

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 115–124.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 115–124.

Научная статья

УДК 662.638/712.4

DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МУЛЬЧИ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сергей Николаевич Долматов¹, Анастасия Александровна Соболева²

^{1,2} Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

¹ pipinaskus@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

² ansob_1209@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-7756-1793>

Аннотация. Совершенствование технологий садово-паркового хозяйства является важной задачей, решение которой позволяет снизить издержки и повысить эффективность проведения работ по благоустройству и озеленению городских урбанизированных территорий. Особенности Восточной Сибири являются достаточно суровые климатические условия, резко ограничивающие продолжительность вегетационного сезона, характеризующиеся не только низкими температурами, но и наличием их резких перепадов в виде ночных заморозков. Мероприятия, направленные на стабилизацию температурного баланса почвы, весьма полезны и позволяют увеличить сезон активной деятельности по озеленению и облагораживанию территорий. В работе исследовано влияние мульчирования почвы слоем древесных опилок на показатели температуры почвы в случае понижения температуры до -3°C (имитация ночных заморозков). Имитировался режим нестационарного теплообмена с периодическим обогревом (режим солнечной активности днем) на основе применения методов твердотельного имитационного моделирования в пакете программ Elcut. По результатам моделирования процесса охлаждения почвы видно, что наличие мульчирующего слоя древесных опилок замедляет темпы снижения температуры. Установлено, что даже минимальная толщина слоя опилок в 0,5 см не дает снизиться температуре почвы ниже критической величины $+3^{\circ}\text{C}$ за 10 ч. Получена зависимость температуры почвы от толщины слоя мульчи из древесных опилок. Полученные данные позволяют повысить эффективность работ по озеленению территорий, могут быть использованы для обоснования мероприятий по улучшению всхожести и приживаемости растений в условиях возможного возникновения понижения температур в виде заморозков.

Ключевые слова: древесные опилки, мульча, температура, садово-парковое хозяйство, моделирование

Для цитирования: Долматов С. Н., Соболева А. А. Исследование влияния мульчи древесных опилок на тепловой режим почвы методами имитационного моделирования // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 115–124.

Original article

STUDY OF THE INFLUENCE OF WOOD SAWDUST MULCH ON THE THERMAL REGIME OF SOILS BY METHODS OF SIMULATION MODELING

Sergey N. Dolmatov¹, Anastasia A. Soboleva²

^{1,2} Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

¹ pipinaskus@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

² ansob_1209@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-7756-1793>

Abstract. Improving technologies of gardening and park management is an important task, the solution of which allows to increase efficiency carrying out works, and reduce costs for improvement and greening of urban urbanized territories. The peculiarities of Eastern Siberia are rather severe climatic conditions, sharply limiting the duration of the growing season, characterized not only by low temperatures, but also by their sharp changes in the form of night frosts. Activities aimed at stabilizing the temperature balance of the soil are very useful and allow to increase the season of active activities on greening and improvement of territories. The paper studies the effect of soil mulching with a layer of sawdust on soil temperature indicators in case of a temperature drop to -3°C (imitation of night frosts). The mode of non-stationary teleexchange with periodic heating (the mode of solar activity during the day) was simulated. Based on the use of solid-state simulation methods in the Elcut software package. The results of modeling the soil cooling process show that the presence of a mulching layer of sawdust slows down the rate of temperature decrease. It was found that even a minimum thickness of a sawdust layer of 0,5 cm does not allow the soil temperature to decrease below the critical value of $+3^{\circ}\text{C}$ in 10 hours. The dependence of the soil temperature on the thickness of the sawdust mulch layer was obtained. The obtained data allow increasing the efficiency of landscaping work, and can be used to justify measures to improve the germination and survival rate of plants in conditions of possible temperature decrease in the form of frost.

Keywords: sawdust, mulch, temperature, gardening, modeling

For citation: Dolmatov S. N., Soboleva A. A. Study of the influence of wood sawdust mulch on the thermal regime of soils by methods of simulation modeling // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 115–124.

Введение

Садово-парковое городское хозяйство – важная составляющая благоустройства урбанизированных территорий. Это комплекс мероприятий, оборудования и технологий, которые направлены на организацию проектирования, строительства, агротехники, озеленение парков и скверов города. Озеленение городских территорий имеет важное значение для комфортного проживания населения. Зеленые насаждения формируют облик и эстетику территорий, способствуют благоприятному влиянию на психо-

эмоциональное состояние жителей, выполняют рекреационную функцию и очищают воздух от загрязнений, образованных большим количеством выбросов в атмосферу. Главным принципом, в соответствии с которым формируются правила охраны окружающей среды, является главенствование постулата о сохранности ненарушенных естественных природных комплексов, ландшафтов и экосистем. Экосистемное значение насаждений и лесов обеспечивает уровень качества окружающей среды (Устойчивое развитие..., 2024).

