

**ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ ДОЖДЕВАНИЕМ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КАШТАНОВЫХ ПОЧВ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ****THE INFLUENCE OF SPRINKLING IRRIGATION ON THE PHYSICAL PROPERTIES
OF CHESTNUT SOILS OF THE DRY STEPPE ZONE OF THE ALTAI REGION**

Ключевые слова: каштановые почвы, орошение, физические свойства, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность.

Оросительные мелиорации дождеванием оказывают наиболее сильное воздействие на экологическую обстановку территории. Требуется обоснование уменьшения дренажного стока путем оптимизации оросительных норм. Практикуемые нормы разработаны при учете лишь водно-физических почвенных показателей. В условиях сухостепной зоны, где зачастую ощущается недостаток влагообеспеченности, большую площадь занимают потенциально плодородные каштановые почвы. Поэтому для улучшения водного режима почв используется орошение на базе местных водных запасов. В то же время способы рационального использования и охраны почв при гидромелиорациях требуют дальнейшего совершенствования. Как оказалось, максимальным изменениям в орошаемых каштановых почвах подвержены плотность сложения и порозность. Многолетнее орошение привело к уплотнению генетических горизонтов почв. В темно-каштановых почвах эти изменения составили 15,9%. Уплотнение орошаемых почв вызвало снижение как общей порозности, так и порозности аэрации. Кроме того, многолетнее орошение вызвало отрицательные изменения теплофизических свойств почвы. Это, прежде всего, относится к объемной теплоемкости и температуропроводности, тогда как теплопроводность исследованных разрезов варьирует в небольших пределах (2-5%). Объемная теплоемкость в результате увеличилась на 15,6% в темно-каштановых почвах. В то же время температуропроводность мелиорируемых почв уменьшилась на 10-14%. Отмеченные изменения теплофизических коэффициентов подтверждаются их абсолютными значениями при различной степени почвенного увлажнения. Мелиорированные почвы имеют меньший диапазон активной температуропроводности (ДАТ). При этом снизился и теплофизический бонитет орошаемых почв, определяемый по оптимальной температуропроводности (ОТ). Итак, многолетнее орошение привело к ухудшению физико-механических и теплофизических показателей. Снижение этих последствий видим в использовании оптимальных, основанных на научном расчете, поливных

норм, которые обеспечивали бы наилучший теплофизический режим орошаемых почв, направленный на сокращение сроков вегетации.

Keywords: chestnut soils, irrigation, physical properties, thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity

Irrigation reclamation by sprinkling exerts the strongest impact on the ecological situation of the territory. The reduction of drainage run-off by means of irrigation rate optimization requires the substantiation. The applied rates have been developed taking into account the hydro-physical soil indices only. In the dry steppe zone, under the conditions of frequent soil moisture deficit, a large area is occupied by potentially fertile chestnut soils. Therefore, irrigation based on local water resources is used to improve soil water regime. At the same time, the methods of soil rational use and protection at irrigation reclamation require further improvement. It has been found that the bulk density and porosity in irrigated chestnut soils are subject to the maximum changes. Long-term irrigation has led to the compaction of soil genetic horizons. In dark-chestnut soils, these changes amounted to 15.9%. Compaction of irrigated soils decreased both total porosity and aeration porosity. In addition, long-term irrigation caused negative changes in the thermal properties of the soil. This primarily refers to the volumetric thermal capacity and thermal diffusivity, while the thermal conductivity of the studied soil profiles varies within small limits (2-5%). As a result, the volume thermal capacity increased by 15.6% in dark-chestnut soils. At the same time, the temperature conductivity of the reclaimed soils decreased by 10-14%. The revealed changes of the thermo-physical coefficients are confirmed by their absolute values at different soil moisture levels. The reclaimed soils have a smaller range of active thermal diffusivity. At the same time, the thermo-physical bonitet of irrigated soil determined according to the optimal thermal diffusivity decreased. Thus, long-term irrigation has led to the deterioration of physical, mechanical and thermo-physical indices. We see the improvement of these consequences in the use of optimal irrigation rates based on scientific calculations which would provide the best thermal and physical regime of irrigated soils aimed at reducing the growing season.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Введение

