

УДК 504.062.2(476)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

А. А. Волчек¹, В. В. Борушко²

¹ Д. г. н. РФ и РБ, профессор, профессор кафедры природообустройства, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: volchak@tut.by

² Магистр физ.-мат. наук, старший преподаватель кафедры физики, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vadim79@tut.by

Реферат

В представленной статье изложены результаты комплексного моделирования распределения тепловых ресурсов для двух основных типов почвенного покрова Белорусского Полесья – торфяно-болотных и дерново-подзолистых почв. Работа выполнена в рамках проблематики адаптации землепользования к климатическим изменениям и направлена на количественную оценку термодинамических процессов в почвенной толще при варьируемых условиях осушения и прогнозируемом глобальном потеплении до 2035 года.

При этом в качестве регулирующих факторов учитывались:

- варьируемые уровни осушения (с дифференциацией заложения дренажа);
- прогнозируемые климатические изменения, обусловленные глобальным потеплением, на период до 2035 года.

Методологическая основа работы включает построение математических моделей, позволяющих рассчитать температурный профиль почвенных разрезов с учётом комплекса физико-химических и структурно-функциональных характеристик грунта, в том числе:

- теплофизических свойств грунтов (теплоёмкость, теплопроводность);
- динамики теплопереноса в многослойных системах;
- внешних климатических воздействий (поток солнечной радиации, температура и влажность воздуха).

Результаты моделирования дали возможность:

- оценить изменения теплового режима почв при различных способах осушения;
- прогнозировать аккумуляцию тепловой энергии в почвенном профиле к 2035 году с учётом климатических изменений;
- оценить влияние на комбинированное воздействие мелиоративных мероприятий и климатических факторов на торфяно-болотные и дерново-подзолистые почвы.

Полученные данные расширяют научные представления о термодинамике почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений, что позволяет оптимизировать управления водным режимом мелиорированных земель и планировать агротехнические мероприятия в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, торфяно-болотная почва, дерново-подзолистая почва, мелиорация, температура, теплоёмкость, количество теплоты.

TEMPERATURE REGIME OF SOILS IN THE BELARUSIAN POLESIE: CURRENT STATE AND FORECAST

A. A. Volchak, V. V. Barushka

Abstract

This article presents the results of a comprehensive modeling of heat resource distribution for two main soil cover types in the Belarusian Polesie region: peat bog and soddy-podzolic soils. This work is part of the ongoing effort to adapt land use to climate change and aims to quantify thermodynamic processes in the soil under variable drainage conditions and projected global warming to 2035.

The following regulatory factors were considered:

- variable drainage levels (with differentiated drainage);
- projected climate changes due to global warming to 2035.

The methodological basis of the work includes the construction of mathematical models that allow for the calculation of the temperature profile of soil profiles, taking into account a range of physicochemical and structural-functional soil characteristics, including:

- soil thermophysical properties (heat capacity, thermal conductivity);
- heat transfer dynamics in multilayer systems;
- external climatic influences (solar radiation flux, air temperature, and humidity).

The modeling results made it possible to:

- assess changes in the thermal regime of soils under various drainage methods;
- predict thermal energy accumulation in the soil profile by 2035, taking into account climate change;
- assess the combined impact of reclamation measures and climatic factors on peat bog and soddy-podzolic soils.

The obtained data expand scientific understanding of soil thermodynamics under anthropogenic impact and climate change, allowing for the optimization of water management on reclaimed lands and the planning of agricultural practices in a changing climate.

Keywords: Belarusian Woodland, peat-bog soil, sod-podzolic soil, land reclamation, temperature, heat capacity, amount of heat.

Введение

Полесье является уникальным природным комплексом и требует к себе бережного отношения. Белорусское Полесье располагается в пределах Брестской и Гомельской областей, с площадью осушенных земель 7315,9 и 1415,5 тыс. га соответственно. Это составляет примерно 19 % всех земель этих областей [1], основная часть которых находится на территории Белорусского Полесья.

Массовое освоение Белорусского Полесья началось после принятия в 1966 году государственной программы «О широком развитии мелио-

рации для получения высоких устойчивых урожаев зерновых и других культур» в связи с тем, что идея решения проблемы продовольственной безопасности целинных земель не оправдала себя. Реализовать эту идею было решено за счёт мелиорации центральной части нечернозёмной зоны Полесья и в 1970 году мелиорация земель Белорусского Полесья была объявлена Всесоюзной ударной комсомольской стройкой. В Полесье были направлены большие деньги и квалифицированные специалисты, что позволило улучшить инфраструктуру края, освоить новые земли и сохранить этот уникальный край.

Постепенно проявились слабые стороны проекта, обусловленные отставанием научной составляющей от практических действий, что привело к нежелательным последствиям. Своевременная разработка стратегического плана помогла бы снизить риски негативных последствий. В частности, спрямление рек, использование мелкозалежных торфяников под пропашные культуры, сброс вековых запасов грунтовых вод, укрупнение полей без учёта конкретных локальных свойств.

В результате сброса древних водных запасов природного происхождения, произошло нарушение теплового баланса верхнего горизонта почвы. Эта проблема усилилась и современным потеплением климата, поэтому для получения высоких устойчивых урожаев, необходима реконструкция существующих мелиоративных систем на осушительно-увлажнительные, оросительные, системы капельного орошения.

Тепловой и водно-воздушный режимы почв являются факторами, которые в значительной степени определяют зачастую сельскохозяйственную продуктивность земель. Продуктивность земель в первую очередь связывают с внесением необходимых удобрений, использовании новых сортов, борьбой с сорной растительностью и т. д. [2, 3, 4]. В процессе осушения территорий вопросам регулирования микроклимата уделяется недостаточно внимания. Согласно концепции В. Р. Вильямса, целью осушения является снижение избыточной влажности почвы до уровня, который обеспечивает оптимальные водный, воздушный, тепловой, микробиологический и пищевой режимы почвы.

Одним из основополагающих факторов обеспечения продовольственной безопасности выступает увеличение общего объёма производства сельскохозяйственной продукции. Для реализации этой задачи требуется расширить площадь обрабатываемых земель и повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Однако решение первого вопроса может быть проблематичным, так как требует значительных инвестиций и усилий со стороны государства и частного сектора. В связи с этим основное внимание следует уделить повышению урожайности уже используемых сельскохозяйственных земель.

Одним из главных факторов, способствующих повышению урожайности, наряду с качеством семян и применением удобрений, является обеспечение оптимального водно-воздушного и теплового режима в почвах сельскохозяйственных угодий. Эти факторы играют важную роль в определении продуктивности земель и, следовательно, в обеспечении продовольственной безопасности.

