

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 911.6–911.7

DOI: 10.15372/KZ20210304

**СОПРЯЖЕННОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА,
ТОЛЩИНЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ****Л.М. Китаев***Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия; lkitaev@mail.ru*

Цель исследований состояла в оценке характера пространственно-временной динамики температурного режима почвы в условиях изменений снежного покрова и температуры почвы последних десятилетий на основе локальных и региональных данных для Восточно-Европейской равнины (российская часть). Выделены типичные для исследуемой территории фазы изменений температуры почвы, толщины снега и приземной температуры воздуха. Значимые многолетние тенденции хода температуры почвы характерны для малоснежных осеннего и весеннего периодов, как и значимая в эти периоды корреляционная связь температуры почвы и температуры воздуха (при отсутствии статистических связей в снежный период). Выявлено резкое снижение сезонной и межгодовой вариабельности температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом относительно вариабельности приземной температуры воздуха (в 3–5 раз) и температуры почвы в предзимний и весенний периоды (в 1.3–2.5 раза). Установлено, что появление в зимний сезон устойчивого снежного покрова определяет изменение температуры почвы в узком коридоре околонулевых значений, малые или незначимые коэффициенты линейного тренда, малую сезонную и межгодовую вариабельность, отсутствие статистических связей с динамикой толщины снега и приземной температуры воздуха как на локальном, так и на региональном уровнях на Восточно-Европейской равнине.

Ключевые слова: *толщина снега, приземная температура воздуха, температура почвы, пространственное распределение, многолетний ход.*

**CONJUNCTION OF CHANGES IN AIR TEMPERATURE, SNOW COVER
THICKNESS AND SOIL TEMPERATURE OF EAST EUROPEAN PLAIN****L.M. Kitaev***Institute of Geography, RAS, Staromonetny per. 29, Moscow, 119017, Russia; lkitaev@mail.ru*

The main goal of the research is to assess the nature of the spatio-temporal changes in the temperature regime of the soil of the East European Plain (Russian part) under the conditions of changes in snow cover and soil temperature in recent decades – at the local and regional levels. The phases of changes in soil temperature, snow thickness, and surface air temperature, typical for the study area, have been identified. Significant long-term tendencies in the progress of in soil temperature are characteristic of low-snow autumn and spring periods, as well as a significant correlation between soil temperature and air temperature during those periods in the absence of statistical relationships during the snow season. A sharp decrease in the seasonal and inter-annual variability of soil temperature in the period with stable snow cover has been revealed – by 3–5 times relative to the variability of the surface air temperature, and by 1.3–2.5 times relative to the variability of soil temperature in the pre-winter and spring periods with a progress of changes. Thus, the appearance of stable snow cover in the winter season determines the progress of soil temperature within a narrow corridor of near-zero values, low or insignificant coefficients of the linear trend, low seasonal and inter-annual variability, the absence of statistical relationships with the course of changes in snow thickness and surface air temperature – both at the local, and at the regional levels of the East European Plain.

Key words: *snow thickness, surface air temperature, soil temperature, spatial distribution, multiyear progress.*

ВВЕДЕНИЕ

Снежный покров, занимающий в холодный период года значительную территорию в Северном полушарии, играет здесь роль связующего звена между изменчивостью климата и состоянием поверхности суши. Как зависимый от атмосферных явлений параметр, снежный покров ока-

зывает существенное влияние на гидрологические процессы [Львович, 1963, 1986], на состояние почвы и растительности [Ваганов и др., 1996; Николаев, Скачков, 2012]. В то же время пространственная неоднородность залегания снежного покрова и его низкое альbedo определяют особенности ра-

диационного баланса и метеорологического режима. Взаимосвязь термики верхних слоев почвы и снежной толщи во многом определяют склоновый сток весной и состояние биоты. В 1954 г. В.А. Кудрявцевым была предложена система уравнений, описывающих процесс теплообмена в цепочке “грунт–снежный покров–атмосфера” [Кудрявцев, 1954]. Подобные работы проводились как для зоны сезонного промерзания почвогрунтов [Сократов и др., 2001; Осокин, Сосновский, 2015; Sokratov, Barry, 2002], так и для территорий с вечной мерзлотой [Павлов, 2008; Aalstad et al., 2018], в результате исследований уточнялся механизм промерзания почвы в условиях потепления второй половины XX–начала XXI вв.

