

УДК 631.432.4

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-1-23-28

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ И ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

Савельев Ю.А.<sup>1</sup>,  
докт. техн. наук;

Добрынин Ю.М.<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук;

Ишкин П.А.<sup>2\*</sup>,  
канд. техн. наук

<sup>1</sup>Самарская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Учебная, 2, п. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская область, 446442, Российская Федерация

<sup>2</sup>Волжская государственная зональная машиноиспытательная станция, ул. Шоссейная, 82, г. Кинель, п. Усть-Кинельский, Самарская область, 446442, Российская Федерация, \*e-mail: ishkin\_pa@mail.ru

В засушливых регионах Российской Федерации, на долю которых приходится почти половина всего производимого в стране зерна, эффективность растениеводства во многом зависит от количества доступной для растений влаги. Однако дефицит почвенной влаги обусловлен не только недостатком атмосферных осадков, но и неэффективным их сбережением: потери достигают 70 процентов. В связи с этим важно выявить факторы, влияющие на интенсивность испарения почвенной влаги, и разработать способы снижения непродуктивных потерь влаги на испарение. По результатам теоретического исследования водного баланса почвы определены функциональные зависимости потери влаги на испарение. Установили зависимость интенсивности испарения влаги от физико-механических характеристик почвы, состояния ее поверхности и метеорологических условий. Наметили пути снижения потерь влаги на испарение. Во-первых, надо улучшить качество крошения почвы, чтобы уменьшить испаряющую поверхность почвы. Во-вторых, создать защитный мульчирующий слой, который позволит увеличить альбедо почвы и снизить ее температуру, что вкуче сократит непроизводительные потери влаги на испарение и повысит ее приток при конденсации из паров воздуха. Рассмотрены наиболее распространенные виды обработки почвы: дискование и мелкая плоскорезная обработка с мульчированием поверхности. В качестве контрольного фона выбран агрофон «без обработки». Установлено, что в сбережении почвенной влаги существенное преимущество имеет безотвальная мульчирующая обработка. Так, общие запасы почвенной влаги в варианте после дискования и в контроле (без обработки) уменьшились, соответственно, на 24,9 и 19,8 мм, в то время как в варианте с мульчирующей обработкой этот показатель снизился всего на 15,6 мм. Мульчирующий слой обладает более низкой теплопроводностью, что обеспечивает снижение непродуктивных потерь влаги на испарение.

**Ключевые слова:** почвообработка, накопление влаги в почве, мульчирование, испарение, теплопоглощительная способность.

■ **Для цитирования:** Савельев Ю.А., Добрынин Ю.М., Ишкин П.А. Теоретическое исследование водного баланса почвы и процесса испарения почвенной влаги // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N. С. 23-28.

## THEORETICAL STUDY OF SOIL WATER BALANCE AND PROCESS OF SOIL MOISTURE EVAPORATION

Yu.A. Savel'ev<sup>1</sup>,  
Dr. Sci. (Eng.);

Yu.M. Dobrynin<sup>2</sup>,  
Cand. Sci. (Eng.);

P.A. Ishkin<sup>2\*</sup>,  
Cand. Sci. (Eng.)

<sup>1</sup>Samara State Agrarian Academy, Uchebnaya St., 2, set. Ust'-Kinel'skiy, Kinel, Samara region, 446442, Russian Federation

<sup>2</sup>Volga State Machinery Testing Station, Shosseyaya St., 82, set. Ust'-Kinel'skiy, Kinel, Samara region, 446442, Russian Federation, \*e-mail: ishkin\_pa@mail.ru

Nearly a half of all grain production in the Russian Federation is grown in dry regions. But crop production efficiency there depends on amount of moisture, available to plants. However deficit of soil moisture is caused not only by a lack of an atmospheric precipitation, but also inefficient water saving: losses reach 70 percent. With respect thereto it is important to reveal the factors influencing intensity of soil moisture evaporation and to develop methods of decrease in unproductive moisture losses due to evaporation. The authors researched soil water balance theoretically

and determined the functional dependences of moisture loss on evaporation. Intensity of moisture evaporation depends on physicommechanical characteristics of the soil, a consistence of its surface and weather conditions. To decrease losses of moisture for evaporation it is necessary, first, to improve quality of crumbling of the soil and therefore to reduce the evaporating surface of the soil. Secondly – to create the protective mulching layer which will allow to enhance albedo of the soil and to reduce its temperature that together will reduce unproductive evaporative water losses and will increase its inflow in case of condensation from air vapors. The most widespread types of soil cultivation are considered: disk plowing and stubble mulch plowing. Agricultural background «no tillage» was chosen as a control. Subsoil mulching tillage has an essential advantage in a storage of soil moisture. So, storage of soil moisture after a disking and in control (without tillage) decreased respectively by 24.9 and 19.8 mm while at the mulching tillage this indicator revised down by only 15.6 mm. The mulching layer has lower heat conductivity that provides decrease in unproductive evaporative water losses.