Микроклимат осушенных территорий характеризуется особыми условиями температуры, влажности и освещённости, которые могут влиять на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Поэтому при разработке стратегий повышения урожайности необходимо учитывать не только традиционные методы, но и особенности микроклимата осушенных земель.

Таким образом, поддержание оптимального теплового и водно-воздушного режимов почв является необходимым условием для повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности страны.

В последние десятилетия на территории Европы, включая Беларусь, наблюдается изменение климатических условий. Одним из наиболее заметных проявлений этого процесса является увеличение температуры воздуха во все месяцы года. Эти изменения оказывают значительное влияние на эффективность сельскохозяйственного производства, особенно в период вегетации растений. Агроклиматические характеристики, включая температуру воздуха, уровень осадков, влажность почвы и прочие параметры, обуславливают условия для роста и развития сельскохозяйственных растений.

Данные изменения наиболее выражены на территории Белорусского Полесья, отличающейся максимальным уровнем теплообеспеченности и продолжительностью вегетационного периода среди всех регионов Беларуси. Это связано с географическим положением региона, который находится в зоне с более тёплым климатом.

Таким образом, изменение климата оказывает существенное влияние на сельское хозяйство Беларуси, требуя адаптации к новым условиям и разработки новых подходов к управлению сельскохозяйственными ресурсами. Важно учитывать агроклиматические изменения при планировании и реализации сельскохозяйственных мероприятий, чтобы обеспечить высокую продуктивность и устойчивость аграрного сектора.

В обозримом будущем расширение сельскохозяйственных угодий не представляется вероятным, поэтому одним из приоритетных направлений видится интенсификация урожайности. Ключевым фактором её повышения, наряду с качеством семян и применением удобрений, является количество тепловой энергии, поступающей к поверхности почвы, а также уровень влагообеспеченности корнеобитаемого слоя.

Характер изменения теплового режима осушенных и неосушенных территорий имеет различную структуру и определяется как климатическими факторами, так и степенью мелиорированности [5, 6]. Прежде всего, происходит изменение коэффициента теплопроводности, диапазон значений которого составляет от 0,1 Вт/(м·К) для сухого торфа до 0,5 Вт/(м·К) для [7]. Благодаря более высокой теплопроводности нижние слои влажной почвы прогреваются интенсивнее и дольше сохраняют тепло при понижении температуры атмосферного воздуха.

В связи с наличием воды влажная почва имеет более высокую теплоёмкость по сравнению с осушенной. Это означает, что для нагрева влажной почвы требуется большее количество теплоты, а при остывании она медленнее отдаёт тепло.

Основным источником тепла является лучистая энергия солнца. Поглощаемая почвой, она превращается в тепловую, которая передаётся в нижние горизонты либо возвращается в атмосферу соответственно посредством явления теплопроводности или теплового излучения и отражения [8]. Разность поглощаемой и излучаемой энергий представляет собой энергию, которая идёт на нагревание земной поверхности. При возрастании градиента температур между верхними и нижними слоями почвы, большее количество тепла уходит вниз [9].

Поглощение почвой тепловой энергии имеет предел, определяемый её теплоёмкостью. В силу того, что процесс теплопередачи от верхних слоёв к нижним идёт довольно медленно, избыточная энергия будет дополнительно отражаться в окружающую среду. Вследствие нагрева приземный воздух становится более тёплым и перемещается в зоны с более низким давлением. В результате этого процесса воздушные массы переносят тепловую энергию с осушенных участков [10].

Установление закономерностей изменения микроклимата при мелиорации земель, и прогноз его изменений является одной из важных задач земледелия.

Цель данного исследования заключается в анализе закономерностей, определяющих тепловой режим мелиорированных дерново-подзолистых и торфяно-болотных почв Белорусского Полесья в современных условиях, а также в оценке возможных изменений этого режима до 2035 года в контексте глобального потепления. Это представляет собой одну из ключевых задач в области земледелия.

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования является решение уравнения радиационного баланса, определяющего тепловой режим почв. В свою очередь, радиационный баланс основывается на законе сохранения энергии, который учитывает изменения и превращения энергии на конкретном участке почвы. На рисунке 1 приведена схема теплообмена между земной поверхностью и окружающей средой [11].

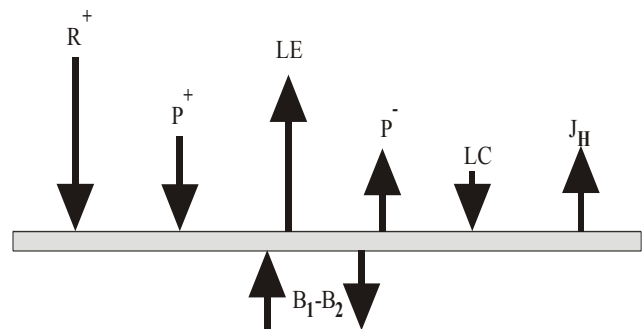


Рисунок 1 – Схема теплообмена

Закон сохранения энергии в процессе теплообмена происходит в соответствии с вышеприведённой схемой и записывается в [11, 12]:

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = L \cdot E + P^- + J_H - L \cdot C, \quad (1)$$

где R^+ – радиационный баланс – разность между поглощенной коротковолновой (прямой и рассеянной) радиацией Солнца и балансом длинноволнового излучения (излучения земной поверхности за минусом противоизлучения атмосферы) в дневные и частично в сумеречные часы суток; P^+ – положительная составляющая турбулентного теплообмена – тепло, которое поступает на участок суши в связи с движением воздуха – адвентивное тепло; $B_1 - B_2$ – изменение запасов тепла в деятельном слое почвогрунта – теплообмен в почве; LE – расход тепла на суммарное испарение; P^- – расход тепла на нагревание воздуха – турбулентный теплообмен; J_H – длинноволновое (эффективное) излучение земной поверхности в ночные часы суток; LC – тепло конденсации; L – скрытая теплота испарения воды.

Уравнение (1) значительно упрощается, если принять следующие обозначения:

– теплоэнергетические ресурсы

$$L \cdot E_0 = R^+ + P^+ + B_1 - B_2, \quad (2)$$

– суммарный теплообмен

$$T = P^- + J_H - L \cdot C. \quad (3)$$

Тогда оно примет вид

$$L \cdot E_0 = L \cdot E + T. \quad (4)$$

Величина E_0 является эквивалентом теплоэнергетических ресурсов процесса теплообмена (испаряемость) и выражается в виде толщины водяного слоя, который мог бы испариться под воздействием всех тепловых ресурсов, участвующих в данном процессе. Величина T представляет собой суммарный теплообмен на нагревание приземного воздуха и на ночное эффективное излучение земной поверхности, частично компенсируемое противоизлучением атмосферы и теплом конденсации водяных паров воздуха на охлажденных элементах земной поверхности [11, 12].

