



ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЕВРАЗИЙСКОЙ СУБАРКТИКИ

Л. М. КИТАЕВ¹⁾

¹⁾Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, 119017, г. Москва, Россия

Исследовано влияние снежного покрова на динамику температуры почвы в современных климатических условиях Евразийской Субарктики посредством количественной оценки особенностей сезонного и многолетнего хода характеристик. Сезонные и многолетние значения температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом снижаются с запада на восток: уменьшение толщины снега приводит к ослаблению его теплоизолирующих свойств на фоне существенного снижения температуры воздуха. С появлением снежного покрова резко снижается вариабельность температуры почвы по сравнению с осенним и весенним периодами. Исключением является северо-восток Сибири: здесь относительно небольшая толщина снега обуславливает заметную зависимость хода температуры почвы от динамики температуры воздуха. Значимые многолетние тенденции в ходе температуры почвы отсутствуют ввиду ее низкой вариабельности в зимний период. Анализ хода аномалий исследуемых характеристик показал незначительное и несистематическое число их совпадений. В настоящее время аналогичных результатов исследований для крупных регионов не обнаружено. Выявленные закономерности могут быть использованы при анализе результатов мониторинга состояния поверхности суши, разработке алгоритмов дистанционного зондирования, уточнении прогнозных сценариев изменений окружающей среды.

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

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-55-00007 (сбор, обработка и первичный анализ исходной информации)), а также Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (госзадание № 0148-2019-0009 (интерпретация результатов анализа)).

REGULARITIES OF SOIL TEMPERATURE CHANGES DURING THE PERIOD WITH SNOW COVER IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS OF THE EURASIAN SUBARCTIC

L. M. KITAEV^a

^aInstitute of Geography, Russian Academy of Sciences, 29 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russia

The influence of snow cover on the dynamics of soil temperature in the modern climatic conditions of the Eurasian Subarctic was investigated through a quantitative assessment of the features of the seasonal and long-term variation of

Образец цитирования:

Китаев ЛМ. Оценка изменчивости температуры почвы зимнего периода в современных климатических условиях Евразийской Субарктики. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;1:13–22. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-1-13-22>

For citation:

Kitayev LM. Regularities of soil temperature changes during the period with snow cover in modern climatic conditions of the Eurasian Subarctic. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;1:13–22. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-1-13-22>

Автор:

Лев Михайлович Китаев – кандидат географических наук; старший научный сотрудник лаборатории климатологии.

Author:

Lev M. Kitayev, PhD (geography); senior researcher at the laboratory of climatology. lkitaev@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0618-9209>





parameters. Seasonal and long-term values of soil temperature for stable snow period decrease from west to east: a decrease of snow thickness and air temperature from west to east of Eurasia leads to a weakening of the heat-insulating properties of the snow cover with a significant decrease in regional air temperatures. With the emergence of a stable snow cover, the soil temperature seasonal and long-term standard deviation sharply decreases compared to the autumn and spring periods. With the appearance of snow cover, the soil temperature standard deviation drops sharply compared to the autumn and spring periods. An exception is the northeast of Siberia: here, a relatively small thickness of snow determines a noticeable dependence of the course of soil temperature on the dynamics of surface air temperature. There are no significant long-term trends in soil temperature due to its low variability during winter period. Analysis of the course of the studied characteristics anomalies showed an insignificant and non-systematic number of their coincidences. Currently, we have not found similar research results for large regions. The revealed patterns can be used in the analysis of the results of monitoring the state of the land surface, in the development of remote sensing algorithms, in the refinement of predictive scenarios of environmental changes.

Keywords: snow thickness; air temperature; soil temperature; spatial distribution; long-term variation.

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-55-00007 (collection, processing and primary analysis of baseline information)), as well as with the support of the Program of Fundamental Research of State Academies of Sciences (state task No. 0148-2019-0009 (interpretation of analysis results)).

Введение

Значительные поля снежного покрова, продолжительность залегания которых в высоких широтах Северного полушария составляет до 7 месяцев, во многом определяют связь климатических процессов и изменений в состоянии поверхности. С одной стороны, будучи зависимым от изменений климата, снежный покров существенно влияет на особенности годового водного баланса, состояние почвы и растительности (см., например, [1; 2]). С другой стороны, резкие изменения альбедо в моменты установления и схода снежного покрова осенью и зимой обуславливают через радиационный баланс характер изменений метеорологического режима. Кроме сезонного хода осадков как приходной части, процесс снегонакопления определяется теплообменом в цепочке *грунт – снежный покров – атмосфера*, в связи с чем В. А. Кудрявцевым еще в 1954 г. была предложена система уравнений, описывающих этот процесс [3]. Подобные исследования проводились как для зоны сезонного промерзания почвогрунтов, так и для территорий с вечной мерзлотой (в большей степени), в результате чего уточнялся механизм промерзания почвы в условиях потепления второй половины XX в.

Вместе с тем соотношение сезонного хода приземной температуры воздуха, толщины снега и температуры почвы неоднозначно и оценено не в полной мере, особенно на уровне региональных пространственно-временных обобщений. Так, выявлено наиболее тесное взаимодействие исследуемых параметров в начале снежного периода при тем не менее недостаточной изученности региональных различий в сопряженности хода характеристик [4; 5]. Можно упомянуть работу В. И. Слепцова с соавторами [6], где предложен алгоритм расчета количества циклов замерзания и оттаивания мерзлых грунтов в связи с изменениями температуры воздуха, но только для осеннего и весеннего малоснежных периодов Центральной Якутии. Слабая статистическая связь хода температуры почвы с ходом приземной температуры воздуха и толщины снега для зоны вечной мерзлоты выявлена А. Б. Шерстюковым [7; 8].

