

Сезонная динамика температуры воздуха, снегозапасов и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины

© 2017 г. Л.М. Китаев^{1*}, В.А. Аблеева², Ж.А. Асаинова², А.С. Желтухин³, Е.Д. Коробов³

¹Институт географии РАН, Москва, Россия; ²Приокско-Террасный заповедник, Московская обл., Россия;

³Центрально-Лесной заповедник, Калужская обл., Россия

*lkitaev@mail.ru

Seasonal dynamics of air temperature, snow storage and soil freezing in Central part of the East European Plain

L.M. Kitaev^{1*}, V.A. Ableeva², Z.A. Asainova², A.S. Zheltukhin³, E.D. Korobov³

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²Oka Terraced Reserve, Moscow Region, Russia; ³Central Forest Reserve, Kaluga Region, Russia

*lkitaev@mail.ru

Received October 15, 2016

Accepted March 31, 2017

Keywords: *air temperature, seasonal variations, snow depth, soil temperature, spatial distribution.*

Summary

The main objective of the research was to assess a nature of contingency in the seasonal course between characteristics of the soil thermal regime, surface air temperature, and snow cover, as well as to determine typical situations of their interaction. The investigation was based on results of the three-year field observations performed in the Central part of the East European Plain. A degree of influence of different woody vegetation on the snow cover distribution under local homogeneity of the air temperature has been found as the following: maximal values of snow storages in the larch forests exceed similar ones on open sites and in the pine forests by 11–25%. Inter-annual changes of the soil temperature in areas with different vegetation were revealed to be very similar: differences in the temperature at depths of 10–40 cm did not exceed 0.5–1.0 °C. Phases of the soil temperature seasonal variations were isolated, and they were found to be closely related to changes in the surface air temperature and snow depths. During the period when the snow cover is steady (in winters), the soil temperature at a depth of 10–40 cm becomes stable almost everywhere within the range from +1.0 to –1.0 °C. This suggests that in this period it does not depend on the landscape conditions, changes in the snow depth, and fluctuations in the surface air temperature. Thus, we make a conclusion that trends in multi-year course of the soil temperature are primarily determined by variability of the surface air temperature during autumn and spring periods that may be also true for winters similar to mean ones in the center of the East European Plain.

Citation: Kitaev L.M., Ableeva V.A., Asainova Z.A., Zheltukhin A.S., Korobov E.D. Seasonal dynamics of air temperature, snow storage and soil freezing in Central part of the East European Plain. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2017. 57 (4): 518–526. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2017-4-518-526

Поступила 15 октября 2016 г.

Принята к печати 31 марта 2017 г.

Ключевые слова: *приземная температура воздуха, пространственное распределение, сезонный ход, температура почвы, толщина снега, фазы изменчивости температуры.*

Приведены результаты трёхлетних (2014–2016 гг.) исследований локальной изменчивости температуры почвы в зимний период в центре Восточно-Европейской равнины в связи с изменениями приземной температуры воздуха и снежного покрова. Выделены фазы с характерными сочетаниями хода температуры почвы, приземной температуры воздуха и толщины снега, идентичные для всех участков независимо от типа растительности и условий снежности конкретного года.

Введение

Особенности зимнего периода на севере Евразии (низкие температуры и устойчивый снежный покров в течение 5–7 месяцев) определяют состояние биоты, существенно влияют на протекание гидрологических процессов, а через радиационный баланс — и на глобальные изменения климата. Значительная сезонная амплитуда ко-

лебаний температуры воздуха и процесс формирования устойчивого снежного покрова в осенне-зимне-весенний период определяют динамику водно-физических свойств почвогрунтов, с чем, в свою очередь, связаны особенности склонового стока как элемента водного баланса [1, 2] и флуктуации видового состава растительности [3–6].

Исследования теплоэнергообмена между атмосферой, снежным покровом и почвогрунта-

ми имеют длительную историю. Ещё в 1954 г. В.А. Кудрявцев [7] предложил систему уравнений, описывающую процесс теплообмена в цепочке грунт – снежный покров – атмосфера. Подобные работы проводились главным образом для криолитозоны Сибири [8–12 и др.]. В результате были количественно оценены особенности деградации многолетнемёрзлых грунтов и уменьшение пространственно-временных проявлений сезонного промерзания почвы в условиях потепления последних десятилетий. В зависимости от региона ведущим фактором многолетних изменений температуры почвы могут быть как температура воздуха, так и толщина снега [10, 13–17].

Отметим, однако, что соотношение сезонного хода приземной температуры воздуха, толщины снега и температуры почвы неоднозначно и оценено недостаточно. Установлено, в частности, самое тесное взаимодействие этих параметров в начале снежного периода [10, 15], но связь изменчивости характеристик снежной толщи и температуры почвы в течение всего зимнего периода может иметь существенные региональные различия [17]. В.И. Слепцов с соавторами [18] предложил алгоритм расчёта количества циклов замерзания и оттаивания мёрзлых грунтов в связи с изменениями температуры воздуха (Центральная Якутия), но для осеннего и весеннего бесснежных периодов.

Основные задачи проводимых исследований – оценка характера сопряжённости в сезонном ходе температурного режима почвы, приземной температуры воздуха и снежного покрова, а также выделение типичных случаев их взаимодействия.