**Keywords:** Soil cultivation; Soil moisture conservation; Mulching; Evaporation; Heat absorption capacity.

■ For citation: Savel'ev Yu.A., Dobrynin Yu.M., Ishkin P.A. Theoretical study of soil water balance and process of soil moisture evaporation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 1: 23-28. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-1-23-28. (In Russian)

**В** Российской Федерации около 30% посевных площадей приходится на засушливые степные регионы, где выращивают почти половину всего производимого в стране зерна, а также 40% подсолнечника и 80% проса. В почвенно-климатических условиях этих регионов эффективность растениеводства во многом зависит от количества доступной для растений влаги [1].

Однако дефицит почвенной влаги обусловлен не только недостатком атмосферных осадков, но и неэффективным их сбережением. Установлено, что потери влаги на непродуктивное испарение достигают 40-70% от общего количества выпадающих осадков [2-4].

**Цель исследования** – выявление факторов, влияющих на интенсивность испарения почвенной влаги, и обоснование способа снижения непродуктивных потерь влаги на испарение.

**Материалы и методы.** Почвенная влага представляет собой подвижную почвенную фазу, движущуюся или задерживающуюся под действием сорбционных, осмотических, менисковых и гравитационных сил [5, 6].

Ее количество определяется водным балансом, учитывающим начальные, конечные запасы влаги в почве и все статьи прихода и расхода ее за определенный период. Уравнение водного баланса можно представить формулой:

$$B_0 + O_C + B_{\Gamma} + B_K + B_{\Pi P} + B_B = E_{\text{ИСП}} + E_T + B_{\text{И}} + B_{\Pi} + B_C + B_1,$$

где  $B_0$  – начальный запас влаги в почве, мм;

$O_C$  – сумма осадков за наблюдаемый период, мм;

$B_{\Gamma}$  – приток влаги, поступающей из грунтовых вод, мм;

$B_K$  – приток влаги, конденсирующейся из паров воздуха, мм;

$B_{\Pi P}$  – поверхностный приток влаги, мм;

$B_B$  – боковой приток влаги от почвенных и грунтовых вод, мм;

$E_{\text{ИСП}}$  – количество влаги, испарившейся за наблюдаемый период, мм;

$E_T$  – количество влаги, расходуемой на транспирацию (десукция), мм;

$B_{\text{И}}$  – инфильтрация влаги в почвенно-грунтовую толщу, мм;

$B_{\Pi}$  – отток влаги в результате поверхностного стока, мм;

$B_C$  – отток влаги при боковом внутрипочвенном стоке, мм;

$B_1$  – запас влаги в конце наблюдений, мм.

Для равнинной местности  $B_B = B_C = 0$ . Для склоновой местности  $B_B$  и  $B_C \neq 0$ , но чаще всего  $B_B = B_C$ , поэтому в уравнении баланса их можно не учитывать как взаимно уравновешивающиеся величины. С учетом этого из уравнения баланса запас влаги в конце наблюдений можно представить следующей формулой:

$$B_1 = B_0 + (O_C + B_{\Gamma} + B_K + B_{\Pi P}) - (E_{\text{ИСП}} + E_T + B_{\text{И}} + B_{\Pi}). \quad (2)$$

В условиях богарного земледелия к природным неуправляемым факторам можно отнести: количество осадков, приток влаги, поступающей из грунтовых вод, и инфильтрацию влаги в почвенно-грунтовую толщу.

В осенний период в зоне Среднего Поволжья количество выпадающих осадков не превышает водопоглотительной способности почвы [7], поэтому поверхностный сток в большинстве случаев не наблюдается, следовательно, поверхностный сток  $B_{\Pi}$  и поверхностный приток воды  $B_{\Pi P}$  в расчетах можно не учитывать.