Основная цель настоящей работы состоит в определении степени влияния снежного покрова на динамику температуры почвы в современных климатических условиях Евразийской Субарктики. Достижение данной цели реализуется посредством количественной оценки особенностей сезонного и многолетнего хода температуры верхних слоев почвы, толщины снега, приземной температуры воздуха.

Методические подходы и исходные данные

Ранее автором совместно с В. А. Аблеевой, Ж. А. Асаиновой, А. С. Желтухиным, Е. Д. Коробовым был исследован характер локальной изменчивости приземной температуры воздуха, толщины снежного покрова и температуры почвы на основе анализа результатов экспериментальных наблюдений в Приокско-Террасном и Центрально-Лесном заповедниках (Московская и Тверская области) за период 2013–2016 гг. [9]. Для открытых площадок и лесных массивов с преобладанием лиственных и хвойных пород были выделены фазы изменений температуры почвы, сопряженные с особенностями сезонного хода приземной температуры воздуха и толщины снега, однотипные для участков с различным видовым составом растительности в условиях зим разной снежности. В период с устойчивым снежным покровом на всех типичных участках для глубин 10–40 см характерен ход температуры почвы в узком диапазоне (от +1 до –1 °С) вне зависимости от различий хода температуры воздуха и толщины снега.



Аналогичные результаты получены по данным наблюдений метеорологических станций Великие Луки и Тула (расстояние между ними и заповедниками – 150 км к югу и 100 км к северу соответственно, расстояние между крайними объектами – около 750 км с севера на юг).

В качестве логичного продолжения исследований была проведена оценка изменчивости приземной температуры воздуха, толщины снега и температуры почвы для территории Восточно-Европейской равнины [10]. Анализ данных наблюдений 75 метеорологических станций показал, что в период с устойчивым снежным покровом температура почвы здесь также слабо меняется – в узком коридоре (2–3 °С) околонулевых значений. Сам же коридор в своих границах незначительно сдвигается с севера на юг от отрицательной области температур к положительной, что может быть признаком зональных изменений температурного режима почв. В целом для региона диапазон пространственных различий среднесезонных температур почвы невелик: для глубин до 40 см – от –1,5 до +1,5 °С, для глубины 80 см – от +0,5 до +2,0 °С.

Для территории Восточно-Европейской равнины было показано, что стандартное отклонение многолетнего хода температуры почвы осенью и весной повсеместно больше стандартного отклонения температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом [9]. Появление снега определяет снижение межгодовой вариабельности температуры почвы в 3–5 раз относительно вариабельности приземной температуры воздуха и в 1,2–1,5 раза относительно вариабельности температуры почвы в предзимний и весенний периоды. Многолетние тенденции в изменении температуры почвы в период с устойчивым снежным покровом здесь малозначимы, являясь достаточно однородными в пространственном распределении и имея коэффициенты линейного тренда в 2,0–6,5 раза меньше коэффициентов осеннего и весеннего периодов и в 3–4 раза меньше вариабельности приземной температуры воздуха.

Суть настоящих исследований состоит в изучении сезонного и многолетнего хода температуры почвы, толщины снежного покрова и приземной температуры воздуха в пределах Субарктического пояса Евразии. С точки зрения анализа динамики температуры почвы в зимних условиях эта территория интересна преобладанием субарктического типа климата и наличием регионов как с сезонно-мерзлыми грунтами, так и с вечной мерзлотой. Исследования проведены с использованием данных наблюдений 8 реперных метеорологических станций, расположенных в основных секторах Евразийской Субарктики: Кандалакша и Нарьян-Мар (Восточно-Европейская равнина); Березово и Няксимволь (Западная Сибирь); Бор и Ербогачен (Центральная Сибирь); Верхоянск и Оймякон (Восточная Сибирь). Основными характеристиками для анализа являются суточные значения приземной температуры воздуха, толщины снежного покрова и температуры почвы за 1989–2015 гг. (www.meteo.ru). Для максимально полной проработки особенностей изменчивости динамика характеристик в период с устойчивым снежным покровом рассматривается в сравнении с их динамикой осенью и весной. Таким образом, сезонные особенности ввиду разной продолжительности залегания снежного покрова изучаются для периодов октябрь – ноябрь, декабрь – март, апрель – май для Восточно-Европейской равнины и сентябрь – октябрь, ноябрь – апрель, май – июнь для регионов Сибири. Зимний период в этих случаях (декабрь – март и ноябрь – апрель соответственно), как правило, имеет устойчивый снежный покров с десятибалльным покрытием территории.