Исходные данные и методические подходы

Результаты получены в ходе комплексных исследований локальной изменчивости метеорологических характеристик на территории Центрально-Лесного и Приокско-Тerrasного заповедников. Полевые эксперименты проводились в зимы 2013–2015 гг. В информационную базу исследований входят данные наблюдений приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов, полученные в соответствии с методиками Гидрометеослужбы [19]. Снегозапасы измерялись на закреплённых маршрутах в пределах характерных для центра Восточно-Европейской равнины ландшафтных комплексов – в лесных массивах с преобладанием лиственных пород, на

открытых пространствах и в массивах с преобладанием хвойных пород (сосняки). На каждом снегомерном маршруте существует закреплённая точка для замеров температуры почвы на глубинах 10, 20 и 40 см, куда укладываются автоматические регистраторы температуры (логгеры) TRS, модификация DS1921G-F5# (производитель Maxim Integrated) с диапазоном измерений от -45 до $+85$ °С. Интервал измерений везде устанавливался синхронным – через 3 часа, начиная с 0.00 часов 1 октября до 21.00 часов 31 мая, что позволило оценить особенности хода температуры почвы не только в снежный период, но и во время перепадов температур воздуха с переходом через 0 °С осенью и весной, а также в моменты установления и схода устойчивого снежного покрова.

В осенне-зимне-весенний период 2015/16 г. (с октября по май включительно) для верификации показаний автоматических датчиков температуры на территории Приокско-Тerrasного заповедника выполнены параллельные наблюдения за приземной температурой воздуха штатными для метеонаблюдений термометрами и регистраторами в соответствии с методиками каждые 3 часа на высоте 2 м: термометром – на метеорологической площадке заповедника; регистраторами – в местах проведения снегомерных маршрутов. Полученные данные показали синхронность хода температуры воздуха, измеренной термометрами и регистраторами: при диапазоне температур воздуха по термометру за период наблюдений в $40,7$ °С (с $-20,1$ до $+20,6$ °С) коэффициент корреляции данных составил 0,99 для всех участков, а разница стандартного отклонения – $0,4$ – $0,6$ °С. Различия в приведённых далее погрешностях регистраторов в определении приземной температуры воздуха могут быть связаны с некоторой инерционностью датчиков, по-разному проявляющейся в условиях микроклиматической изменчивости разных ландшафтов. Средняя среднесуточных значений за весь период составляет: для лиственного леса – 16% ($0,8$ °С); открытого пространства – 19% ($0,9$ °С); сосняка – 23% ($1,4$ °С); стандартное отклонение для всего периода равно: для лиственного леса – 6,4% ($0,5$ °С); открытого пространства – 1,5% ($0,1$ °С); сосняка – 8,3% ($0,7$ °С).

Для верификации результатов наблюдений логгерами температуры почвы с 1 октября по 31 мая 2015/16 г. выполнены синхронные измерения логгером и почвенным зондом автоматической метеорологической станции АМЕ-60 на площадке

«Красное» Центрально-Лесного заповедника (под-рост лиственного леса) на глубине 10 см. Ход температуры почвы, полученный датчиками, синхронен, коэффициент корреляции составляет 0,98. При диапазоне изменений температуры почвы по датчику от $-0,9$ до $13,2$ °С средние за период исследования значения температуры по датчику АМЕ-60 и регистратору совпали и были равны $2,9$ °С; значения стандартного отклонения рядов как показателя вариабельности составляли соответственно $3,5$ и $3,2$ °С. Учитывая это, данные регистраторов, заложенных на глубины 10, 20 и 40 см, при диапазоне в осенне-зимне-весенний период температур воздуха в $16-20$ °С и диапазоне температур почвы в 12 °С приняты нами как значимые и пригодные для оценок пространственно-временной изменчивости температурного режима почвенного покрова.

Сезонная изменчивость исследуемых характеристик

В зимние периоды 2013–2016 гг. наблюдения проводились с октября по май включительно, т.е. в осенний и весенний бесснежные периоды и в течение периода с устойчивым снежным покровом. Значения приземной температуры воздуха и толщины снежного покрова за указанный период приведены в табл. 1 и 2.

Исходя из особенностей 30-летних региональных рядов данных, исследуются условия зим, близкие к среднеснежным, с изменением максимальной толщины снега от 16 до 61 см. Средняя за период приземная температура воздуха колеблется в пределах $0,4-4,8$ °С, минимальная – в диапазоне от $-19,5$ до $-23,4$ °С, что также можно отнести к средним по температуре условиям. Повсеместно максимальные снеготзапасы в лиственном лесу превышают снеготзапасы открытых пространств и сосняков на 11–25%, что соответствует полученным ранее результатам о распределении снеготзапасов [20–22]. «Редкие», пронизываемые для твёрдых осадков кроны лиственных пород, ветровая защита и отсутствие прямых солнечных лучей способствуют формированию в лиственных лесах максимальных снеготзапасов. Метелевый перенос, испарение с поверхности снега на открытых участках и перехват твёрдых осадков кронами хвойных пород деревьев снижают снеготзапасы.

Ход температуры почвы по регистраторам Приокско-Террасного и Центрально-Лесного заповедников (средние за октябрь–май 2013/14, 2014/15

Таблица 1. Изменчивость приземной температуры воздуха в осенне-зимне-весенний периоды 2013–2016 гг.

Приземная температура воздуха, °С			Стандартное отклонение, °С
средняя	максимальная	минимальная	
<i>Центрально-Лесной заповедник</i>			
1,7/0,4/0,7*	24,0/20,1/19,4	-20,9/-19,5/-24,1	8,4/7,1/8,0
<i>Приокско-Террасный заповедник</i>			
2,6/4,8/1,7	21,3/24,8/20,6	-23,4/-22,3/-20,1	8,9/11,4/7,9

*2013–2014 гг./2014–2015 гг./2015–2016 гг.

Таблица 2. Изменчивость толщины снежного покрова в зимние периоды 2013–2016 гг.

