

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ОСУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.А. Волчек, В.В. Борушко

УО «Брестский государственный технический университет», Беларусь, Брест
e-mail: vadim79@tut.by

В статье приведены результаты моделирования распространения тепла в минеральных почвах при различных нормах осушения. Предложенная методика позволяет, используя математическое моделирование, получить температурный профиль почв, что положено в основу оценки изменения температурного и теплового режимов естественных и осушенных почв Белорусского Полесья. Полученные в работе результаты могут быть использованы при управлении водным режимом мелиорированных земель.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, лесостепь, дерново-подзолистая почва, мелиорация, температура, теплоемкость, количество теплоты.

Введение

Белорусское Полесье в силу своего географического положения характеризуется самой высокой в Беларуси теплообеспеченностью и продолжительностью вегетационного периода. В данном регионе, как и на всей территории страны, с конца 1980-х гг. отмечаются заметные изменения климата [1, 2], связанные в первую очередь с ростом температуры воздуха. Это приводит к изменению агроклиматических показателей. Среди них прежде всего следует отметить трансформацию границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область распалась, Центральная и Южная агроклиматические области сместились на север, а на юге Полесья образовалась более теплая Новая агроклиматическая область [3, 4], с некоторыми элементами лесостепной зоны, в частности изменился гидротермический коэффициент, появились новые представители фауны и флоры, ранее не встречавшиеся на данной территории. Появилась возможность выращивать новые теплолюбивые сельскохозяйственные культуры, что требует пересмотра структуры севооборотов, внедрения новых сельскохозяйственных технологий и т.д.

Уменьшение количества осадков за последние десятилетия на станции Полесская, расположенной на территории Лунинецкого болотного массива, и на близлежащих станциях позволяет сделать вывод, что проведение мелиоративных работ на больших площадях (Лунинецкий болотный массив, станция Полесская), повлекшее уменьшение лесистости и шероховатости подстилающей поверхности, приводит к увеличению скорости ветра и снижению количества осадков, особенно в холодный период [5].

Проведенные крупномасштабные мелиорации Белорусского Полесья во второй половине XX века успешно решили задачу комплекса организационно-хозяйственных и технических мероприятий для обеспечения производства сельскохозяйственной продукции и оптимизации водно-воздушного режима. Как показала практика, проведенные мелиоративные мероприятия в целом решили поставленные перед ними задачи, но оказали существенное влияние на природные экосистемы, в том числе, и на тепловой режим территорий.

Тепловой режим, наряду с водно-воздушным, определяет, главным образом, сельскохозяйственную продуктивность земель. По этой причине изучение закономерностей формирования теплового режима почв является одной из актуальных задач земледелия.

Целенаправленное регулирование данного процесса будет способствовать повышению урожайности и улучшению качества возделываемых сельскохозяйственных культур.

Несмотря на то, что микроклимат оказывает существенное влияние на рост сельскохозяйственных культур и их урожайность, в настоящее время недостаточно внимания уделяется этому фактору. Как правило, рассматриваются вопросы о внесении удобрений, об использовании новых сортов, средств борьбы с сорной растительностью и т. д. [6-8].

В пределах Белорусского Полесья осушенные земли занимают 8731,4 тыс. га, что составляет примерно 19 % всех земель рассматриваемого региона [9].

В ближайшее время расширение сельскохозяйственных угодий не представляется возможным, поэтому одна из основных задач видится в интенсификации урожайности. Безусловно, главным фактором ее повышения, помимо качества семян и внесения удобрений, является количество теплоты, которое приходится на поверхность почвы, а также влагообеспеченность корнеобитаемого слоя.

Характер изменения теплового режима осушенных и неосушенных территорий имеет различную структуру и определяется как климатическими факторами, так и степенью мелиорированности [10, 11]. В первую очередь, меняется коэффициент теплопроводности, который варьируется от 0,1 Вт/(м°К) для сухого торфа и до 0,5 Вт/(м°К) для увлажненного [12]. За счет лучшей теплопроводности нижние слои влажной почвы сильнее прогреваются и дольше удерживают тепло при уменьшении температуры атмосферного воздуха.

Влажная почва обладает большей теплоемкостью по сравнению с неувлажненной и требует большего количества теплоты для нагревания, и в тоже время медленнее отдает тепло при остывании.

Основным источником тепла является лучистая энергия Солнца. Поглощаемая почвой, она превращается в тепловую, которая передается в нижние горизонты либо возвращается в атмосферу соответственно посредством явления теплопроводности или теплового излучения и отражения [13]. Разность поглощаемой и излучаемой энергий представляет собой энергию, которая идет на нагревание земной поверхности. При возрастании градиента температур между верхними и нижними слоями почвы, большее количество тепла уходит вниз [14].

В зависимости от теплоемкости почва может поглотить только определенное количество теплоты. В силу того, что процесс теплопередачи от верхних слоев к нижним идет довольно медленно, избыточная энергия будет дополнительно отражаться в окружающую среду. В результате приземный воздух нагревается сильнее, что приводит к его перемещению в области более низкого давления. Таким образом, эти воздушные массы уносят с собой тепловую энергию с осушенных территорий [15].

