



УДК 631.3: 631.436: 536.2

DOI:10.31677/2311-0651-2023-40-2-95-104

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ПРОЦЕСС ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ

А.К. Апажев, доктор технических наук, профессор
Ю.А. Шекихачев, доктор технических наук, профессор
А.Г. Фиапшев, кандидат технических наук, доцент
Л.З. Шекихачева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет

E-mail: shek-fmep@mail.ru

Ключевые слова: мульчирование, теплопроводность, снежный покров, уплотнение, температура почвы, промерзание, количественные оценки, моделирование.

Реферат. Систематически исследовано на разных типах почв только изменение температуры почвы во времени. В то же время существует множество агротехнических приемов, направленных на регулирование температурного режима почвы. Так, эффективными мерами, направленными на повышение температуры поверхностных слоев почвы, являются снегозадержание и мульчирование растительными остатками. В статье исследован процесс промерзания почвы с мульчированной поверхностью; находящейся под слоем снега; покрытой ледяной коркой. Использованы методы теоретического анализа (структурно-функциональный, системный подход) и математической статистики. Полевые исследования проведены в ООО «Племсовхоз "Кенже" Кабардино-Балкарской Республики в двух вариантах: оголенная почва и мульчированная почва с созданием в зимний период на поверхности снега ледяной корки. Результаты исследования влияния мульчирующего слоя растительности и ледяной корки на поверхности снега на годовой ход температуры поверхности почвы и температуру почвы свидетельствуют о том, что мульчирование поверхности почвы растительными остатками и создание на поверхности снега ледяной корки способствует «сглаживанию» температуры почвы. Так, при использовании предлагаемых технологических приемов температура почвы с изменением глубины от 0 до 100 см меняется от 0 °С до +2,5 °С, тогда как без их применения – от -3 °С до +2 °С. Важно, что температура почвы на глубине 30 см при применении предложенных технологических приемов выше 0 °С, что подтверждает их эффективность в предотвращении промерзания почвы.

INFLUENCE OF AGRICULTURAL PRACTICES ON THE PROCESS OF SOIL FREEZING

A.K. Apazhev, Doctor of Technical Sciences, Professor
Yu.A. Shekikhachev, Doctor of Technical Sciences, Professor
A.G. Fiapshev, PhD in Technical sciences, Associate professor
L.Z. Shekikhacheva, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

Kabardino-Balkarian State Agrarian University

Keywords: mulching, thermal conductivity, snow cover, compaction, soil temperature, freezing, quantitative estimates, modelling.

Abstract. *Only the change in soil temperature with time has been systematically studied on different types of soils. At the same time, many agricultural practices aim to regulate the soil's temperature regime. Thus, snow retention and mulching with plant residues are effective measures aimed at increasing the temperature of the surface layers of the earth. In the article, the authors investigated the process of world freezing with a mulched surface under a layer of snow covered with an ice crust. Methods of theoretical analysis (structural-functional, systemic approach) and mathematical statistics are used. The authors conducted field studies in two versions at LLC "Plemsovkhoz" Kenzhe "of the Kabardino-Balkarian Republic. The first option is bare soil, and the second option is mulched soil with the creation of an ice crust on the snow surface in winter. Studies were carried out on the influence of the mulching layer of vegetation and the ice crust on the snow surface on the annual variation in soil surface temperature and soil temperature. These study results indicate that mulching the soil surface with plant residues and creating an ice crust on the snow surface contributes to the "smoothing" of the soil temperature. So, when using the proposed technological methods, the temperature of the soil with a change in depth from 0 to 100 cm changes from 0°C to +2.5 °C, while without their use - from -3 °C to +2 °C. The authors proved that the temperature of the soil at a depth of 30 cm, when using the proposed technological methods, reaches above 0 °C. This confirms the effectiveness of these techniques in preventing dirt freezing.*

Наряду со светом тепло относят к основным факторам жизни растений и необходимым условиям для биологических, химических и физических процессов. Тепловой режим грунта и приземного слоя воздуха определяет не только темпы развития растений, но и размер урожая в целом. Температурные условия отражаются и на продуктивности сельскохозяйственных животных.