Озеленению городов уделяют серьезное внимание, для этого заранее разрабатывается план мероприятий по озеленению, определяются и резервируются необходимые силы и средства.

Озеленение улиц населенных пунктов и автомобильных дорог можно разделить на два основных вида – это декоративное и защитное озеленение. Снегозадерживающее, шумопылезащитное, противозрозийное – это защитный тип озеленения. Декоративное озеленение – это цветочные клумбы, грядки и газоны, выполненные в определенном стиле и цветовых решениях. Задача акцентированных посадок – привлечение внимания к особо значимым или, например в случае автомобильных дорог, опасным участкам и объектам. Часто используется смешанный тип, т. е. сочетание регулярных и ландшафтно-групповых посадок растений (К озеленению улиц..., 2021).

Например, в г. Красноярске ведется активная деятельность в области садово-паркового хозяйства, развивается культура придомовых зеленых зон, продолжается работа по высадке крупномеров, на осень 2024 г. планируется в семи районах города высадить 5 103 шт. саженцев деревьев (Администрация города Красноярска..., 2024). Помимо саженцев деревьев, высаживается огромное количество травянистых декоративных растений. На процесс озеленения влияет ряд факторов, к которым можно отнести погодные условия, качество посадочного материала, наличие и качество субстратов, удобрений и т.д. При правильном соблюдении и учете всех факторов, которые зависят от исполнителя, качество озеленения напрямую зависит от погодных условий. В Сибири преобладают холодные климатические условия. Этот фактор негативно влияет на выращивание и уход за насаждениями.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью работы является исследование теплового режима почвы в условиях заморозков при ее мульчировании древесными опилками.

Для достижения цели исследования предстоит решить следующие задачи:

1) в САД-приложении выполнить физическую модель объекта исследования;

2) в САЕ-приложении провести имитационное моделирование процесса нестационарного теплообмена почвы и окружающей среды.

Объектом исследования является влияние наличия слоя мульчи из опилок на тепловые показатели почвы при условии действия весенних или осенних заморозков. Методы исследования основаны на имитационном эксперименте, применении технологий твердотельного моделирования.

Суровые климатические условия Восточной Сибири создают ряд специфических технологических приемов, используемых в садово-парковом хозяйстве. Для решения задачи утепления почвы активно применяют древесные отходы, а именно опилки. Опилки в качестве утеплителя обладают рядом качеств, положительно влияющих на рост и развитие растений. Основными достоинствами применения такого утеплителя являются: способность опилок задерживать влагу, что позволяет снизить затраты на частоту полива, создание защитного слоя, предотвращающего влияние внешних температур на растения. Применение опилок позволит улучшить экологическую обстановку в деревоперерабатывающей промышленности и сократит количество древесных отходов, которые негативно влияют на окружающую среду (Абрамов и др., 2023).

В качестве объекта моделирования была принята цветочная клумба. Клумбы бывают различной формы, размеров и назначения. Наиболее часто применяемые при озеленении городов – это традиционные клумбы, находящиеся на уровне земли, и высокие, огороженные различным материалами (Justification..., 2024). Принято условие, согласно которому в подготовленную почву клумбы на глубину 5 см были высажены семена декоративных растений. Затем на протяжении нескольких дней наступил период ночных заморозков. В одном из вариантов почва клумбы была покрыта слоем древесных опилок, в другом опилок не было.

Применение лигноцеллюлозных отходов, в том числе опилок, для улучшения показателей почв имеет достаточно глубокие исторические корни. Известен опыт применения опилок при рекультивации шламохранилищ (Левит, 1989). Наличие

целого перечня химических элементов в составе лигноцеллюлозных отходов приводит как к позитивному, так и к негативному влиянию на показатели развития растений. Салициловая, бензойная, кумаровая кислоты, содержащиеся в составе опилок и являющиеся продуктом разложения лигнина, замедляют рост растений. Фенолкарбоновая кислота, также имеющаяся в составе древесины, негативно влияет на темпы развития и прорастания семян (Орлов и др., 1993).

Древесные опилки, являясь низкоплотным пористым материалом, хорошо мульчируют почву. Однако древесина как материал, содержащий лигнин и целлюлозу, имеет свойство интенсивно поглощать из почвы минеральные вещества, оказывая определенное негативное воздействие. Поэтому еще более эффективным способом утепления может быть отсыпка низкоплотными компонентами, приготовленными на основе опилок (Белоужец, Третьяков, 2020).