Целью настоящего исследования является оценка изменения теплового режима мелиорированных дерново-подзолистых почв Белорусского Полесья.

Материалы и методы

В основу исследования положено решение уравнения радиационного баланса, который формирует тепловой режим почв. Радиационный баланс является интерпретацией закона сохранения энергии с ее изменениями и превращениями применительно к конкретному участку почвы. На рисунке 1 приведена схема теплообмена между земной поверхностью и окружающей средой [16].

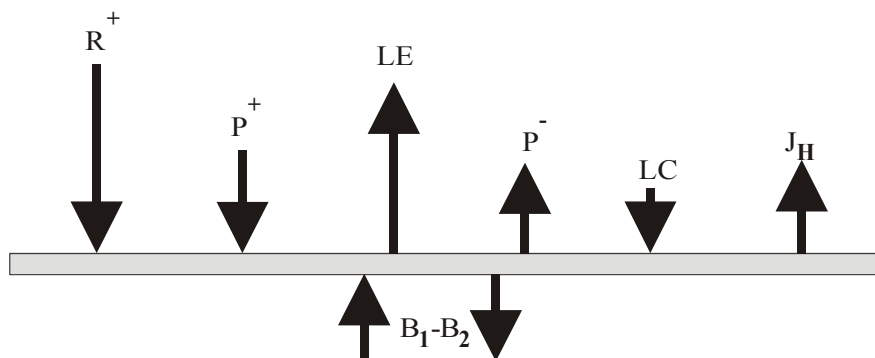


Рисунок 1 – Схема теплообмена

В соответствии с вышеприведенной схемой радиационный баланс имеет вид [16, 17]:

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

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; $L \cdot E$ – расход тепла на суммарное испарение; P^- – расход тепла на нагревание воздуха – турбулентный теплообмен; J_H – длинноволновое (эффективное) излучение земной поверхности в ночные часы суток; $L \cdot C$ – 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 толщине слоя воды, который может испариться при воздействии на данный процесс всех тепловых ресурсов. 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 [16, 17].

Сброс воды при осушении прямо либо косвенно влияет на все составляющие радиационного баланса. Исключение составляет величина среднегодового радиационного баланса R^+ , которая является устойчивой для данной местности.

Для описания закономерностей формирования температурного профиля почв использовано уравнение теплопроводности [18-20]:

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

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

Численное моделирование теплового режима почв [21] сводится к вычислениям профильного распределения их температур [22].

Для этого использован метод математического моделирования, который позволяет, используя начальные климатические условия, рассчитывать температурный профиль почвы и вычислять количество теплоты, аккумулированной ею.

Для количественной оценки изменения теплоемкости почв проведен численный эксперимент по следующей схеме: 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 [23].

В исследовании рассматривалась модель дерново-подзолистой, как наиболее распространенной на Белорусском Полесье и занимающей более 35 % всей территории [24]. Структура почвы выбиралась следующей: верхний слой песка, глубиной 1 м, и нижний слой крупнозернистого песка, глубиной 4 м. Расчеты производились для различных уровней грунтовых вод (УГВ): 0 м, 0,4 м, 0,8 м и 1 м.

Численное решение математической модели получено методом конечных элементов [25]. На базе специализированного программного обеспечения создана модель переноса тепла в почве и исследована динамика ее прогрева в естественных условиях [26].

Исходными данными послужила метеорологическая информация по метеостанции Полесская, которая находится в центре Белорусского Полесья и является репрезентативной для данного региона [27]. Температура воздуха принималась равной среднему многолетнему значению для данного дня в 19:00, что соответствует среднему значению температуры в рассматриваемый день.

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

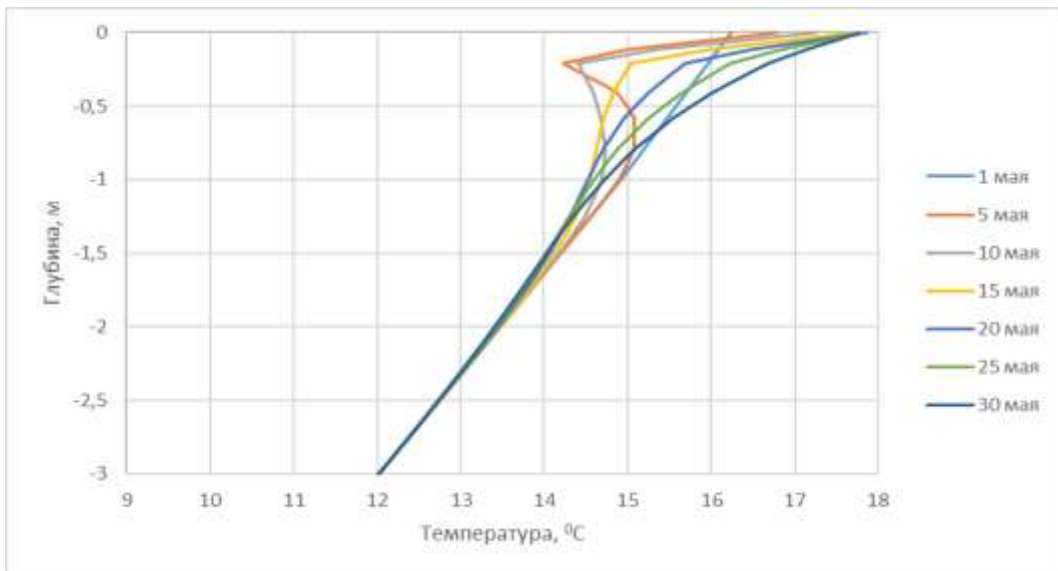
1. На верхней поверхности почвы задавался поток теплоты, равный среднемесячному потоку солнечного излучения, падающего на единицу площади горизонтальной поверхности.
2. На нижней поверхности почвы задавалось условие термостабилизации при температуре 9,1 °С [28], равной среднегодовой температуре воздуха над поверхностью [29].
3. На поверхности почвы также задавалось условие конвективного теплообмена [17]:
 $-\nabla(-k\nabla T) = 0$.
4. На боковых границах выделенного объема применялись условия теплоизоляции.
5. Испарение с поверхности почвы определялось как изменение внутренней энергии воды при испарении по формуле [30]:

$$Q = Lm - \nu RT, \quad (6)$$

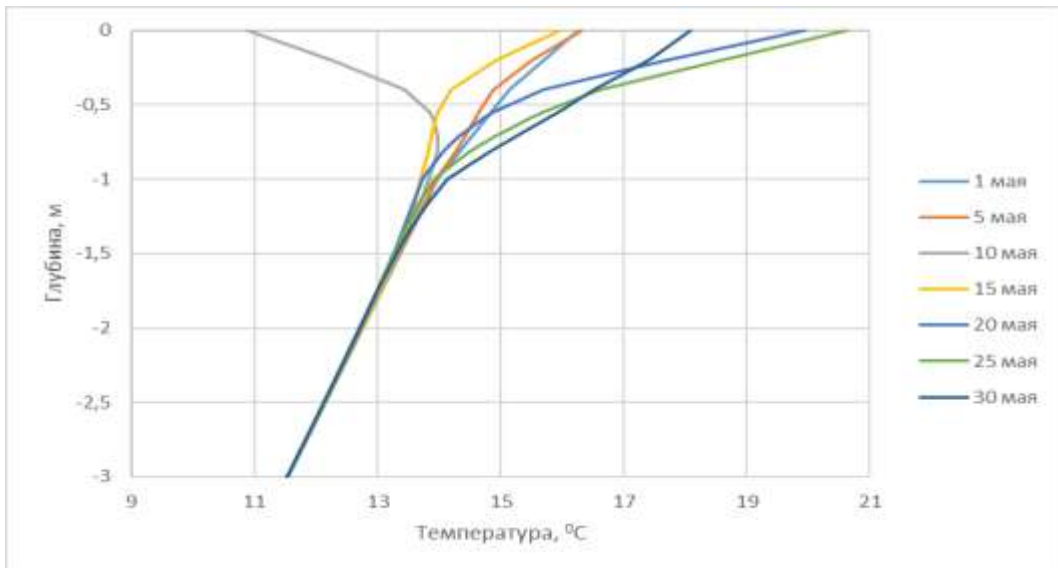
где L – удельная теплота парообразования, Дж/кг; m – масса испарившейся воды, кг; ν – количество вещества испарившейся воды, моль; T – температура воздуха, °К; R – молярная газовая постоянная, Дж/моль°К.

Результаты и обсуждение

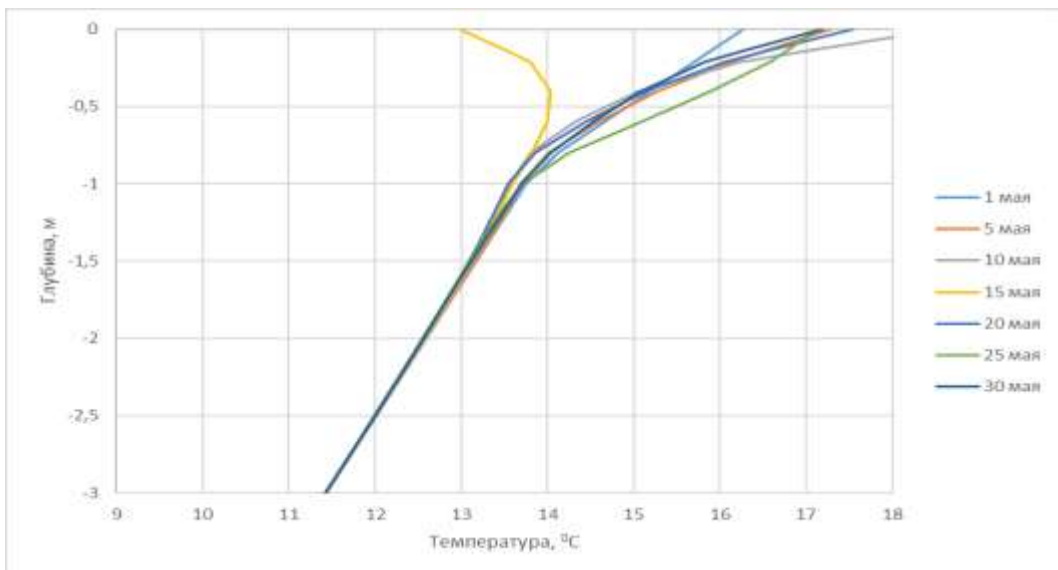
В результате численного эксперимента получено распределение температуры почвы по всей толщине моделируемой системы с интервалом осреднения за сутки с мая месяца по октябрь включительно. В качестве примера на рисунке 2 приведены графики зависимостей для мая месяца.