Вместе с тем соотношение сезонного хода приземной температуры воздуха, толщины снега и температуры почвы неоднозначно и изучено недостаточно, особенно на уровне региональных пространственно-временных обобщений, хотя данный вопрос имеет важное значение, в частности, при модельных расчетах снегозапасов с использованием спутниковых данных [Китаев и др., 2012; Aalstad et al., 2018]. Выявлено наиболее тесное взаимодействие исследуемых параметров в начале снежного периода [Павлов, 2008; Осокин, Сосновский, 2015]. В.И. Слепцов с соавторами предложили алгоритм расчета количества циклов замерзания и оттаивания мерзлых грунтов в связи с изменениями температуры воздуха, но только для осеннего и весеннего малоснежных периодов в Центральной Якутии [Слепцов и др., 2012], при этом были недостаточно проанализированы региональные различия сопряженности хода характеристик.

Основная цель работы состоит в оценке характера пространственно-временных изменений температурного режима почвы в условиях изменений снежного покрова и приземной температуры воздуха последних десятилетий на локальном и региональном уровнях на Восточно-Европейской равнине.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Ранее авторами был выполнен анализ результатов наблюдений сезонной изменчивости приземной температуры воздуха, толщины снежного покрова и температуры почвы в Приокско-террасном и Центрально-лесном заповедниках (Московская и Тверская области) для холодного периода 2013/14, 2014/15 и 2015/16 гг. [Китаев и др., 2017]. Так, по данным наблюдений на экспериментальных площадках в лесных массивах с преобладанием лиственных и хвойных пород, а также на открытых пространствах в осенне-зимне-весенний период года были выделены однотипные фазы изменений температуры почвы в условиях сезонного хода приземной температуры воздуха и толщины

снега. Выявлена малая изменчивость температуры почвы на глубине до 40 см в период с устойчивым снежным покровом (1.0...–1.0 °С), что, возможно, говорит о снижении в этот период зависимости температуры почвы от изменений толщины снега и колебаний приземной температуры воздуха ввиду теплоизолирующих свойств снега. Аналогичные результаты были получены по данным наблюдений метеостанций Великие Луки и Тула. Расстояния между ними и заповедниками соответственно 150 км к югу и 100 км к северу и расстояния между крайними объектами наблюдений около 750 км с севера на юг.

Логичным продолжением проведенных работ можно считать переход от локального пространственного уровня к уровню региональному – к исследованию взаимосвязи пространственно-временных изменений температуры почвы, толщины снежного покрова и приземной температуры воздуха в различных климатических условиях Восточно-Европейской равнины. В данном случае не рассматривались территории южнее широты 50° ввиду возможного возникновения ошибок при статистическом анализе небольших снегозапасов на равнине и весьма неравномерного распределения снежного покрова и промерзания почвы в горах. В качестве исходной информации использованы суточные данные: приземная температура воздуха, толщина снежного покрова, температура почвы и степень покрытия территории снежным покровом по 10-балльной шкале – по материалам наблюдений на 75 метеостанциях Росгидромета [www.meteo.ru] с наиболее длинными синхронными рядами характеристик (1989–2015 гг.). Исследуется период года, объединяющий зимнее время с устойчивым снежным покровом (декабрь–март), малоснежные предзимье (октябрь–ноябрь) и весну (апрель–май). Преимущество результатов проведенных ранее локальных исследований и представляемых здесь обобщений регионального уровня основана на использовании единых методик Росгидромета при измерениях приземной температуры воздуха и толщины снега [Наставление..., 1985].

Наблюдения за ходом температуры почвы в заповедниках проводились с использованием автоматических датчиков (логгеров) на глубинах 10, 20 и 40 см, на метеостанциях – вытяжными термометрами на глубинах 20, 40 и 80 см. Анализ данных наблюдений в заповедниках и на метеостанциях Великие Луки и Тула показали отсутствие значимых различий замеров автоматическими датчиками и вытяжными термометрами для температуры почвы до глубины 40 см [Китаев и др., 2017]. Используемые данные метеостанций о температуре почвы на глубине 80 см привлекаются как дополнительная информация для анализа. В результате было принято решение о возможно-

сти обобщения результатов локальных (данных заповедников) и региональных (данных метеостанций) наблюдений.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ, СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Как показали результаты экспериментальных работ, на характерных участках Приокско-террасного и Центрально-лесного заповедников (2014–2016 гг.) температуры почвы на глубине до 40 см в период с устойчивым снежным покровом изменяются в диапазоне от -1.0 до 1.0 °C при малых различиях средних величин и стандартного отклонения (табл. 1) [Китаев и др., 2017].