Температура почвы влияет на развитие растений в начале их жизни. При низкой температуре семена не дают всходов, а при продолжительной холодной погоде загнивают. Но и слишком высокие температуры почвы в этот период вредны. Поэтому сеять нужно в оптимальные и сжатые сроки, учитывая наряду с другими факторами и температуру почвы.

От температуры почвы зависят активность микроорганизмов, интенсивность разложения органических веществ, развитие корневой системы и способность ее усваивать питательные вещества, продолжительность вегетационного периода, эффективность минеральных удобрений, начало проведения отдельных сельскохозяйственных работ.

Температура почвы оказывает влияние на газообмен между почвенным и атмосферным воздухом, распространение вредителей сельскохозяйственных культур и животных. Она определяет и влагообеспеченность растений. При температуре ниже 0 °C вода в почве замерзает и не может усваиваться корнями растений.

Низкие температуры почвы снижают урожай репродуктивных органов (зерна), но увеличивают выход общей массы (соломы, корней) у зерновых культур. В меньшей степени низкие температуры почвы влияют на урожай культур, формирующих вегетативную массу (травы, картофель, корнеплоды).

Основные факторы, влияющие на температурный режим почвы, находящейся под слоем снега: температура и влажность окружающего воздуха, скорость ветра, мощность снежного покрова и наличие ледяной корки, наличие растительности, экспозиция и крутизна склона, время суток и др. [1–8].

Эффективными мерами, направленными на повышение температуры поверхностных слоев почвы, являются снегозадержание и мульчирование растительными остатками.

Следует отметить, что наличие ледяной корки способствует усилению парникового эффекта, а благодаря растительным остаткам между снегом и почвой образуется воздушная прослойка, которая препятствует оттоку тепла из глубин почвы в снежный покров и далее

через ледяную корку. Растительность и ледяная корка исключают конвективное движение воздуха, в результате чего замедляется процесс теплообмена между снегом и почвой, что способствует уменьшению глубины промерзания почвы.

Цель исследований – изучение процесса промерзания почвы с мульчированной поверхностью, находящейся под слоем снега, покрытой ледяной коркой.

Объект исследования – почва. Методы исследования: теоретического анализа (структурно-функциональный, системный подход) – для обобщения результатов исследований; математической статистики – для обработки экспериментальных данных. Полевые эксперименты проведены в 2019–2021 гг. на террасированном склоне ООО «Племсовхоз "Кенже" КБР в двух вариантах: оголенная и мульчированная почва с созданием в зимний период на поверхности снега ледяной корки [9, 10].

В процессе исследования влияния указанных агротехнических приемов на температурный режим почвы задача ее промерзания является одной из разновидностей задач Стефана, в которых неизвестным является не только температурное поле в соприкасающихся зонах, но и закон промерзания почвы под снежным покровом [11–14].

Данная задача может быть сформулирована следующим образом (рис. 1). Ось O направлена вертикально вниз от поверхности почвы. Обозначим через h_1 , h_2 и h_3 соответственно толщину ледяной корки, снежного покрова и мульчирующего слоя (воздушной прослойки), через $h(t)$ – глубину промерзания почвы.