Тип участка	Толщина снега, см	
	средняя	максимальная
<i>Центрально-Лесной заповедник</i>		
Лиственный	6/22/15*	26/61/48
Открытое пространство	7/10/6	20/54/32
Сосняк	4/19/13	8/57/42
<i>Приокско-Террасный заповедник</i>		
Лиственный	7/11/23	20/27/43
Открытое пространство	4/7/19	13/18/40
Сосняк	5/5/18	17/20/36

*2013–2014 гг./2014–2015 гг./2015–2016 гг.

и 2015/16 гг.) соответствует ходу температуры на ГМС Тула и Великие Луки (средние за октябрь–май 1983–2014 гг., (www.meteo.ru) при их удалённости от заповедников соответственно на 100 и 150 км (рис. 1, а, б). Отметим, что исследуемая изменчивость температуры почвы в заповедниках происходит на фоне небольшого, но значимого многолетнего повышения средних за осенне-зимне-весенний сезон температур – коэффициент линейного тренда за 1983–2014 гг. для ГМС Тула и Великие Луки составляет $0,04$ °С/год (см. рис. 1, в).

Рис. 2 и 3 иллюстрируют особенности сезонных изменений температуры почвы на фоне изменчивости приземной температуры воздуха и толщины снежного покрова. Для зимы 2013/14 г. показан ход исследуемых характеристик только для Центрально-Лесного заповедника, поскольку ход характеристик в Приокско-Террасном заповеднике аналогичен по динамике и значениям. На графиках в качестве примера приводится только ход температуры почвы на глубине 10 см из-за близости к ним значений температуры почвы на глубинах 20 и 40 см. Интенсивность снижения приземной температуры воздуха до нулевых значений осенью меньше интенсивности возрастания температуры с 0 °С весной, что соответствует выявленным ранее закономерностям [23, 24].

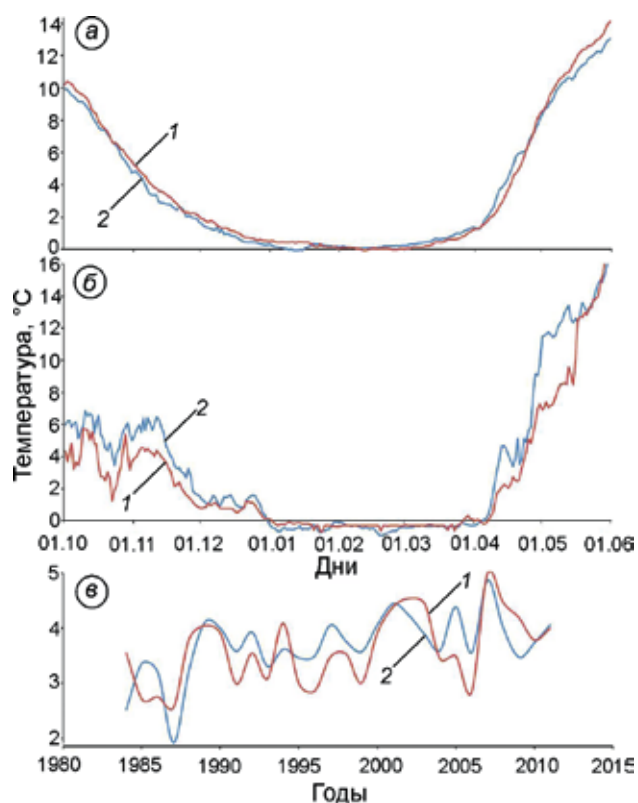


Рис. 1. *a* – сезонный ход температуры почвы осенне-зимне-весеннего периода для ГМС Тула (1) и Великие Луки (2); *б* – сезонный ход температуры почвы осенне-зимне-весеннего периода для Приокско-Тerrasного (1) и Центрально-Лесного (2) заповедников; *в* – многолетний ход средней за осенне-зимне-весенний период температуры почвы для ГМС Тула (1) и Великие Луки (2)
Fig. 1. *a* – seasonal variation of soil temperatures in autumn-winter-spring period for meteorological stations Tula (1) and Velikie Luki (2); *б* – seasonal variation of soil temperature in autumn-winter –spring period for Oka-Terrasny (1) and Central Forest (2) nature reserves; *в* – a long-term variation of the average soil temperatures in autumn-winter- spring period for the for meteorological stations Tula (1) and Velikie Luki (2)

Ход температуры почвы осенью и весной (бес-снежный период) находится в положительной области и соответствует ходу приземной температуры воздуха, но из-за инерционности имеет меньшую амплитуду и вариабельность значений – стандартное отклонение температуры почвы в 2–3 раза ниже стандартного отклонения температуры воздуха. Разница температуры почвы на глубинах 10 и 20 см и 20 и 40 см редко превышает 1,5 °С, а на глубинах 10 и 40 см редко достигает 3 °С. Означенный характер изменчивости температуры почвы осенью и весной в зоне сезонно промерзающих грунтов отличается от этих же периодов в условиях многолетней мерзлоты, для ко-

торых В.И. Слепцовым с соавторами [21] отмечена возможность трёх–четырёх циклов промерзания–оттаивания почвогрунтов на глубине до 15 см с переходом температуры почвы через 0 °С.