Процесс сброса воды в ходе осушения оказывает как прямое, так и косвенное воздействие на все компоненты радиационного баланса. Исключение составляет величина среднегодового радиационного баланса R^+ , которая является устойчивой для данной местности.

Для характеристики механизмов формирования температурного профиля почв было применено уравнение теплопроводности [13, 14, 15, 16]

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (5)$$

Таблица 1 – Прогнозный рост среднемесячной температуры воздуха, °С

Месяц	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Разница температур	1,71	1,49	1,7	2,08	1,97	1,77	1,61

С использованием приведённой выше методики выполнен численный эксперимент по моделированию температурного профиля почв для следующих граничных условий:

- на поверхности модельной почвы задавался поток теплоты, равный среднемесячному потоку солнечного излучения, падающего на единицу площади горизонтальной поверхности;
- на нижней границе модульной почвы задавались условия термостабилизации при температуре 9,1°С [25], равной среднегодовой температуре воздуха над поверхностью [26];
- на поверхности почвы задавалось условие конвективного теплообмена $-\nabla(-k\nabla T) = 0$ [12];
- на боковых границах выделенного объёма применялись условия теплоизоляции;
- испарение с поверхности почвы определялось как изменение внутренней энергии воды при испарении по формуле [27]:

$$Q = Lm - vRT, \quad (6)$$

где ρ – плотность, кг/м³; C_p – теплоемкость, Дж/(моль⁰К); k – теплопроводность, Вт/м⁰К; T – температура, °К; ∇ – гамильтониан.

Численное моделирование теплового режима почв [17] сводится к вычислениям профиля их температур [18].

Для получения температурного профиля был использован метод математического моделирования. Он даёт возможность на основе начальных климатических условий рассчитывать динамику температурного профиля почвы и определять количество аккумулированной теплоты [19].

С целью количественной оценки динамики теплоёмкости почв был реализован численный эксперимент, схема которого выглядит следующим образом: в качестве условного объема принята почва в 5 м³ с размерами 1 м – ширина, 1 м – длина и 5 м – глубина; выбранное значение глубины с запасом соответствует уровню, на котором прекращаются колебания температуры, связанные со степенью прогревания воздуха солнечными лучами [20].

В исследовании рассматривались модели двух наиболее распространённых почв: торфяно-болотной, состоящей из верхнего слоя торфа, глубиной 2 м, и нижнего слоя песка, глубиной 3 м; дерново-подзолистой, в состав которой входят верхний слой песка, глубиной 1 м, и нижний слой крупнозернистого песка, глубиной 4 м. Так как наибольшую площадь Белорусского Полесья занимают дерново-подзолистые почвы (более 35 %), далее идут дерново-подзолистые заболоченные (около 27,5 %) и торфяно-болотные (около 20 %) [21].

Для дерново-подзолистых почв расчёты производились для различных уровней грунтовых вод (УГВ): 0 м, 0,4 м, 0,8 м и 1 м. Для торфяно-болотных почв расчёты производились для различных уровней грунтовых вод (УГВ): 0 м, 0,4 м и 0,8 м.

Численное решение математической модели получено методом конечных элементов [22].

С использованием специализированного программного обеспечения была разработана модель теплопереноса в почве и проведено исследование динамики её прогрева в естественных условиях [23].

В качестве исходных данных использовалась метеорологическая информация с метеостанции Полесская, расположенной на территории Лунинецкого болотного массива. Эти данные являются репрезентативными для данного региона [19]. Значение температуры воздуха принималось равным среднему многолетнему показателю для конкретного дня в 19:00, что соответствует среднему значению температуры в рассматриваемый день.

Для исследования был выбран сценарий развития климата для Белорусского Полесья до 2035 года, предложенный профессором А. А. Волчком и его коллегами в 2017 году [24]. Прогнозные значения увеличения средней температуры воздуха для тёплых месяцев представлены в таблице 1.

где L – удельная теплота парообразования, Дж/кг; m – масса испарившейся воды, кг; v – количество вещества испарившейся воды, моль; T – температура воздуха, °К; R – молярная газовая постоянная, Дж/моль⁰К.

Полученные результаты и их обсуждение

В ходе численного эксперимента было получено распределение температуры почвы по всей толщине моделируемого профиля. Интервал осреднения – сутки, период – с мая по октябрь включительно. Расчёты проводились на основе среднего многолетнего значения температуры воздуха и её прогностической оценки до 2035 [28, 29]. В качестве примера на рисунке 2 приведены графики зависимостей температуры от глубины дерново-подзолистой почвы без осушения для даты 03.06 при норме осушения – 1 м для современных климатических условий [30], а также прогнозного изменения температуры до 2035 года [31].

На рисунке 3 приведены графики зависимостей температуры от глубины для даты 01.05 для торфяно-болотной почвы без осушения и при норме осушения – 0,4 м для современных климатических условий и с учётом прогнозного изменения температуры до 2035 года.