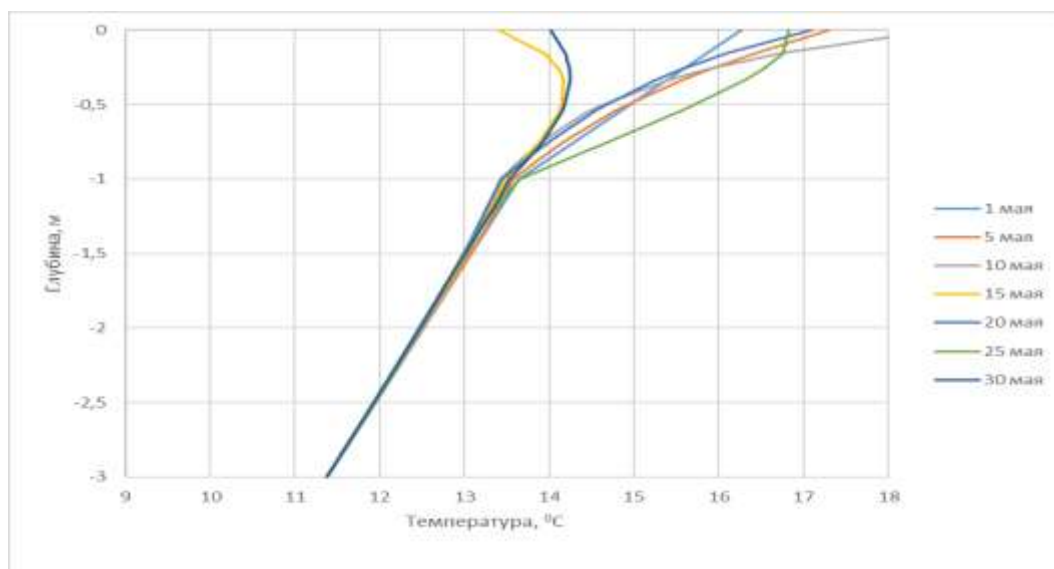
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Распределение температуры дерново-подзолистой почвы по глубине для выбранных дней: а) без осушения, б) с осушением на 0,4 м, в) с осушением на 0,8 м, г) с осушением на 1 м

Из приведенных графиков видно, что для осушенных земель степень зависимости нагрева почвы в поверхностном слое достаточно сильно зависит от температуры атмосферного воздуха. Для почв без осушения разброс температурных величин на протяжении месяца составляет 4°C; для осушенных почв температура достигает величины около 8°C. Это вызвано сбросом воды из корнеобитаемого слоя почвы, которая обладает большей теплоемкостью по сравнению с воздухом.

На графике для неосушенной почвы колебания температур практически не наблюдаются на глубине около 1,5 м, а для осушенной это происходит уже на глубине около 0,8 м. Аналогичная картина наблюдается и для остальных рассматриваемых месяцев.

Обратимся к графикам, представленным на рисунке 3, на которых показано распределение температуры почвы по глубине для одного дня. В качестве примера взяли 1 мая. Из них следует, что в осушенном слое почвы при приближении к поверхности температура растет с большей скоростью, чем в почве без осушения. Изменение скорости возрастания температуры, как видно, происходит на верхнем уровне грунтовых вод.