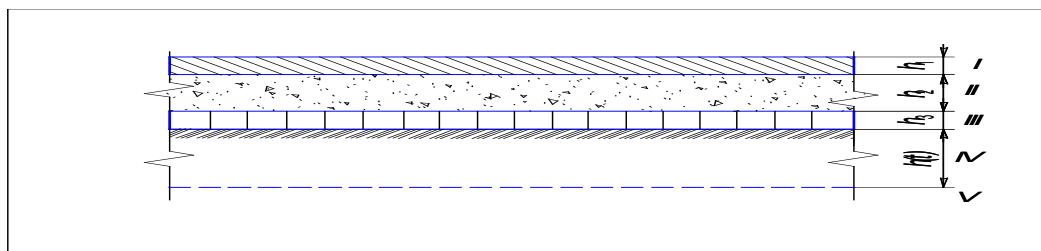


Рис. 1. Расчетная схема для исследования процесса промерзания поверхности почвы
Fig. 1. Calculation scheme for studying the process of soil surface freezing

В каждой из пяти зон составляется уравнение теплообмена в виде:

$$\frac{\partial}{\partial X} \lambda_{\pi} \frac{\partial T_{\pi}}{\partial X} + f_{\pi} = C_{\pi} \frac{\partial T_{\pi}}{\partial X}, \quad (1)$$

граничное условие: $-(h_1 + h_2 + h_3) < X < -(h_2 + h_3)$;

$$\frac{\partial}{\partial X} \lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial X} + f_c = C_c \frac{\partial T_c}{\partial X}; \quad (2)$$

граничное условие: $-(h_2 + h_3) < X < -h_3$;

$$\frac{\partial}{\partial X} \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial X} + f_p = C_p \frac{\partial T_p}{\partial X}, \quad (3)$$

граничное условие: $-h_3 < X < 0$;

$$\frac{\partial}{\partial X} \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial X} = C_m \frac{\partial T_m}{\partial X}, \quad (4)$$

граничное условие: $h(t) < X < h$,

где T – температура; λ и C – коэффициенты теплопроводности и объемной теплоемкости; л, с, р, м – индексы, обозначающие соответственно лед, снег, растительность, мерзлую почву; f_a, f_c, f_p – функции, учитывающие соответственно возможность поглощения солнечной радиации внутри ледяной корки, снежного покрова и слоя растительности; $h_1, h_2, h_3, h(t)$ – толщина соответственно ледяной корки, снежного покрова, слоя растительности и промерзшей части почвы; h – глубина затухания температурных колебаний.

На границах раздела фаз выполняются условия сопряжения – по обе стороны от каждой границы равны как температура и концентрация пара, так и их потоки; на поверхности ледяной корки дается поток тепла и массы в окружающее пространство, а на границе промерзания почвы температура все время остается равной температуре стабильного равновесия, т.е. 0 °С. При такой общей постановке получить аналитическое решение задачи Стефана не представляется возможным.

Однако физика процесса промерзания почвы такова, что можно принять ряд упрощающих предположений. Основное из них – предположение о квазистационарности полей температуры и концентрации пара в зонах II и IV. Тогда время установления равновесного температурного поля в ледяной корке будет равно:

$$\tau_a = \frac{\rho_a C_a h_1^2}{4\lambda_a}, \quad (5)$$

где ρ_a – плотность льда, г/см³.

Коэффициенты в формуле (5) зависят от многих параметров. Согласно данным Ю.Я. Мачерет и др. [15], $\rho_a = 0,917$ г/см³, $C_a = 0,5$ кал/(г·град), $\lambda_a = 4,5 \cdot 10^{-3}$ кал/(град·см·с). Тогда при толщине ледяной корки $h_1 = 0,5$ см получим, что $\tau_a = 6,4$ с.

Время установления равновесного температурного поля в снежном покрове будет:

$$\tau_c = \frac{\rho_c C_c h_2^2}{4\lambda_c}, \quad (6)$$

где ρ_c – плотность снега, г/см³.

По данным вышеупомянутых авторов [15], $\rho_c = 0,1$ г/см³, $C_c = 0,05$ кал/(г·град), $\lambda_c = 4,9 \cdot 10^{-4}$ кал/(град·см·с), и при толщине слоя снега $h_2 = 10$ см получим, что $\tau_c = 255,2$ с.

