

DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-337-348

УДК 634.93:551.4.631.6



ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Рулев, О.В. Рулева

Изучение теплофизики почвы сложный процесс. Он связан с погодными условиями, временем года, облачностью атмосферы. Помимо этого исследования проводились в системе полос и на состояние приземного слоя влияли такие процессы как рядность ЛП, породный состав. На межполосной клетке – наличие или отсутствие растительного покрова, фазы его развития. Поэтому качественные интерпретации показателей температуры почвы будут субъективны.

Цель. *На основе эмпирических данных с помощью математического моделирования по данным температуры почвы, рассчитать теплофизические характеристики каштановых почв Волгоградской области.*

Новизна. *Впервые для каштановых комплексных почв рассчитаны характеристики их теплофизических свойств.*

Методы. *Рассмотрена температура почвы на глубине 0–20 и 20–40 см в зоне влияния лесных полос за многолетний период. Исследования проводились на каштановых и светло-каштановых почвах Волгоградской области в системе лесных полос (ЛП). Температуру почвы определяли на полях без растений и под посевами сельскохозяйственных культур.*

Результаты. *Была определена теплопроводность и температуропроводность каштановых почв. Рассмотрен способ тепловой мелиорации, который при отсутствии испарения с поверхности почвы обуславливает отрицательный термический эффект ($-\Delta T$). При открытости почвы в межполосной клетке (за счет повышенной теплоемкости) на облесенных полях происходит ее большее прогревание, чем без лесных полос (ЛП).*

Заключение. *При расчетах теплофизических характеристик почв применялось математическое моделирование. Получены линейная, для почвы без растений, и экспоненциальная (под с.-х. культурами) зависимости. Математический анализ эмпирических данных по температуре почвы показал отсутствие отличий по теплофизике почв с растительным покровом и без него.*

Ключевые слова: *лесная полоса; микроклимат; агрофитоценоз; теплоемкость почвы; теплопроводность; температуропроводность; грансостав*

Для цитирования. Рулев А.С., Рулева О.В. Теплофизические свойства почв Волгоградской области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, №5. С. 337-348. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-337-348

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

A.S. Rulev, O.V. Ruleva

The study of soil thermophysics is a complex process. It is connected with the weather conditions, the time of year, the cloud cover of the atmosphere. In addition, studies were carried out in a system of bands and the state of the surface layer was influenced by such processes as the number of LP, rock composition. On the interstitial cell – the presence or absence of vegetation, the phases of its development. Therefore, qualitative interpretations of soil temperature indicators will be subjective.

Goal. *Based on empirical data, using mathematical modeling based on soil temperature data, calculate the thermophysical characteristics of chestnut soils of the Volgograd region.*

Novelty. *For the first time, the characteristics of their thermophysical properties have been calculated for chestnut complex soils.*

Methods. *The soil temperature at a depth of 0–20 and 20–40 cm in the zone of influence of forest strips for a longterm period is considered. The studies were carried out on chestnut and light chestnut soils of the Volgograd region in the system of forest strips (LP). The soil temperature was determined in fields without plants and under crops.*

Results. *The thermal conductivity and thermal conductivity of chestnut soils were determined. A method of thermal reclamation is considered, which, in the absence of evaporation from the soil surface, causes a negative thermal effect ($-\Delta T$). When the soil is open in the interband cell (due to increased heat capacity), it warms up more in forested fields than without forest strips (LP).*

Conclusion. *Mathematical modeling was used in the calculations of the thermophysical characteristics of soils. Linear, for soil without plants, and exponential (under agricultural crops) dependences are obtained. Mathematical analysis of empirical data on soil temperature showed no differences in the thermophysics of soils with and without vegetation.*

Keywords: *forest strip; microclimate; agrophytocenosis; soil heat capacity; thermal conductivity; thermal conductivity; granulation*

For citation. Rulev A.S., Ruleva O.V. *Thermophysical Properties of Soils of the Volgograd Region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 337-348. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-337-348*

Введение

Процесс влияния на сельскохозяйственное производство через изменение потенциала земли, издавна привлекало земледельцев. Причем эта структурная единица включала помимо самой почвы – растения, произрастающие на ней, и примыкающий слой атмосферы в конкретном ландшафтном подразделении типа фации или ее групп [10, 14, 20].

