

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А. А. Волчек¹, В. В. Борушко²

¹ Д. геогр. н., профессор, декан факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: volchak@tut.by

² Магистр физ.-мат. наук, аспирант Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: vadim79@tut.by

Реферат

В статье приведены результаты моделирования прогнозных оценок распространения теплоресурсов в торфяно-болотных почвах при различных нормах осушения с учётом глобального потепления климата на период до 2035 года. 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 в связи с изменением температуры воздуха. Полученные в работе результаты могут быть использованы при управлении водным режимом мелиорированных земель.

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

MODELING OF THE THERMAL REGIME OF DRAINED PEAT-BOGS SOILS IN BELARUSIAN POLESIE

A. A. Volchak, V. V. Barushka

Abstract

The article presents the results of modeling predictive estimates of the distribution of heat resources in peat-bog soils at various rates of drainage, taking into account global climate warming for the period up to 2035. The proposed method makes it possible, using mathematical modeling, to obtain the temperature profile of soils, which is the basis for assessing changes in the temperature and thermal regimes of natural and drained soils of Belarussian Polissia due to changes in air temperature. The results obtained in the work can be used in the management of the water regime of reclaimed lands.

Keywords: Belarussian Woodland, modeling, peat-bog soil, land reclamation, temperature, heat capacity, amount of heat.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности страны связано с решением вопроса повышения валового сбора сельскохозяйственной продукции, что можно реализовать вовлечением в сельскохозяйственный оборот большего количества земель. Однако в ближайшее время для Республики Беларусь это не представляется возможным, поэтому одной из основных задач становится повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Главным фактором её повышения, помимо качества семян и внесения удобрений, является поддержание оптимального водно-воздушного и теплового режимов почв сельскохозяйственных земель. В настоящее время данную задачу решают комплексные мелиорации земель Белорусского Полесья, проведенные в 60-х годах прошлого столетия.

Тепловой режим почв наряду с водно-воздушным определяют, главным образом, сельскохозяйственную продуктивность земель. Целенаправленное регулирование данного процесса способствует повышению урожайности и улучшению качества возделываемых сельскохозяйственных культур. Обычно для реализации этих задач решают вопросы о внесении необходимых удобрений, использовании новых сортов, борьбе с сорной растительностью и т. д. [1–3]. Микроклимату же осушенных территорий уделяется недостаточное внимание. Согласно учению В. Р. Вильямса, осушение должно снижать избыточную влажность почвы до таких размеров, которые обеспечивают необходимый водный, воздушный, тепловой, микробиологический и пищевой режимы почвы.

Изменение климата, происходящее на всей территории Беларуси, как и в Европе в целом, в последние десятилетия выражается в увеличении температуры воздуха во все месяцы года с наибольшими отклонениями в зимне-весенний и летний периоды, что влечет существенные изменения агроклиматических показателей. Заметнее всего эти изменения проявляются на территории Белорусского Полесья, которое в силу своего географического положения характеризуется самой высокой в Беларуси теплообеспеченностью и продолжительностью вегетационного периода.

Понимание закономерностей изменения микроклимата при мелиорации земель поможет создать оптимальные условия для произрастания сельскохозяйственных культур и, как следствие, получения большего урожая. Поэтому изучение закономерностей

формирования теплового режима почв в современных условиях и прогнозные его оценки является одной из важных задач земледелия.

Целью настоящего исследования является изучение закономерностей формирования теплового режима мелиорированных торфяно-болотных почв Белорусского Полесья в современных условиях и оценка его изменения на 2035 г. в связи с потеплением климата, что является одной из важных задач земледелия.

Методы исследования и исходные данные

Математическое моделирование природных процессов активно развивается во всех отраслях естествознания. Это связано с попытками осмысления и более глубокого познания природных процессов, возможностью их количественной характеристики, прогноза и управления природными процессами [4]. Математические модели помогают прогнозировать изменения, которые могут произойти в связи с изменением как температуры воздуха, так и структурой почвы.

Для описания закономерностей формирования температурного профиля почв использовано уравнение теплопроводности [5, 6, 7]:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м³;

C_p – теплоемкость, Дж/(моль⁰К);

k – теплопроводность, Вт/м⁰К;

T – температура, ⁰К;

∇ – гамильтониан.