Процесс промерзания почвы длится намного дольше, чем τ_a и τ_c , что способствует установлению в толще снежного покрова стационарного температурного поля.

Воздушная прослойка сохраняется в зоне III благодаря наличию растительности. При этом процессы тепло- и массопереноса в данной зоне существенно зависят от густоты растительности, использованной для мульчирования, так как она определяет в конечном счете толщину зоны III.

В данном случае следует отметить, что необходимо обеспечить максимальную равномерность распределения мульчирующего слоя растительности по поверхности почвы.

Когда поверхность почвы покрыта достаточно густым слоем мульчирующего материала (растительности), конвективные процессы будут затруднены. Поэтому независимо от

толщины слоя III конвекция не учитывается. В этом случае время установления стационарного температурного поля в мульчирующем слое рассчитывается по выражению

$$\tau_p = \frac{\rho_p C_p h_3^2}{4\lambda_p}, \quad (7)$$

где ρ_p – плотность растения, г/см³.

При $\rho_p = 0,001293$ г/см³, $C_p = 0,24$ кал/(г·град), $\lambda_p = 6,3 \cdot 10^{-6}$ кал/(град·см·с) и $h_3 = 5$ см получим, что $\tau_p = 307,8$ с.

Исходя того, что коэффициент теплопроводности почвы такого же порядка, что и для влажного снега, в промерзшей почве тоже установится квазистационарное температурное поле. Тогда при решении задач о промерзании почвы может быть применен квазистационарный метод академика Лейбензона [15]. В данном случае стационарное температурное поле в толще ледяной корки удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial^2 T_{\text{л}}}{\partial X^2} = 0. \quad (8)$$

Из выражения (8) получим, что

$$T_{\text{л}} = A_{\text{л}} X + B_{\text{л}}, \quad (9)$$

где $A_{\text{л}}, B_{\text{л}}$ – неизвестные коэффициенты, которые должны быть найдены из граничных условий ($A_{\text{л}}$ – градиент температуры, $B_{\text{л}}$ – температура поверхности ледяной корки).

Для снежного покрова аналогично получаем:

$$\frac{\partial^2 T_{\text{с}}}{\partial X^2} = 0, \quad (10)$$

$$T_{\text{с}} = A_{\text{с}} X + B_{\text{с}}, \quad (11)$$

где $A_{\text{с}}, B_{\text{с}}$ – неизвестные коэффициенты, которые должны быть найдены из граничных условий ($A_{\text{с}}$ – градиент температуры; $B_{\text{с}}$ – температура поверхности снежного покрова).

В зоне III наличие растительности оказывает некоторое влияние на теплопроводность и диффузию в этой зоне.

Рассматривая мульчирующий слой вместе с содержащимся в нем воздухом как композиционный материал, можно оценить величины коэффициентов теплопроводности и диффузии в зависимости от соотношения объемов воздушных включений и растительности.

Для температур в зонах III и IV аналогично имеем:

$$T_p = A_p X + B_p, \quad (12)$$

где A_p, B_p – неизвестные коэффициенты, которые должны быть найдены из граничных условий (A_p – градиент температуры, B_p – температура поверхности слоя растительности);

$$T_m = A_m X + B_m, \quad (13)$$

где A_m, B_m – неизвестные коэффициенты, которые должны быть найдены из граничных условий (A_m – градиент температуры; B_m – температура поверхности мерзлой почвы).

Для определения коэффициентов A_m, B_m необходимо составить условия сопряжения на границах раздела зон.

На границе зон I и II имеем:

$$A_n X + B_n = B_c, \quad (14)$$

$$\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial X} + D_n h_1 \frac{\partial h_1}{\partial X} = \lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial X} + D_c L_n \frac{\partial h_2}{\partial X}, \quad (15)$$

где D_n и D_c – коэффициенты диффузии водяного пара в ледяной корке и в снежном покрове; λ_n и λ_c – плотности пара в зонах I и II; L_n – скрытая теплота сублимации пара.