Потенциал земли связан с ее плодородием. Но плодородие почвы зависит от температуры воздуха и почвы, фотосинтетически активной радиации (ФАР), приходящейся на единицу площади посева и генетическими возможностями растений. Помимо этого, условия каждого поля определяют микроклиматические показатели [5, 6, 18].

Материалы и методы

Исследования были проведены в агролесосистемах на светло-каштановых и каштановых почвах Волгоградской области.

В агролесосистемах бывшего ОПХ «ВНИАЛМИ» с ЛП протяженностью 1500 м, посаженных в начале 1980-х годов, главной породой является вяз приземистый (*Ulmus pumila L.*), из кустарников представлена айва маулея (*Chaenomeles Maulei (Mast.) C. K. Schneid.*). Лесная полоса четырехрядная, размещение в ряду 2x4 м. Почвы типичные светло-каштановые от средне- до тяжелосуглинистых. Также ЛП 1985 года посадки, 2-х рядная, размещение 1x3 м. Тип почвы – также светло-каштановые средне- и легкосуглинистые.

Температура почвы на глубине заделки семян служит одним из решающих показателей возможности начала весеннего сева. Регулирование тепловых условий частично осуществляется путем воздействия на тепловые свойства почвы. К ним относятся температуропроводность, теплопроводность и теплоемкость. [12, 17].

Теплоемкость почвы определяется способностью поглощать тепло. Она измеряется в калориях. То есть количество тепла, необходимое для нагревания 1 г почвы на 1°С. Теплопроводность почвы – ее свойство передавать тепло. Коэффициент теплопроводности – это количество тепла, проходящего в единицу времени через площадь в 1 кв. см, при разности температур на границе двух слоев почвы в 1° [1, 6].

Температуропроводность это скорость передачи температуры в почве.

В экосистемном пространстве межполосной клетки температуру почвы определяли на глубине от 0 до 20 см, термометром Савинова и термометром – щупом цифровым ИТ-7-Ж. Была высказана гипотеза, что температура почвы на глубине 0-20 см связана с расстоянием от ЛП по трансекте в виде линейной регрессии [9].

В постановку задачи входит построение модели по наблюдаемым X (на разном расстоянии значениям) и Y (температура почвы), оценка степени адекватности модели.

Результаты и обсуждение

Тепловой режим почвы во многом определяет биопродуктивность облепленных сельскохозяйственных полей [19, 20]. В большинство прогнозных и управляющих агромоделей входит блок по расчету температуры почвы, он обязательно включает основную теплофизическую величину (ОТФ) – зависимость температуропроводности от этой величины [2, 11, 12].

Коэффициент температуропроводности (K) определяли по линейному уравнению [4], характеризующему связь между коэффициентом и содержанием физической глины в почве. $K=(A-aM_x)/10^3$, где K – максимальное значение коэффициента температуропроводности, см²/сек; M_x – содержание физической глины, %; A и a – постоянные величины, найденные регрессионным анализом: $A= 5, 10$; $a=0,034$. Коэффициент линейной корреляции равен 0,83.

Результаты анализа сведены в таблицу 1. Чем ниже содержание физической глины в почве, тем больше ее температуропроводность. В первом приближении в качестве критерия коэффициента именно этот показатель соответствует оптимальному тепловому режиму. А.Ф. Вадюнина [3], считает, что теплоемкость почвы в естественных условиях находятся в прямолинейной зависимости от влажности и может быть вычислена по формуле

$$C_{не} = \left(0,2 + \frac{w}{100} \right) dv,$$

где W – весовая влажность в процентах, dv – объемная масса почвы. В зимнее время вода в слое промерзания находится в форме льда, теплоемкость которого равна 0,5, что и следует иметь в виду при расчетах $C_{не}$.

На основании средних величин объемной массы для каштановых почв [7] вычисляется объемная теплоемкость почв при влажности 10, 15, 20 и 25%. По номограмме, приведенной в работе А.Ф. Чудновского [6], графически определены величины коэффициента теплопроводности λ и температуропроводности K (табл. 2). Изменение теплопроводности λ на единицу

объемной теплоемкости C_v почвы называют температурным коэффициентом теплопроводности – $K_t = \frac{\lambda}{C_v} \cdot K_i$ характеризует способность почвы выравнять температуру разной степени нагретых слоев. Он имеет сравнительно высокие значения в каштановых почвах.

Таблица 1.