Аналогичные соотношения изменений параметров показывают среднесуточные данные по 75 метеостанциям Восточно-Европейской равнины. В качестве примера автором рассматриваются осредненные за период 1989–2015 гг. суточные значения характеристик метеорологических станций, расположенных в разных климатических зонах: Нарьян-Мар (лесотундра), Сыктывкар (тайга) и Валуйки (лесостепь). Представленные на рис. 1 графики сезонного хода характеристик каждой из трех станции, полученные путем осреднения суточных значений для периода 1989–2015 гг., в целом соответствуют полученным ранее законо-

мерностям для Приокско-террасного и Центрально-лесного заповедников (центр Восточно-Европейской равнины). Прослеживается та же смена фаз в сезонном ходе: медленное, синхронное приземной температуре воздуха снижение температуры почвы во время установления снежного покрова; зеркальная трансформация температурного профиля почвы (нижние слои почвы становятся более теплыми по отношению к верхним); малая вариабельность температуры почвы при устойчивом снежном покрове; в процессе разрушения снежного покрова верхние слои вновь становятся более теплыми, чем нижние; повышение температуры почвы синхронно приземной температуре воздуха во время разрушения снежного покрова и его окончательного схода.

Подобно ранее полученным результатам [Там же], для всех исследуемых точек характерно относительно медленное, аналогично ходу приземной температуры, снижение температуры почвы осенью и более быстрое повышение температур весной (см. рис. 1), что соответствует выводу А.И. Воейкова о том, что согревающее влияние снежной толщи превосходит по времени воздействия охлаждающее влияние [Воейков, 1957].

В период с устойчивым снежным покровом температура почвы на глубине до 40 см также имеет незначительные колебания в диапазоне 2.0–

Локальная изменчивость температуры почвы, толщины снежного покрова и приземной температуры воздуха в период с устойчивым снежным покровом

Участок	Год	Температура воздуха, °C	Температура почвы, °C	Толщина снега, см
<i>Центрально-лесной заповедник</i>				
Лесной массив с преобладанием лиственных пород	2014/15	-4.1/7.4	0.1/0.6	11/3
	2015/16	-2.1/5.3	0.7/0.4	37/18
	2016/17	-4.9/7.2	0.5/0.5	30/13
Открытое пространство	2014/15	-4.1/7.4	-0.1/0.6	14/5
	2015/16	-2.1/5.3	-0.5/0.6	29/20
	2016/17	-4.9/7.2	0.5/0.4	29/3
Лесной массив с преобладанием хвойных пород	2014/15	-4.1/7.4	-0.4/0.6	9/3
	2015/16	-2.1/5.3	0.5/0.5	32/16
	2016/17	-4.9/7.2	0.6/0.3	35/11
<i>Приокско-террасный заповедник</i>				
Лесной массив с преобладанием лиственных пород	2014/15	-3.7/9.1	0.0/0.5	20/6
	2015/16	-3.1/5.4	-0.2/0.6	21/7
	2016/17	-2.7/5.6	0.1/0.3	27/8
Открытое пространство	2014/15	-3.7/9.1	-0.2/0.5	12/8
	2015/16	-3.1/5.4	0.0/0.3	12/6
	2016/17	-2.7/5.6	-0.2/0.4	21/9
Лесной массив с преобладанием хвойных пород	2014/15	-3.7/9.1	0.6/0.6	7/4
	2015/16	-3.1/5.4	0.1/0.4	13/6
	2016/17	-2.7/5.0	0.2/0.6	21/7

Примечание. Значения: среднее/стандартное отклонение (при покрытии территории снегом в 10 баллов).