Аналогично на границе зон II и III имеем:

$$A_c X + B_c = B_p, \quad (16)$$

$$\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial X} + D_c h_2 \frac{\partial h_2}{\partial X} = \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial X} + D_p L_n \frac{\partial h_3}{\partial X}, \quad (17)$$

где D_c – коэффициент диффузии водяного пара в мульчирующем слое; λ_p – плотность пара в зоне III.

И, наконец, на границе зон III и IV имеем:

$$A_p X + B_p = B_m, \quad (18)$$

$$\lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial X} + D_p h_3 \frac{\partial h_3}{\partial X} = \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial X} + D_m L_n \frac{\partial h}{\partial X}, \quad (19)$$

где D_m – коэффициент диффузии водяного пара в мерзлой почве; λ_m – плотность пара в зоне IV.

Учитывая, что целью настоящих расчетов является выявление роли ледяной корки и мульчирующего слоя растительности на процесс промерзания почвы, можно в дальнейшем упростить задачу, предполагая, что температура в незамерзшей части почвы все время остается равной нулю.

Следует отметить, что такое предположение не оказывает существенного влияния на результаты расчетов. Обычно распределение температуры в ледяной корке и снежном покрове нам неизвестно. Данное распределение зависит от многих факторов.

Однако с течением времени температурное поле в глубине почвы постепенно стремится к стандартному распределению, при котором поток тепла из недр Земли на ее поверхность остается постоянным и в зависимости от местности колеблется в пределах $1 - 2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Учитывая приведенные выше обстоятельства, можно записать:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\lambda_m A_m}{\rho_m L_n f}, \quad (20)$$

где f – удельное содержание воды в почве.

Проинтегрировав выражение (20) при условии, что $h = 0$ при $t = 0$, получим:

$$h = \sqrt{\lambda_m^2 \left(\frac{h_n}{\lambda_n} + \frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_p}{\lambda_p} \right)^2 + \frac{2\lambda_m |T_n|}{\rho_m L f} t} - \lambda_m \left(\frac{h_n}{\lambda_n} + \frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_p}{\lambda_p} \right). \quad (21)$$

При отсутствии ледяной корки и мульчирующего слоя растительности получим из выражения (21):

$$h = \sqrt{\lambda_m^2 \left(\frac{h_n}{\lambda_n} + \frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_p}{\lambda_p} \right)^2 + \frac{2\lambda_m |T_n|}{\rho_m L f} t} - \lambda_m \left(\frac{h_n}{\lambda_n} + \frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_p}{\lambda_p} \right). \quad (22)$$

При отсутствии еще и снежного покрова выражение (22) принимает вид известной формулы о законе промерзания почвы, когда на ее поверхности поддерживается отрицательная температура:

$$h = \sqrt{\frac{2\lambda_m |T_n|}{\rho_m L f} t}. \quad (23)$$

Расчеты показали, что путем создания на поверхности снежного покрова ледяной корки и мульчирования поверхности почвы можно добиться полного исключения промерзания почвы.

Результаты исследования влияния мульчирующего слоя растительности и ледяной корки на поверхности снега на годовой ход температуры поверхности почвы и температуру почвы свидетельствуют о том, что мульчирование поверхности почвы растительными остатками и создание на поверхности снега ледяной корки способствуют «сглаживанию» температуры почвы. Так, при использовании предлагаемых технологических приемов температура почвы с

изменением глубины от 0 до 100 см меняется от 0 °С до +2,5 °С, тогда как без их применения – от -3 °С до +2 °С (рис. 2).