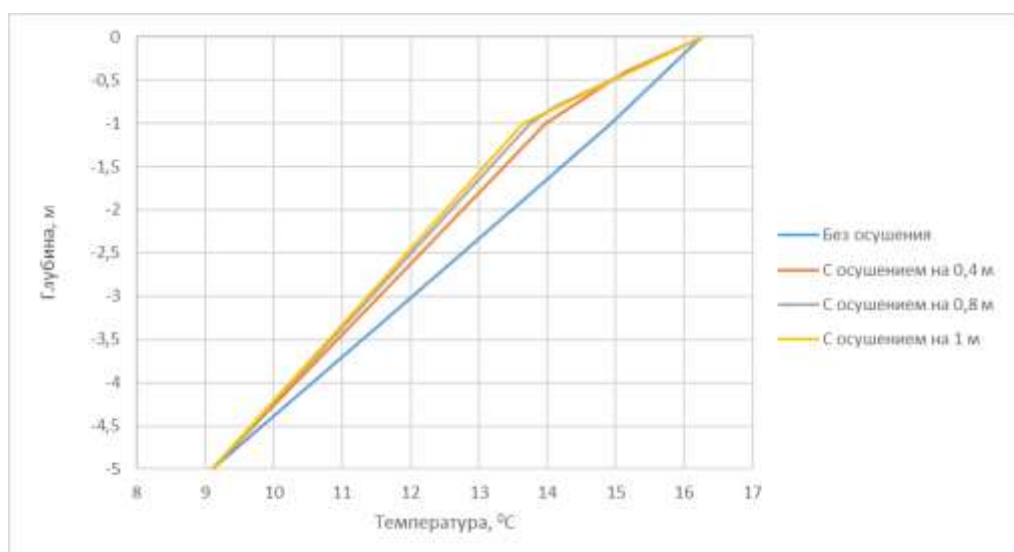


Рисунок 3 – Распределение температуры почвы по глубине для 1 мая

В слое почвы без осушения колебания температур начинают происходить примерно на глубине 2,5 м. С приближением к поверхности температура равномерно возрастает. На глубине 2,5 м в исследуемой модели лежит слой постоянной температуры. А вот ее скачки, которые наблюдаются в отдельные дни на глубине около 0,2 м, связаны с инертностью процесса нагревания почвы.

При снижении УГВ на 0,8 м колебания температуры атмосферного воздуха оказывают существенное влияние на температуру почвы уже на глубине верхнего уровня воды.

В процессе осушения, как видно из диаграммы (рис. 4), количество теплоты, аккумулированной почвами, понижается с уменьшением УГВ. Для дерново-подзолистых почв разность энергий до сброса воды и с осушением на 0,8 м достигает максимума в августе и составляет $1,53 \cdot 10^{10}$ Дж.

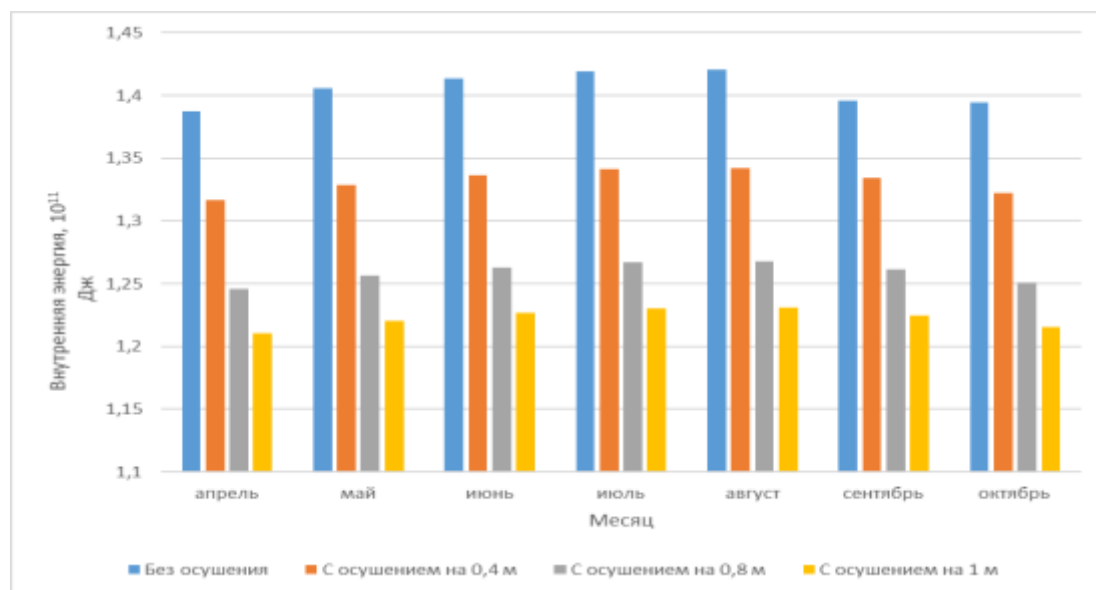


Рисунок 4 – Аккумулируемая энергия дерново-подзолистыми почвами

Таким образом, при осушении болот вместе с водой уходит большое количество энергии, которое составляет порядка 10^{10} Дж с 1 м^2 или 10^6 Дж с га. Если учесть, что Белорусское Полесье, площадь которого около 5 млн га [14], осушено полностью, то количество теплоты, что недополучает почва региона за вегетационный период, будет порядка 10^{16} Дж. Для сравнения: установленная мощность генерирующих энергоисточников Республики Беларусь составляет 10 073,99 МВт, что равно $8,7 \cdot 10^{14}$ Дж в сутки или $2,4 \cdot 10^{12}$ Дж в год [31].

Выводы

Уменьшение средней теплоемкости и теплопроводности почвы вследствие уменьшения ее влажности ведет к снижению количества тепла, аккумулируемого почвой. Это может приводить к поздним заморозкам весной и ранней осенью, что также не способствуют росту урожайности сельскохозяйственных культур. В тоже время происходит переосушка верхнего слоя почвы, и создаются неблагоприятные условия для произрастания растений.

Поэтому при разработке планов управления мелиоративными системами, проектировании севооборотов, подбора агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур, необходимо учитывать процессы перераспределения тепла в почве.