Сезонная изменчивость температуры почвы, толщины снега и приземной температуры воздуха

Для севера Восточно-Европейской равнины (метеорологические станции Кандалакша и Нарьян-Мар) ход характеристик близок к ранее выявленным для Восточно-Европейской равнины в целом закономерностям: в период с устойчивым снежным покровом температура стабилизируется в диапазоне от +1 до –1 °С при изменчивости в этот период приземной температуры воздуха и толщины снега в пределах от 0 до –15 °С и от 10 до 60 см (рис. 1; табл. 1). После установления устойчивого снежного покрова стандартное отклонение температуры почвы существенно снижается по сравнению с осенним и весенним периодами – в 1,5–9,0 раза, стандартное отклонение приземной температуры воздуха превышает стандартное отклонение температуры почвы в 5–9 раз.

Для Сибири в соответствии с усилением континентальности в период с устойчивым снежным покровом происходит снижение приземной температуры воздуха и толщины снега с запада на восток: от –14 до –35 °С и от 46 до 20 см (средние за сезон величины (см. рис. 1)) с наиболее низкими значениями в Верхоянске и Оймяконе. Аналогичным образом снижается температура почвы: в среднем за период с устойчивым снежным покровом от +0,7...–0,8 °С в Березово до –15...–20 °С в Верхоянске (см. рис. 1; табл. 1). При этом вариабельность сезонного хода приземной температуры воздуха и температуры почвы с запада на восток увеличивается с коэффициентом стандартного отклонения от +7 до +12 °С и от +0,5 до +5,6 °С соответственно, т. е. при различиях в 2–14 раз. Вариабельность температуры



почвы в период с устойчивым снежным покровом остается ниже вариабельности температуры почвы весной и осенью в 2,5–7,0 раза. Исключение составляет Восточная Сибирь (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон) с меньшими различиями значений стандартного отклонения (в 1,2–3,8 раза).

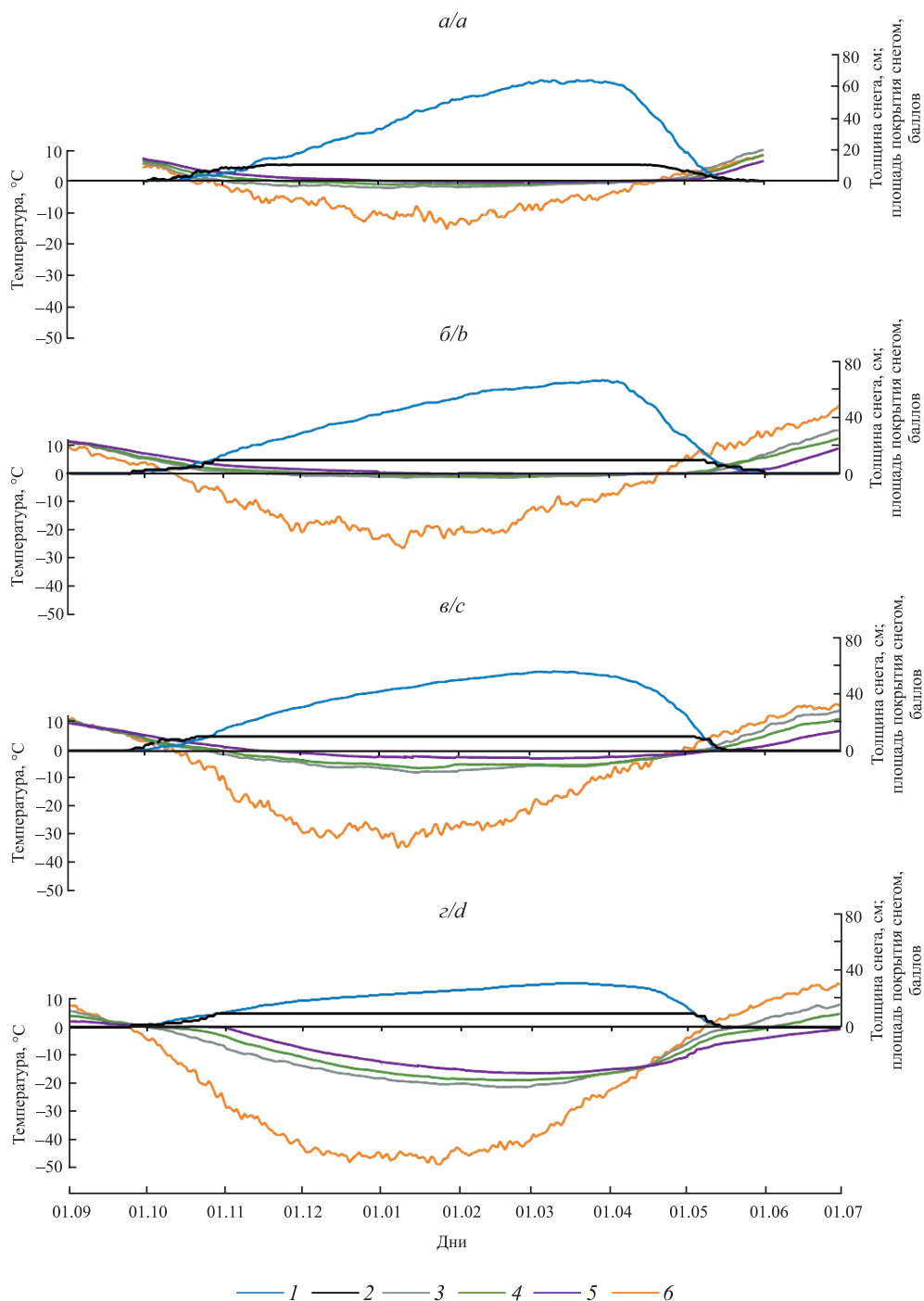


Рис. 1. Сезонная изменчивость толщины снега (1), площади покрытия снегом (2), температуры почвы на глубинах 20 см (3), 40 см (4) и 80 см (5), приземной температуры воздуха (6):
 а – Кандалакша (Восточно-Европейская равнина); б – Березово (Западная Сибирь);
 в – Ербогачен (Центральная Сибирь); г – Оймякон (Восточная Сибирь)