В периоды колебания приземной температуры воздуха в диапазоне 5–0 °С осенью и 0–5 °С весной происходит зеркальное изменение вертикального профиля температуры почвы. Осенью, в результате охлаждения с поверхности, наиболее тёплой становится почва на глубине 40 см, а наиболее холодной – на глубине 10 см. Весной, в результате прогрева с поверхности, наиболее тёплой становится почва на глубине 10 см, а самой холодной – на глубине 40 см. Означенные изменения профиля температуры почвы происходят за счёт сравнительно быстрых изменений температуры верхнего горизонта и постоянной положительной температуры почвы на глубине. Так, стандартное отклонение температуры на глубине 10 см на 3–11% выше стандартного отклонения температуры на глубинах 20 и 40 см. С появлением устойчивого снежного покрова, когда происходит переход приземной температуры воздуха в область отрицательных значений, температура почвы на глубинах 10–40 см стабилизируется в диапазоне от –1,0 до +1,0 °С с разницей температуры соседствующих слоёв, редко превышающей 0,5 °С (см. рис. 2, 3). В течение снежного периода температура почвы меняется крайне незначительно и не зависит от сезонных и межгодовых колебаний толщины снега. Не влияют на неё и похолодания января – начала февраля до –20 и даже до –23 °С и оттепели конца февраля – начала марта, когда приземная температуры воздуха может повышаться до 5–7 °С. Подобная незначительная изменчивость температуры почвы в снежный период, вероятно, обусловлена теплоизолирующими свойствами снежного покрова и значительной (с осени и как результат оттепелей) влажностью почвы, которые представляют собой факторы инерционности температурного хода. Рассмотрим три случая.

1. В начале весны, когда наступает период разрушения устойчивого снежного покрова и полного его исчезновения на фоне повышения приземной температуры воздуха до плюсовых значений, температура почвы продолжает незначительно варьировать в диапазоне от –1,0 до +1,0 °С не менее 5–7 дней за счёт инерционности температурного режима почвы. И лишь при устойчивом переходе приземной температуры воздуха через 5 °С в сторону повышения температура почв начинает расти (см. рис. 2, 3). Этот результат хо-

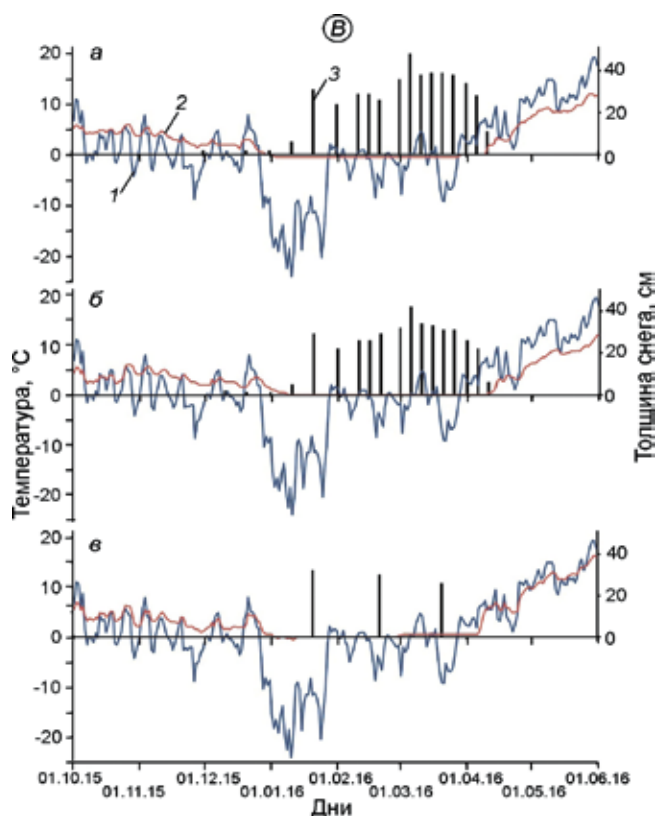
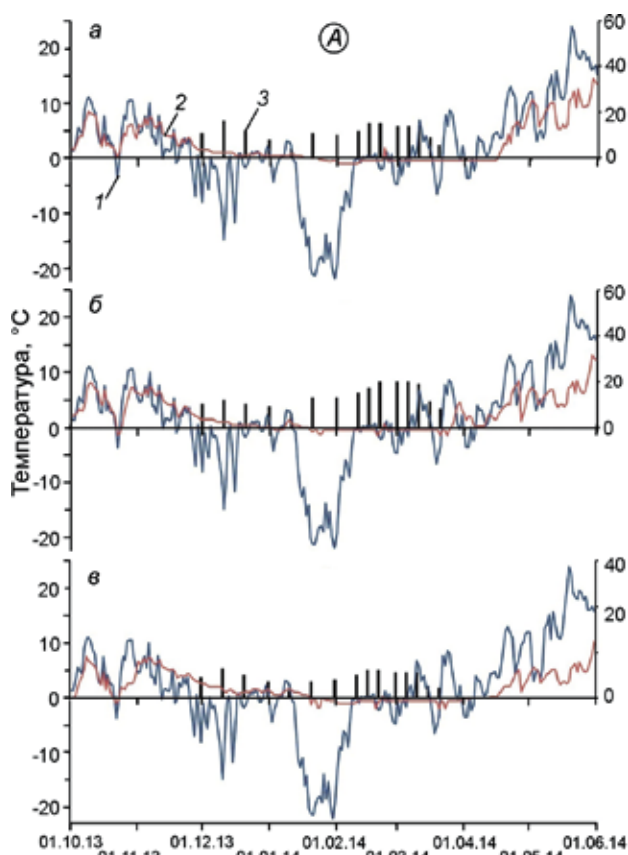


Рис. 2. Центрально-Лесной заповедник: зима 2013/14 гг. (А), 2014/15 гг. (Б) и 2015/16 гг. (В) – ход среднесуточной приземной температуры воздуха (1), температуры почвы на глубине 10 см (2), толщины снега (3); а – лиственничник; б – открытый участок; в – сосняк