Численное моделирование теплового режима почв [8] сводится к вычислениям профильного распределения их температур [9].

Для этого использован метод математического моделирования, который позволяет, используя начальные климатические условия, рассчитывать динамику температурного профиля почвы и вычислять количество аккумулированной теплоты.

Для количественной оценки изменения теплоемкости почв проведён численный эксперимент по следующей схеме: в качестве условного объема принята почва в 5 м³, изображённая на рисунке 1, 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 [10].

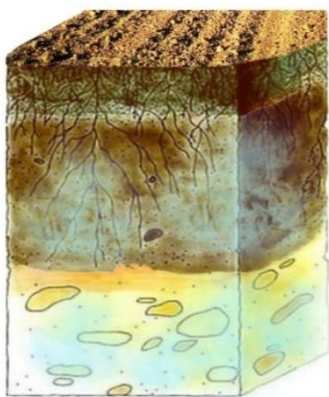


Рисунок 1 – Модель исследуемой почвы

В исследовании рассматривалась модель торфяно-болотной почвы, занимающая около 20 % всей территории Белорусского Полесья [11]. Структура почвы принята следующей: верхний слой торфа глубиной 2 м и нижний слой песка глубиной 3 м. Расчёты производились для различных уровней грунтовых вод (УГВ): 0 м, 0,4 м и 0,8 м.

На базе специализированного программного обеспечения создана модель переноса тепла в почве и исследована динамика её прогрева в естественных и антропогенных условиях [12]. Численное решение математической модели получено методом конечных элементов [13].

Исходными данными послужила метеорологическая информация по метеостанции Полесской, расположенной на территории Лунинецкого болотного массива и являющейся репрезентативной для данного региона [14]. Температура воздуха принималась равной среднему многолетнему значению для данного дня в 19:00, что соответствует среднему значению температуры в рассматриваемый день.

Из предложенных в настоящее время возможных сценариев развития климата в исследовании использован сценарий для Белорусского Полесья до 2035 г., изложенный [15]. Прогнозные значения роста средней температуры воздуха для теплых месяцев приведены в таблице 1.

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:

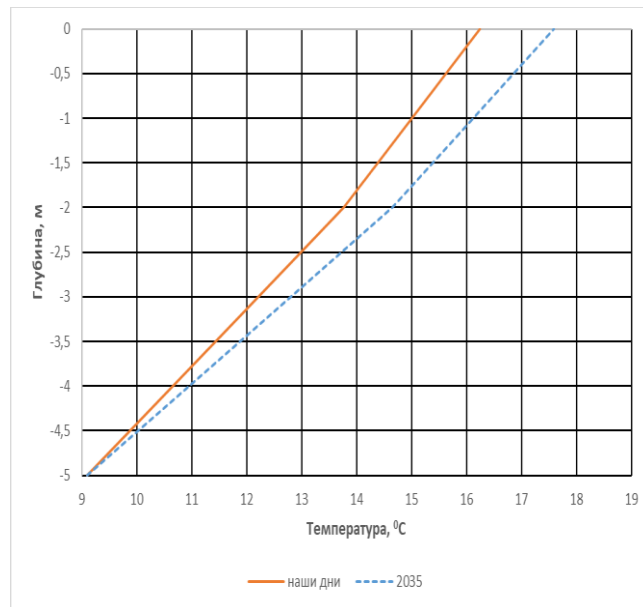
- на поверхности модельной почвы задавался поток теплоты, равный среднемесячному потоку солнечного излучения, падающего на единицу площади горизонтальной поверхности;
- на нижней границе модульной почвы задавались условия термостабилизации при температуре 9,1 °С [16], равной среднегодовой температуре воздуха над поверхностью [17];
- на поверхности почвы задавалось условие конвективного теплообмена $-\nabla(-k\nabla T) = 0$ [18];
- на боковых границах выделенного объема применялись условия теплоизоляции;
- испарение с поверхности почвы определялось как изменение внутренней энергии воды при испарении по формуле [19]