Fig. 1. Seasonal variation of snow thickness (1), snow cover area (2), soil temperatures at depths 20 cm (3), 40 cm (4) and 80 cm (5), air temperature (6):
 а – Kandalaksha (East European Plain); б – Berezovo (Western Siberia);
 с – Erbogachen (Central Siberia); д – Oymyakon (Eastern Siberia)

Таблица 1

Характеристики сезонного хода температуры почвы (1989–2015)

Table 1

Characteristics of the seasonal variation of soil temperature (1989–2015)

Пункт	Глубина, см	Среднее значение, °С/стандартное отклонение, °С		
		Октябрь – ноябрь или сентябрь – октябрь	Декабрь – март или ноябрь – апрель	Апрель – май или май – июнь
Кандалакша*	20	0,8/2,2	-1,6/0,4	2,9/3,5
	40	2,0/2,0	-0,9/0,3	2,1/2,8
	80	3,3/1,9	0,0/0,3	1,9/2,0
Нарьян-Мар*	20	0,9/1,7	-3,3/0,9	-0,5/1,4
	40	1,6/1,5	-2,4/0,9	-0,5/1,1
	80	2,3/1,5	-1,4/0,9	-0,5/0,8
Березово**	20	5,4/3,4	-0,8/0,5	6,8/5,1
	40	6,1/3,1	-0,2/0,6	6,0/3,8
	80	7,2/2,6	0,7/0,8	2,7/2,8
Няксимволь**	20	6,0/3,5	-1,0/0,8	9,3/4,5
	40	6,7/2,9	-0,4/0,7	6,1/3,8
	80	7,4/2,4	0,4/0,9	5,1/3,4
Бор**	20	4,1/3,6	-5,2/1,8	7,1/4,9
	40	4,6/3,3	-4,4/1,4	5,0/4,0
	80	5,3/4,9	-2,0/1,0	2,1/2,5
Ербогачен**	20	6,1/4,1	-1,5/1,1	10,1/6,3
	40	7,0/3,9	-0,7/1,0	3,9/5,9
	80	8,0/3,4	0,6/0,9	6,3/5,0
Верхоянск**	20	-0,3/5,0	-20,4/5,6	6,6/4,9
	40	0,3/3,5	-19,5/5,6	2,5/4,5
	80	0,9/1,4	-14,9/5,3	-3,5/3,0
Оймякон**	20	-0,1/3,5	-16,4/4,2	2,6/3,9
	40	0,6/1,9	-14,5/4,5	-0,3/4,3
	80	0,7/0,7	-12,1/4,3	-4,0/2,3

Примечание. * – осреднение для октября – ноября, декабря – марта, апреля – мая (Восточно-Европейская равнина); ** – осреднение для сентября – октября, ноября – апреля, мая – июня (Сибирь).

**Многолетняя изменчивость температуры почвы,
толщины снега и приземной температуры воздуха**

В связи с наличием в свободном доступе данных многолетних наблюдений метеорологических станций (www.meteo.ru) наряду с анализом особенностей сезонного хода была проведена оценка особенностей межгодовой изменчивости и многолетних тенденций исследуемых характеристик в 1989–2015 гг. В этом случае в период с устойчивым снежным покровом также происходит закономерное, связанное с усилением континентальности снижение толщины снега и температуры приземного воздуха с запада на восток: от 46–50 см и -9...-14 °С в Европейском секторе до 19–24 см и -34...-35 °С на северо-востоке Восточной Сибири (рис. 2). Соответственно изменениям приземной температуры воздуха значительно снижена на северо-востоке Восточной Сибири и температура почвы при увеличении диапазона температур разных глубин (см. рис. 2; табл. 2).