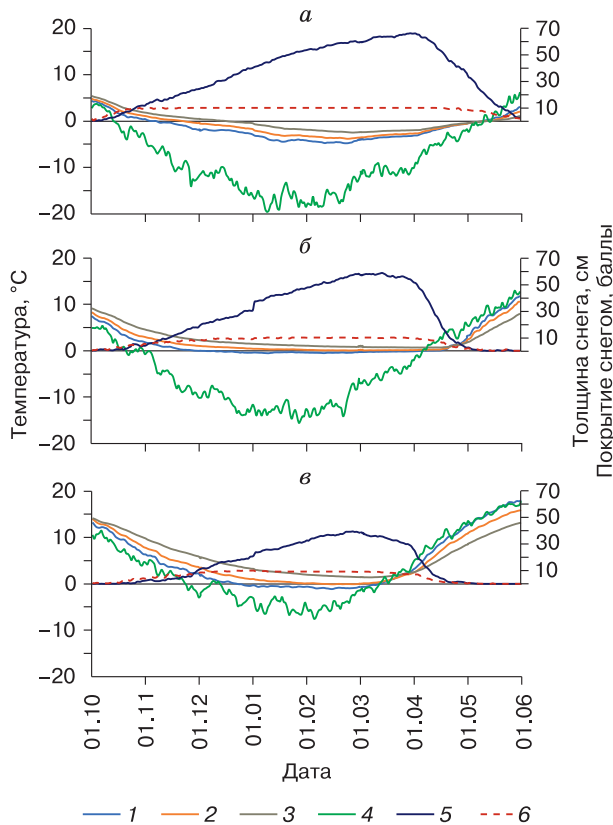


Рис. 1. Сезонный ход осредненных за 1989–2015 гг. температуры почвы на глубинах 20 см (1), 40 см (2) и 80 см (3), приземной температуры воздуха (4), толщины снега (5) и степени покрытия территории снежным покровом (6).

a – Нарьян-Мар (лесотундра); *б* – Сыктывкар (тайга); *в* – Валуйки (лесостепь).

3.0 °C в околонулевой зоне: при медленном повышении температуры почвы от –5.0...–2.0 °C на севере (Нарьян-Мар) до –1.5...0 °C на юге (Валуйки). При этом средняя за период с устойчивым снежным покровом приземная температура воздуха изменяется от –14 до –2 °C, а толщина снежного покрова – от 50 до 28 см.

Анализ полученных ранее закономерностей [Китаев и др., 2017] показал, что в целом для региона диапазон пространственных различий температуры почвы на глубине до 40 см в снежный период невелик (от –1.5 до +1.5 °C) при большем (в несколько раз) диапазоне пространственных изменений температуры почвы осенью и весной (рис. 2). Малый диапазон региональных пространственных изменений температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом происходит на фоне заметных, в основном зональных, изменений высоты снежного покрова (от 15 до 60 см) и приземной температуры воздуха (от –15 до –30 °C).

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ, СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Наличие в открытом доступе данных наблюдений с 1989 по 2015 г. позволяет оценить не только сезонные, но и многолетние характеристики изменений исследуемых параметров. На рис. 2 видно, что стандартное отклонение многолетнего хода температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом ниже стандартного отклонения предзимья и весны. Осредненное по территории стандартное отклонение температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом на глубинах 20, 40 и 80 см составляет 0.73, 0.71 и 0.53 °C при стандартном отклонении приземной температуры воздуха 2.5 °C. В малоснежные предзимний и весенний периоды стандартное отклонение температуры почвы составляет соответственно 0.93, 0.89, 1.36 °C и 1.1, 0.92, 1.03 °C, приземной температуры воздуха равно 1.9–1.6 °C. Следовательно, устойчивый снежный покров определяет и малую межгодовую вариабельность температуры почвы снежного периода: в 3–5 раз меньшую вариабельности приземной температуры воздуха и в 1.3–2.5 раза меньшую вариабельности температуры почвы в предзимний и весенний периоды. Полученные результаты соответствуют, в частности, выводу А.В. Павлова о изменчивости температуры сезонномерзлых почвогрунтов в начале снежного периода [Павлов, 2008].

Как видно из рис. 2, в сравнении с осенним и весенним периодами многолетние тенденции температуры почвы в зимний период со снежным покровом малозначимы (различие в 2–6.5 раза) (см. рис. 2), что совпадает с выводами А.Б. Шерстюкова [2008]. Среднемноголетние значения температуры почвы для глубин 20, 40 и 80 см различаются по сезонам следующим образом: осень 0.062, 0.070 и 0.056 °C/год; зима –0.009, 0.035 и 0.048 °C/год; весна 0.022, 0.061 и 0.049 °C/год.