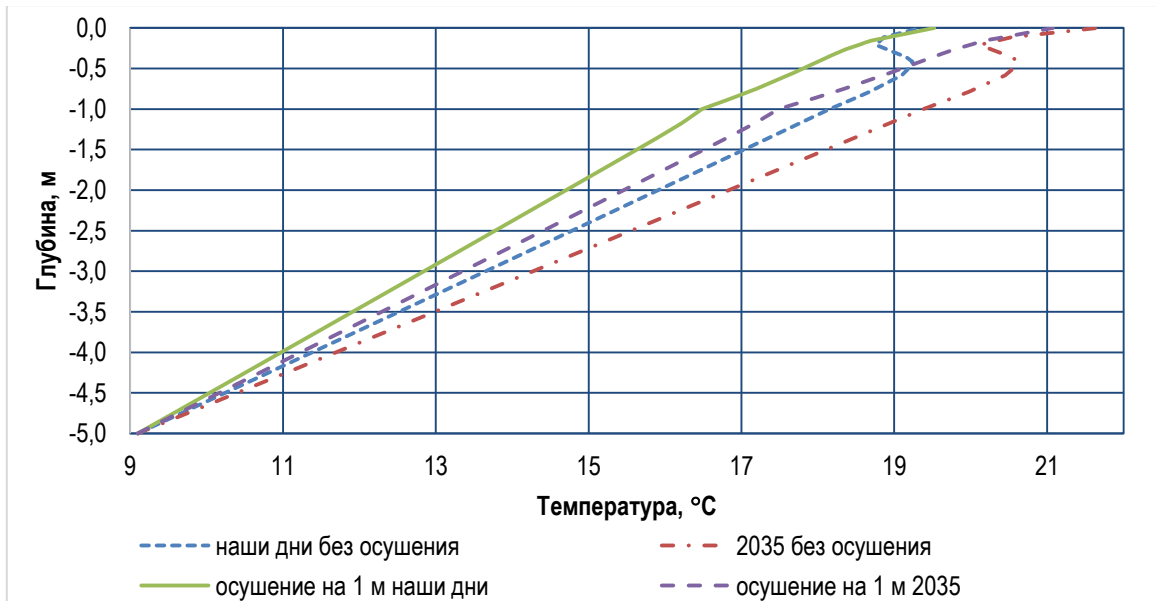


Рисунок 2 – Распределение температуры дерново-подзолистой почвы по глубине для 03.06 без осушения и при норме осушения 1 м

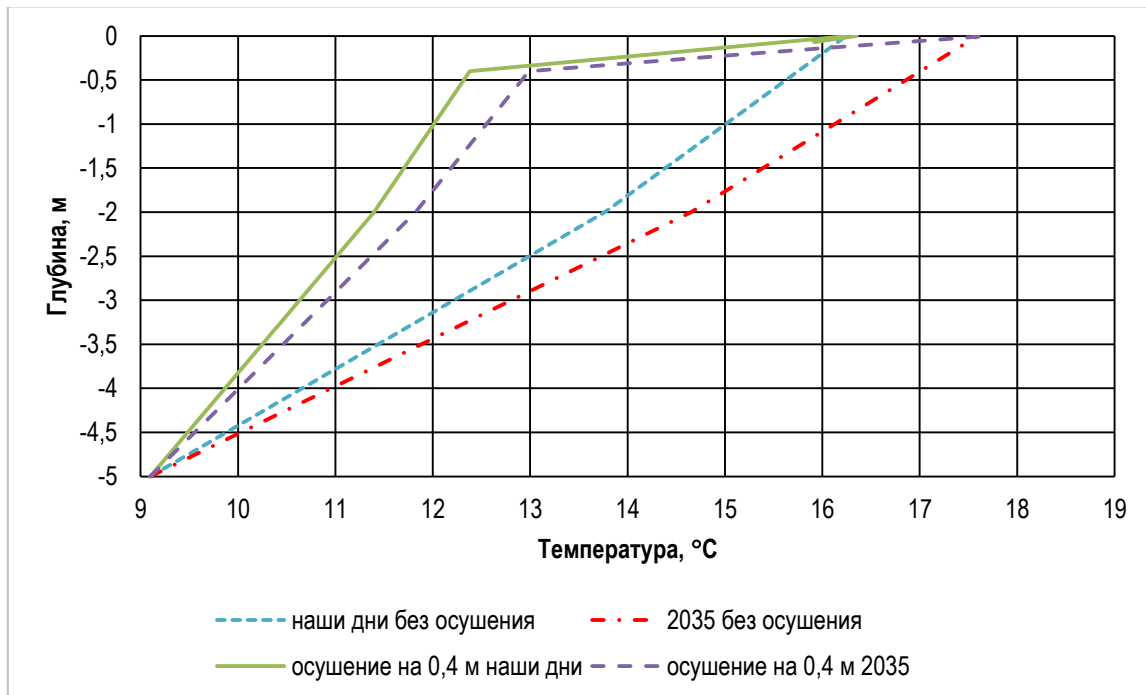


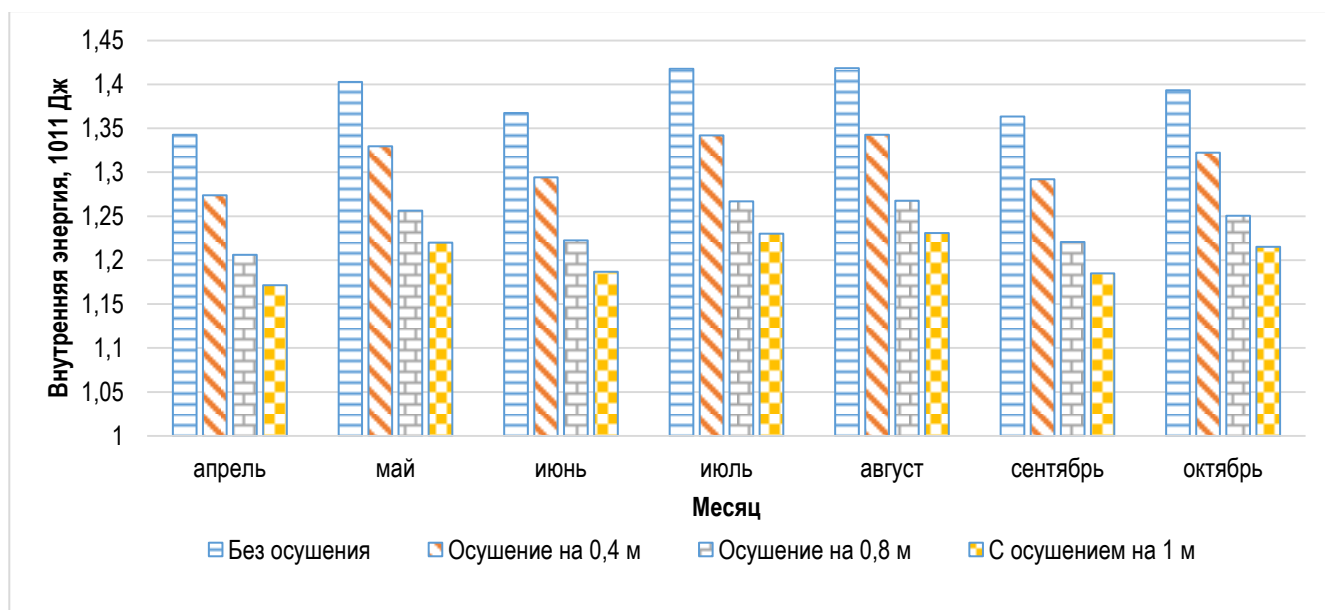
Рисунок 3 – Распределение температуры торфяно-болотной почвы по глубине для 01.05 без осушения и при норме осушения – 0,4 м