Результаты и их обсуждение

Для достижения цели в работе применялись САД-программа «Компас3D» и САЕ-пакет Elcut, предназначенный для инженерных расчетов и моделирования методом конечных элементов. При реализации современных технологий проектирования и моделирования с применением метода конечных элементов (Зенкевич, 1975; Bendsoe, Sigmund, 2003) разработчик начинает свою работу с конечно-элементной модели объекта, в которую он помещает требуемые, на его взгляд, силовые элементы, закрепления, слои многослойных конструкций, тепловые и другие физические явления и условия, необходимые для того, чтобы полученное изделие выполняло определенные заложенные функции.

В программе «Компас3D» создавалась модель рассматриваемого объекта в двух вариантах. Первый вариант – клумба с верхним слоем опилок в 50 мм и почвой 300 мм, второй – клумба с почвой без утепления (рис. 1).

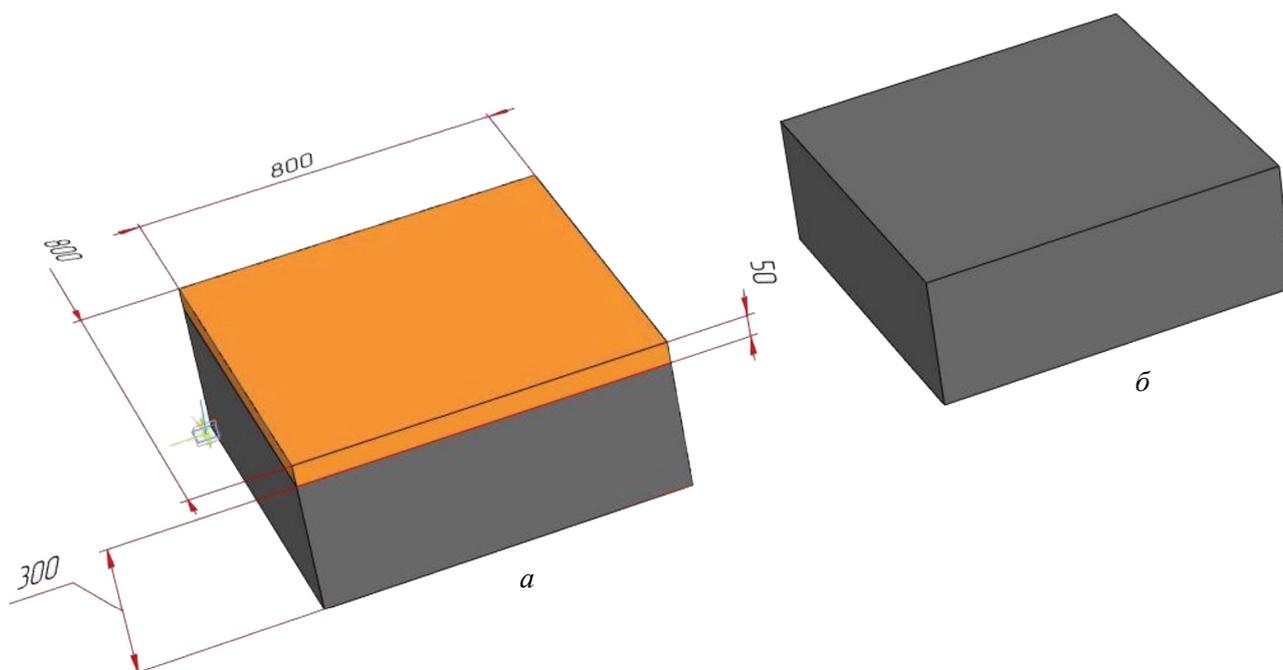


Рис. 1. Рассматриваемые варианты:

a – клумба со слоем утеплителя в виде слоя опилок 50 мм, почвы 300 мм;

б – вариант (почва без утепления опилками)

Fig. 1. Options under consideration:

a – a flowerbed with a layer of insulation in the form of a layer of sawdust 50 mm, soil 300 mm;

б – option (soil without insulation with sawdust)

В Elcut моделировалась задача теплопереноса в нестационарном режиме. Каждому элементу модели задавались определенные свойства: теплоемкость почвы – 0,4 кДж/(кг·К), теплопроводность – 0,814 Вт/(м·°С), плотность (1900 кг/м³). Для опилок принятая теплоемкость составила 0,08 кДж/(кг·К), теплопроводность – 0,065 Вт/(м·°С), плотность – 220 кг/м³ (Шокина и др., 2015). Боковые поверхности клумбы в расчетах не учитывались, поскольку размеры объекта могут варьироваться в широких пределах и цель работы – исследовать влияние мульчирования опилками. А боковые поверхности в обоих вариантах тождественны.