Максимальное значение коэффициента температуропроводности $K \cdot 10^3 \text{см}^2/\text{сек}$

Темно-каштановая почва	Глубина слоя, см	Физическая глина $M_x \% < 0,01 \text{мм}$	Название почвы	Коэффициент температуропроводности
полигон Новая Паника	0-20	54,9	суглинок тяжелый	3,23
	20-40	51,9	суглинок средний	3,34
полигон Камышин (скв 7)	0-20	64,8	глина легкая	2,86
	20-40	68,8	глина легкая	2,76
полигон Камышин (скв 8)	0-20	46,4	суглинок тяжелый	3,52
	20-40	75,3	глина средняя	2,54
полигон Камышин (скв 9)	0-20	55,5	суглинок тяжелый	3,21
	20-40	41,5	суглинок средний	3,69
полигон Качалино	0-20	61,11	глина легкая	3,02
	20-40	61,76	глина легкая	3,00
Каштановая почва	Глубина слоя, см	Физическая глина $M_x \% < 0,01 \text{мм}$	Название почвы	$K \cdot 10^3 \text{см}^2/\text{сек}$
	0-20	51,8	суглинок тяжелый	3,34
полигон Горный Балыклей	20-40	50,3	суглинок тяжелый	3,39

Температуропроводность с увеличением влажности возрастает до определенного предела, равного общей влагоемкости, а при более высоких увлажнениях падает. Температуропроводность, как и теплопроводность, зависит от состава почвы. Кварц имеет наибольшие значения их, гумус – наименьшее, глина – среднее. С уменьшением дисперсности [8, 9, 15] в почве происходит непрерывный теплообмен между отдельными

горизонтами, разно нагретыми поверхностью почвы и атмосферой [13]. Количество тепла, проходящее через данный слой почвы, пропорционально коэффициенту теплопроводности и температурному градиенту.

Таблица 2.

Теплофизические характеристики каштановой тяжелосуглинистой почвы

Глубина	d_v	Влажность %											
		10			15			20			25		
		C_v	λ 10^{-3}	K_t 10^{-3}	C_v	λ 10^{-3}	K_t 10^{-3}	C_v	λ 10^{-3}	K_t 10^{-3}	C_v	λ 10^{-3}	K_t 10^{-3}
0-20	1,18	1,51	5,86	2,5	1,76	6,70	3,3	2,01	8,37	3,7	2,26	8,58	3,3
20-40	1,35	1,67	5,86	2,7	1,97	6,78	3,6	2,26	7,66	3,95	2,55	9,00	3,5
40-60	1,45	1,80	5,65	3,1	2,14	7,12	3,9	2,43	8,29	4,24	2,72	8,58	3,8

C_v – объемная теплоемкость, дж/см³*град.

λ – коэффициент теплопроводности, дж/см³*град.

K_t – коэффициент теплопроводности, см²/сек

d_v – объемная масса почв, г/см³

В работах Д.А. Куртенера [5,6] приводятся расчетные методы и оценки величины термического эффекта мульчирования в зависимости от некоторых теплофизических характеристик, применяемых мульчматериалов и метеорологических параметров. Различные мульчматериалы и возможные способы их размещения на поверхности почвы в этих работах рассматриваются как однородные пластины определенной толщиной, расположенные над поверхностью полукрашенного массива на некотором расстоянии и образующие плоский воздушный промежуток.

В случае, когда толщина стремится к нулю, альbedo и почвенные условия на мульчированном участке одинаковы, толщина воздушной прослойки изменяется от 0 до 0,01 м, а испарение на открытом участке не происходит или невелико [16], мульчирование обуславливает в почве отрицательный термический эффект ($-\Delta T$). При больших затратах тепла на испарение величина ΔT может быть положительной. К этому случаю приближается мульча из черной непрозрачной полиэтиленовой пленки, альbedo которой равно в среднем 0,15 – 0,25. Таким образом, мульчирование пленкой можно рассматривать как способ тепловой мелиорации корнеобитаемого слоя почвы, что позволяет уменьшить количество междурядных обработок или вовсе от них отказаться. Наблюдения за температурным режимом при пленочном мульчировании рядов лесной полосы проводились в течение 3-х лет.