На основании проведённого численного эксперимента можно сделать вывод, что динамика температуры почв синхронна с температурой воздуха в условиях глобального потепления. Однако изменения теплового режима осушенных и неосушенных территорий имеют различную структуру, которая определяется как климатическими факторами, так и степенью мелиорированности [5, 6]. Теплоёмкость почвы зависит от содержания в ней влаги. Теплоёмкости воды и воздуха, которые заполняют поры почвы, различаются в четыре раза ($C_{\text{возд}} = 1020 \text{ Дж}/(\text{кг}^{\circ}\text{К})$, $C_{\text{воды}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}^{\circ}\text{К})$), и наличие воды в почве повышает её теплоёмкость примерно во столько же раз. Аналогичная зависимость наблюдается и в случае теплопроводности влажной почвы. Благодаря теплопроводности лучистая энергия солнца, поглощаемая поверхностью почвы, проникает к нижним горизонтам и обеспечивает прогревание корнеобитаемого слоя. Различия в теплоёмкости и теплопроводности обуславливают

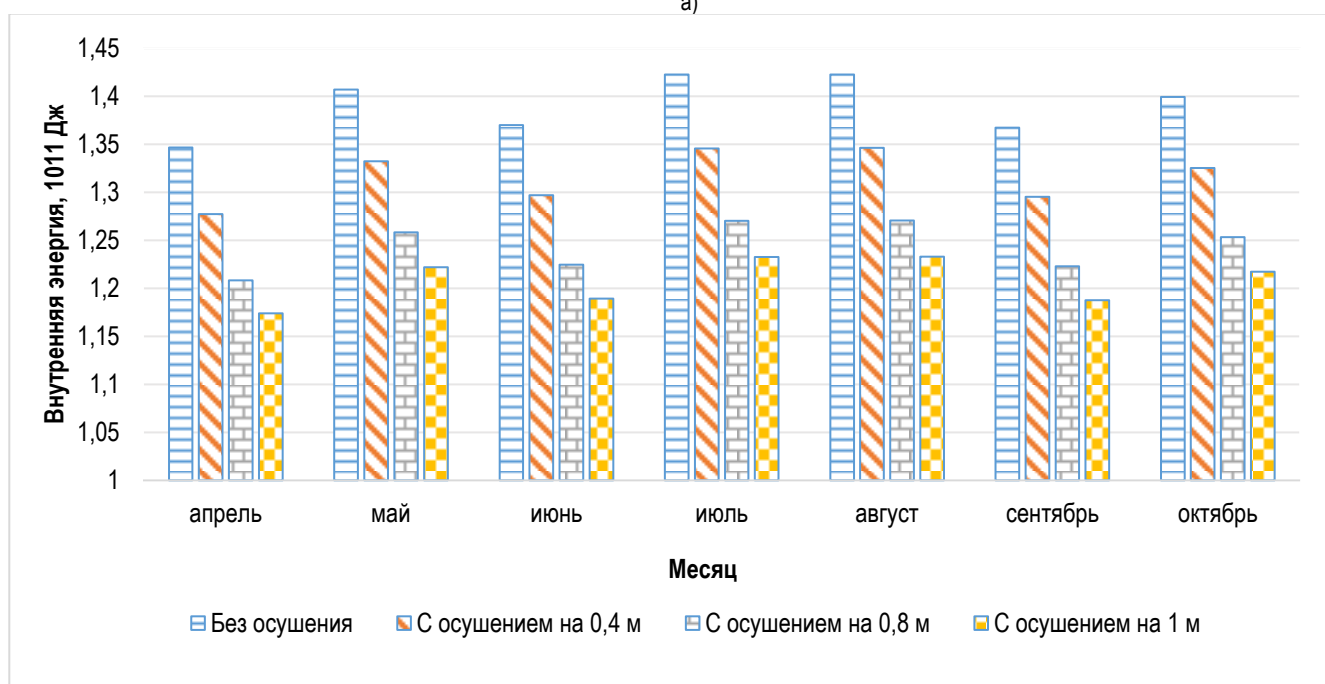
то, что влажная почва требует больше энергии для нагрева и медленнее отдаёт тепло при остывании.

Анализ графиков, представленных на рисунках 2 и 3, позволяет сделать вывод, что характер изменения температуры остаётся относительно стабильным с приближением к поверхности почвы. Повышение температуры воздуха коррелирует с увеличением температуры почвы. Наиболее заметные изменения наблюдаются на неосушенных почвах начиная с глубины двух метров. В процессе осушения при сбросе воды скорость изменения температуры резко меняется на глубине расположения верхнего уровня грунтовых вод. В поверхностном слое торфяно-болотных почв, лишённом воды, скорость изменения температуры значительно выше.

Из диаграмм, приведенных на рисунках 4 и 5, видно, что количество аккумулируемой энергии по месяцам возрастает с повышением температуры воздуха.



а)



б)

а) современное состояние, б) прогноз до 2035 г.