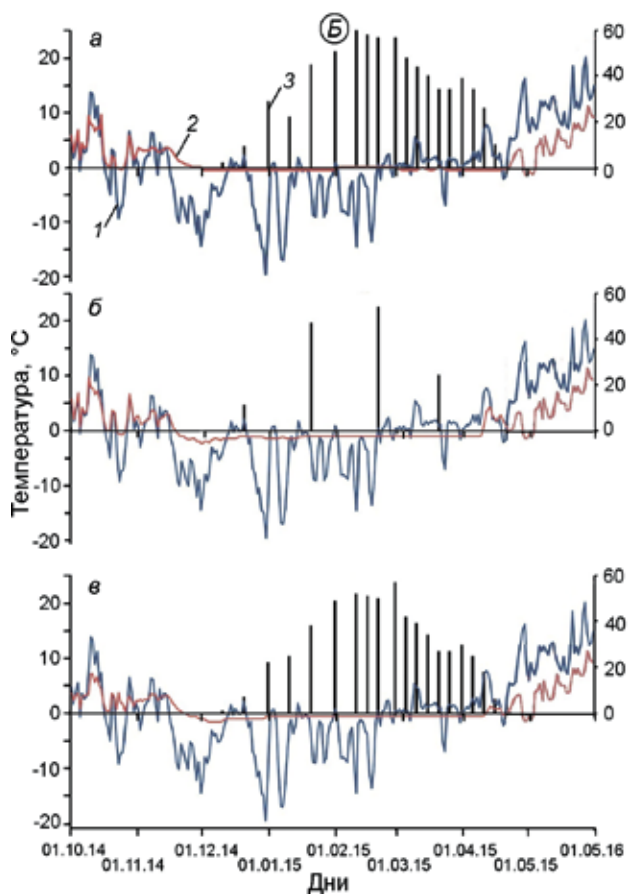


Fig. 2. Central Forest reserve: winter 2013/14 (A), 2014/15 (B), and 2015/16 (B) – daily average air temperature (1), daily average soil temperature at depths of 10 cm (2), snow thickness (3); а – larch forest; б – open area; в – pine forest

рошо согласуется с выводом А.И. Воейкова [25], согласно которому согревающее влияние снега превосходит по времени охлаждающее воздействие и оно тем больше, чем продолжительнее лежит снежный покров при морозах. В означенные характерные условия взаимодействия попадают практически все случаи их изменчивости.

2. В период с устойчивым снежным покровом зимой 2015/16 г. (см. рис. 3) отмечаются колебания температуры почвы в соответствии с колебаниями приземной температуры воздуха (по-видимому, в связи с относительно небольшими осадками и незначительной влажностью почвы в предшествующую осень), но, тем не менее, они находятся в означенном выше диапазоне (от $-1,0$ до $+1,0$ °С) и имеют амплитуды, редко превышающие $0,5$ °С. Вместе с тем, на открытом участке Центрально-Лес-

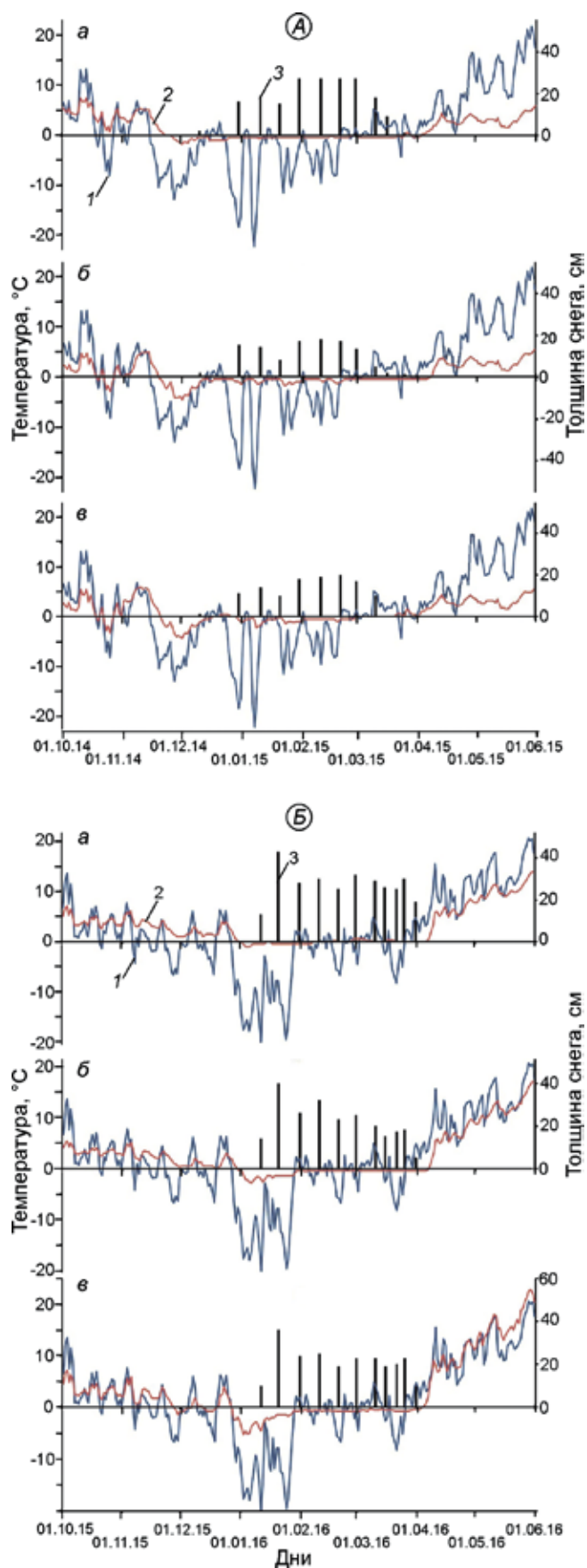


Рис. 3. Приокско-Тerrasный заповедник: зима 2014/15 г. (А), 2015/16 г. (Б) – ход среднесуточной приземной температуры воздуха (1), температуры почвы на глубинах 10 см (2), толщина снега (3); а – лиственный участок; б – открытый участок; в – сосняк