Сравнительный анализ показал, что температурный режим в слое 0-20 см в течение дня под мульчпленкой и на контроле в рядах лесных полос

различается. Наибольшему воздействию подвержен слой 0-10 см, глубже температура была стабильна и мало изменялась. Особенно заметна разница в температуре почвы в полуденное и послеполуденное время. Например в 15 часов разница на поверхности составила 6,6-7,3°C, на глубине 5 см 3,1-4,5°C, на глубине 10 см 1,5-2,0°C (табл. 3). В связи с распространением кроны вяза приземистого и затенением рабочей поверхности пленки, несколько снижалась теплорегулирующая роль полимерной пленки. Снижение температуры было отмечено только на поверхности почвы, т.к. для альбеда черная пленка является препятствием для повышения температуры почвы.

Таблица 3.

**Значение разницы температур почвы в рядах лесной полосы
под мульчпленкой и контролем**

Время, часы	Глубина, см	I год наблюдений		II год	III год
		начало августа	конец августа	май	май
12	0	+1,0	-2,8	-7,9	-5,7
	5	-1,0	-3,5	0	0
	10	-1,0	-3,0	+1,5	+2,0
	20	-0,5	-0,5	+1,0	+1,0
15	0	-6,4	-7,3	-2,5	-2,3
	5	-5,5	-4,5	-0,5	-0,5
	10	-1,5	-2,0	+1,5	+1,5
	20	-1,0	-0,5	+1,0	+0,5
17	0	-1,1	-3,7	-2,9	-4,0
	5	+0,2	-0,5	-0,4	-1,6
	10	-2,0	+1,5	+1,5	-2,1
	20	-1,5	+0,5	+0,5	-1,9

Термический эффект при использовании мульчпленки оценивался по следующей формуле:

$$T(X, t) = T_1(X, t) - T_2(X, t),$$

где $T_1(X, t)$ – температура почвы под пленкой на глубине X в момент времени (t);

$T_2(X, t)$ – температура почвы на открытом участке на глубине X в момент времени (t).

Под мульчей из черной пленки не наблюдается резких перепадов температуры в течение суток. Необходимо отметить также, что в случае, когда испарение на открытом участке не происходит или невелико, мульчирование черной пленкой обуславливает в почве отрицательный термический эффект. Наблюдения за температурным режимом подтвердили, что в летний период при сухой поверхности почвы на открытом участке температуры всегда выше, чем под черной пленкой. Наибольшая разница в температуре была на

глубине 5 см. Она достигла в дневные часы 5-7°. На глубине 10 см разница была не столь значительна, 1-2°. На глубине 20 см температура стабилизировалась. Однако при больших затратах тепла на испарение разница температур может быть положительной. Это возможно в ранне-весенний период при высоком содержании влаги в почве и летом после выпадения осадков.

Таким образом, наблюдения за термическим режимом показали, что мульчирование черной пленкой не приводит к тепличному эффекту, который обычно отмечается при использовании светопрозрачной пленки.

Мульчпленка несколько сглаживает суточные перепады в температуре верхнего слоя почвы характерные для условий сухой степи, что особенно важно в период укоренения древесных растений, когда почвоотеняющая роль кроны слабо выражена.

Заключение

Тепловой режим почвы во многом определяет биопродуктивность облесенных сельскохозяйственных полей, поэтому он так важен как для сельхозтоваропроизводителей при планировании урожая и размещения культур в севообороте, так и для исследователей, определяющих взаимодействие составляющих теплового баланса поля. В работе приводятся как расчетные величины, коэффициент температуропроводности, теплоемкости почвы. Теплофизические характеристики каштановой тяжелосуглинистой почвы, так и влияние на температуру почвы мульчпленки и её эффект для лучшей приживаемости древостоя в крайне тяжелых лесорастительных условиях юга России. При неустойчивом агрофитоценозе межполосной клетки за счет повышенной теплоемкости почвы на облесенных полях происходит ее большее прогревание, чем без лесных полос (ЛП).

Список литературы

1. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Агрочвоведение (электронный учебно-методический комплекс). ФГОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, 2016. 325 с.
2. Болотов А. Г. Метод определения температуропроводности почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. №7 (129). С. 74-79.
3. Вадюнина А.Ф., Агрофизическая и мелиоративная характеристика почв юго-востока Европейской части СССР. М: Изд-во МГУ, 1970. 325 с.
4. Герайзаде А. П. Термо и влагоперенос в почвенных системах. Изд. Элм.: Баку, 1982. 159 с.
5. Куртгенер Д. А., Усков И. Б. Управление микроклиматом сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 262 с.