Для моделирования теплопереноса в нестационарном режиме в программе Elcut задействовалась функция *impulse*. Интервал наблюдений составил трое суток, или 259 200 с. Шаг наблюдения и контрольных срезов был принят в 1 ч, или 3 600 с. Первоначальная температура почвы задана как +15 °С. Теплообмен в режиме «конвекция». Функция вида:

$$K = 24,2 (\text{impulse}(t/3600, 24, 24 + 16)) + \\ + 24,2 (\text{impulse}(t/3600, 48, 48 + 16)) + \\ + 24,2 (\text{impulse}(t/3600, 72, 72 + 16)).$$

То есть имитировались условия нагрева поверхности почвы солнечным светом с расчетной интенсивностью $\alpha_{si} = 24,2$ Вт/(м²·°С) на протяжении 16 ч в сутки. В дальнейшем генерация тепловой энергии прекращалась. Это имитировало нагрев почвы солнечным светом в дневное время. Температура наружного воздуха принималась –3 °С (для имитирования заморозков). Сохранение температуры ниже –3 °С в течение даже нескольких часов наносит непоправимый ущерб растениям. Повреждение низкими температурами семян и точек роста чаще всего приводит к гибели растения. Точка роста молодых растений после стадии семян особенно уязвима. Тип почвы, влажность, глубина посева, помимо температуры воздуха, также оказывают влияние на степень воздействия заморозков (Rittler, Vukova, 2022).

Обоснование интенсивности нагрева почвы вызывает некоторые затруднения. Мы основывались на следующих соображениях. В работе М. И. Будыко (1956) для Екатеринбурга в мае ин-

тенсивность нагрева почвы солнечным светом обоснована как величина 6 ккал/см² в месяц. Красноярск находится существенно севернее, поэтому принимаем интенсивность нагрева, как в Екатеринбурге в апреле, т. е. 4 ккал/см², или 40 000 ккал на 1 м². Соответственно, для месяца в 30 дней имеем 333 ккал на 1 м² в сутки, или (при длительности светового дня в мае 16 ч) 21 ккал на 1 м². Переведем килокалории в ватты исходя из соотношения 1 ккал·ч = 1,163 В, или 1,163·21 = 24,2 Вт/(м²·°С).

Методика имитационного эксперимента в Elcut аналогична работам, где ранее применялась эта система для расчетов тепловых явлений (Долматов, Колесников 2021; Долматов, 2023). В результате работы программы Elcut мы получили картину тепловых полей, представленных в виде видеоролика, где через каждый час показаны изотермы нагрева или охлаждения слоев почвы. На рис. 2 приведена динамика изменений температуры почвы за 10 ч ее охлаждения. На рис. 3 показан график изменения температуры почвы по ее сечению через 10 ч. Интервал в 10 ч обусловлен снижением температуры почвы за счет охлаждения в ночное время, т. е. в период отсутствия солнечной инсоляции.

По результатам моделирования процесса охлаждения почвы видно, что наличие мульчирующего слоя древесных опилок замедляет темпы снижения температуры почвы. Процесс охлаждения почвы в клумбе без утепления происходит быстрее, а также температуры внутри почвы без ее утепления ниже.

По данным исследований (Горышина, 1979), считается, что пороговая температура, допускающая проведение весенних посадочных работ, составляет для растений умеренных широт от +5 °С. Для начала роста корней растений требуется, чтобы почва прогрелась не менее чем до 4–5 °С. Причем наиболее интенсивно корни растут и развиваются при температуре от 7 до 20 °С (Черепяхин и др., 1991). Существует устойчивая региональная привязанность типов семян и температур начала их развития. Семена северных растений успешно развиваются при температурах от 5 до 25 °С, тогда как южные растения требуют +15 °С и допускают до +35 °С в условиях изменения температуры окружающей среды (Николаева, 1999).