Список литературы

1. Мельник В.И., Комаровская Е.В., Партасенок И.С., Кравцова С.М. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. Минск, 2016. С. 399-403.
2. Мельник В.И., Комаровская Е.В., Кравцова С.М. Современные изменения климата на мелиорированных торфяных почвах Белорусского Полесья // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: Зборнік навуковых прац VIII Міжнароднай навуковай канферэнцыі «Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання». Беларусь, 2018. С. 74-77.
3. Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата: отчет о НИР (заключительный). № ГР 20171431. Минск: Белгидромет, 2017. 132 с.
4. Мельник В.И., Данилович И.С., Кулешова И.Ю., Комаровская Е.В., Мельчакова Н.В. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989-2015 гг. // Природные ресурсы. 2018. № 2. С. 88-101.
5. Оценка пространственно-временных особенностей роли мелиорации земель в современных изменениях климата и продуктивности экосистем Беларуси с использованием статистических методов и математического моделирования: отчет о НИР (промежуточный). № ГР 20160128. Минск, 2018. 163 с.
6. Журавлев М.З. Плодородие низинных болот подтаежной зоны Иртыш-Ишимского междуречья и некоторые вопросы их сельскохозяйственного использования // Науч. тр. ОмСХИ. Омск, 1963. Т. 1. С. 61-70.
7. Моторин А.С. Плодородие торфяных почв Западной Сибири // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 1. С. 16-22.
8. Курчевский С.М., Поднебесная Э.И. Сравнительная оценка пескования и глинования для повышения продуктивности торфяных почв // Агрехимический вестник. 2013. № 2. С. 27-28.
9. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник: [2014-2020]. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. 202 с.
10. Мажайский Ю.А., Курчевский С.М. Повышение продуктивности мелкозалежных торфяных почв при внесении минеральных добавок // Агрехимический вестник. 2015. № 1. С. 15-17.
11. Игловиков А.В., Моторин А.С. Физико-химические свойства и питательный режим нарушенных грунтов Крайнего Севера при биологической рекультивации // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7(99). С. 66-72.
12. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб. для вузов. 2-ое изд. перераб. и доп. под ред. Д.А. Кожевникова. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 368 с.
13. Кормилицына О.В., Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Сабо Е.Д., Бондаренко В.В. Почвоведение: учебное пособие. М.: Лесная промышленность, 2006. 272 с.
14. Мажайский Ю.А., Рокочинский А.Н., Волчек А.А., Мешик О.П., Езнах Е. Природообустройство Полесья. Т. 2. Кн. 1. Рязань: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2019. 503 с.
15. Хабутдинов Ю.Г., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. Казань: гос. ун-т, 2010. 257 с.
16. Волчек А.А., Шведовский П.В., Шешко Н.Н. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебное пособие. М.: Изд-во Кнорус, 2021. 520 с.

17. Мезенцев В.С., Белоненко Г.В., Карнацевич И.В., Лоскутов В.В. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях: учебное пособие. Ч. 1. Омск: Омский СХИ, 1980. 81 с.
18. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Изд-во МГУ, 1999. 799 с.
19. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во С-Петербур. ун-та, 2006. 396 с.
20. Хворова Л.А., Топаж А.Г. Динамическое моделирование и прогнозирование в агрометеорологии. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2010. 262 с.
21. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Из-во МГУ, 2005. 432 с.
22. Хворова Л.А., Жариков А.В. Численное моделирование составляющих теплового режима почв Алтайского Приобья // Известия АГУ. 2013. № 1. Т. 1. С. 126-130.
23. Волчек А.А., Борушко В.В. Оценка влияния осушения на тепловой режим почв Полесья // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. тезисов по материалам XVII Междун. науч.-практ. конф. Воронеж, 2021. С. 57-58.
24. Мажайский Ю.А., Рокочинский А.Н., Волчек А.А., Мешик О.П., Езнах Е. Природообустройство Полесья. Т. 1. Кн. 1. Рязань: Мещер. ф-л ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2018. 408 с.
25. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. М.: Высшая школа, 1990. 208 с.
26. Борушко В.В., Волчек А.А., Гладковский В.И. К вопросу о влиянии осушения на тепловой режим мелиорированных земель Белорусского Полесья // Актуальные проблемы наук о земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды: Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки в Республике Беларусь. Брест: БрГУ имени А.С. Пушкина, 2017. Ч. 2. С. 6-9.
27. Волчек А.А., Борушко В.В. Оценка влияния осушения на тепловой режим почв Полесья // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. статей по материалам XVII Междун. науч.-практ. конф. Воронеж, 2021. С. 368-374.
28. WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services [Электронный ресурс]. URL: [https://www.weatheronline.co.uk/Temperature/Brest/Climate Robot Belarus/](https://www.weatheronline.co.uk/Temperature/Brest/Climate%20Robot/Belarus/) (дата обращения: 10.12.2020).
29. Зубашенко Е.М., Шмыков В.И., Немыкин А.Я., Полякова Н.В. Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Ч. 1. Воронеж: ВГПУ, 2007. 183 с.
30. Михайлюк Ю.И., Мазитова А.К., Кудоярова Р.Р. Ориентировочная основа действий при изучении химии элементов в курсе общей химии: учебное пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. 197 с.
31. ГПО «Белэнерго» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnyye-pokazateli/> (дата обращения: 22.12.2021).