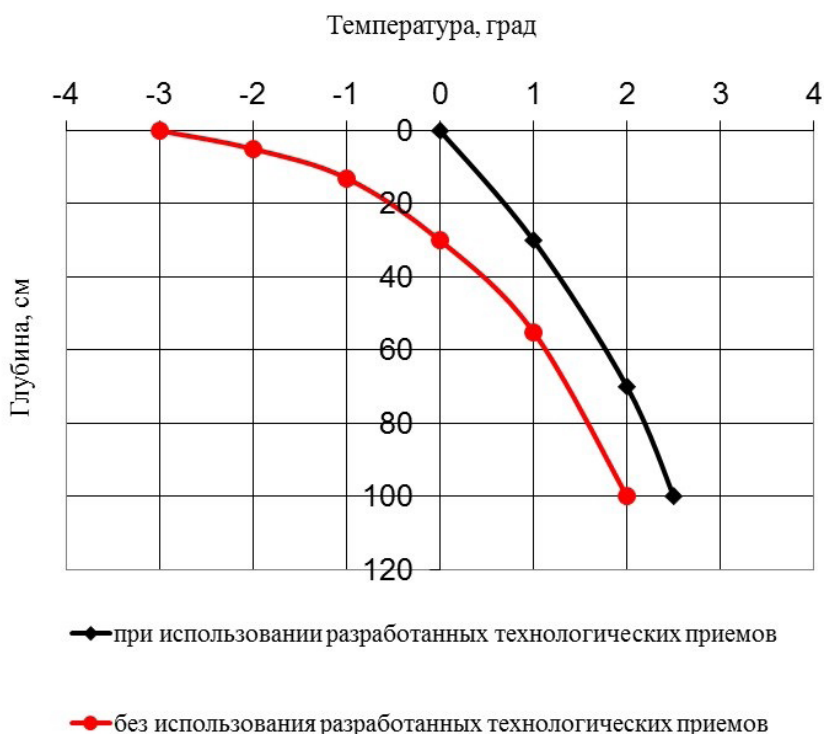


Рис. 2. Изменение глубины промерзания почвы в зависимости от применяемых агротехнических приемов
Fig. 2. Change in the depth of soil freezing depending on the applied agricultural practices

Следует подчеркнуть, что температура почвы на глубине 30 см при применении предложенных технологических приемов выше 0 °С, что является подтверждением того, что при их использовании практически исключается промерзание почвы.

Таким образом, получены теоретические зависимости, отражающие влияние ледяной корки на поверхности снега и мульчирующего слоя растительности между снегом и почвой на процесс промерзания последней. Указанные факторы можно использовать как средства регулирования температурного режима почвы.

В результате полевых исследований установлено, что мульчирование поверхности почвы растительными остатками, а также создание на поверхности снега ледяной корки способствует улучшению её температурного режима.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шерстюков А.Б., Анисимов О.А. Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 2. – С. 17–25.
2. Шерстюков А.Б. Отопляющее действие снежного покрова на температуру поверхности почвы под снегом // Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. – 2019. – № 184. – С. 180–192.
3. Impacts of snow on soil temperature observed across the circumpolar North / Y. Zhang, A.B. Sherstiukov, B. Qian [et al.] // Environmental Research Letters. – 2018. – Т. 13, N 4. – P. 044012.
4. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при современных изменениях климата // Лёд и снег. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 475–482.

5. Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Влияние климатических изменений на высоту снежного покрова в лесу и поле в первой декаде XXI века // Криосфера Земли. – 2018. – Т. 22, № 2. – С. 91–100.
6. Sosnovsky A.V., Glazovsky A.F. Freezing of mineralized water droplets in winter sprinkling // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – P. 012063.
7. Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // Лёд и снег. – 2018. – Т. 58, № 2. – С. 183–190.
8. Тепловое оборудование снегоуплотняющей машины: авторское свидетельство на изобретение № 1622496 СССР, МКИ³ E 01 H 4/00. 44653019/11 / М.Х. Каскулов, Ю.А. Шекихачев. – Заявл. 22.02.1989; опубл. 23.01.1991, Бюл. № 3.
9. Шекихачев Ю.А. Обоснование способа и технического средства для снегозадержания в условиях Кабардино-Балкарской Республики // NovaInfo. Ru. – 2016. – № 48-1. – URL: <https://novainfo.ru/article/6902>.
10. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние диффузии водяного пара на теплоперенос в снежном покрове // География и природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 187–193.
11. Котляков В.М., Сосновский А.В., Осокин Н.И. Оценка коэффициента теплопроводности снега по его плотности и твёрдости на западном Шпицбергене // Лёд и снег. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 343–352.
12. Котляков В.М., Сосновский А.В. Оценка термического сопротивления снежного покрова по температуре грунта // Лёд и снег. – 2021. – Т. 61, № 2. – С. 195–205.
13. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние диффузии водяного пара на теплоперенос в снежном покрове // География и природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 187–193.
14. Сосновский А.В., Осокин Н.И. К оценке термического сопротивления снежного покрова на западном Шпицбергене // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 185–191.
15. Мачерет Ю.Я., Сосновский А.В., Глазовский А.Ф. Диэлектрические свойства почв и грунтов и оценка их гидротермического состояния под снежным покровом по данным радиозондирования // Лёд и снег. – 2022. – Т. 62, № 2. – С. 203–216.

REFERENCES

1. Sherstjukov A.B., Anisimov O.A., *Meteorologija i gidrologija*, 2018, No. 2, pp. 17–25. (In Russ.)
2. Sherstjukov A.B. *Trudy Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrometeorologicheskoy informacii – Mirovogo centra dannyh*, 2019, No. 184, pp. 180–192. (In Russ.)
3. Zhang Y., Sherstjukov A.B., Qian B., Kokelj S.V., Lantz T.C., Impacts of snow on soil temperature observed across the circumpolar North, *Environmental Research Letters*, 2018, Vol. 13, No. 4, pp. 044012.
4. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., *Ljod i sneg*, 2019, Vol. 59, No. 4, pp. 475–482. (In Russ.)
5. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., Chernjakov G.A., *Kriosfera Zemli*, 2018, Vol. 22, No. 2, pp. 91–100. (In Russ.)
6. Sosnovsky A.V., Glazovsky A.F., Freezing of mineralized water droplets in winter sprinkling, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, P. 012063.
7. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., Chernjakov G.A., *Ljod i sneg*, 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 183–190. (In Russ.)
8. Kaskulov M.H., Shekihahchev Yu.A., *Teplovoe oborudovanie snegouplotnyayushchej mashiny: avtorskoe svidetel'stvo na izobretenie № 1622496 SSSR, MKI3 E 01 N 4/00. 44653019/11* (Copyright certificate for the invention), *Zayavl. 22.02.1989; opubl. 23.01.1991, Byul. No. 3.* (In Russ.)
9. Shekihachev Ju.A. *NovaInfo. Ru*, 2016, No. 48-1, available at: <https://novainfo.ru/article/6902>. (In Russ.)
10. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., *Geografija i prirodnye resursy*, 2019, No. 1, pp. 187–193. (In Russ.)
11. Kotljakov V.M., Sosnovskij A.V., Osokin N.I., *Ljod i sneg*, 2018, Vol. 58, No. 3, pp. 343–352. (In Russ.)

12. Kotljakov V.M., Sosnovskij A.V., *Ljod i sneg*, 2021, Vol. 61, No. 2, pp. 195–205. (In Russ.)
13. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., *Geografija i prirodnye resursy*, 2019, No. 1, pp. 187–193. (In Russ.)
14. Sosnovskij A.V., Osokin N.I., *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN*, 2018, Vol. 10, No. 3, pp. 185–191. (In Russ.)
15. Macheret Ju.Ja., Sosnovskij A.V., Glazovskij A.F., *Ljod i sneg*, 2022, Vol. 62, No. 2, pp. 203–216. (In Russ.)