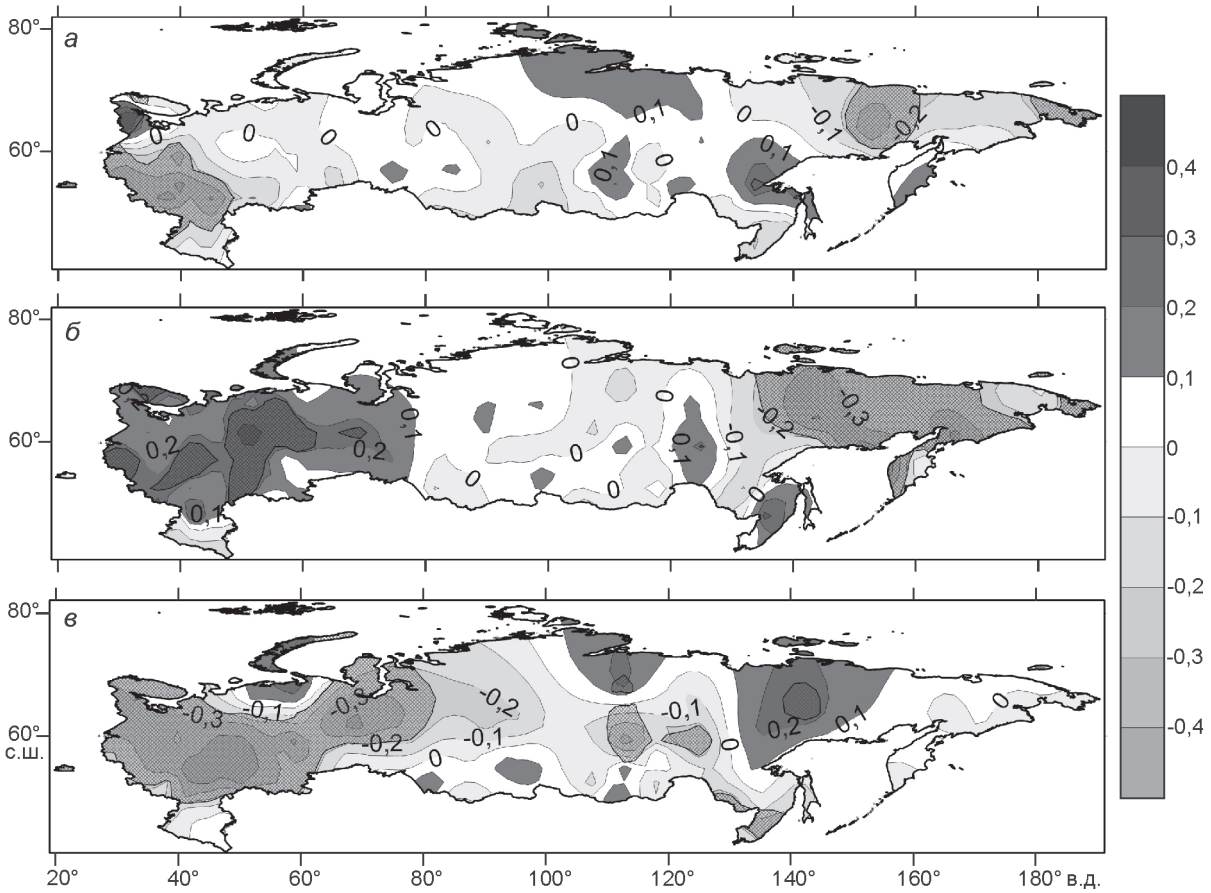


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между сезонной суммой осадков при отрицательной температуре воздуха и индексами NAO' (*а*), PNA (*б*), SCAND (*в*) за 1950–2006 гг.

Fig. 5. Correlation coefficients between seasonal precipitation sum under negative air temperature and indices NAO' (*a*), PNA (*б*), SCAND (*в*) in 1950–2006

фициентов корреляции между количеством осадков при отрицательной температуре воздуха января и индексами атмосферной циркуляции (рис. 5). Район со статистически значимой отрицательной корреляционной связью индекса *NAO*' и осадками – юго-западная половина Восточно-Европейской равнины (см. рис. 5, *а*). Это объясняется тем, что при отрицательной фазе I'_{NAO} градиент давления над Северной Атлантикой падает, ослабевает зональный перенос и усиливается межширотный обмен, при котором траектории средиземноморских и некоторой части атлантических циклонов проходят с юго-запада на северо-восток по территории Русской равнины и вызывают выпадение осадков.