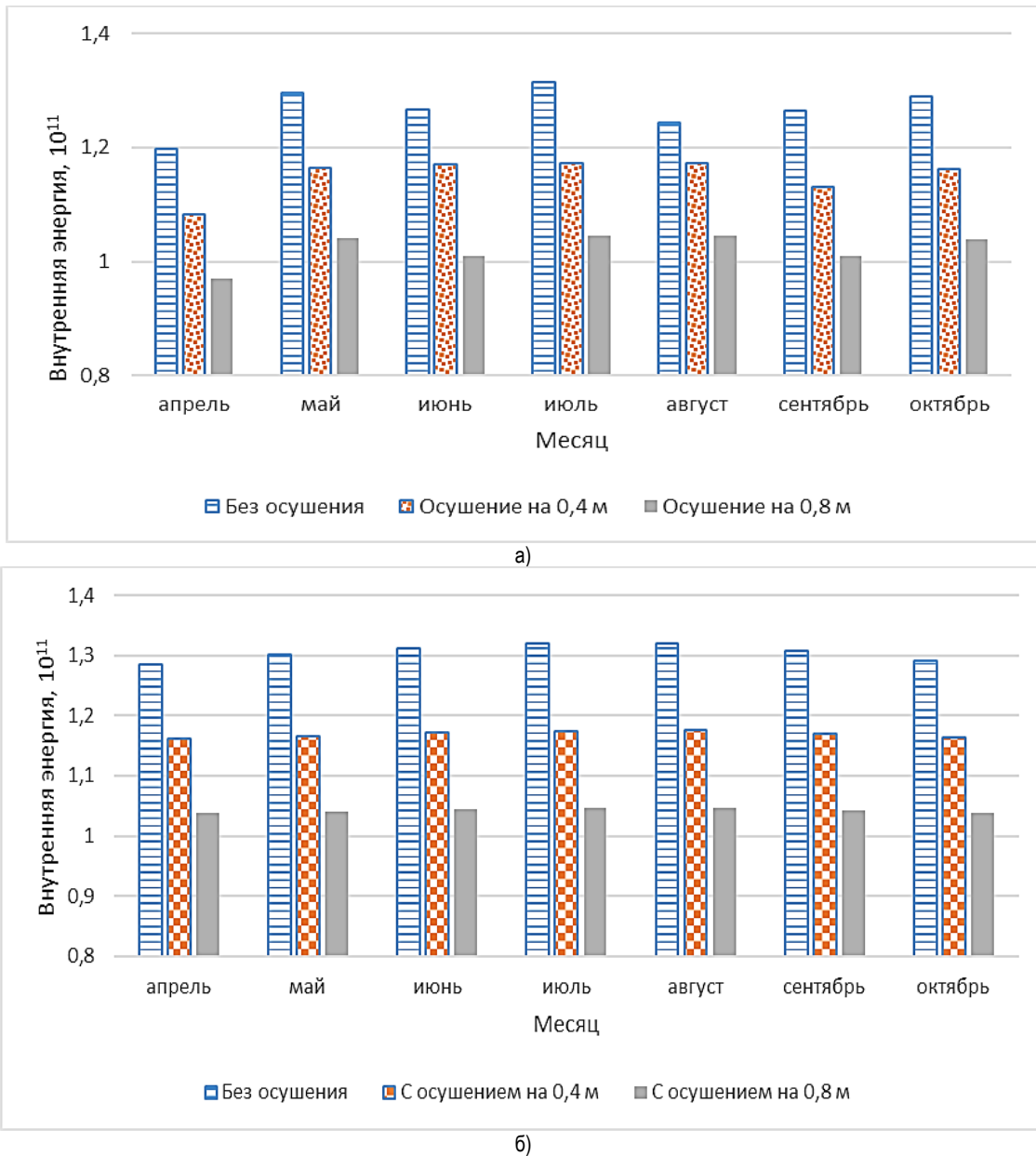
Рисунок 4 – Аккумулируемая энергия дерново-подзолистыми почвами

Таблица 2 – Изменение аккумулируемой энергии дерново-подзолистыми почвами, 10⁸ Дж

Норма осушения	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Без осушения	3,90	3,96	2,64	4,56	4,20	3,67	5,99
Осушение на 0,4 м	3,14	2,60	2,51	3,74	3,52	3,37	2,91
Осушение на 0,8 м	2,10	1,99	2,09	3,11	2,90	2,28	2,45
С осушением на 1 м	2,40	1,83	2,23	2,43	2,24	2,49	1,94

Таблица 3 – Изменение аккумулируемой энергии торфяно-болотными почвами, 10⁸ Дж

Норма осушения	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Без осушения	86,14102	43,30979	45,65301	50,58068	77,5095	44,15644	41,07363
Осушение на 0,4 м	78,55584	34,72287	37,40279	42,1441	59,45436	38,92185	34,40348
Осушение на 0,8 м	67,81922	27,35634	24,6425	31,25751	41,19871	24,35844	22,79973



а) современное состояние, б) прогноз до 2035 г.
Рисунок 5 – Аккумулируемая энергия торфяно-болотными почвами

Анализ данных, представленных в таблицах 2 и 3, позволяет сделать вывод о наличии обратной зависимости между нормой осушения почв и изменениями в аккумулируемой почвой энергии. А именно: с увеличением нормы осушения воздействие климатических изменений на почву уменьшается, поскольку вода, содержащаяся в почве, имеет более высокую теплоёмкость по сравнению с воздухом, заполняющим почвенные поры. На осушенных почвах подобные изменения менее выражены. Почвы в естественном состоянии способны аккумулировать большее количество тепловой энергии и более равномерно распределять её по своему профилю.

Торфяно-болотная почва теряет с изменением климата существенно большую энергию по сравнению с дерново-подзолистыми почвами в связи большей средней теплоёмкостью.

В процессе продолжительного воздействия на почву отрицательных температур в течении зимы, на глубине 150 см, даже к концу холодного периода, температура почвы была положительна и составила 2...2,1 °С. Это явление получило название «температурной инерции» [32, 33]. Благодаря своей термической инертности, вода в верхнем слое почвы обеспечивает защиту растений от резких

температурных перепадов, характерных для поздних весенних заморозков. Это приводит к повышению температуры в корнеобитаемом слое и создаёт благоприятные условия для культивирования сельскохозяйственных растений, адаптированных к более теплomu климату.

Вследствие ограниченной теплоёмкости почва способна поглотить только определённое количество тепловой энергии. Так как передача тепла от верхних слоёв к нижним происходит сравнительно медленно, избыточная тепловая энергия дополнительно выделяется в окружающую среду. В результате этого приземный воздух нагревается сильнее и перемещается в области с более низким давлением, транспортируя тепловую энергию от осушенных территорий [10].

Воздух, обладающий меньшей теплоёмкостью, аккумулирует меньшую энергию, следовательно, при повышении температуры, накапливаемая почвой энергия будет изменяться на меньшую величину. Как следствие, в таблицах 2 и 3 не для всех месяцев прослеживается зависимость увеличения изменения энергии при различных нормах осушения.

Заключение

В ходе моделирования теплового режима почв была вычислена энергия, которую аккумулируют дерново-подзолистые и торфяно-болотные почвы при изменении температуры до 2035 года. Результаты показали, что наиболее значительное увеличение энергии характерно для заболоченной почвы.

В результате анализа аккумулируемой энергии дерново-подзолистых почв было установлено, что максимальное изменение произошло в октябре для неосушенной почвы и составило приблизительно $5,99 \cdot 10^8$ Дж, что отражает увеличение на 0,43 % по сравнению с начальными данными. Минимальное увеличение энергии наблюдалось в мае для почвы с уровнем осушения один метр и составило $1,83 \cdot 10^8$ Дж, что соответствует приросту на 0,15 %.

При исследовании аккумулируемой энергии торфяно-болотных почв было выявлено, что наибольшее изменение произошло в апреле и достигло порядка $86 \cdot 10^8$ Дж, что свидетельствует о росте на 7 % относительно исходных значений. Наименьший прирост энергии зафиксирован в октябре и составил $41 \cdot 10^8$ Дж, что отражает увеличение на 3 %.