Оросительные мелиорации дождеванием оказывают наиболее сильное воздействие на экологическую обстановку территории, а также речных бассейнов. Наиболее сложен в этом плане геохимический аспект, который заключается в сокращении поступления солей в ландшафты из грунтовых вод. Требуется обоснование уменьшения дренажного стока путем оптимизации оросительных норм. Практикуемые нормы разработаны при учете лишь водно-физических почвенных показателей. Оптимизация мелиоративных систем должна учитывать зональную специфику. В сухостепной зоне дальнейшее развитие орошения должно решать следующие задачи:

- повышение технологического уровня систем, снижение оросительных норм и упорядочение водопользования;
- создание автоморфного режима путем сокращения орошаемых участков и усилением дренажа;
- увеличение урожайности сельскохозяйственных культур.

В условиях сухостепной зоны, где зачастую ощущается недостаток влагообеспеченности, большую площадь занимают потенциально плодородные каштановые почвы. Поэтому для улучшения водного режима почв используется орошение на базе местных водных запасов. В то же время способы рационального использования и охраны почв при гидромелиорациях требуют дальнейшего совершенствования [1]. Это особенно важно на фоне большого разнообразия почвенных разностей, которое невозможно без учета региональных генетических и мелиоративных особенностей, обоснования норм и режимов орошения в соответствии с бонитировочной оценкой их теплофизического состояния.

Объекты и методы

Целью исследований явились физические свойства орошаемых и богарных каштановых почв Славгородского района Алтайского края. Были изучены общие физические, водно-физические свойства и теплофизические характеристики. При этом использовались общепринятые в почвоведении методы, а также цилиндрический зонд регулярного нагрева [2, 3].

Результаты исследований

Наряду с позитивным влиянием орошения каштановых почв, прежде всего, на урожайность сельскохозяйственных культур, имеют место и негативные последствия. Они, как правило, обуславливают закономерное ухудшение практически всех почвенно-физических и теплофизических показателей.

Длительное орошение приводит в первую очередь к уплотнению почвенного профиля, особенно пахотного горизонта, и его осолонцеванию [4, 5]. Ряд авторов наблюдают ухудшение структуры, уменьшение количества карбонатов. Под воздействием ирригационной эрозии в пахотном слое уменьшается содержание ила. В то же время на фоне массовых исследований общих физических показателей изменение теплофизических свойств орошаемых почв слабо изучено [6].

Открытым остается вопрос о направлении изменений теплофизических коэффициентов, отсутствует прогнозирование теплофизического состояния почв при многолетнем орошении. Нами исследовались темно-каштановые и лугово-каштановые почвы, которые орошались дождеванием в течение 19 и 12 лет соответственно.

Гранулометрический состав исследованных орошаемых каштановых почв легкосуглинистый (Р.4к,11к). Контрольный богарный участок темно-каштановой почвы среднесуглинистый (Р.7к) (табл. 1). Длительное орошение привело к негативному изменению физико-механических и водно-физических показателей.

Прежде всего следует отметить один из положительных результатов дождевания: повышение содержания гумуса в орошаемых каштановых почвах за счет накопления биомассы и отсутствия на горизонтальных участках ирригационного стока. В этих почвах вниз по профилю наблюдалось увеличение гумусированности, что свидетельствовало кроме указанных факторов о привносе органических частиц в более глубокие слои почвы нисходящими потоками влаги.

Содержание ила в пахотном слое орошаемых почв, как правило, минимально. Наибольшая концентрация илистой фракции здесь имела место в подпахотном горизонте на глубине 30-40 см (табл. 1).