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 25.04.2022

Принята к публикации 20.06.2022

THE THERMAL REGIME OF SOD-PODZOLIC SOILS OF DRAINED TERRITORIES

A. Volchak, V. Barushka

Brest State Technical University, Republic of Belarus, Brest

e-mail: vadim79@tut.by

The article presents the modeling results of the heat distribution in mineral soils under various rates of drainage. Using mathematical modeling, the proposed method makes it possible to obtain the temperature profile of soils, which is the basis to estimate changes in the temperature and thermal regimes of natural and drained soils of Belarusian Woodland. The results obtained in the work can be used in the management of the water regime of reclaimed lands.

Key words: Belarusian Woodland, forest-steppe, sod-podzolic soil, land reclamation, temperature, heat capacity, amount of heat.

References

1. Mel'nik V.I., Komarovskaya E.V., Partasenok I.S., Kravtsova S.M. *Izmenenie klimata i vodnykh resursov na territorii Poles'ya. Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnikh resursov i ustoichivoe razvitie Poles'ya: sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. Minsk, 2016. S. 399-403.*
2. Mel'nik V.I., Komarovskaya E.V., Kravtsova S.M. *Sovremennye izmeneniya klimata na meliorirovannykh torfyanykh pochvakh Belorusskogo Poles'ya. Pryrodnae asyaroddze Palessya: asablivastsi i perspektyvy razvitsysya: Zbornik navukovykh prats VIII Mizhnarodnai navukovai kanferentsyi «Pryrodnae asyaroddze Palessya i navukova-praktychnyya aspekty ratsyyanal'naga resursakarystannya». Belarus', 2018. S. 74-77.*
3. *Otsenka agroklimaticheskikh resursov i novoe agroklimaticheskoe raionirovanie territorii Belarusi s uchetom izmeneniya klimata: otchet o NIR (zaklyuchitel'nyi). № GR 20171431. Minsk: Belgidromet, 2017. 132 s.*
4. Mel'nik V.I., Danilovich I.S., Kuleshova I.Yu., Komarovskaya E.V., Mel'chakova N.V. *Otsenka agroklimaticheskikh resursov territorii Belarusi za period 1989-2015 gg. Prirodnye resursy. 2018. N 2. S. 88-101.*
5. *Otsenka prostranstvenno-vremennykh osobennostei roli melioratsii zemel' v sovremennykh izmeneniyakh klimata i produktivnosti ekosistem Belarusi s ispol'zovaniem statisticheskikh metodov i matematicheskogo modelirovaniya: otchet o NIR (promezhutochnyi). № GR 20160128. Minsk, 2018. 163 s.*
6. Zhuravlev M.Z. *Plodorodie nizinykh bolot podtaezhnoi zony Irtysh-Ishimskogo mezhdurech'ya i nekotorye voprosy ikh sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya. Nauch. tr. OmSKhI. Omsk, 1963. T. 1. S. 61-70.*
7. Motorin A.S. *Plodorodie torfyanykh pochv Zapadnoi Sibiri. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo. 2020. N 1. S 16-22.*
8. Kurchevskii S.M., Podnebesnaya E.I. *Sravnitel'naya otsenka peskovaniya i glinovaniya dlya povysheniya produktivnosti torfyanykh pochv. Agrokhimicheskii vestnik. 2013. N 2. S. 27-28.*
9. *Okhrana okruzhayushchei sredy v Respublike Belarus'. Statisticheskii sbornik: [2014-2020]. Natsional'nyi statisticheskii komitet Respubliki Belarus'. Minsk: Natsional'nyi statisticheskii komitet Respubliki Belarus', 2021. 202 s.*
10. Mazhaiskii Yu.A., Kurchevskii S.M. *Povyshenie produktivnosti melkozaleznykh torfyanykh pochv pri vnesenii mineral'nykh dobavok. Agrokhimicheskii vestnik. 2015. N 1. S. 15-17.*
11. Iglovikov A.V., Motorin A.S. *Fiziko-khimicheskie svoistva i pitatel'nyi rezhim narushennykh gruntov Krainego Severa pri biologicheskoi rekul'tivatsii. Agrarnyi vestnik Urala. 2012. N 7(99). S. 66-72.*