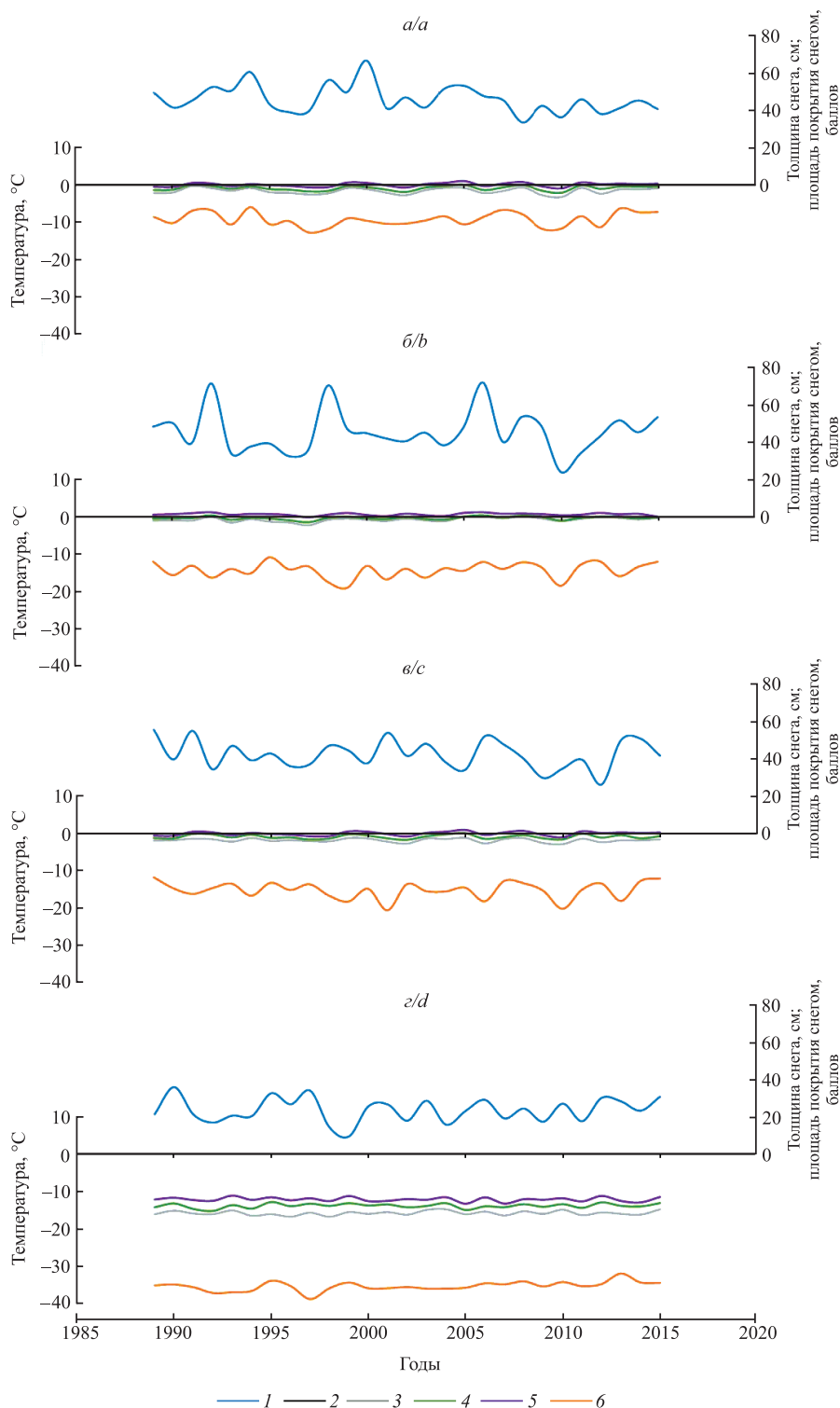


Рис. 2. Многолетняя изменчивость толщины снега (1), площади покрытия снегом (2), температуры почвы на глубинах 20 см (3), 40 см (4) и 80 см (5), приземной температуры воздуха (6):
 а – Кандалакша (Восточно-Европейская равнина); б – Березово (Западная Сибирь);
 в – Ербогачен (Центральная Сибирь); г – Оймякон (Восточная Сибирь)
 Fig. 2. Long-term variation of snow thickness (1), snow cover area (2), soil temperature at depths 20 cm (3), 40 cm (4) and 80 cm (5), air temperature (6):
 а – Kandalaksha (East European Plain); б – Berezovo (Western Siberia);
 в – Erbogachen (Central Siberia); г – Oymyakon (Eastern Siberia)



Стандартное отклонение многолетнего хода толщины снежного покрова на севере Восточно-Европейской равнины составляет 6,6–7,5 см, увеличиваясь в Западной и Центральной Сибири до 9,6–11,6 и 8,7–12,2 см соответственно и вновь снижаясь на северо-востоке Восточной Сибири до 5,0–6,5 см. Стандартное отклонение приземной температуры воздуха в период с устойчивым снежным покровом повсеместно превышает ее стандартное отклонение осенью и весной (1,6–2,7 и 1,0–2,5 °С соответственно). Стандартное отклонение температуры почвы в это время, напротив, в 1,5–4,5 раза меньше стандартного отклонения осенью и весной (см. табл. 2). Исключение составляет северо-восток Восточной Сибири (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон) с меньшим в 1,3–2,7 раза соотношением значений стандартного отклонения.

Тенденции с коэффициентами линейного тренда значимостью 95 % в многолетнем ходе толщины снега отсутствуют, приземная температура воздуха повсеместно увеличивается лишь в весенний период с коэффициентами линейного тренда в диапазоне 0,04–0,10 °С в год. Особенность северо-востока Восточной Сибири (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон) состоит в наличии только здесь значимой многолетней тенденции хода температуры почвы с коэффициентами линейных трендов 0,05–0,17 °С в год при отсутствии значимых изменений в других регионах (см. рис. 1, 2; табл. 1, 2).