Гранулометрический состав каштановых почв (числитель – богара, знаменатель – орошение)

Гор-т	Глубина, см	Содержание фракций в % на абс. сухую почву, мм						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Темно-каштановые почвы, Р.7к/Р.4к								
Ап	0-20	<u>13,2</u>	<u>20,7</u>	<u>20,2</u>	<u>16,2</u>	<u>5,2</u>	<u>19,9</u>	<u>41,1</u>
		29,3	27,4	14,0	13,5	7,0	8,0	28,5
В1	30-40	<u>12,5</u>	<u>15,9</u>	<u>23,2</u>	<u>17,9</u>	<u>6,0</u>	<u>17,5</u>	<u>41,3</u>
		19,2	14,1	34,6	12,4	7,4	9,9	29,7
ВСк	90-100	<u>9,7</u>	<u>9,5</u>	<u>32,3</u>	<u>14,3</u>	<u>12,4</u>	<u>14,8</u>	<u>41,5</u>
		11,0	27,2	30,3	7,1	9,1	9,6	25,8
Лугово-каштановые почвы, Р.12к/Р.11к								
Ап	0-20	<u>21,9</u>	<u>23,0</u>	<u>23,0</u>	<u>12,6</u>	<u>9,4</u>	<u>9,1</u>	<u>26,1</u>
		12,9	21,9	38,1	5,7	5,4	13,5	24,6
В1	30-40	<u>27,3</u>	<u>5,5</u>	<u>33,5</u>	<u>11,6</u>	<u>6,9</u>	<u>9,7</u>	<u>26,1</u>
		7,8	11,3	46,7	7,7	4,3	14,2	26,2
ВСк	90-100	<u>9,6</u>	<u>44,9</u>	<u>15,4</u>	<u>13,2</u>	<u>6,0</u>	<u>8,5</u>	<u>25,7</u>
		10,2	17,9	37,3	10,3	6,9	9,5	26,7

Как оказалось, максимальным изменениям в орошаемых каштановых почвах подвержены плотность сложения и порозность (табл. 2). В темно-каштановых почвах (Р.7К) в гор. Ап плотность составила 1050 кг/м³, тогда как в лугово-каштановых, занятых многолетними травами, достигла 1570 кг/м³. Многолетнее орошение привело к уплотнению генетических горизонтов почв. В темно-каштановых почвах эти изменения составили 15,9%, тогда как в лугово-каштановых только 2,3%.

Уплотнение орошаемых почв вызвало снижение как общей порозности, так и порозности аэрации (табл. 2). Наибольшим изменениям оказался подвержен профиль темно-каштановой почвы, орошаемой в течение 19 лет.

Изменчивость физико-механических и воздушных свойств почв под влиянием орошения в свою очередь отразилась на величинах гидрологических констант [7]. При этом МГ (максимальная гигроскопичность) и ВЗ (влажность завядания) остались неизменными, в то время как ВРК (влажность разрыва капилляров), НВ (наименьшая влагоемкость) и ПВ (полная влагоемкость) снизились.

Перераспределение илистой фракции, органического вещества, а также уплотнение и закономерное снижение воздухоемкости, которые привели к изменению гидроконстант, отразились на формировании теплофизических показателей орошаемых почв.

В таблице 3 представлены средние для деятельного слоя объемная теплоемкость, тепло- и

температуропроводность каштановых почв, орошаемых длительное время и неорошаемых (контрольных) участков в абсолютно сухом состоянии.

Данные показывают, что многолетнее орошение вызывает определенные, в основном отрицательные, изменения теплофизических свойств почвы. Это, прежде всего, относится к объемной теплоемкости и температуропроводности, тогда как теплопроводность исследованных разрезов варьирует в небольших пределах (2-5%).

Объемная теплоемкость в результате длительного орошения увеличилась на 15,6% в темно-каштановых почвах. В то же время температуропроводность мелиорируемых почв уменьшилась на 10-14%.

Отмеченные изменения теплофизических коэффициентов подтверждаются их абсолютными значениями в отдельных генетических горизонтах (Р. 6п, 5п; 7к, 4к) при различной степени почвенного увлажнения.

Так, при разных гидроконстантах теплоемкость каштановых почв в условиях орошения остается выше, чем на богаре, тогда как температуропроводность ниже. В темно-каштановой почве это превышение достигает 33,7%. Температуропроводность на богаре оказалась больше в пахотном слое каштановой почвы на 13,4%.

С глубиной отличия в теплофизических коэффициентах снижается (табл. 4).