В процессе осушения болот происходит потеря значительного объёма энергии, который составляет примерно 10^{10} Дж с 1 м^2 или 10^6 Дж с 1 га .

Осуществление мелиоративных мероприятий на заболоченных землях приводит к ускорению трансформации подстилающей поверхности и изменению теплофизических характеристик почв. Это, в свою очередь, влияет на тепловой режим почв в регионе Белорусского Полесья.

Климатическое потепление и обусловленный этим процесс повышения температуры почвы могут создать благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур, типичных для более тёплых климатических зон. Однако на мелиорированных торфяно-болотных и дерново-подзолистых почвах сохраняются экстремальные условия для агрокультуры, что проявляется в значительном нагреве почвы днём и её охлаждении в ночное время. Это приводит к увеличению количества заморозков и замедлению прогрева пахотного слоя весной, что может стать причиной частичной потери урожая.

При разработке стратегий управления мелиоративными системами, планировании севооборотов и выборе агротехнических методов возделывания сельскохозяйственных культур необходимо принимать во внимание процессы перераспределения тепла в почве.

Список цитированных источников

1. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2021 г.) / Комитет по земельным ресурсам, геодезия и картография. – Минск, 2021.
2. Журавлёв, М. З. Плодородие низинных болот подтаёжной зоны Иртыш-Ишимского междуречья и некоторые вопросы их сельскохозяйственного использования / М. З. Журавлёв // Науч. тр. ОмСХИ. – Омск, 1963. – Т. 1. – С. 61–70.
3. Моторин, А. С. Плодородие торфяных почв Западной Сибири / А. С. Моторин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 16–22.
4. Курчевский, С. М. Сравнительная оценка пескования и глинования для повышения продуктивности торфяных почв / С. М. Курчевский, Э. И. Поднебесная // Агротехнический вестник. – 2013. – № 2. – С. 27–28.
5. Мажайский, Ю. А. Повышение продуктивности мелкозалежных торфяных почв при внесении минеральных добавок / Ю. А. Мажайский, С. М. Курчевский // Агротехнический вестник. – 2015. – № 1. – С. 15–17.
6. Игловиков, А. В. Физико-химические свойства и питательный режим нарушенных грунтов Крайнего Севера при биологической рекультивации / А. В. Игловиков, А. С. Моторин // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 7 (99). – С. 66–72.
7. Добрынин, В. М. Петрофизика (Физика горных пород): учеб. для вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников; 2-ое изд. перераб. и доп.; под ред. Д. А. Кожевникова. – М.: Нефть и газ, 2004. – 368 с.
8. Почвоведение / О. В. Кормилицина, О. В. Мартыненко, В. Н. Карминов [и др.]; под общ. ред. В. А. Рожкова. – М.: Лесная промышленность, 2006. – 272 с.

9. Природообустройство Полесья: монография: в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Брест; Ровно; Варшава; Рязань: Мещерский филиал ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова, 2019. – Кн. 1: Белорусское Полесье. Т. 2: Преобразование и использование природных ресурсов. – 503 с.
10. Хабутдинов, Ю. Г. Учение об атмосфере: учебное пособие / Ю. Г. Хабутдинов, К. М. Шанталинский, А. А. Николаев. – Казань: гос. ун-т, 2010. – 257 с.
11. Волчек, А. А. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебное пособие / А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Н. Н. Шешко; под общ. ред. А. А. Волчека. – М.: Кнорус, 2021. – 520 с.
12. Гидрологические расчёты в мелиоративных целях: учебное пособие / В. С. Мезенцев, Г. В. Белоненко, И. В. Карнацевич, В. В. Лоскутов. – Омск: Омский СХИ, 1980. – Ч. 1. – 81 с.
13. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: МГУ. – 1999. – 799 с.
14. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р. А. Полуэктов, Э. И. Смоляр, В. В. Терлеев, А. Г. Топаж. – СПб.: С-Петербург. ун-т, 2006. – 799 с.
15. Хворова, Л. А. Динамическое моделирование и прогнозирование в агрометеорологии / Л. А. Хворова, А. Г. Топаж. – Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2010. – 262 с.
16. Шейн, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шейн. – М.: МГУ, 2005. – 432 с.
17. Хворова, Л. А. Численное моделирование составляющих теплового режима почв Алтайского Приобья / Л. А. Хворова, А. В. Жариков // Журнал Известия АГУ. – 2013. – № 1, Т. 1. – С. 126–130.
18. Волчек, А. А. Оценка влияния крупномасштабной мелиорации Белорусского Полесья на тепловой режим почв / А. А. Волчек, В. В. Борушко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 25–30. – DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-25-30.
19. Волчек, А. А. Оценка влияния осушения на тепловой режим почв Полесья / А. А. Волчек, В. В. Борушко // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. тезисов по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 26 марта 2021 г. – Воронеж, 2021. – С. 57–58.
20. Борушко, В. В. Оценка влияния осушения на тепловой режим почв Полесья / В. В. Борушко, А. А. Волчек // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сборник статей по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 26 марта 2021 г. – Воронеж, 2021. – С. 368–374.
21. Природообустройство Полесья: монография: в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Рязань: Мещер. ф-л ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова, 2018. – Кн. 1: Белорусское Полесье, Т. 1: Природно-ресурсный потенциал. – 408 с.
22. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.
23. Борушко, В. В. К вопросу о влиянии осушения на тепловой режим мелиорированных земель Белорусского Полесья / В. В. Борушко, А. А. Волчек, В. И. Гладковский // Актуальные проблемы наук о земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящённой Году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сентября 2017 г.: в 2 ч. / БрГУ им. А. С. Пушкина. – Брест, 2017. – Ч. 2. – С. 6–9.
24. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учётом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак; под ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 228 с.
25. WeatherOnline Ltd. – Meteorological Services. – URL: <https://weatheronline.co.uk> (date of access: 15.10.2025).
26. Региональная физическая география. Климаты Земли: учеб.-метод. Пособие: в 2 ч. / Е. М. Зубащенко, В. И. Шмыков, А. Я. Немыкин, Н. В. Полякова. – Воронеж: ВГПУ, 2007. – Ч. 1. – 183 с.
27. Михайлюк, Ю. И. Ориентировочная основа действий при изучении химии элементов в курсе общей химии: учебное пособие / Ю. И. Михайлюк, А. К. Мазитова, Р. Р. Кудоярова. – Уфа: УГНТУ, 2004. – 197 с.
28. Volchak, A. A. Evaluation of the influence of large-scale melioration of the Belarusian Polesie on the thermal regime of soils / A. A. Volchak, V. V. Borushko // Vestnik of Brest State Technical University. Civil Engineering and Architecture. – 2023. – P. 103–109. DOI: 10.36773/1818-1112-2023-131-2-103-109.