Таблица 2

Характеристики многолетнего хода температуры почвы (1989–2015)

Table 2

Characteristics of the long-term course of soil temperature (1989–2015)

Пункт	Глубина, см	Среднее значение, °С/стандартное отклонение, °С/тренд, °С·год ⁻¹		
		Октябрь – ноябрь или сентябрь – октябрь	Декабрь – март или ноябрь – апрель	Апрель – май или май – июнь
Кандалакша*	20	0,8/1,2/0,033	-1,6/0,7/-0,022	2,9/0,9/0,049
	40	2,0/0,9/0,042	-0,9/0,6/0,009	2,1/0,8/0,050
	80	3,3/0,8/0,044	0,2/0,5/0,016	1,5/0,7/0,050
Нарьян-Мар*	20	0,9/1,0/0,035	-3,2/0,8/-0,014	-0,4/1,2/0,015
	40	1,5/0,9/0,051	-2,6/0,7/0,049	-0,5/1,3/0,022
	80	2,2/0,7/0,031	-1,4/0,9/0,025	-0,5/0,7/0,020
Березово**	20	5,4/1,0/0,041	-0,8/0,6/0,033	6,9/1,9/0,043
	40	6,1/0,9/0,020	-0,2/0,5/0,015	6,1/2,3/0,226
	80	7,2/0,9/0,004	0,6/0,3/-0,002	3,0/0,4/-0,006
Няксимволь**	20	6,0/1,0/0,050	-1,1/0,8/0,026	9,4/1,4/-0,044
	40	6,7/0,9/0,039	-0,4/0,5/-0,005	6,3/2,2/0,211
	80	7,4/0,7/0,006	0,5/0,4/-0,016	5,2/1,2/-0,003
Бор**	20	4,1/0,9/0,008	-5,4/1,3/-0,037	7,2/1,2/0,006
	40	7,0/1,2/0,031	-0,8/1,0/0,024	8,9/1,4/0,081
	80	5,3/0,7/0,009	-1,9/0,5/0,024	2,1/1,7/0,015
Ербогачен**	20	6,1/1,3/0,038	-1,5/1,2/-0,021	10,1/1,5/0,085
	40	2,0/0,9/0,042	-0,9/0,7/0,009	2,1/0,8/0,050
	80	3,3/0,8/0,044	0,0/0,5/0,016	1,6/0,7/0,052
Верхоянск**	20	-0,3/1,7/0,092	-20,2/3,5/0,241	6,6/1,3/0,051
	40	0,3/1,1/0,083	-19,5/1,8/0,068	2,5/0,9/0,047
	80	0,9/0,5/0,008	-14,9/1,2/0,036	-3,5/1,5/0,168
Оймякон**	20	-0,1/0,7/0,023	-16,3/1,2/0,052	2,6/0,7/0,027
	40	0,6/0,5/0,011	-14,6/2,1/0,106	0,4/1,9/-0,154
	80	0,6/0,6/-0,058	-12,1/1,1/0,019	-4,1/0,8/-0,064

Примечание. Полужирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейных трендов; * – осреднение для октября – ноября, декабря – марта, апреля – мая (Восточно-Европейская равнина); ** – осреднение для сентября – октября, ноября – апреля, мая – июня (Сибирь); °С·год⁻¹ – градусов Цельсия в год.



Аномалии температуры почвы, толщины снега и приземной температуры воздуха

В данном случае рассматриваются значения характеристик, превышающие стандартное отклонение в период 1989–2015 гг. как в положительной, так и в отрицательной области распределения (при снятых многолетних трендах за вычетом величины стандартного отклонения). Как положительные, так и отрицательные аномалии температуры почвы повторяются по 3–7 раз за исследуемый период, т. е. в 12–27 % от всех случаев.

При этом совпадения аномальных значений температуры почвы на разных глубинах, будучи немногочисленными, носят случайный характер в своем расположении в многолетнем ряду. Не обнаружено и закономерностей в распределении в многолетнем ряду немногочисленных совпадений аномалий температуры почвы и аномалий толщины снега и приземной температуры воздуха (рис. 3). Полученный результат совпадает с выводами А. Б. Шерстюкова о том, что в зимний период значимая корреляционная связь хода толщины снежного покрова и хода приземной температуры воздуха на территории Сибири отсутствует, слабая значимая корреляция хода температуры почвы и хода высоты снежного покрова в субарктической зоне Сибири отмечена только на Дальнем Востоке [7; 8].