Таблица 2

**Водно-физические свойства, порозность и гумус каштановых почв
(числитель – богара, знаменатель – орошение)**

Гор-т	Водно-физические свойства					Порозность, %		Гумус, %
	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ	общая	аэрации	
	% от веса					%		
Темно-каштановая, Р.7к/Р.4к								
Ап	<u>1,8</u>	<u>2,7</u>	<u>15,9</u>	<u>21,2</u>	<u>58,5</u>	<u>61,4</u>	<u>39,1</u>	<u>2,9</u>
	1,6	2,3	14,5	19,3	36,6	50,2	24,6	3,1
В1	<u>2,0</u>	<u>3,0</u>	<u>14,5</u>	<u>19,3</u>	<u>31,1</u>	<u>46,0</u>	<u>17,4</u>	<u>1,7</u>
	1,5	2,3	11,9	15,9	24,3	40,3	13,9	1,8
ВСк	<u>1,9</u>	<u>2,9</u>	<u>14,0</u>	<u>18,7</u>	<u>27,9</u>	<u>43,5</u>	<u>14,3</u>	<u>0,1</u>
	1,3	2,0	11,7	15,6	21,6	37,3	10,3	0,0
Лугово-каштановая, Р.12к/Р.11к								
Ап	<u>1,3</u>	<u>2,0</u>	<u>15,2</u>	<u>20,2</u>	<u>27,1</u>	<u>42,5</u>	<u>10,8</u>	<u>3,4</u>
	2,0	3,0	16,2	21,6	28,4	43,7	10,4	3,8
В1	<u>1,4</u>	<u>2,1</u>	<u>11,9</u>	<u>15,8</u>	<u>27,8</u>	<u>42,2</u>	<u>17,6</u>	<u>2,0</u>
	1,5	2,3	13,9	18,5	26,0	41,7	11,9	1,6
ВСк	<u>1,2</u>	<u>1,8</u>	<u>9,5</u>	<u>12,6</u>	<u>25,9</u>	<u>41,7</u>	<u>21,4</u>	<u>0,3</u>
	1,9	2,9	11,9	15,9	23,7	40,0	13,1	0,8

Таблица 3

**Теплофизические коэффициенты деятельного слоя каштановой почвы
в абсолютно сухом состоянии (числитель – богара, знаменатель – орошение)**

	Р.7п/Р.4п	Р.12к/Р.11к
λ, Вт/(м К)	<u>0,541</u>	<u>0,578</u>
	0,595	0,526
с _у · 10 ⁻⁶ , Дж/(м ³ К)	<u>1,280</u>	<u>1,450</u>
	1,480	1,520
α · 10 ⁶ , м ² /с	<u>0,423</u>	<u>0,397</u>
	0,402	0,351

Примечание. λ – теплопроводность; с_у – объемная теплоемкость; α – температуропроводность почвы.

Увлажнение орошаемых почв обусловило более низкие значения теплопроводности по сравнению с контролем. Рассчитанные нами средние для деятельного слоя каштановых почв почвенно-теплофизические константы еще раз подтвердили отмеченный выше характер их изменений под воздействием оросительных мелиораций.

Мелиорированные почвы имеют меньший диапазон активной температуропроводности (ДАТ), равный для каштановых почв 0,120-0,138.

При этом снизился и теплофизический бонитет орошаемых почв, определяемый по оптимальной температуропроводности (ОТ). В темно-каштановой почве он оказался равным 88, а в лугово-каштановой – 84 (на богаре, соответственно, 96 и 90 баллов).

Итак, многолетнее орошение привело к ухудшению физико-механических, водно-физических, воздушных и теплофизических показателей. И

чем длительнее воздействие дождевания, тем значительнее его отрицательное последствие для теплофизического состояния почвенных профилей.

Снижение этих последствий видим в использовании оптимальных, основанных на научном расчете, поливных норм, которые обеспечивали бы наилучший теплофизический режим орошаемых почв, направленный на сокращение сроков вегетации.