12. Dobrynin V.M., Vendel'shtein B.Yu., Kozhevnikov D.A. Petrofizika (Fizika gornykh porod): Ucheb. dlya vuzov. 2-oe izd. pererab. i dop. pod red. D.A. Kozhevnikova. M.: FGUP Izd-vo «Nef't' i gaz» RGU nef'ti i gaza im. I.M. Gubkina, 2004. 368 s.
13. Kormilitsyna O.V., Martynenko O.V., Karminov V.N., Sabo E.D., Bondarenko V.V. Pochvovedenie: uchebnoe posobie. M.: Lesnaya promyshlennost', 2006. 272 s.
14. Mazhaiskii Yu.A., Rokochinskii A.N., Volchek A.A., Meshik O.P., Eznakh E. Prirodoobustroistvo Poles'ya. T. 2. Kn. 1. Ryazan': VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, 2019. 503 s.
15. Khabutdinov Yu.G., Shantalinskii K.M., Nikolaev A.A. Uchenie ob atmosfere: uchebnoe posobie. Kazan': gos. un-t, 2010. 257 s.
16. Volchek A.A., Shvedovskii P.V., Sheshko N.N. Gidravlika, gidrologiya, gidrometriya: uchebnoe posobie. M.: Izd-vo Knorus, 2021. 520 s.
17. Mezentshev V.S., Belonenko G.V., Karnatsevich I.V., Loskutov V.V. Gidrologicheskie raschety v meliorativnykh tselyakh: uchebnoe posobie. Ch. 1. Omsk: Omskii SKhI, 1980. 81 s.
18. Tikhonov A.N., Samarskii A.A. Uravneniya matematicheskoi fiziki. M.: Izd-vo MGU, 1999. 799 s.
19. Poluektov R.A., Smolyar E.I., Terleev V.V., Topazh A.G. Modeli produktsionnogo protsessa sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. SPb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 2006. 396 s.
20. Khvorova L.A., Topazh A.G. Dinamicheskoe modelirovanie i prognozirovanie v agrometeorologii. Barnaul: Izd-vo Altaiskogo gos. un-ta, 2010. 262 s.
21. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. M.: Iz-vo MGU, 2005. 432 s.
22. Khvorova L.A., Zharikov A.V. Chislennoe modelirovanie sostavlyayushchikh teplovogo rezhima pochv Altaiskogo Priob'ya. Izvestiya AGU. 2013. N 1. T. 1. S. 126-130.
23. Volchek A.A., Borushko V.V. Otsenka vliyaniya osusheniya na teplovoi rezhim pochv Poles'ya Kompleksnye problemy tekhnosfernoi bezopasnosti. Nauchnyi i prakticheskii podkhody k razvitiyu i realizatsii tekhnologii bezopasnosti: sb. tezisov po materialam XVII Mezhdun. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 2021. S. 57-58.
24. Mazhaiskii Yu.A., Rokochinskii A.N., Volchek A.A., Meshik O.P., Eznakh E. Prirodoobustroistvo Poles'ya. T. 1. Kn. 1. Ryazan': Meshcher. f-l FGBNU "VNIIGiM im. A.N. Kostyakova", 2018. 408 s.
25. Dul'nev G.N., Parfenov V.G., Sigalov A.V. Primenenie EVM dlya resheniya zadach teploobmena. M.: Vysshaya shkola, 1990. 208 s.
26. Borushko V.V., Volchek A.A., Gladkovskii V.I. K voprosu o vliyani osusheniya na teplovoi rezhim meliorirovannykh zemel' Belorusskogo Poles'ya. Aktual'nye problemy nauk o zemle: ispol'zovanie prirodnykh resursov i sokhranenie okruzhayushchei sredy: Sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Godu nauki v Respublike Belarus'. Brest: BrGU imeni A.S. Pushkina, 2017. Ch. 2. S. 6-9.
27. Volchek A.A., Borushko V.V. Otsenka vliyaniya osusheniya na teplovoi rezhim pochv Poles'ya. Kompleksnye problemy tekhnosfernoi bezopasnosti. Nauchnyi i prakticheskii podkhody k razvitiyu i realizatsii tekhnologii bezopasnosti: sb. statei po materialam XVII Mezhdun. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 2021. S. 368-374.
28. WeatherOnline Ltd. – Meteorological Services [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.weatheronline.co.uk/Temperature/Brest/Climate Robot Belarus/> (data obrashcheniya: 10.12.2020).
29. Zubashchenko E.M., Shmykov V.I., Nemykin A.Ya., Polyakova N.V. Regional'naya fizicheskaya geografiya. Klimaty Zemli: uchebno-metodicheskoe posobie. Ch. 1. Voronezh: VGPU, 2007. 183 s.
30. Mikhailyuk Yu.I., Mazitova A.K., Kudoyarova R.R. Orientirovochnaya osnova deistvii pri izuchenii khimii elementov v kurse obshchei khimii: uchebnoe posobie. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2004. 197 s.
31. GPO "Belenergo" [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/> (data obrashcheniya: 22.12.2021).

Сведения об авторах:

Александр Александрович Волчек

Д.г.н. РФ и РБ, профессор, декан, УО «Брестский государственный технический университет»

ORCID 0000-0002-8838-797X

Alexander Volchak

Doctor of Geographical Sciences of the Russian Federation and the Republic of Belarus, Professor, dean, Brest State Technical University

Вадим Васильевич Борушко

Магистр физико-математических наук, аспирант, УО «Брестский государственный технический университет»

ORCID 0000-0003-4481-3620

Vadim Barushka

Master of Physical and Mathematical Sciences, post-graduate student, Brest State Technical University

Для цитирования: Волчек А.А., Борушко В.В. Тепловой режим дерново-подзолистых почв осушенных территорий // Вопросы степеведения. 2022. № 2. С. 60-71. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-2-60-71.