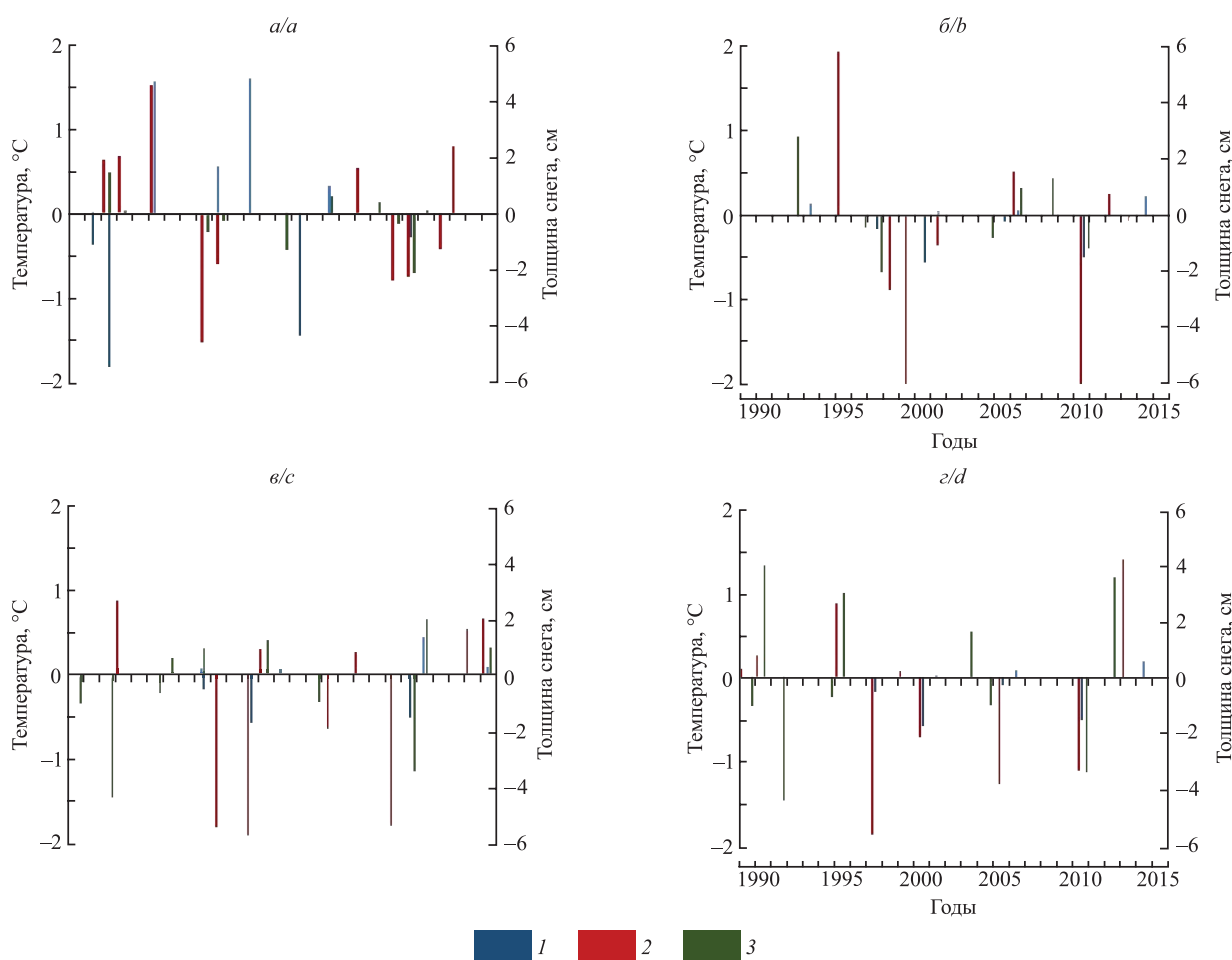


Рис. 3. Ход аномалий толщины снега (1), приземной температуры воздуха (2) и температуры почвы на глубине 40 см (3):
а – Кандалакша (Восточно-Европейская равнина);
б – Березово (Западная Сибирь); в – Ербогачен (Центральная Сибирь);
г – Оймякон (Восточная Сибирь)

Fig. 3. Course of anomalies in snow thickness (1), air temperature (2) and soil temperature at depth 40 cm (3):
a – Kandalaksha (East European Plain);
b – Berezovo (Western Siberia); c – Erbogachen (Central Siberia);
d – Oymyakon (Eastern Siberia)



Выводы

Проведенный анализ степени влияния снежного покрова на динамику температуры почвы в современных климатических условиях Евразийской Субарктики посредством количественной оценки особенностей сезонного и многолетнего хода исследуемых характеристик дал следующие результаты.

На территории Евразийской Субарктики сезонная и многолетняя температура почвы на глубинах до 80 см в период с устойчивым покровом снижается от +1...–1 °С на северо-западе Восточно-Европейской равнины до –15...–20 °С на северо-востоке Восточной Сибири: уменьшение толщины снега и снижение приземной температуры воздуха с запада на восток Евразийской Субарктики приводят к ослаблению теплоизолирующих свойств снежного покрова при существенном снижении региональных температур воздуха.

Особенности сезонной и межгодовой изменчивости температуры почвы большей части Евразийской Субарктики соответствуют закономерностям ее хода для Восточно-Европейской равнины в целом: появление в этих регионах устойчивого снежного покрова определяет снижение вариабельности температуры почвы в сравнении с весной и осенью в 1,5–9,0 раза для сезонной изменчивости и в 2,5–7,0 раза для многолетнего хода. Исключением является северо-восток Восточной Сибири (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон), где вариабельность температуры почвы выше, чем в бесснежные периоды. Здесь относительно небольшая толщина снега обуславливает сильную зависимость хода температуры почвы от динамики приземной температуры воздуха.

В связи с меньшей толщиной снега и экстремально низкой региональной приземной температурой для северо-запада Восточной Сибири характерны самая низкая для Евразийской Субарктики температура почвы и возрастание ее вариабельности в снежный период, что в целом обусловлено влиянием на регион сибирского антициклона.

Общим между Восточно-Европейской равниной и Евразийской Субарктикой является отсутствие значимых многолетних тенденций в ходе температуры почвы, что, по-видимому, связано с ее низкой сезонной и многолетней вариабельностью в период с устойчивым снежным покровом. Анализ хода аномалий исследуемых характеристик (превышение стандартного отклонения в положительной и отрицательной области распределения) также показывает незначительное и несистематическое число их совпадений при суммарном количестве аномальных случаев 12–27 % от общей продолжительности ряда. Редкие совпадения во времени аномалий температуры почвы на разных глубинах и высоты снежного покрова носят скорее случайный характер. Можно предположить, что в этих случаях сказывается принципиальное изменение вариабельности температуры почвы вследствие отепляющих свойств снежного покрова, а также значительная неоднородность в пространстве и времени водно-физических свойств почвогрунтов.