Карелия также находится в зоне статистически значимого влияния NAO'. Здесь эта связь носит положительный характер, обусловленный тем, что при усилении NAO' данный регион оказывается на пути циклонов, проходящих вдоль арктического побережья Евразии. Они препятствуют проникновению арктических вторжений и приносят на север материка осадки и тёплый воздух с Атлантики. Зона отрицательного влияния I'_{NAO} на северо-востоке страны, вероятно, связана с волновой структурой крупномасштабных течений в атмосфере.

Механизм *PNA* проявляется на северо-востоке Восточной Сибири, где при его положительной фазе происходит вынос холодных воздушных масс, приносящих незначительное количество осадков за счёт их небольшого влагосодержания (см. рис. 5, *б*). Поэтому наблюдается отрицательная корреляция индекса PNA с количеством осадков и соответственно с толщиной снежного покрова. Также статистически значимые коэффициенты корреляции наблюдаются на территориях, расположенных между центром Восточно-Европейской равнины и Западной Сибирью, причём максимальные значения отмечаются на востоке Русской равнины, которая при положительной фазе PNA находится в зоне влияния южных циклонов.

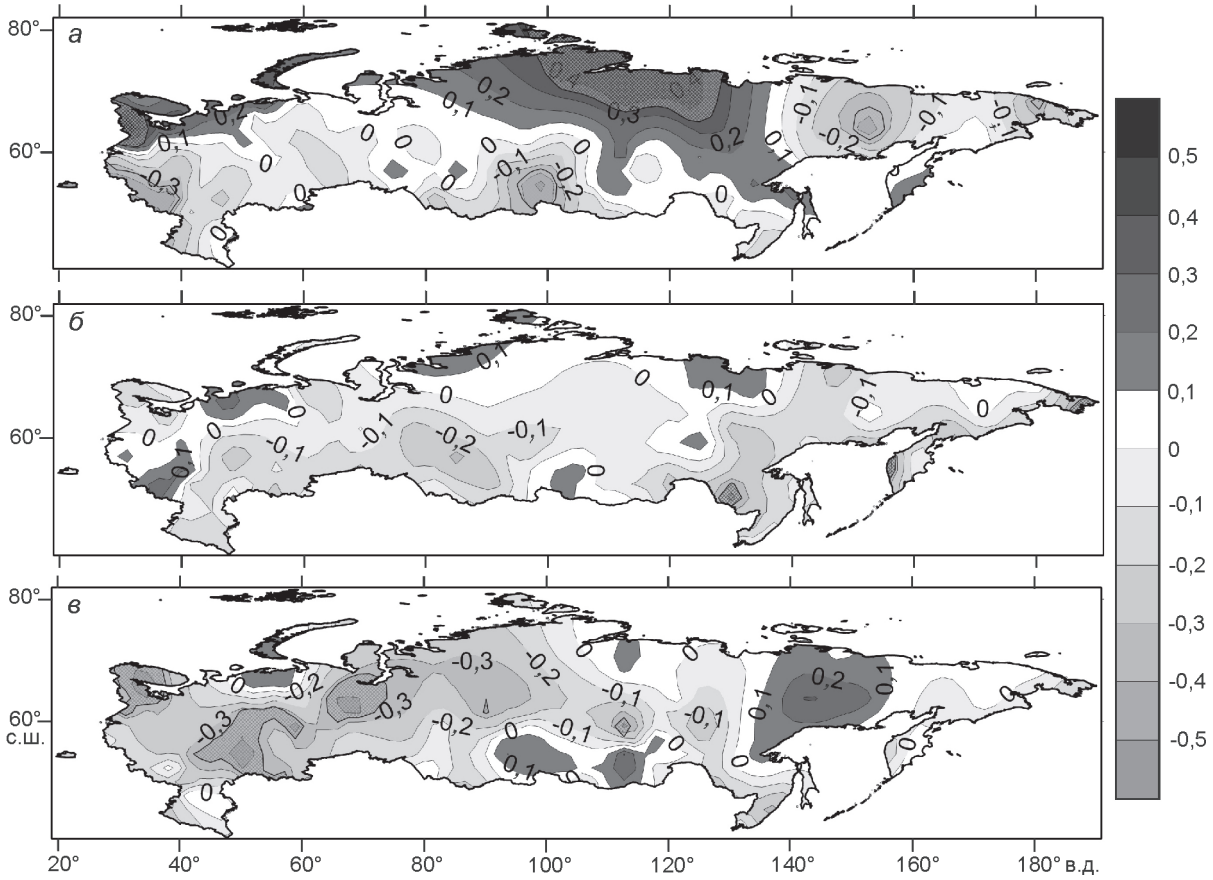


Рис. 6. Коэффициенты корреляции между сезонной суммой осадков при отрицательной температуре воздуха и индексами NAO' (*а*), PNA (*б*), SCAND (*в*) за 1975–2006 гг.
Fig. 6. Correlation coefficients between seasonal precipitation sum under negative air temperature and indices NAO' (*а*), PNA (*б*), SCAND (*в*) in 1975–2006