$$Q = Lm - vRT, \quad (2)$$

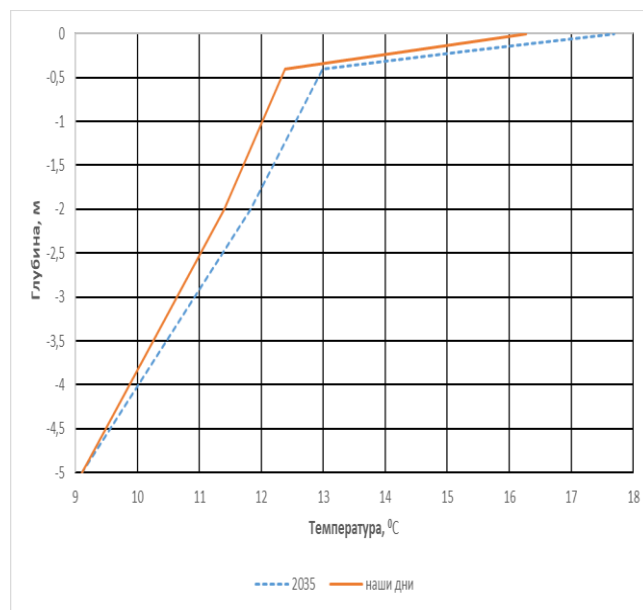
где L – удельная теплота парообразования, Дж/кг;
 m – масса испарившейся воды, кг;
 v – количество вещества испарившейся воды, моль;
 T – температура воздуха, °К;
 R – молярная газовая постоянная, Дж/моль°К.

Результаты и их обсуждение

В результате численного эксперимента получено распределение температуры почвы по всей толщине моделируемого профиля с интервалом осреднения за сутки с мая по октябрь месяцы, включительно по среднему многолетнему значению температуры воздуха и по прогнозной оценочной температуре до 2035 г. В качестве примера на рисунке 1 приведены графики зависимостей 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.



а)



б)

а) без осушения, б) при норме осушения – 0,4 м

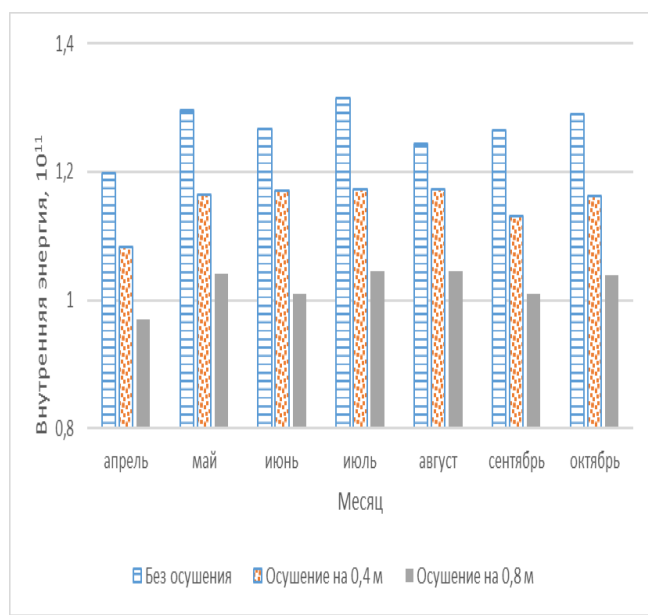
Рисунок 2 – Распределение температуры торфяно-болотной почвы по глубине для 01.05

Как показал проведенный численный эксперимент, динамика температуры почвы носит синхронный характер с аналогичными показателями воздуха, вызванные потеплением климата. Однако характер изменения теплового режима осушенных и неосушенных территорий имеет различную структуру и определяется как климатическими факторами, так и степенью мелиорированности [20, 21]. В зависимости от содержания влаги почвы обладают различными теплоёмкостями.