Для каждой метеорологической станции рассчитаны коэффициенты корреляции многолетнего хода (1989–2015 гг.) температуры почвы и приземной температуры воздуха – средних за октябрь–ноябрь, декабрь–март, апрель–май. В качестве примера на рис. 3 приведено пространственное распределение коэффициентов корреляции температур на глубине 40 см. Корреляция многолетнего хода температур при отсутствии снега осенью и весной значима в положительном диапазоне коэффициентов корреляции (0.49–0.88) прежде всего на северо-западе Восточно-Европейской равнины. Можно предположить, что широтные различия в тесноте связей определяются разницей водно-физических свойств почвы, в частности динамикой увлажнения почв. Связи

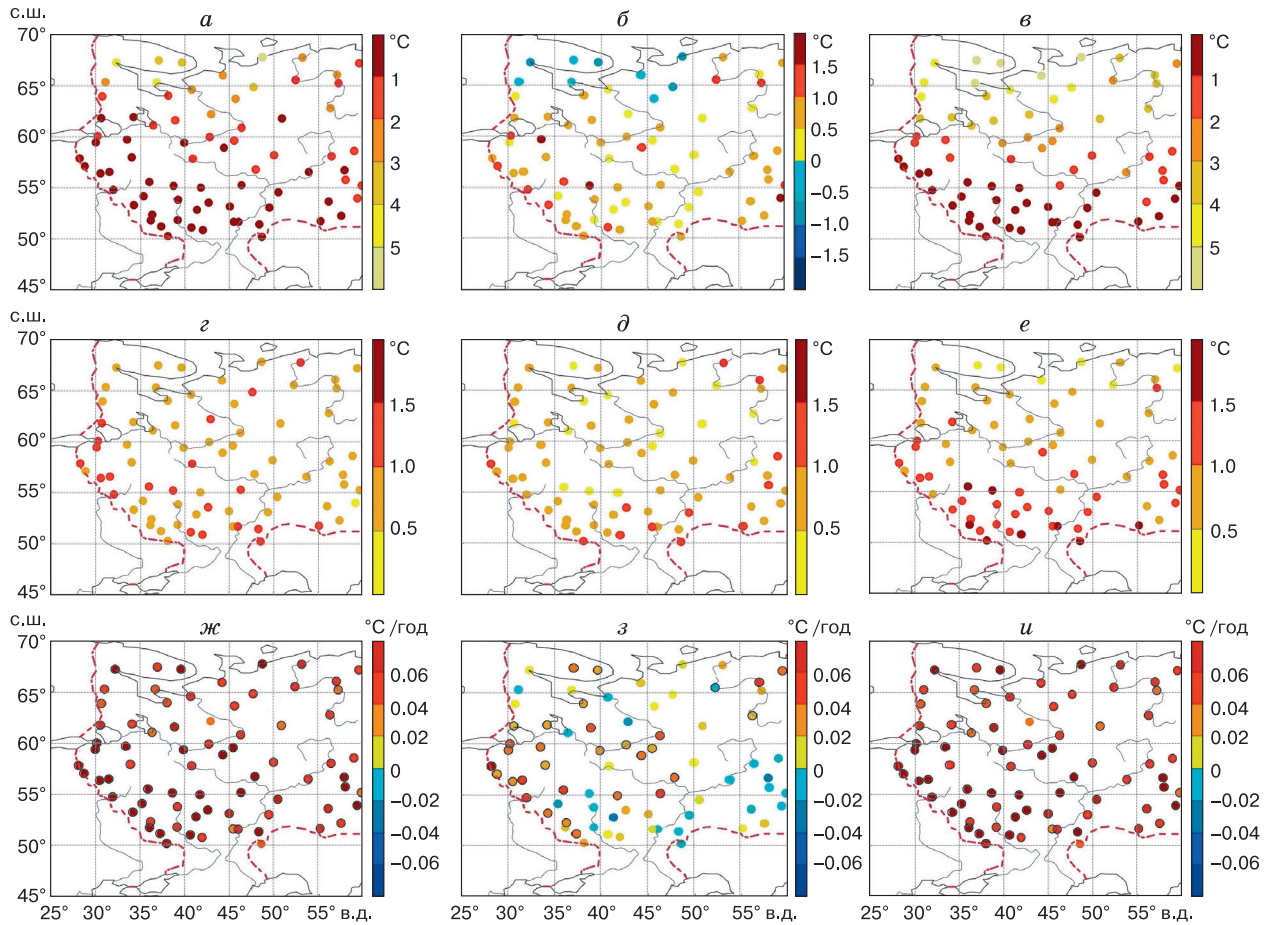


Рис. 2. Пространственное распределение характеристик температуры почвы для глубины 40 см на период 1989–2015 гг.:

а–в – среднее, октябрь–ноябрь (*а*), декабрь–март (*б*), апрель–май (*в*); *г–е* – стандартное отклонение, октябрь–ноябрь (*г*), декабрь–март (*д*), апрель–май (*е*); *ж–и* – коэффициент линейного тренда, октябрь–ноябрь (*ж*), декабрь–март (*з*), апрель–май (*и*).

межгодовой изменчивости температур в период с декабря по март незначимы практически повсеместно, ввиду исключительно малой вариабельности температуры почвы в период со снежным покровом из-за теплоизолирующих свойств снега.

ВЫВОДЫ

На основе анализа данных наблюдений на 75 метеорологических станциях в период 1989–2015 гг. проведена количественная оценка взаимосвязи локальной и региональной изменчивости температурного режима почвы, толщины снежного покрова и приземной температуры воздуха в условиях Восточно-Европейской равнины.

Выявлены характерные для исследуемой территории фазы сезонного хода температуры почвы в условиях сезонной изменчивости толщины снежного покрова и приземной температуры воздуха. Скорость снижения температур воздуха и

почвы в период формирования снежного покрова осенью ниже скорости повышения температур во время разрушения снежного покрова весной. Определены пределы изменений температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом: незначительные колебания температуры почвы происходят в диапазоне 2.0–3.0 °C в области околонулевых значений, сам же диапазон в своих границах незначительно (на доли градуса) сдвигается от отрицательной области температур к положительной, на фоне существенных широтных изменений приземной температуры воздуха и толщины снега.

В целом для региона диапазон пространственных различий температуры почвы в снежный период невелик: для глубин до 40 см – от –1.5 до +1.5 °C, на глубине 80 см – от 0.5 до 2.0 °C, при существенно меньших значениях осенью и весной. Стандартное отклонение многолетнего хода тем-