Скандинавский механизм *SCAND* (см. рис. 5, *в*) проявляется на всей Восточно-Европейской равнине и частично в Западной Сибири (исключение составляют Кубань и Кавказ). Здесь наблюдается отрицательная корреляционная связь с осадками, поскольку при положительной фазе индекса SCAND на эту территорию заходит холодный арктический воздух, не приносящий значительных осадков. Карты средних значений коэффициентов корреляции в 1950–1974 гг. в целом сходны с аналогичными картами за период 1950–2006 гг. (см. рис. 5), поэтому отдельно они не приводятся.

В 1975–2006 гг. по сравнению с 1950–1974 гг. характер связи осадков с вариациями индексов атмосферной циркуляции изменился. Очаг отрицательной связи NAO' с осадками на Восточно-Европейской равнине сократился, но на севере Сибири образовался обширный очаг значимой положительной связи (рис. 6, *а*). Статистически значимого влияния механизма PNA сейчас не прослеживается (см. рис. 6, *б*). Область значимого влияния SCAND сохранилась на востоке Европейской части России и в низовьях Оби, но существенно сократилась по площади (см. рис. 6, *в*).

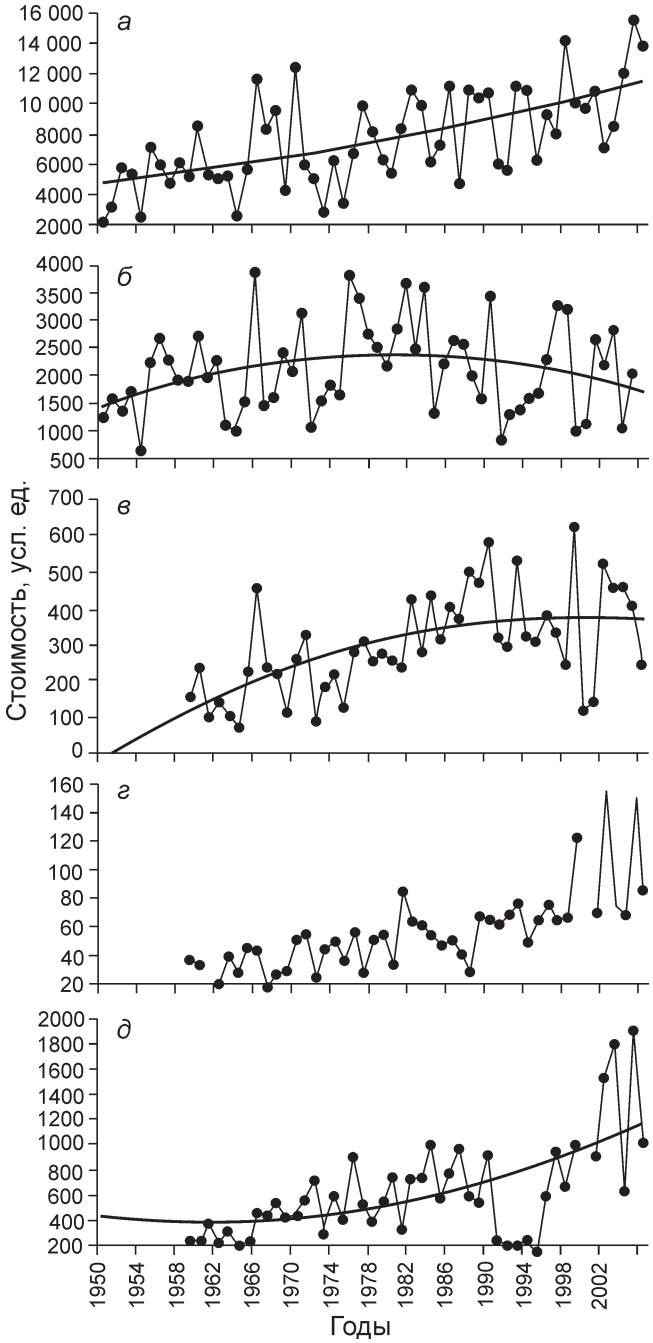
Таким образом, в 1950–1974 гг. в формировании поля характеристик температуры воздуха и осадков января доминировал циркуляционный механизм SCAND, а 1975–2006 гг. были периодом усиления влияния NAO' при уменьшении влияния SCAND. PNA на территории России проявляется не столь значительно, в основном на востоке страны, на юго-востоке Европейской территории России и на Урале. Сходные выводы по влиянию циркуляционных механизмов на температуру воздуха получены в работе [8].