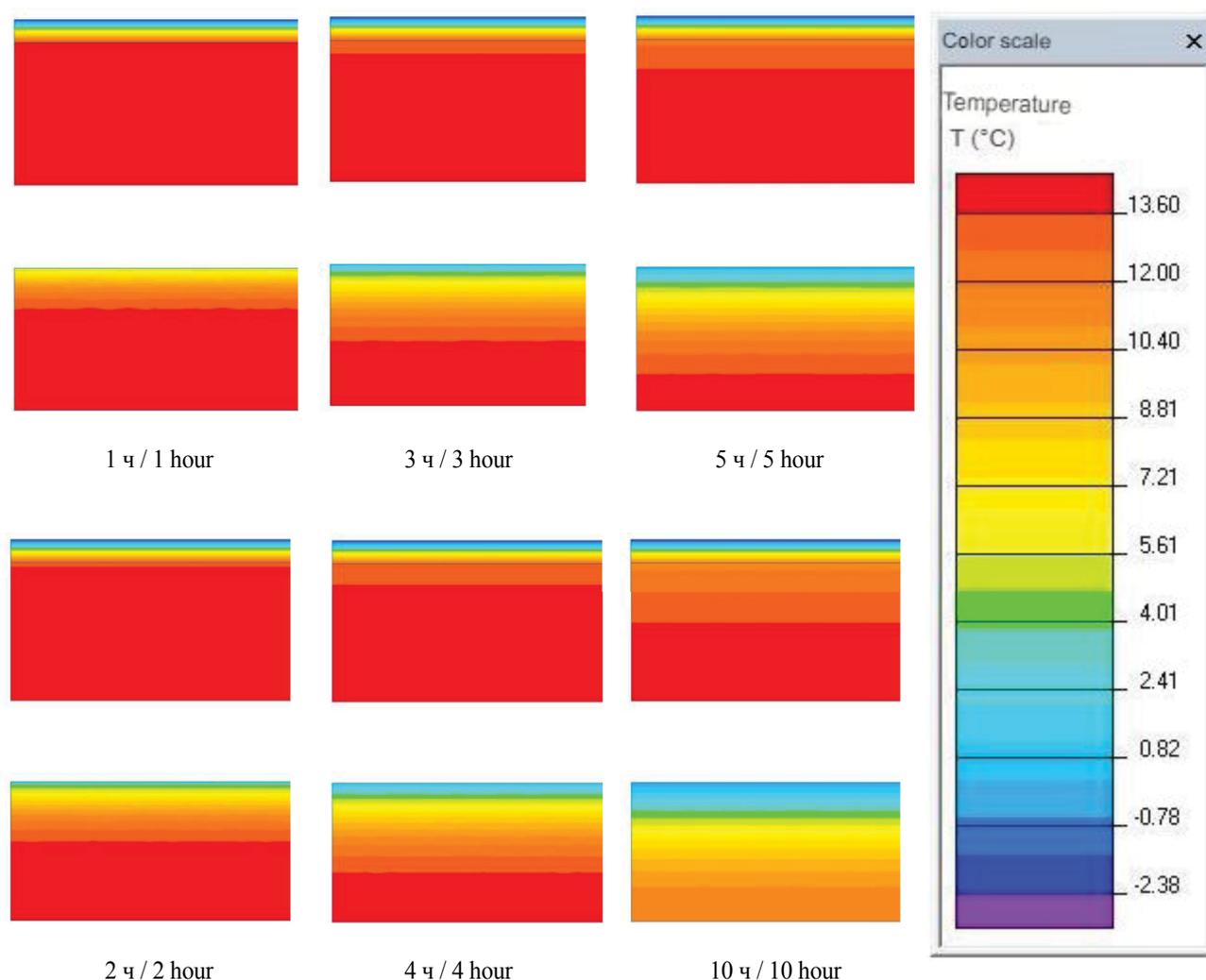


Рис. 2. Изотермы температур в пакете Elcut
(верхний рисунок – утепленный грунт, нижний – без утепления)
Fig. 2. Temperature isotherms in the Elcut package
(the upper figure is insulated soil, the lower one is without insulation)

Из графиков видно, что после 10 ч имитационного эксперимента температура поверхности клумбы без утепления равна 0 °С. Критическая температура почвы, замедляющая или приостанавливающая развитие растений (принята +5 °С) для клумбы без утепления опилками достигнет глубины 80 мм. Непосредственно под слоем опилок утепленной клумбы температура почвы составит +11,5 °С.

Для оценки влияния толщины слоя утеплителя из древесных опилок был проведен второй имитационный эксперимент. Варьировалась толщина

слоя опилок от 0,5 до 5 см. В качестве оценочного параметра была принята температура на глубине 2 см. Глубина 2 см соответствует параметрам посадки семян большинства декоративных растений, используемых для клумб. Результат представлен в виде графика на рис. 4.

Из графика видно, что даже минимальная толщина слоя опилок в 0,5 см не дает снизиться температуре почвы ниже критической величины +3 °С. Столь незначительный слой опилок не окажет сколько-нибудь значимого влияния на химический состав почвы или на темпы развития растений.