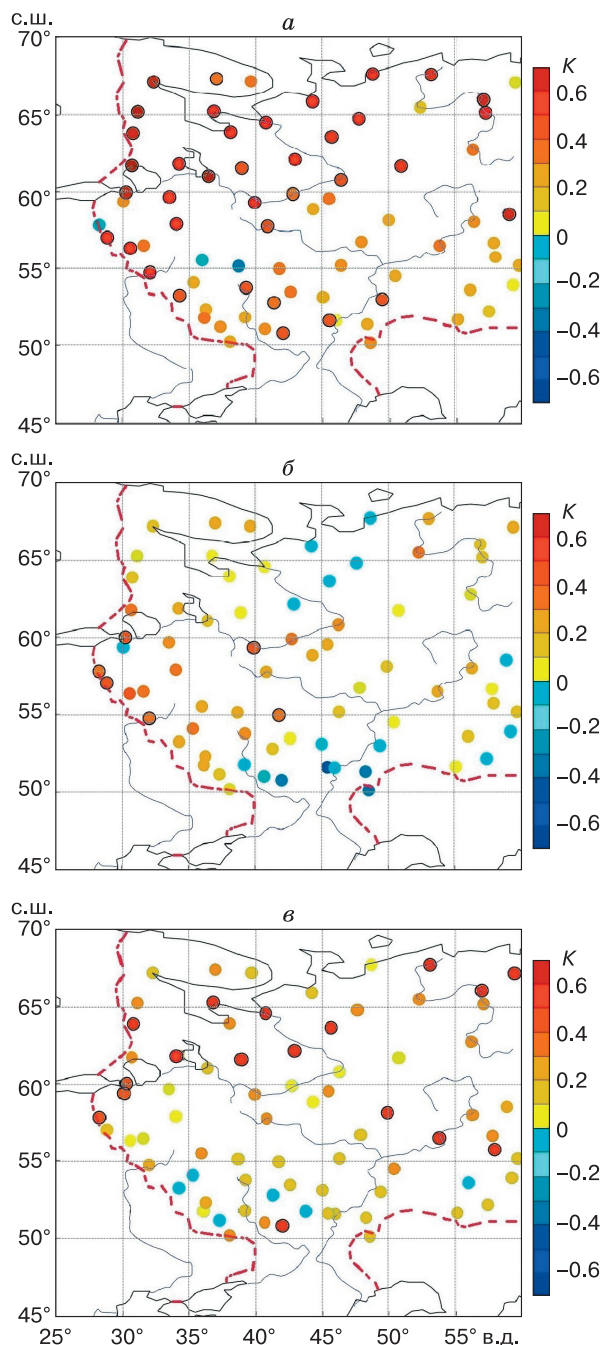


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов корреляции (K) многолетнего хода приземной температуры воздуха и температуры почвы на глубине 40 см.

a – октябрь–ноябрь; *б* – декабрь–март; *в* – апрель–май. Кружками выделены значимые коэффициенты.

температуры почвы в малоснежные периоды предзимья и весны повсеместно больше стандартного отклонения температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом. Появление снега опре-

деляет снижение межгодовой вариабельности температуры почвы в 3–5 раз относительно вариабельности приземной температуры воздуха и в 1.3–2.5 раза относительно вариабельности температуры почвы в предзимний и весенний периоды. Таким образом, устойчивый снежный покров в значительной степени нивелирует общепринятую связь между температурой воздуха и температурой почвы.

Многолетние тенденции в изменениях температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом малозначимы, достаточно однородны в пространственном распределении и имеют коэффициенты линейного тренда в 2–6.5 раза меньше коэффициентов осеннего и весеннего периодов.

Связь межгодовой изменчивости температуры почвы с изменчивостью климата в период с октября по май также неоднозначна. Значимые коэффициенты корреляции многолетнего хода температуры почвы на глубине до 40 см и приземной температуры воздуха характерны только для осени и весны (0.49–0.55), будучи в основном незначимыми по всей территории Восточно-Европейской равнины в снежный период, при повсеместно малой или незначимой связи с ходом изменений толщины снега.

Таким образом, появление в холодный сезон устойчивого снежного покрова определяет для температуры почвы динамику в узком коридоре околонулевых значений, малые или незначимые коэффициенты линейного тренда, малую сезонную и межгодовую вариабельность, отсутствие статистических связей с изменениями толщины снега и приземной температуры воздуха на локальном и региональном уровнях на Восточно-Европейской равнине.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-55-00007 (сбор, обработка и первичный анализ исходной информации)) и в рамках темы 0148-2019-0009 “Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России” Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (интерпретация результатов анализа).

Литература

- Ваганов Е.А. Дендроклиматологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. Новосибирск, Наука, 1996, 246 с.
- Воейков А.И. Избранные сочинения. Л., Гидрометеиздат, 1957, 259 с.
- Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.А. и др. Сезонная динамика температуры воздуха, снеготолщин и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины // Лед и снег, 2017, т. 57, № 4, с. 518–526.
- Китаев Л.М., Боярский Д.А., Титкова Т.Б., Комарова Н.Ю. Снежный покров Восточно-Европейской равнины

по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*, 2012, т. 9, № 1, с. 249–258.

Кудрявцев В.А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. М., Изд-во АН СССР, 1954, 182 с.

Львович М.И. Человек и воды. М., Географгиз, 1963, 568 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М., Мысль, 1986, 253 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеоиздат, 1985, 299 с.

Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии // *Журн. Сиб. федерал. ун-та. Сер. Биология*, 2012, № 5, с. 43–51.

Осокин Н.И., Сосновский А.В. Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта // *Криосфера Земли*, 2015, т. XIX, № 1, с. 99–105.

Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2008, 230 с.

Слепцов В.И., Мордовской С.Д., Петров Е.Е. Расчет количества циклов заморозания–оттаивания породного массива для условий Центральной Якутии на горизонтальных поверхностях // *Горн. информ.-аналит. бюл.*, 2012, № 9, с. 101–105.

Сократов С.А., Голубев В.Н., Барри Р.Г. Влияние климатических колебаний на теплоизолирующую роль снежного покрова и термический режим грунтов // *Криосфера Земли*, 2001, т. V, № 2, с. 83–91.