На данный момент аналогичных результатов исследований для крупных регионов автором не обнаружено. Выявленные закономерности могут быть использованы при анализе результатов мониторинга состояния поверхности суши, разработке алгоритмов дистанционного зондирования, уточнении прогнозных сценариев изменений окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. Львович МИ. *Вода и жизнь: водные ресурсы, их преобразование и охрана*. Москва: Мысль; 1986. 254 с.
2. Николаев АН, Скачков ЮБ. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2012;5(1):43–51.
3. Кудрявцев ВА. *Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР*. Москва: Издательство Академии наук СССР; 1954. 182 с.
4. Павлов АВ. *Мониторинг криолитозоны*. Новосибирск: Гео; 2008. 230 с.
5. Осокин НИ, Сосновский АВ. Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта. *Криосфера Земли*. 2015;19(1):99–105.
6. Слепцов ВИ, Мордовской СД, Петров ЕЕ. Расчет количества циклов замерзания-оттаивания породного массива для условий Центральной Якутии на горизонтальных поверхностях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012; 9:99–103.
7. Шерстюков АБ. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России. *Криосфера Земли*. 2008;12(1):79–87.
8. Шерстюков АБ, Анохин ЮА. Пространственные особенности изменения температуры воздуха и почвы в зоне многолетней мерзлоты России. В: Израэль ЮА, редактор. *Научные аспекты экологических проблем России. Труды II Всероссийской конференции; 29–31 мая 2006 г.; Москва, Россия*. Москва: Наука; 2006. с. 22–23.
9. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Асаинова ЖА, Желтухин АС, Коробов ЕД. Сезонная динамика температуры воздуха, снегозапасов и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины. *Лед и снег*. 2017;57(4):518–526. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-518-526.
10. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Коробов ЕД, Желтухин АС. Многолетние тенденции и межгодовые колебания характеристик снежного покрова, климата и температуры почвы Восточно-Европейской равнины. В: *Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием; 8–14 сентября 2019 г.; Нижний Новгород, Россия*. Москва: Студия Ф1; 2019. с. 166–171.



References

1. L'vovich MI. *Voda i zhizn': vodnye resursy, ikh preobrazovanie i okhrana* [Water and life: water resources, their transformation and protection]. Moscow: Mysl'; 1986. 254 p. Russian.
2. Nikolaev AN, Skachkov YuB. Snow cover and permafrost soil temperature influence on the radial growth of trees in Central Yakutia. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2012;5(1):43–51. Russian.
3. Kudryavtsev VA. *Temperatura verkhnikh gorizontov vechnomerzloi tolshchi v predelakh SSSR* [The temperature of the upper layers of permafrost in the USSR]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of USSR; 1954. 182 p. Russian.
4. Pavlov AV. *Monitoring kriolitozony* [Permafrost monitoring]. Novosibirsk: Geo; 2008. 230 p. Russian.
5. Osokin NI, Sosnovskiy AV. Impact of dynamics of air temperature and snow cover thickness on the ground freezing. *Earth's Cryosphere*. 2015;19(1):99–105. Russian.
6. Sleptsov VI, Mordovskoi SD, Petrov EE. [Calculating the number of freeze-thaw cycles of the rock mass conditions for the Central Yakutia on horizontal surfaces]. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012;9:99–103. Russian.
7. Sherstyukov AB. Correlation of soil temperature with air temperature and snow cover depth in Russia. *Earth's Cryosphere*. 2008;12(1):79–87. Russian.
8. Sherstyukov AB, Anokhin YuA. [Spatial features of air and soil temperature changes in the permafrost zone of Russia]. In: Izrael' YuA, editor. *Nauchnye aspekty ekologicheskikh problem Rossii. Trudy II Vserossiiskoi konferentsii; 29–31 maya 2006 g.; Moskva, Rossiya* [Scientific aspects of environmental problems in Russia. Proceedings of the 2nd All-Russian conference; 2006 May 29–31; Moscow, Russia]. Moscow: Nauka; 2006. p. 22–23. Russian.
9. Kitaev LM, Ableeva VA, Asainova ZA, Zheltukhin AS, Korobov ED. Seasonal dynamics of air temperature, snow storage and soil freezing in Central part of the East European Plain. *Ice and Snow*. 2017;57(4):518–526. Russian. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-518-526.
10. Kitaev LM, Ableeva VA, Korobov ED, Zheltukhin AS. [Long-term trends and interannual fluctuations in snow cover characteristics, climate and soil temperature of the East European Plain]. In: *Nauchnye problemy ozdorovleniya rossiiskikh rek i puti ikh resheniya. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem; 8–14 sentyabrya 2019 g.; Nizhnii Novgorod, Rossiya* [Scientific problems of rehabilitation of Russian rivers and ways to solve them. Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation; 2019 September 8–14; Nizhny Novgorod, Russia]. Moscow: Studiya F1; 2019. p. 166–171. Russian.

Статья поступила в редакцию 21.07.2020.
Received by editorial board 21.07.2020.