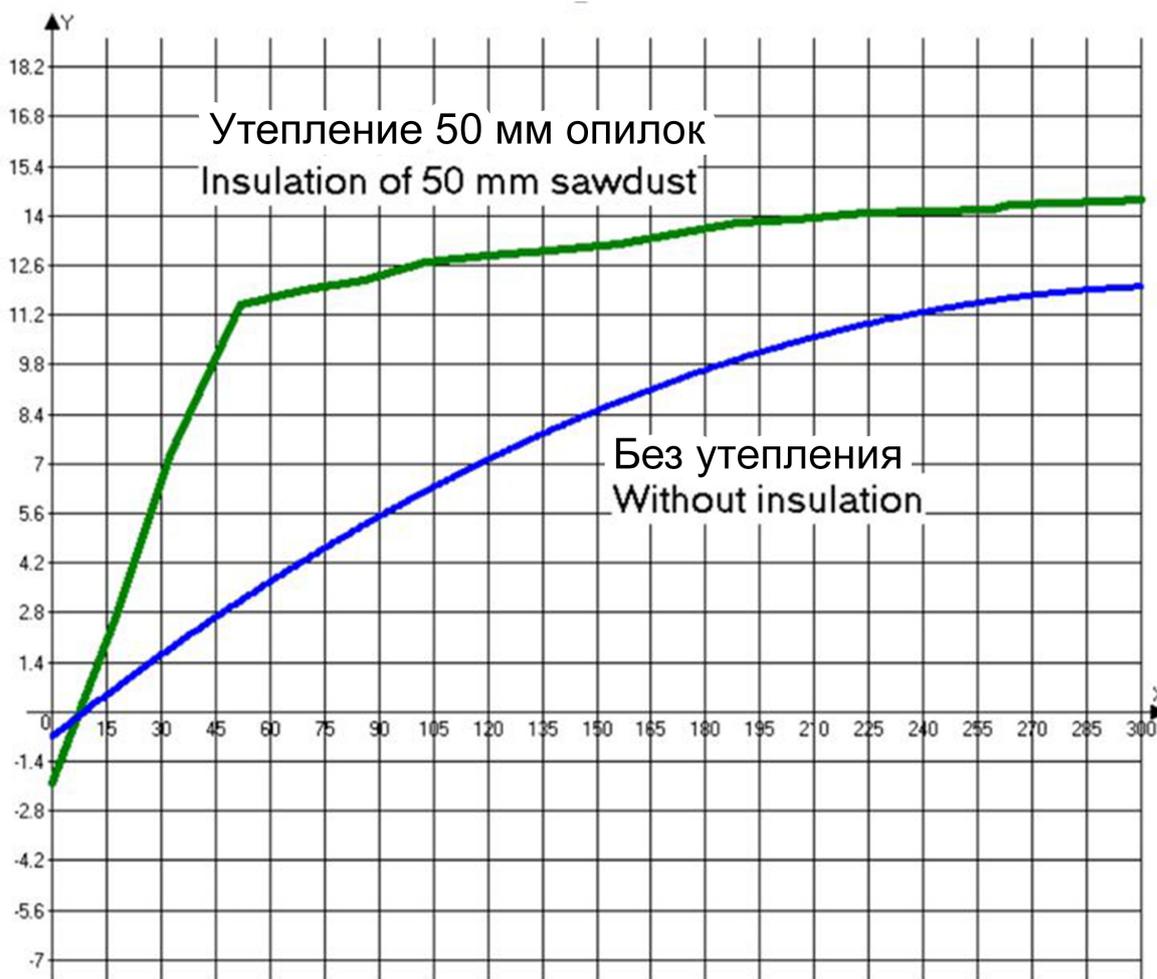


Рис. 3. График распределения температур по толщине слоя грунта (через 10 ч)
 Fig. 3. Graph of temperature distribution over the thickness of the soil layer (after 10 hours)

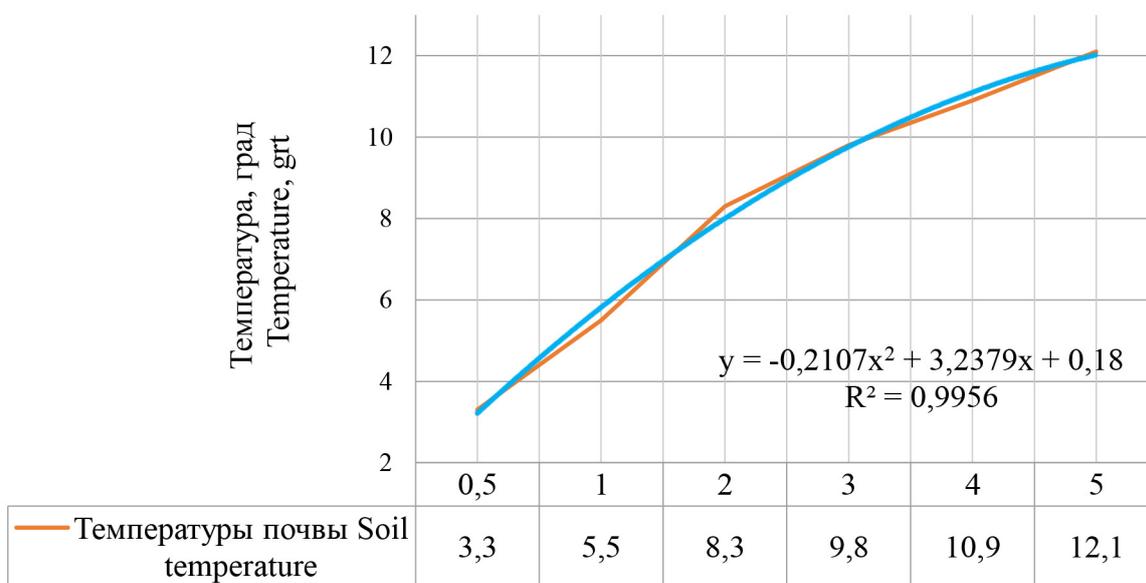


Рис. 4. Температура на глубине 2 см в зависимости от толщины слоя опилок (через 10 ч)
 Fig. 4. Temperature at a depth of 2 cm depending on the thickness of the sawdust layer (after 10 hours)