6. Куртнер Д. А., Чудновский А. Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 231 с.
7. Макарычев С. В. Теплофизические свойства каштановых почв Кулундинской степи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. №3 (137). С. 54-58.
8. Макарычев С. В., Гефке И. В. Влияние луковой культуры на гидротермический режим и теплоемкость чернозема выщелоченного в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. №8 (130). С. 66-71.
9. Микаелсон Ф. Д. О влиянии граничных условий при моделировании теплопереноса в почве // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. №1. С. 73-85.
9. Рулева О. В., Овечко Н. Н. Динамика температуры почвы в агролесоландшафтах при формировании биопродуктивности сельскохозяйственных культур // Известия Оренбургского ГАУ. 2016. №6 (62). С. 42-45.
10. Усков И.Б., Янко Ю. Г. Физико-агрономические основы научного обеспечения комплексных мелиораций земель // Агрофизика. 2016. № 4. С. 58-64.
11. Шейн Е. В., Мазиров М. А., Мартынов А. Н. Теплофизические характеристики почв – основа расчета и управления тепловым режимом // Земледелие. 2016. №6. С. 20-23.
12. Шейн Е. В., Гончаров В. М. Агрофизика. Феникс: Ростов-на-Дону, 2006. 400 с.
13. Шорина И. В., Гефке И. В. Температурные поля и тепловые потоки в черноземе выщелоченном под бахчевыми культурами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. №12 (146). С. 26-31.
14. Rulev A.S., Ruleva O.V., Rulev G.A., Tanyukevich V.V. Landscape and Forest Reclamation Approach to Assessing the State of Protective Forest Plantings // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021, vol. 13, no. 5, pp. 321-335. <http://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-321-335>
15. Rulev G.A. Energi-entropic analysis of Agroforesolandscape Soils // European Journal of Molecular and Clinical Medicine. 2020. Т. 7. № 2. С. 4484-4491.
16. Duan M. X., Jin M.X. Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching // Frontiers of agricultural science and engineering. 2019. Vol. 6. N 2. P.144-161.
17. Merabline A., Mokraoui S., Kheiri A. New transient simplified model for radiant heating slab surface temperature and heat transfer rate calculation // Building simulation. 2019. Vol. 12. N3. P. 441-452
18. S. Yang, Q. Feng, T. Liang, B. Liu, W. Zhang, and H. Xie. “Modeling grassland above-ground biomass based on artificial neural network and remote sensing in Three-River Headwaters Region,” in Remote Sens // Environ. 2018. Vol. 204. pp. 448-455. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.011>

19. Volungevičius J., Feiza V., Amalevičiūtė-Volungė K., Liaudanskienė I., Šlepetienė A., Kuncevičius A., Vengalis R., Vėlius G., Prapiestienė R., Poškienė J. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. Vol. 106 (1). P. 3-14.
20. Zhou, A. Fellows, G. N. Flerchinger, A. N. Flores, “Examining interactions between and among predictors of net ecosystem exchange: a machine learning approach in a semi-arid landscape” // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. <http://doi.org/10.1038/s41598-019-38639-y>

References

1. Belousova E.N., Belousov A.A. *Agropochvovedenie (elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks)* [Agro-soil science (electronic educational and methodological complex)]. Krasnoyarsk State Agrarian University, 2016, 325 p.
2. Bolotov A. G. Metod opredeleniya temperaturoprovodnosti pochv [Method for determining soil thermal conductivity]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no.7 (129), pp. 74-79.
3. Bolotov A. G. Metod opredeleniya temperaturoprovodnosti pochv [Method for determining soil thermal conductivity]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 7 (129), pp. 74-79.
4. Gerayzade A. P. *Termo i vlagoperenos v pochvennykh sistemakh* [Thermo and moisture transfer in soil systems]. Ed. Elm.: Baku, 1982, 159 p.
5. Kurtener D. A., Uskov I. B. *Upravlenie mikroklimatom sel'skokhozyaystvennykh poley* [Management of microclimate of agricultural fields]. L.: Hydrometeoizdat, 1988, 262 p.
6. Kurtener D. A., Chudnovsky A. F. *Agrometeorologicheskie osnovy teplovoymelioratsii pochv* [Agrometeorological foundations of thermal soil reclamation]. L.: Hydrometeoizdat, 1979, 231 p.
7. Makarychev S. V. Teplofizicheskie svoystva kashtanovykh pochv Kulundinskoy stepi [Thermophysical properties of chestnut soils of the Kulunda steppe]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 3 (137), pp. 54-58.
8. Mikaelson F. D. O vliyaniy granichnykh usloviy pri modelirovaniy teploperenosa v pochve [On the influence of boundary conditions in modeling heat transfer in soil]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, 2017, vol. 90, no. 1, pp. 73-85.
9. Ruleva O. V., Ovechko N. N. Dinamika temperatury pochvy v agrolesolandshtakh pri formirovaniy bioproduktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Dynamics of soil temperature in agroforesolandsapes during the formation of bioproductivity of agricultural crops]. *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, 2016, no. 6 (62), pp. 42-45.