29. Волчек, А. А. Моделирование теплового режима осушенных торфяно-болотных почв белорусского Полесья / А. А. Волчек, В. В. Борушко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2 (128). – С. 123–126. – DOI: 10.36773/1818-1112-2022-128-2-123-126.
30. Волчек, А. А. Тепловой режим дерново-подзолистых почв осушенных территорий / А. А. Волчек, В. В. Борушко // Вопросы степеведения. – 2022. – № 2. – С. 60–71. – DOI: 10.24412/2712-8628-2022-2-60-71.
31. Volchak, A. A. The simulation of the thermal regime of soddy-podzolic soils of Belarusian Polesie / A. A. Volchak, V. V. Borushko // Vestnik of Brest State Technical University. – 2025. – No. 3 (138). – P. 135–140. – DOI: 10.36773/1818-1112-2025-138-3-135-140.
32. Чекотилло, А. М. Температурная инерция почвы в зимнее время / А. М. Чекотилло // Вопросы изучения снега и использования его в народном хозяйстве. – М.: АН СССР, 1955. – С. 73–97.
33. Копанев, И. Д. О температурном режиме почвы в холодный период / И. Д. Копанев // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 97–103.
17. Hvorova, L. A. CHislennoe modelirovanie sostavlyayushchih teplovogo rezhima pochv Altajskogo Priob'ya / L. A. Hvorova, A. V. Zharikov // ZHurnal Izvestiya AGU. – 2013. – № 1, T. 1. – S. 126–130.
18. Volchek, A. A. Ocenka vliyaniya krupnomasshtabnoj melioracii Belorusskogo Poles'ya na teplovoj rezhim pochv / A. A. Volchek, V. V. Borushko // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 2022. – № 3. – S. 25–30. – DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-25-30.
19. Volchek, A. A. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoj rezhim pochv Poles'ya / A. A. Volchek, V. V. Borushko // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti : sb. tezisov po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 26 marta 2021 g. – Voronezh, 2021. – S. 57–58.
20. Borushko, V. V. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoj rezhim pochv Poles'ya / V. V. Borushko, A. A. Volchek // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti : sbornik statej po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 26 marta 2021 g. – Voronezh, 2021. – S. 368–374.
21. Prirodoobustrojstvo Poles'ya : monografiya : v 4 kn. / pod obshch. nauch. red. YU. A. Mazhajsckogo [i dr.]. – Ryazan' : Meshcher. f-l VNIIGiM im. A. N. Kostyakova, 2018. – Kn. 1 : Belorusskoe Poles'e, T. 1 : Prirodno-resursnyj potencial. – 408 s.
22. Dul'nev, G. N. Primenenie EVM dlya resheniya zadach teploobmena / G. N. Dul'nev, V. G. Parfenov, A. V. Sigalov. – M. : Vysshaya shkola, 1990. – 208 s.
23. Borushko, V. V. K voprosu o vliyanii osusheniya na teplovoj rezhim meliorirovannyh zemel' Belorusskogo Poles'ya / V. V. Borushko, A. A. Volchek, V. I. Gladkovskij // Aktual'nye problemy nauk o zemle: ispol'zovanie prirodnyh resursov i sohranenie okruzhayushchej sredy : sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchyonnoj Godu nauki v Resp. Belarus', Brest, 25–27 sentyabrya 2017 g. : v 2 ch. / BrGU im. A. S. Pushkina. – Brest, 2017. – CH. 2. – S. 6–9.
24. Vodnye resursy Belarusi i ih prognoz s uchytom izmeneniya klimata / A. A. Volchek, V. N. Korneev, S. I. Parfomuk, I. A. Bulak ; pod red. A. A. Volcheka, V. N. Korneeva. – Brest : A'lternativa, 2017. – 228 s.
25. WeatherOnline Ltd. – Meteorological Services. – URL: <https://weatheronline.co.uk> (date of access: 15.10.2025).
26. Regional'naya fizicheskaya geografiya. Klimaty Zemli : ucheb.-metod. Posobie : v 2 ch. / E. M. Zubashchenko, V. I. SHmykov, A. YA. Nemykin, N. V. Polyakova. – Voronezh : VGPU, 2007. – CH. 1. – 183 s.
27. Mihajlyuk, YU. I. Orientirovochnaya osnova dejstvij pri izuchenii himii elementov v kurse obshchej himii: uchebnoe posobie / YU. I. Mihajlyuk, A. K. Mazitova, R. R. Kudoyarova. – Ufa : UGNTU, 2004. – 197 s.
28. Volchak, A. A. Evaluation of the influence of large-scale melioration of the Belarusian Polesie on the thermal regime of soils / A. A. Volchak, V. V. Borushko // Vestnik of Brest State Technical University. Civil Engineering and Architecture. – 2023. – P. 103–109. DOI: 10.36773/1818-1112-2023-131-2-103-109.
29. Volchek, A. A. Modelirovanie teplovogo rezhima osushennyh torfyano-bolotnyh pochv belorusskogo Poles'ya / A. A. Volchek, V. V. Borushko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – № 2 (128). – S. 123–126. – DOI: 10.36773/1818-1112-2022-128-2-123-126.
30. Volchek, A. A. Teplovoj rezhim demovo-podzolistyh pochv osushennyh territorij / A. A. Volchek, V. V. Borushko // Voprosy stepevedeniya. – 2022. – № 2. – S. 60–71. – DOI: 10.24412/2712-8628-2022-2-60-71.
31. Volchak, A. A. The simulation of the thermal regime of soddy-podzolic soils of Belarusian Polesie / A. A. Volchak, V. V. Borushko // Vestnik of Brest State Technical University. – 2025. – No. 3 (138). – P. 135–140. – DOI: 10.36773/1818-1112-2025-138-3-135-140.
32. CHekotillo, A. M. Temperaturnaya inerciya pochvy v zimnee vremya / A. M. CHekotillo // Voprosy izucheniya snega i ispol'zovaniya ego v narodnom hozyajstve. – M. : AN SSSR, 1955. – S. 73–97.
33. Kopanev, I. D. O temperaturnom rezhime pochvy v holodnyj period / I. D. Kopanev // Pochvovedenie. – 1965. – № 6. – S. 97–103.

Материал поступил 22.01.2026, одобрен 22.02.2026, принят к публикации 23.02.2026