Нижний предел почвенной влажности, обеспечивающий удовлетворительное для растений водопотребление (Татаринцев, 1990) для легкосуглинистых каштановых почв сухой степи Кулунды должен составлять 0,65 НВ. Оптимальные коэффициенты теплопередачи, обеспечивающие наиболее благоприятный тепловой режим, в этих почвах приурочены к влажности, равной среднеарифметической между ВРК и НВ.

Таблица 4

Объемная теплоемкость (c_v), температуропроводность (α) и теплопроводность (λ) горизонтов темно-каштановой почвы при различной влажности (числитель – богара, знаменатель – орошение, Р.4к)

ТФХ	Абс. сухая	МГ	ВЗ	ВРК	НВ
Горизонт Ап					
c_v	<u>0,943</u>	<u>1,022</u>	<u>1,062</u>	<u>1,644</u>	<u>1,878</u>
	1,261	1,347	1,393	2,067	2,337
α	<u>0,481</u>	<u>0,520</u>	<u>0,540</u>	<u>0,765</u>	<u>0,690</u>
	0,424	0,435	0,440	0,650	0,595
λ	<u>0,455</u>	<u>0,492</u>	<u>0,573</u>	<u>1,258</u>	<u>1,296</u>
	0,535	0,586	0,613	1,344	1,385
Горизонт В1					
c_v	<u>1,389</u>	<u>1,513</u>	<u>1,575</u>	<u>2,290</u>	<u>2,589</u>
	1,535	1,640	1,695	2,365	2,644
α	<u>0,412</u>	<u>0,480</u>	<u>0,500</u>	<u>0,675</u>	<u>0,660</u>
	0,405	0,410	0,420	0,565	0,550
λ	<u>0,572</u>	<u>0,726</u>	<u>0,788</u>	<u>1,546</u>	<u>1,709</u>
	0,622	0,672	0,712	1,336	1,454
Горизонт ВСк					
c_v	<u>1,480</u>	<u>1,604</u>	<u>1,670</u>	<u>2,397</u>	<u>2,705</u>
	1,610	1,704	1,755	2,460	2,743
α	<u>0,404</u>	<u>0,440</u>	<u>0,455</u>	<u>0,640</u>	<u>0,635</u>
	0,390	0,395	0,405	0,550	0,540
λ	<u>0,598</u>	<u>0,706</u>	<u>0,760</u>	<u>1,534</u>	<u>1,718</u>
	0,629	0,673	0,711	1,353	1,481

Таблица 5

Почвенно-теплофизические константы, диапазон активной температуропроводности (ДАТ), оптимальная (ОТ) и максимальная (МТ) температуропроводность богарных (числитель) и орошаемых (знаменатель) почв

$\lambda_{вз}$	$c_{vвз}$	$\alpha_{вз}$	$\lambda_{нв}$	$c_{vнв}$	$A_{нв}$	$A_{врк}$	ДАТ	ОТ	МТ
Темно-каштановые почвы									
Р.7к/Р.4к									
<u>0,685</u>	<u>1,368</u>	<u>0,491</u>	<u>1,515</u>	<u>2,314</u>	<u>0,625</u>	<u>0,663</u>	<u>0,152</u>	<u>0,645</u>	<u>0,663</u>
0,729	1,630	0,447	1,429	2,580	0,554	0,585	0,138	0,570	0,585
Лугово-каштановая почва									
Р.12к/Р.11к									
<u>0,641</u>	<u>1,542</u>	<u>0,460</u>	<u>1,471</u>	<u>2,566</u>	<u>0,573</u>	<u>0,592</u>	<u>0,132</u>	<u>0,582</u>	<u>0,592</u>
0,688	1,680	0,410	1,523	2,730	0,528	0,530	0,120	0,539	0,550

В темно-каштановых почвах (Р.4к) они будут равны, соответственно, 12,5 и 16,9%. Тогда разность влажностей в каштановой почве – 4,7%.

Необходимое для орошения количество воды определяем по формуле [8]:

$$W = Uhd,$$

где U – влажность почвы;

h – толщина слоя;

d – плотность твердой фазы почвы.