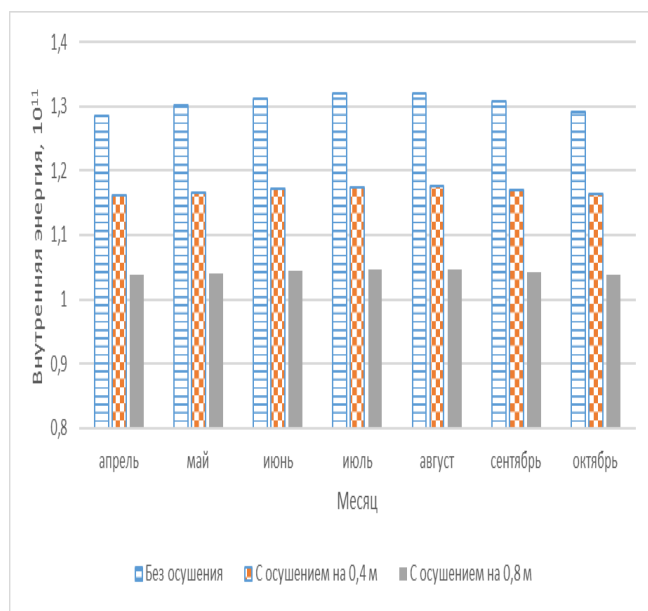
Теплоёмкости воды и воздуха, которые заполняют поры почвы, различаются в четыре раза ($C_{\text{возд}} = 1020 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{К)}$, $C_{\text{воды}} = 4200 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{К)}$) и приблизительно во столько же раз наличие воды в почве повышает её теплоёмкость. Аналогичная ситуация и с теплопроводностью влажной почвы, за счёт которой лучистая энергия солнца, поглощаемая поверхностью почвы, проникает к нижним горизонтам, обеспечивая прогревание корнеобитаемого слоя. Отличие теплоёмкости и теплопроводности приводит к тому, что влажная почва требует большего количества теплоты для нагревания, но и медленнее отдаёт тепло при остывании.

Из графиков, изображённых на рисунке 2, следует, что характер изменения температуры при приближении к поверхности почвы не меняется. Из-за увеличения температуры воздуха соответственно изменяется и температура почвы. Значительнее всего эти изменения проявляются, начиная с глубины 2 м, на неосушенных почвах. При сбросе воды в ходе осушения скорость изменения температуры скачкообразно изменяется на глубине расположения верхнего уровня грунтовых вод.

Из диаграмм, приведенных на рисунке 3, видно, что количество аккумулируемой энергии по месяцам возрастает с повышением температуры воздуха.



а)



б)

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

Рисунок 3 – Аккумулируемая энергия торфяно-болотными почвами

Из полученных результатов, приведенных в таблице 2, следует, что наиболее значительные изменения в аккумулируемой энергии происходят в почве без осушения, так как вода, находящаяся в почве, обладает большей, по сравнению с воздухом, заполняющим поры почвы, теплоемкостью. На осушенных почвах эти изменения не так заметны. Естественная почва аккумулирует большее количество тепловой энергии и более равномерно распределяет её по своему профилю. Вода, находящаяся в верхнем слое почвы, обладает большей инертностью к изменениям температуры атмосферного воздуха, что помогает растениям справляться с поздними заморозками весной и в целом повышает температуру корнеобитаемого слоя почвы, улучшает условия для произрастания сельскохозяйственных культур, характерных для более южных областей.

Как видно из таблицы 2, чем больше норма осушения почв, тем меньше изменения в аккумулируемой энергии почвы, следовательно, осушенные почвы в меньшей степени подвержены влиянию изменения климата.

Таблица 2 – Изменение аккумулируемой энергии почвой, 10^8 Дж

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Без осушения	86,141	43,3098	45,653	50,5807	77,5095	44,1564	41,0736
Осушение на 0,4 м	78,5558	34,7229	37,4028	42,1441	59,4544	38,9218	34,4035
Осушение на 0,8 м	67,8192	27,3563	24,6425	31,2575	41,1987	24,3584	22,7997

В зависимости от теплоёмкости почва может поглотить только определённое количество теплоты. Так как процесс теплопередачи от верхних слоёв к нижним идёт довольно медленно, избыточная энергия будет дополнительно отражаться в окружающей среде. И как результат, 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 [22].

Заключение

По результатам моделирования теплового режима почв при изменении температуры до 2035 года вычислена энергия, аккумулируемая торфяно-болотной почвой. Наиболее заметно энергия возросла для заболоченной почвы. Изменение в аккумулируемой энергии оказалось наибольшим в апреле и составило величину порядка $86 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, что соответствует росту на 7 % от исходного значения. Минимальный прирост энергии оказался в октябре и составил $41 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, что соответствует росту на 3 %.