Выводы

Границы вегетационного сезона определяются длительностью теплого безморозного периода, а также вероятностью и частотой возникновения заморозков, которые бывают весенними и осенними. Для условий Восточной Сибири сезон активной деятельности по озеленению и облагораживанию территорий, оформлению клумб, террас, посеву семян достаточно короток и мероприятия, позволяющие улучшить температурный баланс почвы, опреде-

ленно полезны. Мульчирование и утепление почвы слоем древесных опилок позволяет существенно снизить риск повреждения растений заморозками. Использование методов твердотельного и имитационного моделирования в инженерных пакетах программ позволяет определить температурные показатели почвы в условиях явлений нестационарного теплопереноса, обусловленного величинами изменения температур, а также наличием условий (как нагрева, так и охлаждения).

Список источников

- Абрамов Н. А. Михайлов И. Р., Долматов С. Н. Сравнительный анализ технологий переработки низкокачественной древесины // Леса России : политика, промышленность, наука, образование : матер. VIII Всерос. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. СПб. : СПб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2023. С. 688–690.
- Администрация города Красноярск : [официальный сайт]. URL: <https://www.admkrsk.ru/citytoday/municipal/ozelenenie/Pages/planozelenenia-2024.as> (дата обращения: 20.09.24).
- Беловежец Л. А., Третьяков А. В. Агрохимические показатели компоста на основе древесных опилок // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. Т. 28, № 2. С. 124–130. DOI: 10.15372/KhUR2020210
- Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л. : Гидрометеоиздат, 1956. 255 с.
- Горышина Т. К. Экология растений : учеб. пособие. М. : Высш. школа, 1979. 296 с.
- Долматов С. Н. Анализ теплозащитных показателей ограждающих конструкций объектов малоэтажного домостроения лесных и сельских районов в условиях периодической генерации тепловой энергии // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 181–188. DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-181-188
- Долматов С. Н. Перспективы применения компоста из древесных опилок // Аграрный научный журнал. 2016. № 3. С. 49–51.
- Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование тепловой эффективности ограждающих конструкций из древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 4. С. 294–299.
- Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 542 с.
- К озеленению улиц муниципальных образований Красноярского края: методологический подход / Е. А. Селенина, О. А. Зырянова, Е. В. Авдеева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 5. С. 378–384.
- Левит С. Я. Применение древесных опилок в качестве субстратулучшающего материала при рекультивации шламохранилищ. Свердловск, 1989. С. 75–80.
- Мишичев А. И., Мартянова А. Е. Решение задач теплопроводности методом конечных элементов в САЕ-системе Elcut. Астрахань : АГТУ, 2001. 39 с.
- Николаева М. Г. Особенности прорастания семян в зависимости от филогенетического положения растений и эколого-географических условий их обитания // Физиология растений. 1999. Т. 46, № 3. С. 432–437.
- Орлов Д. С., Амосова Я. М., Якименко О. С. Агроэкологические аспекты использования нетрадиционных органических удобрений на основе гидролизного лигнина // Почвоведение. 1993. № 2. С. 36–44.
- Устойчивое развитие городов, экологические функции и экосистемные услуги природных компонентов в условиях городской среды / Е. В. Авдеева, К. В. Черникова, А. И. Рудо, Ю. В. Кишкан // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 3. С. 56–64. DOI 10.53374/1993-0135-2024-3-56-64

- Черепяхин В. И., Бабук В. И., Карпенчук Г. К.* Плодоводство. М. : Агропромиздат, 1991. 271 с.
- Шокина Ю. В., Власов А. Б., Шокин Г. О.* Метод определения теплофизических характеристик слоя сыпучих сред с элементами импульсного теплового контроля // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1 (63). С. 63–69.
- Bendsoe M. P., Sigmund O.* Topology optimization : theory, methods and applications. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 p.
- Justification of the choice of wall material for low-rise construction / *S. Dolmatov, A. Soboleva, S. Voinash* [et al.] // E3s web of conferences : X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, April 29–30, 2024. Les Ulis : EDP Sciences, 2024. P. 06004. DOI: 10.1051/e3sconf/202454806004
- Rittler L., Bykova O.* The timing of soybean sowing. Legumes Translated Practice Note 44. 2022. Donau Soja. URL: www.legumestranslated.eu (дата обращения: 20.09.2024).