В результате для каштановой почвы оно окажется равным:

$$W = 4,7 \cdot 100 \cdot 2,75 = 1293 \text{ т/га.}$$

Если за верхнюю границу увлажнения взять НВ (что обычно в сельскохозяйственной практике), то нормы орошения возрастут до 2200 т/га. Но это гораздо ниже норм, практикуемых в настоящее время. С целью снижения напряженности температурных условий, складывающихся в разные годы в сухостепной зоне, а также учитывая высокую степень физического испарения в жаркие летние месяцы, нормы орошения здесь могут быть повышены до 3-4 тыс. т/га.

Наши исследования позволили определить направление изменений ТФК при орошении и получить уравнение регрессии для объемной теплоемкости и температуропроводности изученных почв:

$$\alpha = (-0,004t + 0,4)10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\sigma = (0,012t + 1,3)10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К}),$$

где t – длительность орошения, год.

Отклонения экспериментальных и рассчитанных по уравнениям коэффициентов находятся в пределах 10-15%.

Полученные уравнения позволяют с определенной степенью точности прогнозировать изменения теплофизического состояния орошаемых каштановых почв легкосуглинистого гранулометрического состава.

Выводы

1. Объемная теплоемкость темно-каштановых почв в результате длительного орошения увеличивается на 15,6%, тогда как температуропроводность уменьшается на 10-14%. Отмеченные изменения теплофизических коэффициентов подтверждаются их абсолютными значениями в отдельных генетических горизонтах при различной степени почвенного увлажнения. Так, при разных гидроконстантах теплоемкость каштановых почв в условиях орошения остается выше, чем на богаре, тогда как температуропроводность ниже.

2. Мелиорированные почвы имеют меньший диапазон активной температуропроводности (ДАТ). При этом снижается и теплофизический бонитет орошаемых почв, определяемый по оптимальной температуропроводности (ОТ). В темно-каштановой почве он оказался равным 88, а в лугово-каштановой – 84 (на богаре, соответственно, 96 и 90 баллов).

3. Многолетнее орошение приводит к ухудшению физико-механических, водно-физических, воздушных и теплофизических показателей. И чем длительнее воздействие дождевания, тем значительнее его отрицательное последствие для теплофизического состояния почвенных профилей, что подтверждают полученные уравнения регрессии для объемной теплоемкости и температуропроводности изученных почв.

Библиографический список

1. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Физические основы экологии. – Владимир: Изд-во ВНИИСХ, 2000. – 244 с.

2. Болотов А.Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLAB // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12 (98). – С. 48-50.

3. Макарычев С.В., Беховых Ю.В., Болотов А.Г. Система термостатирования для исследования теплофизических свойств почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6 (68). – С. 23-27.

4. Татаринцев Л.М. Агрофизические свойства почв Алтайского Приобья, их изменение при антропологическом воздействии // Тезисы к VIII съезду почвоведов. – Новосибирск, 1989. – С. 76.

5. Татаринцев Л.М. Пути предотвращения негативных последствий орошения черноземов и каштановых почв степного Алтая // Проблемы орошения почв Сибири: сб. тр. Междунар. конф. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 1988. – С. 26-33.

6. Панфилов В.П., Макарычев С.В. и др. Оценка изменений водно-тепловых условий в черноземах Западной Сибири при орошении // Климат почв. – Пушкино, 1985. – С. 119-122.

7. Bolotov A.G., Shein E.V., Makarychev S.V. (2019). Water retention capacity of soils in the Altai Region. *Eurasian Soil Science*. Vol. 52 (2): 187-192.

8. Вадюнина А.В., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 345 с.

References

1. Makarychev S.V., Mazirov M.A. *Fizicheskie osnovy ekologii*. – Vladimir: Izd-vo VNIISKH, 2000. – 244 s.

2. Bolotov A.G. *Opredelenie teplofizicheskikh svoystv pochv s ispolzovaniem sistem izmereniya ZETLAB // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012. – No. 12 (98). – S. 48-50.

3. Makarychev S.V., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G. *Sistema termostatirovaniya dlya issledovaniya teplofizicheskikh svoystv pochv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010. – No. 6 (68). – S. 23-27.

4. Tatarintsev L.M. *Agrofizicheskie svoystva pochv Altayskogo Priobya, ikh izmenenie pri antropologicheskom vozdeystvii // Tezisy k VIII sezdu pochvovedov*. – Novosibirsk, 1989. – S. 76.