Отражение изменений интенсивности снегопадов и количества осадков, выпадающих в холодный период, в расходах на уборку улиц в ряде городов России. Вышеуказанные параметры использованы нами для оценки условных расходов на уборку снега в Москве, Санкт-Петербурге, Пскове, Ханты-Мансийске и Петропавловске-Камчатском. Тенденции временнóй изменчивости исследуемых параметров для данных пунктов схожи с описанными ранее

Средняя сумма осадков при отрицательной температуре воздуха в разные периоды

Города	Средняя сумма осадков при температуре воздуха более 0 °С, мм	Среднее число снегопадов за зиму при интенсивности осадков, мм/сут		
		0–2	2–5	более 5
Москва	143*/159	66,9/53,2	12,2/14,4	14,3/14,3
Санкт-Петербург	137/106	55,4/53,5	13,4/10,9	11,7/7,5
Псков	110/116	61/44,5	11,8/11,8	7,9/8,8
Ханты-Мансийск	186/201	94,5/89,4	22,4/20,4	11,7/14,8
Петропавловск-Камчатский	325/331	36/51,8	15,9/11,4	48,8/51,9

*В числителе – данные для 1950–1980 гг., в знаменателе – для 1989–2006 гг.



общими тенденциями. Однако есть и некоторые различия, связанные с тем, что при построении карт данные интерполировались по территории страны. В период современного потепления по сравнению с базовым периодом общая сумма зимних осадков значимо изменилась лишь в Санкт-Петербурге. В других городах значимые изменения отмечаются для снегопадов слабой и средней интенсивности, а также для снегопадов с выпадением снега более 5 мм/сут (таблица). При этом в Москве и Пскове число слабых снегопадов (до 2 мм/сут) уменьшилось довольно существенно (с 66,9 за зиму в базовый период до 53,2 в период современного потепления в Москве и с 61 до 44,5 соответственно в Пскове). В Петропавловске-Камчатском их число, напротив, возросло. Число снегопадов интенсивностью 2–5 мм/сут существенно сократилось в Санкт-Петербурге и особенно в Петропавловске-Камчатском, в Москве число таких снегопадов несколько увеличилось. Частота снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут значимо сократилась только в Санкт-Петербурге и несколько возросла в Ханты-Мансийске.