Мелиорация земель ускоряет процесс изменения подстилающей поверхности и теплофизических свойств почв, что оказывает влияние на тепловой режим торфяно-болотных почв Белорусского Полесья.

Потепление климата, и как следствие, повышение температуры почвы могут привести к возникновению благоприятных условий для произрастания сельскохозяйственных культур, характерных для более теплых регионов. Однако на мелиорированных торфяно-болотных почвах сохраняются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур, что выражается в значительном прогреве почвы в дневное время и охлаждению в ночные часы, в результате чего увеличивается количество заморозков и замедляется прогрев пахотного слоя весной, что может привести к частичной потере урожая.

Список цитированных источников

1. 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.
2. Моторин, А. С. Плодородие торфяных почв Западной Сибири / А. С. Моторин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 16–22.
3. Курчевский, С. М. Сравнительная оценка пескования и глинования для повышения продуктивности торфяных почв / С. М. Курчевский, Э. И. Поднебесная // Агрехимический вестник. – 2013. – № 2. – С. 27–28.
4. Шеин, Е. В. Математическое моделирование в почвоведении : учебник / Е. В. Шеин, И. М. Рыжова. – М. : «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.

5. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов., А. А. Самарский. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 799 с.
6. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р. А. Полуэктов [и др.]. – СПб. : Изд-во С-Петерб. ун-та, 2006. – 799 с.
7. Хворова, Л. А. Динамическое моделирование и прогнозирование в агрометеорологии / Л. А. Хворова, А. Г. Топаж – Барнаул : Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2010. – 262 с.
8. Шеин, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шеин. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.
9. 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.
10. 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 Междун. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2021. – С. 57–58.
11. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Рязань : Мещер. ф-л ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2018. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 1 : Природно-ресурсный потенциал. – 408 с.
12. 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 междун. науч.-практ. конф., посвященной Году науки в Республике Беларусь, 25–27 сентября : в 2 ч. / БрГУ имени А. С. Пушкина. – Брест, 2017. – Ч. 2. – С. 6–9.
13. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М. : Высшая школа, 1990. – 208 с.
14. 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 Междун. науч.-практ. конф.. – Воронеж, 2021. – С. 368–374.
15. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учётом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
16. WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Temperature - Brest - Climate Robot Belarus (weatheronline.co.uk). – Дата доступа: 10.12.2020.
17. Региональная физическая география. Климаты Земли: учеб.-метод. пособие : в 2 ч. / Е. М. Зубашченко [и др.]. – Воронеж : ВГПУ, 2007. – Ч. 1. – 183 с.
18. Гидрологические расчёты в мелиоративных целях: учебное пособие / В.С. Мезенцев [и др.]. – Омск : Омский СХИ, 1980. – Ч. 1. – 81 с.
19. 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 : Изд-во УГНТУ, 2004. – 197 с.
20. 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.
21. 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. – № 7 (99). – 2012. – С. 66–72.
22. Хабутдинов, Ю. Г. Учение об атмосфере: учебное пособие / Ю. Г. Хабутдинов, К. М. Шанталинский, А. А. Николаев. – Казань : КГУ, 2010. – 257 с.
2. Motorin, A. S. Plodorodie torfyanyh pochv Zapadnoj Sibiri / A. S. Motorin // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 2020. – № 1. – S 16–22.