Fig. 3. Oka-Terrasny reserve: winter 2014/15 (A), 2014/15 (B) – daily average air temperature (1), daily average soil temperature at depths of 10 cm (2), snow thickness (3); а – larch forest; б – open area; в – pine forest

ного заповедника зимой 2013/14 г. при температуре воздуха ниже -15°C в течение двух–трёх недель января–февраля и толщине снега до 15 см температура почвы на глубине 10 см на открытом участке находилась в диапазоне от 0 до $+1,0^{\circ}\text{C}$ и практически не изменялась, что может быть связано с водно-физическими свойствами почвы в начале зимы.

3. В Центрально-Лесном заповеднике зимой 2015/16 г. (см. рис. 2, В) на открытом участке и в сосняке, при незначительном снежном покрове и снижении приземной температуры воздуха с $+9$ до -10°C , температура почвы на глубине 10 см в течение трёх дней первой декады января изменялась в диапазоне от 0 до $+1,0^{\circ}\text{C}$, однако в лиственном лесу температура почвы составила $-0,5^{\circ}\text{C}$. И в этом случае вариации температуры почвы незначительны и укладываются в означенные здесь диапазоны. Существующие небольшие различия температуры почвы разных ландшафтов (около $0,5^{\circ}\text{C}$) также могут быть следствием локальных особенностей водно-физических свойств почвы в начале зимы.

Зимой 2015/16 г. на участках с сосновым лесом обоих заповедников (см. рис. 2, В и рис. 3, Б) в первой половине января, при близких значениях температуры воздуха и толщины снега, температура почвы различалась на 5°C (в Центрально-Лесном заповеднике не опускалась ниже 0°C , а в Приокско-Тerrasном заповеднике была равна -5°C), что может быть связано с особенностями теплозащитной функции снежного покрова и требует дополнительных исследований плотности снега и описания его стратиграфии.

Таким образом, практически все случаи сопряжённости исследуемых характеристик соответствуют установленным температурным диапазонам, с учётом того, что физическая природа взаимодействия в дальнейшем будет уточняться в процессе экспериментальных полевых работ. В соответствии с задачами настоящей работы для осенне-зимне-весеннего периода выделены типичные фазы сопряжённых по времени изменений температуры почвы, приземной температуры воздуха и толщины снега.

Осенний (бесснежный) период: а) медленное понижение температуры почвы, соответствующее ходу приземной температуры воздуха, но с меньшей амплитудой и вариабельностью значений; б) в диапазоне приземной температуры воздуха 5–0 °С за счёт охлаждения поверхности почвенный горизонт на глубине 10 см становится наиболее холодным, а горизонт на глубине 40 см — наиболее тёплым.

Зимний (снежный) период: стабилизация температуры почвы в диапазоне от –1,0 до +1,0 °С вне зависимости от колебаний толщины устойчивого снежного покрова и приземной температуры воздуха; продолжение стабильного хода температуры почвы во время разрушения устойчивого снежного покрова и его полного схода при уже положительных температурах воздуха за счёт инерционности термического режима почвы;

Весенний (бесснежный) период: в диапазоне приземной температуры воздуха 0–5 °С за счёт прогревания поверхности почвенный горизонт на глубине 40 см становится наиболее холодным, а горизонт на глубине 10 см — наиболее тёплым; отмечается медленное повышение температуры почвы, соответствующее ходу приземной температуры воздуха, но с меньшей амплитудой и вариабельностью значений.

Означенные фазы выделяются на участках с различным типом растительности на территории как Центрально-Лесного, так и Приокско-Террасного заповедников при расстоянии между ними около 500 км по меридиану, различающихся снегозапасами и приземных температур воздуха. Значения температуры почвы при этом меняются незначительно (см. рис. 1). Отсутствуют также принципиальные различия хода температуры почвы заповедников и ГМС Великие Луки и Тула (см. рис. 1, а, б для глубины 10 см в качестве примера) при удалённости ГМС от заповедников соответственно на 100 км к северу и 150 км к югу. Таким образом, при расстоянии между заповедниками в 500 км полученные закономерности прослеживаются на расстоянии около 750 км с севера на юг.

Особо отметим постоянство температуры почвы на глубине до 40 см в период устойчивого снежного покрова и, следовательно, весьма малую её зависимость как от сезонных (данные заповедников), так и от многолетних (данные ГМС) изменений толщины снежного покрова и колебаний приземной температуры воздуха. Эта особенность определяется теплоизолирующими свойствами снежной толщи и значительной после осенних дождей влажностью почвы — факторами инерционности

в сезонных колебаниях температуры почвы. Полученный результат подтверждает вывод А.В. Павлова [10], что термические свойства сезонно-мёрзлых почвогрунтов формируются в начале зимы, но требуются дополнительные экспериментальные исследования для корректного обоснования.