Рассмотрим динамику условных расходов на уборку снега в исследуемых городах (рис. 7). Для Пскова, Ханты-Мансийска и Петропавловска-Камчатского данных по численности населения ранее 1959 г. получить не удалось, поэтому для этого периода расчёт условных расходов отсутствует. В Москве (см. рис. 7, *а*) наблюдается значительный рост расходов на уборку снега, связанный в первую очередь с интенсивным ростом города. В Санкт-Петербурге (см. рис. 7, *б*) отмечается тен-

Рис. 7. Динамика условной стоимости очистки магистралей от снега в 1950–2006 гг.:
а – Москва; *б* – Санкт-Петербург; *в* – Псков; *г* – Ханты-Мансийск; *д* – Петропавловск-Камчатский; приведены полиномиальные тренды 2-й степени

Fig. 7. Changes of conventional costs of the street snow cleaning in 1950–2006:
а – Moscow; *б* – St. Petersburg; *в* – Pskov; *г* – Khanty-Mansiysk; *д* – Petropavlovsk-Kamchatsky; polynomial trends of degree 2 are shown

денция к сокращению затрат на уборку снега примерно с начала 1980-х годов. При этом рост численности населения в этом городе прекратился в 1989 г., поэтому длина дорог в 1989–2005 гг. принималась постоянной. Таким образом, в Санкт-Петербурге в период современного потепления главную роль играет метеорологический фактор общего сокращения количества выпадающих зимой осадков при постоянстве социально-экономического фактора. Однако в 1980-е годы расходы на очистку магистралей от снега, а следовательно, и убираемой площади города снижались, хотя был ещё период роста населения. В этот период метеорологический фактор перевешивал социально-экономический. В зимы 2009–2011 гг. в Петербурге снега выпадает больше нормы, но данные за эти годы не учитывались при анализе.

Условные расходы на уборку снега ещё до периода современного потепления в Пскове росли, однако значимых изменений в отношении суточной интенсивности снегопадов, влияющей на работу снегоуборочной техники (снегопады интенсивностью свыше 2 мм/сут), не произошло. При этом численность населения с 1989 г. сокращается с соответствующей стабилизацией длины магистралей, поэтому изменения в расходах связаны именно с социально-экономическими причинами (рост города до конца 1980-х годов и последующая его стабилизация). В Ханты-Мансийске значительно увеличиваются расходы на уборку снега одновременно с интенсивным ростом города при незначимом изменении количества снега и суточной интенсивности снегопадов (растёт только число сильных снегопадов при сокращении снегопадов слабой и средней интенсивности), поэтому здесь главную роль играет социально-экономический фактор. В Петропавловске-Камчатском также наблюдается рост расходов на уборку снега при сокращении численности населения после 1989 г., что, безусловно, определяется значимым увеличением числа снегопадов интенсивностью 2–5 мм/сут, особенно заметным после 2000 г.

Таким образом, климатический фактор сыграл существенную роль в изменении условных расходов на уборку снега в Санкт-Петербурге и Петропавловске-Камчатском, причём в Санкт-Петербурге в 1980-х годах он преобладал над социально-экономическим фактором роста населения (и, следовательно, общей площади убираемых дорог).

Выводы

1. Общее количество осадков при отрицательной температуре воздуха в большей степени зависит от экстремальных снегопадов, чем от слабых; распределение числа слабых снегопадов определяется в основном температурными факторами, сильных – факторами выпадения осадков.

2. При общей тенденции к увеличению количества снега на территории России за 1989–2006 гг. по сравнению с 1950–1980 гг. уменьшилось число слабых снегопадов, статистически значимое на большей части территории страны; число снегопадов средней и большой интенсивности увеличилось на востоке Русской равнины и в Западной Сибири и уменьшилось на северо-востоке Сибири.

3. В 1950–1974 гг. в формировании поля характеристик осадков января доминировал циркуляционный механизм SCAND. 1975–2006 гг. были периодом усиления положительной фазы NAO' при сохранении сильного влияния SCAND. PNA на территории России проявляется не столь значительно, в основном на востоке страны, а также на юго-востоке Европейской части России и на Урале.

4. В Москве и Ханты-Мансийске наблюдается рост условных расходов на уборку магистралей от снега, связанный с интенсивным развитием этих городов. В Санкт-Петербурге и Петропавловске-Камчатском условные расходы на уборку снега сокращаются (без учёта зим 2009–2011 гг.). В этих городах существенную роль в изменении данного экономического показателя сыграл метеорологический фактор. В Санкт-Петербурге в 1980-х годах он преобладал над социально-экономическим фактором роста населения города. В Пскове наблюдалась тенденция роста расходов на уборку снега до конца 1980-х годов и их стабилизация после, что связано с сокращением численности населения, прекращением роста протяжённости магистралей и слабыми изменениями в числе снегопадов.