3. Kurchevskij, S. M. Sravnitel'naya ocenka peskovaniya i glinovaniya dlya povysheniya produktivnosti torfyanyh pochv / S. M. Kurchevskij, E. I. Podnebesnaya // Agrohimicheskij vestnik. – 2013. – № 2. – S. 27–28.
4. Shein, E. V. Matematicheskoe modelirovanie v pochvovedenii : uchebnik / E. V. SHein, I. M. Ryzhova. – M. : «IP Marakushev A. B.», 2016. – 377 s.
5. Tihonov, A. N. Uravneniya matematicheskoy fiziki / A. N. Tihonov., A. A. Samarskij. – M. : Izd-vo MGU, 1999. – 799 s.
6. Modeli produkcionnogo processa sel'skohozyajstvennyh kul'tur / R. A. Poluektov [i dr.]. – SPb. : Izd-vo S-Peterb. un-ta, 2006. – 799 s.
7. Hvorova, L. A. Dinamicheskoe modelirovanie i prognozirovanie v agrometeorologii / L. A. Hvorova, A. G. Topazh – Barnaul : Izd-vo Altajskogo gos. un-ta, 2010. – 262 s.
8. Shein, E. V. Kurs fiziki pochv / E. V. SHein. – M. : Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.
9. Hvorova, L. A. Chislennoe modelirovanie sostavlyayushchih teplovogo rezhima pochv Altajskogo Priob'ya / L. A. Hvorova, A. V. Zharikov // Zhurnal Izvestiya AGU. – 2013. – № 1. – Т. 1. – S. 126–130.
10. Volchek, A. A. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoy 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 Mezhdun. nauch.-prakt. konf. – Voronezh, 2021. – S. 57–58.
11. Prirodoobustrojstvo Poles'ya : monografiya : v 4 kn. / pod obshch. nauch. red. Yu. A. Mazhajskogo [i dr.]. – Ryazan' : Meshcher. f-l FGBNU «VNIIGiM im. A. N. Kostyakova», 2018. – Kn. 1 : Belorusskoe Poles'e. – Т. 1 : Prirodno-resursnyj potencial. – 408 s.
12. Borushko, V. V. K voprosu o vliyanii osusheniya na teplovoy 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 mezhdun. nauch.-prakt. konf., posvyashchyonnoj Godu nauki v Respublike Belarus', 25–27 sentyabrya : v 2 ch. / BrGU imeni A. S. Pushkina. – Brest, 2017. – CH. 2. – S. 6–9.
13. 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.
14. Borushko, V.V. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoy 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 Mezhdun. nauch.-prakt. konf.. – Voronezh, 2021. – S. 368–374.
15. Vodnye resursy Belarusi i ih prognoz s uchytom izmeneniya klimata / A. A. Volchek [i dr.]; pod obshch. red. A. A. Volcheka, V. N. Korneeva. – Brest : Aльтернатива, 2017. – 228 s.
16. WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: Temperature - Brest - Climate Robot Belarus (weatheronline.co.uk). – Data dostupa: 10.12.2020.
17. Regional'naya fizicheskaya geografiya. Klimaty Zemli: ucheb.-metod. Posobie : v 2 ch. / E. M. Zubashchenko [i dr.]. – Voronezh : VGPU, 2007. – CH. 1. – 183 s.
18. Hidrologicheskie raschyoty v meliorativnyh celyah: uchebnoe posobie / V.S. Mezencev [i dr.]. – Omsk : Omskij SKHI, 1980. – CH. 1. – 81 s.
19. Mihajlyuk, YU. I. Orientirovchnaya osnova dejstvij pri izuchenii himii elementov v kurse obshchej himii: uchebnoe posobie / Yu. I. Mihajlyuk, A. K. Mazitova, R. R. Kudoyarova. – Ufa : Izd-vo UGNTU, 2004. – 197 s.
20. Mazhajskij, YU. A. Povyshenie produktivnosti melkozaleznyh torfyanyh pochv pri vnesenii mineral'nyh dobavok / Yu. A. Mazhajskij, S. M. Kurchevskij // Agrohimicheskij vestnik. – 2015. – № 1. – S. 15–17.
21. Igl'ovikov, A. V. Fiziko-himicheskie svojstva i pitatel'nyj rezhim narushennyh gruntov Krajnego Severa pri biologicheskoy rekultivacii / A. V. Igl'ovikov, A. S. Motorin // Agrarnyj vestnik Urala. – № 7 (99). – 2012. – S. 66–72.
22. Habutdinov, Yu. G. Uchenie ob atmosfere: uchebnoe posobie / Yu. G. Habutdinov, K. M. Shantalinskij, A. A. Nikolaev. – Kazan' : KGU, 2010. – 257 s.

References

1. Zhuravlyov, M. Z. Plodorodie nizinyh bolot podtayochnoj zony Irtysh-Ishimskogo mezhdurech'ya i nekotorye voprosy ih sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya / M. Z. Zhuravlyov // Nauch. tr. OmSKHI. – Omsk, 1963. – Т. 1. – S. 61–70.

Материал поступил в редакцию 01.06.2022