Можно предположить также, что при малых колебаниях температуры почвы в снежный период многолетнее повышение средних за октябрь–май температур почвы (на ГМС Тула и Великие Луки 0,04 °С/год) связаны главным образом с многолетними изменениями приземной температуры воздуха бесснежных октября–ноября и апреля–мая, что соответствует установленному Б.Г. Шерстюковым [17] отсутствию для центра Восточно-Европейской равнины значимой корреляции многолетних изменений толщины снега и температуры почвы. Исходя из характера используемых данных, полученный результат справедлив, прежде всего, для зим с близкими к средней снежности и приземной температурой воздуха в пределах рассматриваемого региона.

Выводы

Приведены результаты анализа трёхлетних измерений температуры почвы в зимний период в Центрально-Лесном и Приокско-Террасном заповедниках, позволившие оценить сопряжённость изменчивости температурного режима почвы, приземной температуры воздуха и снежного покрова. Уточнены методические подходы для долгосрочных полевых экспериментальных наблюдений за состоянием почвы. Установленная величина погрешности при измерении приземной температуры воздуха на высоте 2 м и температуры почвы на глубинах до 40 см позволяет использовать автоматические регистраторы температуры (логгеры) TRS, модификация DS1921G-F5#, при наблюдениях в пределах центра Восточно-Европейской равнины. Показана степень влияния древесной растительности на распределение снежного покрова. Максимальные снегозапасы в лиственных лесах превышают снегозапасы открытых пространств и сосняков на 11–25%. Метелевый перенос, испарение с поверхности снега на открытых участках и перехват твёрдых осадков кронами хвойных пород деревьев замедляют снегонакопление. Ход температуры почвы на участках с разной растительностью различается мало и происходит с разницей температур на глубинах в 0,5–1,0 °С.

Выделены фазы изменений температуры почвы, сопряжённые с особенностями сезонного хода приземной температуры воздуха и толщиной снега: медленное снижение температуры почвы осенью и быстрое весной; зеркальное изменение вертикального профиля температуры почвы весной и осенью в результате охлаждения/прогрева поверхности; стабильная температура почвы на глубине 10–40 см после установления устойчивого снежного покрова в диапазоне от +1,0 до –1,0 °С вне зависимости от колебаний температуры воздуха и толщины снега; продолжение стабильного хода температуры почвы в период разрушения устойчивого снежного покрова и полного его схода в начале весеннего потепления.

Выявленные фазы остаются неизменными на участках с различными типами растительности, в условиях зим разной снежности на территории обоих заповедников и на прилегающих к ним пространствах. Значения температуры почвы при этом практически не различаются. Температура почвы на глубине 10–40 см в период с устойчивым снежным покровом повсеместно стабилизируется в диапазоне от +1,0 до –1,0 °С. Это гово-

рит о её малой зависимости в рассматриваемый период от ландшафтных условий, изменений толщины снега и колебаний приземной температуры воздуха за счёт теплоизолирующих свойств снежной толщи и значительной, после осенних дождей, влажности почвы. В целом, тенденции многолетнего хода температуры почвы осенне-зимне-весеннего периода определяются главным образом межгодовой изменчивостью температуры воздуха осенью и весной, что справедливо в данном случае для зим, близких к средним по снежности и температуре воздуха центра Восточно-Европейской равнины.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук 0148-2014-0015 и частично при поддержке РФФИ, проект № 16-05-00753.

Acknowledgments. This work was supported by the Program of Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences 0148-2014-0015 and partially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project № 16-05-00753.

Литература

1. Львович М.И. Человек и воды. М.: Географгиз, 1963. 568 с.
2. Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 253 с.
3. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
4. Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии // Журнал Сибирского федерального ун-та. Серия «Биология». 2012. № 5. С. 43–51.
5. Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах СССР. Якутск: Якутское книжное издательство, 1975. 302 с.
6. Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. 1999. V. 400. P. 149–151.
7. Кудрявцев В.А. Температура верхних горизонтов вечномёрзлой толщи в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 182 с.
8. Арэ А.Л. Снежный покров Центральной Якутии, особенности его радиационного и гидро-термического режима // Теплообмен в мерзлотных ландшафтах. Якутск: изд. Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1978. С. 30–42.
9. Некрасов И.А. Снежный покров и глубокое промерзание литосферы // Тематические и региональные исследования мерзлотных толщ Се-

References

1. L'vovich M.I. *Chelovek i vody*. Man and Water. Moscow: Geografiz, 1963: 568 p. [In Russian].
2. L'vovich M.I. *Voda i zhizn'*. Water and Life. Moscow: Mysl', 1986: 253 p. [In Russian].
3. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimatologicheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike*. Dendroclimatologic studies in the Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk: Nauka, 1996: 246 p. [In Russian].
4. 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*. Journ. of Siberian Federal University. Series of Biology. 2012, 5: 43–51. [In Russian].
5. Pavlov A.V. *Teploobmen pochvy s atmosferoy v severnykh i umerennykh shirotakh SSSR*. Heat transfer of soil to the atmosphere in the northern and temperate latitudes of the USSR. Yakutsk: Yakut book publisher, 1975: 302 p. [In Russian].
6. Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature*. 1999, 400: 149–151.
7. Kudryavtsev V.A. *Temperatura verkhnykh gorizontov vechnomerzloy tolshchi v predelakh SSSR*. The temperature of the upper layers of permafrost in the USSR. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1954: 182 p. [In Russian].
8. Are A.L. Snow cover in Central Yakutia, especially its radiation and hydrothermal regime. *Teploobmen v merzlotnykh landshaftakh*. Heat transfer in permafrost landscapes. Yakutsk: Institute of Permafrost, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1978: 30–42. [In Russian].
9. Nekrasov I.A. Snow cover and deep freezing of the lithosphere. *Tematicheskie i regional'nye issledovaniya merzlykh tolshch*