Работа выполнена при поддержке программы № 12 Отделения наук о Земле РАН (2009–2011 гг.) и РФФИ (грант № 11-05-00573).

Литература

1. Атлас сельского хозяйства СССР. М.: изд. ГУГК, 1960. 309 с.
2. *Киктев Д.Б., Секстон Д.М., Александер Л.В., Фолланд К.К.* Тренды в полях годовых экстремумов осадков и приземной температуры во второй половине 20-го века // Метеорология и гидрология. 2002. № 11. С. 13–24.
3. *Корецкий В.Е., Павлов Н.В.* Зимняя уборка магистралей города. М.: Прима-Пресс-М, 2002. 36 с.
4. *Кренке А.Н., Китаев Л.М., Разуваев В.Н.* Снежность на территории СНГ и его регионов в условиях глобального потепления // Криосфера Земли. 2000. Т. 4. № 4. С. 97–106.
5. *Ляхов А.А., Тимофеев И.Ю.* Влияние экстремальных гидрометеорологических условий на эффективность

хозяйственной деятельности жилищно-коммунальной отрасли в мегаполисах // Междунар. конфер. по проблемам гидрометеорол. безопасности (прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям). Тез. пленарных докл. М.: Триада ЛТД, 2006. С. 25.

6. *Попова В.В.* Структура многолетних изменений снегонакопления, их связь с макромасштабной атмосферной циркуляцией и проявление в речном стоке // Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. М.: Наука, 2006. С. 30–50.
7. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий зимней температуры воздуха в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 15–24.
8. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 2. С. 15–29.
9. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2005 г. М.: изд. Росстата, 2006. 353 с.
10. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы: В 2 т. / Под ред. А.А. Исаева. М.: изд. МГУ, 2003–2005. Т. 1. 2003. 304 с.; Т. 2. 2005. 410 с.
11. *Хандожко Л.А.* Экономическая метеорология Л.: Гидрометеоиздат, 2005. 490 с.
12. *Шмакин А.Б.* Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Лёд и Снег. 2010. № 1 (109). С. 43–57.
13. *Шмакин А.Б., Попова В.В.* Динамика климатических экстремумов в Северной Евразии в конце XX века // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 157–166.
14. *Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M.* North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms // Intern. Journ. of Climatology. 2001. V. 21. P. 1863–1898.
15. *Popova V.V.* Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes // Intern. Journ. of Climatology. 2007. V. 27. P. 1721–1733.
16. *Wallace J.M.* Observed climatic variability: spatial structure // Decadal Climatic Variability / Eds: D.L.T. Anderson, J. Willebrand. Berlin: Springer, 1996. P. 31–81.
17. *Watanabe M., Nitta T.S.* Decadal Changes in the Atmospheric Circulation and Associated Surface Climate Variations in the North Hemisphere Winter // Journ. of Climate. 1999. V. 12. № 2. P. 494–510.

Summary

The research results of cold season precipitation characteristics and their changes over Russia in 1950–2006, as well as their reflecting relation to conventional snow cleaning costs are reported. The changes of the amount of precipitation under negative air temperature, number of days with weak (0–2 mm/day), medium (2–5 mm/day), extreme (more 5 mm/day) snowfalls, and number of 5mm-precipitation series in Russia are explored. The tendency of snow amount increase in (1989–2006) as compared with (1950–1980) has been detected on almost entire territory of the country. The number of weak snowfalls increased statistically significantly over the most part of Russia. The number of medium and heavy snowfalls increased in the east of the European Russia and in the west of Siberia, and reduced in the northeast of Siberia. The cause of applied climate characteristics' changes during the investigated period may be the variation of atmospheric circulation mechanisms, which occurred in the middle of 1970s. The circulation mechanism SCAND dominated in the formation of precipitation field in 1950–1974, while positive phase of NAO' and its influence on winter precipitation became stronger in 1975–2006. The snow cleaning conventional costs increased in Moscow and Khanty-Mansiysk because of intensive development of the cities. The snow cleaning conventional costs decreased in St. Petersburg and Petropavlovsk-Kamchatsky, and the meteorological factor played significant role in that.