Шерстников А.Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // *Криосфера Земли*, 2008, т. XII, № 1, с. 79–87.

Aalstad K., Westermann S., Schuler T.V. et al. Ensemble-based assimilation of fractional snow-covered area satellite retrievals to estimate the snow distribution at Arctic sites // *The Cryosphere*, 2018, No. 12, p. 247–270.

Sokratov S.A., Barry R.G. Intraseasonal variation in the thermoinsulation effect of snow cover on soil temperatures and energy balance // *J. Geophys. Res.*, 2002, vol. 107 (D9–D10), p. 13-1–13-6.

URL: www.meteo.ru (дата обращения: 15.01.2020).

References

Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. Dendroklimatologicheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoj Subarktike [Dendroclimatologic Studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk, Nauka, 1996, 246 p. (in Russian).

Voeikov A.I. Izbrannye sochineniya [Selected Works]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1957, 259 p. (in Russian).

Kitaev L.M., Ableeva V.A., Asainova Z.H. et al. Seasonal dynamics of air temperature, snow and soil freezing in the Central part

of the East European plain. *Led i Sneg [Ice and Snow]*, 2017, vol. 57, No. 4, p. 518–526 (in Russian).

Kitaev L.M., Boyarskij D.A., Titkova T.B., Komarova N.Yu. Snow cover of the East European plain according to multi-frequency microwave satellite radiometry. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 2012, vol. 9, No. 1, p. 249–258 (in Russian).

Kudryavtsev V.A. Temperatura verhnih gorizontov vechnomerzloj tolshchi v predelakh SSSR [The Temperature of the Upper Layers of Permafrost in the USSR]. Moscow, AN SSSR, 1954, 182 p. (in Russian).

L'vovich M.I. Chelovek i vody [Man and Water]. Moscow, Geografiz, 1963, 568 p. (in Russian).

L'vovich M.I. Voda i zhizn' [Water and Life]. Moscow, Mysl', 1986, 253 p. (in Russian).

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Manual for Hydrometeorological Stations and Posts]. Issue 3, Part 1. Leningrad, Gidrometizdat, 1985, 299 p. (in Russian).

Nikolaev A.N., Skachkov Yu.B. Effect of snow cover and temperature of permafrost soils in the radial growth of trees in Central Yakutia. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Biologiya [Journal of Siberian Federal University. A Ser. Biology]*, 2012, No. 5, p. 43–51 (in Russian).

Osokin N.I., Sosnovskiy A.V. Effect of air temperature and snow depth dynamics on frost depth. *Earth's Cryosphere*, 2015, vol. XIX, No. 1, p. 88–93.

Pavlov A.V. Monitoring kriolitozony [Permafrost Monitoring]. Novosibirsk, Academ. Publ. House, 2008, 230 p. (in Russian).

Sleptcov V.I., Mordovskoi S.D., Petrov E.E. Calculating the number of freeze-thaw cycles of the rock mass conditions for the Central Yakutia on horizontal surfaces. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten [Mountain Information-Analytical Bulletin]*, 2012, No. 9, p. 101–105 (in Russian).

Sokratov S.A., Golubev V.N., Barry R.G. The influence of climatic variations on the thermoinsulation effect of snow cover and on the temperature regime in the underlying soil. *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2001, vol. V, No. 2, p. 83–91 (in Russian).

Sherstyukov A.B. Correlation of soil temperature, air temperature and snow cover depth in Russia. *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2008, vol. XII, No. 1, p. 79–87 (in Russian).

Aalstad K., Westermann S., Schuler T.V. et al. Ensemble-based assimilation of fractional snow-covered area satellite retrievals to estimate the snow distribution at Arctic sites. *The Cryosphere*, 2018, No. 12, p. 247–270.

Sokratov S.A., Barry R.G. Intraseasonal variation in the thermoinsulation effect of snow cover on soil temperatures and energy balance. *J. Geophys. Res.*, 2002, vol. 107 (D9–D10), p. 13-1–13-6.

URL: www.meteo.ru (last visited: 15.01.2020).

*Поступила в редакцию 20 апреля 2020 г.,
после доработки – 15 января 2021 г.,
принята к публикации 25 января 2021 г.*