References

- Abramov N. A., Mikhailov I. R., Dolmatov S. N.* Comparative analysis of low-quality wood processing technologies // Forests of Russia: politics, industry, science, education : Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 24–26, 2023. St. Petersburg : St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. P. 688–690. (In Russ.)
- Belovezhets L. A., Tretyakov A. V.* Agrochemical indicators of compost based on sawdust // Chemistry in the interests of sustainable development. 2020. Vol. 28, № 2. P. 124–130. DOI 10.15372/KhUR2020210 (In Russ.)
- Bendsoe M. P., Sigmund O.* Topology optimization : theory, methods and applications. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 p.
- Budyko M. I.* Thermal balance of the Earth's surface. Leningrad : Hydrometeorological Publishing House, 1956. 255 p.
- Cherepakhin V. I., Babuk V. I., Karpenchuk G. K.* Fruit growing. Moscow : Agropromizdat, 1991. 271 p.
- Dolmatov S. N.* Analysis of heat-protective indicators of enclosing structures of low-rise housing construction in forest and rural areas in conditions of periodic generation of thermal energy // Systems. Methods. Technologies. 2023. № 4 (60). P. 181–188. DOI 10.18324/2077-5415-2023-4-181-188 (In Russ.)
- Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G.* Investigation of thermal efficiency of enclosing structures made of wood-cement composites // Coniferous boreal zones. 2021. Vol. 39, № 4. P. 294–299. (In Russ.)
- Dolmatov S. N.* Prospects for the use of compost from sawdust // Agrarian Scientific Journal. 2016. № 3. P. 49–51. (In Russ.)
- Goryshina T. K.* Plant ecology : A textbook. Moscow : Higher school, 1979. 296 p.
- Justification of the choice of wall material for low-rise construction / *S. Dolmatov, A. Soboleva, S. Voinash* [et al.] // E3s web of conferences : X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, April 29–30, 2024. Les Ulis : EDP Sciences, 2024. P. 06004. DOI: 10.1051/e3sconf/202454806004
- Krasnoyarsk City Administration : [official website]. URL: <https://www.admkrsk.ru/citytoday/municipal/ozelenenie> (accessed 20.09.2024).
- Levit S. Ya.* The use of sawdust as a substrate-improving material in the reclamation of sludge storages. URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/35865/1/bio-1982-08.pdf>. Sverdlovsk, 1989. P. 75–80. (In Russ.)
- Method for determining the thermophysical characteristics of a layer of bulk media with elements of pulsed thermal control / *Yu. V. Shokina, A. B. Vlasov, G. O. Shokin* // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2015. № 1 (63). P. 63–69. (In Russ.)

- Mishichev A. I., Martianova A. E.* Solving problems of thermal conductivity of the finite element method in the ELCUT CAE system. Astrakhan : AGTU, 2001. 39 p.
- Nikolaeva M. G.* Features of seed germination depending on the phylogenetic position of plants and ecological and geographical conditions of their habitat // *Plant physiology*. 1999 Vol. 46, № 3. P. 432–437. (In Russ.)
- Orlov D. S., Amosova Ya. M., Yakimenko O. S.* Agroecological aspects of the use of non-traditional organic fertilizers based on hydrolyzed lignin // *Soil science*. 1993. № 2. P. 36–44. (In Russ.)
- Rittler L., Bykova O.* The timing of soybean sowing. Legumes Translated Practice Note 44. 2022. Donau Soja. URL: www.legumestranslated.eu (accessed 20.09.2024).
- Sustainable urban development, ecological functions and ecosystem services of natural components in an urban environment / *E. V. Avdeeva, K. V. Chernikova, A. I. Rudo, Yu. V. Kishkan* // *Coniferous forests of the forest zone*. 2024. Vol. 42, № 3. P. 56–64. DOI 10.53374/1993-0135-2024-3-56-64 (In Russ.)
- To landscaping the streets of municipalities of the Krasnoyarsk Territory: a methodological approach / *E. A. Selenina, O. A. Zyryanova, E. V. Avdeeva* [et al.] // *Coniferous boreal zones*. 2021. Vol. 39, № 5. P. 378–384. (In Russ.)
- Zenkevich O. K.* The finite element method in engineering. Moscow : MIR, 1975. 542 p.

Информация об авторах

- A. A. Соболева – студент;*
C. Н. Долматов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

- A. A. Soboleva – student;*
S. N. Dolmatov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 27.11.2024; принята к публикации 05.12.2024.
The article was submitted 27.11.2024; accepted for publication 05.12.2024.