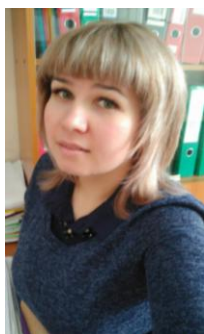
5. Tatarintsev L.M. *Puti predotvrashcheniya negativnykh posledstviy orosheniya chernozemov i kashtanovykh pochv stepnogo Altaya // Problemy*

orosheniya pochv Sibiri. – Sb. tr. mezhd. konf. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 1988. – S. 26-33.

6. Panfilov V.P., Makarychev S.V. i dr. Otsenka izmeneniy vodno-teplovyykh usloviy v chernozemakh Zapadnoy Sibiri pri oroshenii // Klimat pochv. – Pushchino, 1985. – S. 119-122.

7. Bolotov A.G., Shein E.V., Makarychev S.V. (2019). Water retention capacity of soils in the Altai Region. *Eurasian Soil Science*. Vol. 52 (2): 187-192.

8. Vadyunina A.V., Korchagina Z.A. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov. – M.: Vysshaya shkola, 1973. – 345 s.



УДК 628.475.7:631.862

А.А. Коновалова, В.И. Коновалов, А.В. Шишкин
A.A. Konovalova, V.I. Konovalov, A.V. Shishkin

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ПОМЕТА МЕТОДОМ КРЕМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

THE FINDINGS OF EXPERIMENTAL STUDY OF POULTRY MANURE DISPOSAL INCINERATION WITH THE USE OF UHF-RADIATION

Ключевые слова: помёт, утилизация отходов, переработка помёта, котел малой мощности, СВЧ-энергия, СВЧ-розжиг, энергия активации, магнетрон, волновод.

Приводится проблема, заключающаяся в низкой экономической эффективности применения известных методов утилизации куриного помёта в климатических условиях Республики Бурятия, кроме его сжигания. Предлагается техническое решение в виде небольшой доработки стандартных котлов малой мощности путем установки СВЧ-излучателя, способствующего горению помёта повышенной влажности. Представлены установка и методика экспериментальных исследований, включая план-матрицу эксперимента, а также некоторые характеристики исследуемого твердого топлива на основе помёта, выбраны критерии оптимизации в виде тепловыделения, зольности и концентрации оксида углерода в дымовых газах. В качестве факторов были взяты мощность излучения магнетрона, влажность пометной массы, используемой в качестве топлива, и массовый расход воздуха, поступающего в котел. Приведены результаты в виде таблиц данных, графиков зависимостей выбранных критериев оптимизации от факторов, уравнений регрессии. В результате анализа экспериментальных данных

было доказано, что при увеличении влажности помёта, массового расхода воздуха и мощности СВЧ-излучателя выделяющееся количество теплоты увеличивается. Оптимальное значение тепловыделения, равное $Q_{opt}=2,105$ МДж, соответствует мощности СВЧ-излучателя $P=400$ Вт, влажности помёта $W=38,36\%$ и массовому расходу воздуха $L=13,84$ кг/ч. Оптимальное значение зольности составляет $A_{opt}=18,398\%$ при мощности СВЧ-излучателя $P=141,6$ Вт, влажности помёта $W=49,88$ и массовом расходе воздуха $L=26,585$. Оптимальные значения концентрации оксида углерода в дымовых газах котла варьируются в пределах $\varphi_{CO}=3,916-5,076\%$ при $P=184,4-400$ Вт, $W=37,28-55\%$ и $L=22,776-39,13$ кг/ч.

Keywords: poultry manure, waste disposal, manure processing, low-power boiler, UHF energy, UHF firing, activation energy, magnetron, waveguide.

This paper discusses the problem of low economic efficiency of the known methods of poultry manure disposal under the climatic conditions of Buryatia but for its incineration. The proposed technical solution is to upgrade the standard low-power boilers by installing a microwave radiator that contributes to incineration of high moisture manure. The experimental device and methodology of experimental stud-