10. Uskov I.B., Yanko Yu. G. Fiziko-agronomicheskie osnovy nauchnogo obespecheniya kompleksnykh melioratsiy zemel' [Physico-agronomic foundations of scientific support of complex land reclamation]. *Agrofizika*, 2016, no. 4, pp. 58-64.
11. Shein E. V., Mazirov M. A., Martynov A. N. Teplofizicheskie kharakteristiki pochv – osnova rascheta i upravleniya teplovym rezhimom [Thermophysical characteristics of soils – the basis of calculation and management of thermal regime]. *Zemledelie*, 2016, no. 6, pp. 20-23.
12. Shane E. V., Goncharov V. M. *Agrofizika* [Agrophysics]. Phoenix: Rostov-on-Don, 2006, 400 p.
13. Shorina I. V., Gefke I. V. Temperaturnye polya i teplovyte potoki v chernozeme vyshchelochennom pod bakhchevymi kul'turami [Temperature fields and heat flows in leached chernozem under melon crops]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 12 (146), pp. 26-31.
14. Rulev A.S., Ruleva O.V., Rulev G.A., Tanyukevich V.V. Landscape and Forest Reclamation Approach to Assessing the State of Protective Forest Plantings. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 321-335. <http://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-321-335>
15. Rulev G.A. Energi-entropic analysis of Agroforesolandscapes Soils. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, 2020, vol. 7, no. 2, pp. 4484-4491.
16. Duan M. X., Jin M.X. Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching. *Frontiers of agricultural science and engineering*, 2019, vol. 6, no. 2, pp. 144-161.
17. Merabline A., Mokraoui S., Kheiri A. New transient simplified model for radiant heating slab surface temperature and heat transfer rate calculation. *Building simulation*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 441-452.
18. S. Yang, Q. Feng, T. Liang, B. Liu, W. Zhang, and H. Xie. “Modeling grassland above-ground biomass based on artificial neural network and remote sensing in Three-River Headwaters Region,” in Remote Sens. *Environ.*, 2018, vol. 204, pp. 448-455. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.011>
19. Volungevičius J., Feiza V., Amalevičiūtė-Volungė K., Liaudanskienė I., Šlepetienė A., Kuncevičius A., Vengalis R., Vėlius G., Prapiestienė R., Poškienė J. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2019, vol. 106 (1), pp. 3-14.
20. Zhou, A. Fellows, G. N. Flerchinger, A. N. Flores, “Examining interactions between and among predictors of net ecosystem exchange: a machine learning approach in a semi-arid landscape”. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9. <http://doi.org/10.1038/s41598-019-38639-y>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рулёв Александр Сергеевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»

ул. имени Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация
rulev54@rambler.ru

Рулёва Ольга Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела мелиораций

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»

ул. имени Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация
bifu@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr S. Rulev, Dr. sc. agr., Senior Researcher

Federal State Budget Scientific Institution the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

9, Timiryazev Str., Volgograd, 400002, Russian Federation

rulev54@rambler.ru

SPIN- code: 4975-7230

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6152-288X>

ResearcherID: E-6770-2014

Scopus Author ID: 57190982345

Olga V. Ruleva, Dr. sc. agr., Senior Researcher

Federal State Budget Scientific Institution the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

9, Timiryazev Str., Volgograd, 400002, Russian Federation

bifu@mail.ru

bifu@mail.ru

SPIN- code: 4975-7230

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7343-4227>

ResearcherID: B-5269-2017

Scopus Author ID: 57220645913

Поступила 23.05.2022

После рецензирования 27.05.2022

Принята 07.06.2022

Received 23.05.2022

Revised 27.05.2022

Accepted 07.06.2022