- верной Евразии. Якутск: изд. Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. С. 3–21.
10. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. 230 с.
 11. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М.: Наука, 1970. 208 с.
 12. Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И., Гаврилов Р.И.. Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии. Якутск: Якутское книжное издательство, 1988. 240 с.
 13. Малкова Г.В., Павлов А.В., Скачков Ю.Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 4. С. 33–36.
 14. Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Жидков В.А., Чернов Р.А. Роль снежного покрова в промерзании грунтов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 4. С. 52–57.
 15. 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.
 16. 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.
 17. Шерстюков А.Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
 18. Слепцов В.И., Мордовской С.Д., Петров Е.Е. Расчет количества циклов замерзания–оттаивания породного массива для условий центральной Якутии на горизонтальных поверхностях // Горный информационно-аналитический бюл. 2012. № 9. С. 101–105.
 19. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 299 с.
 20. Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.С. Влияние лесной растительности на тенденции локальной изменчивости снегозапасов // Тр. Приокско-Тerrasного заповедника. 2015. Вып. 6. С. 66–78.
 21. Коломыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 208 с.
 22. Мишон В.М. Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1988. 190 с.
 23. Китаев Л.М. Изменчивость снегозапасов Северной Евразии в предвесенний и весенний периоды // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 2. С. 70–73.
 24. Китаев Л.М. Изменчивость характеристик ледовых явлений бассейна средней Волги // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей: Тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. М.: изд. Российского университета дружбы народов, 2014. С. 411–423.
 25. Воейков А.И. Избранные сочинения. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 259 с.
 26. Severnaya Evraziya. Thematic and regional studies of permafrost strata in Northern Eurasia. Yakutsk: Institute of Permafrost, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. 1981: 3–21. [In Russian].
 27. Pavlov A.V. Monitoring kriolitozony. Monitoring of the permafrost zone. Novosibirsk: Acad. edition «Geo», 2008: 230 p. [In Russian].
 28. Porkhaev G.V. Teplovoe vzaimodeystvie zdaniy i sooruzheniy s vechnomerzlyimi gruntami. Thermal interaction of buildings and structures with permafrost. Moscow: Nauka, 1970: 208 p. [In Russian].
 29. Feldman G.M., Tetelbaum A.S., Shender N.I., Gavrilov R.I. Pособie po prognozu temperaturnogo rezhima gruntov Yakutii. Manual of forecast for the soil temperature in Yakutia. Yakutsk: Yakutsk publishing house, 1988: 240 p. [In Russian].
 30. Malkova G.V., Pavlov A.V., Skachkov Yu.B. Assessment of the stability of permafrost under present climate. Kriosfera Zemli. Earth Cryosphere. 2011, XV (4): 33–36. [In Russian].
 31. Osokin N.I., Samoylov R.S., Sosnovskiy A.V., Zhidkov V.A., Chernov R.F. The role of snow cover in the freezing of soil. Izvestiya RAN. Seriya geographicheskaya. Bulletin of RAS, geographical series. 2001, 4: 52–57. [In Russian].
 32. Osokin N.I., Sosnovskiy A.V. Influence of temperature and dynamics of snow cover on the ground freezing. Kriosfera Zemli. Earth Cryosphere. 2015, XIX (1): 99–105. [In Russian].
 33. Sokratov S.A., Golubev V.N., Barry R.G. The impact of climate variability on the role of heat insulating snow cover and soil thermal regime. Kriosfera Zemli. Earth Cryosphere. 2001, V (2): 83–91. [In Russian].
 34. Sherstyukov A.B. Correlation of soil temperature, air temperature and snow depth on the territory of Russia. Kriosfera Zemli. Earth Cryosphere. 2008, XII (1): 79–87. [In Russian].
 35. Sleptsov V.I., Mordovskoy S.D., Petrov E.E. Computation of the number of freeze-thaw cycles in the rock mass conditions for the Central Yakutia on horizontal surfaces. Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. Mountain information-analytical bulletin. 2012, 9: 101–105. [In Russian].
 36. Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Vy-pusk 3, chast' 1. Manual for hydrometeorological stations and posts. Issue 3, Part 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985: 299 p. [In Russian].
 37. Kitaev L.M., Ableeva V.A., Asainova J.S. Influence of forest vegetation on the snow cover. Trudy Prioksko-Terrasnogo Zapovednika. Proc. of the Oka-Terrasny Reserve. 2015, 6: 66–78. [In Russian].
 38. Kolomyts E.G. Struktura snega i landshaftnaya indikatsiya. Snow structure and landscape indication. Moscow: Nauka, 1976: 208 p. [In Russian].
 39. Mishon V.M. Snezhnye resursy i mestnyi stok: zakonmernosti formirovaniya i metody rascheta. Voronezh: Izd-vo Voronezh State University, 1988: 190 p. [In Russian].
 40. Kitaev L.M. Variability of snow storages in pre-spring and spring periods over the Northern Eurasia. Kriosfera Zemli. Earth Cryosphere. 2013, XVII (2): 70–73. [In Russian].
 41. Kitaev L.M. Variability of ice phenomena characteristics in the middle part of Volga basin. Dinamika i termika rek, vodokhranilishch i pribreghnoy zony morey. Trudy VIII meghdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Dynamics and thermal regime of rivers, reservoirs and coastal sea areas. Proc. of the VIII Intern. scientific-practical conf. Moscow: Russian Peoples Friendship University, 2014: 411–423. [In Russian].
 42. Voeykov A.I. Izbrannye sochineniya. Selected works. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1957: 259 p. [In Russian].