Таким образом, к управляемым факторам водного баланса почвы можно отнести приток влаги, конденсирующейся из паров воздуха, количество влаги, испарившейся за наблюдаемый пери-



од, и количество влаги, расходуемой на транспирацию (испарение влаги растениями). Транспирация служит биологической характеристикой возделываемой культуры, и ее величина зависит от потенциального урожая.

Осенью в процессе суточных колебаний температуры воздуха между почвой и воздухом происходит постоянный обмен влагой. Преимущественно в дневное время, когда воздух и верхний слой почвы нагреваются лучами солнца, протекает процесс испарения влаги из почвы. В ночное время, когда воздух и верхний слой почвы остывают, происходит перенасыщение воздуха паром (повышается концентрация влаги) и на почве конденсируется избыточная влага воздуха.

Потери влаги из почвы в данном колебательном процессе можно описать уравнением баланса:

$$W_{\text{сн}} = W_{\text{су}} - W_{\text{сн}}, \tag{3}$$

где  $W_{\text{сн}}$  – среднесуточные потери влаги, мм;

$W_{\text{су}}$  – среднесуточное испарение влаги, мм;

$W_{\text{сн}}$  – среднесуточное накопление влаги, мм.

Как видим, для снижения потери влаги из почвы необходимо создать условия, позволяющие сократить потери влаги на испарение и повысить приток влаги от ее конденсации.

Испарение – это процесс, при котором поверхность вещества покидают молекулы, если их кинетическая энергия превышает потенциальную энергию взаимодействия между ними [8].

Процесс испарения сопровождается охлаждением испаряющегося вещества в соответствии с известным физическим законом парообразования:

$$Q_u = L_u \cdot m_u, \tag{4}$$

где  $Q_u$  – количество энергии, затрачиваемое на испарение влаги, Дж;

$m_u$  – масса испаряемой влаги, кг;

$L_u$  – удельная теплота парообразования воды ( $const = 2,26 \times 10^6$  Дж/кг).

Количество испарившейся влаги с поверхности поля в единицу времени можно представить зависимостью:

$$m_u = S_n \cdot W_u \cdot p_b \cdot 10^{-3}, \tag{5}$$

где  $S_n$  – площадь поля, м<sup>2</sup>;

$W_u$  – интенсивность испарения влаги, мм/ч;

$p_b$  – плотность воды ( $const = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

Выражая из зависимости (5) интенсивность испарения влаги  $W_u$  с учетом уравнения (4), получим:

$$W_u = \frac{Q_u}{t \cdot L_u \cdot S_n \cdot p_b} \cdot 10^3, \tag{6}$$

где  $t$  – время, ч.

Учитывая, что в состав знаменателя зависимости (6) входят постоянные величины, можно сде-

лать вывод: интенсивность испарения влаги прямо пропорциональна количеству энергии, затраченной поверхностью поля на испарение.

При отсутствии источника энергии извне (без солнечной энергии) процесс испарения идет за счет снижения внутренней тепловой энергии почвы:

$$Q_u = \Delta U_n = C_{\text{в.п}} \cdot m_n \cdot \Delta T_n, \tag{7}$$

где  $\Delta U_n$  – изменение внутренней тепловой энергии почвы, Дж;

$C_{\text{в.п}}$  – удельная теплоемкость влажной почвы, Дж/(кг·К);

$m_n$  – масса рассматриваемого объема почвы, кг;

$\Delta T_n$  – изменение температуры почвы, К.

Удельная теплоемкость влажной почвы зависит от ее влажности, поэтому ее можно представить выражением:

$$C_{\text{в.п}} = \frac{C_{\text{с.п}} + w \cdot C_{\text{в}}}{1 + w}, \tag{8}$$

где  $C_{\text{с.п}}$  – удельная теплоемкость сухой почвы,  $const \approx 2,1 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К);

$C_{\text{в}}$  – удельная теплоемкость воды,  $const \approx 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К);

$w$  – абсолютная влажность почвы.

В испарении влаги участвует верхний покрывающий слой почвы, толщину которого можно условно принять равной среднему диаметру почвенных агрегатов, образующих дневную поверхность почвы. Таким образом, можно записать:

$$m_n = S_n \cdot d_n \cdot p_n, \tag{9}$$

где  $d_n$  – средний диаметр почвенных агрегатов, м;

$p_n$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>.

Из зависимостей (6) и (7) с учетом (8) и (9) выразим изменение температуры почвы  $\Delta T_n$ , К:

$$\Delta T_n = \frac{W_u \cdot t \cdot L_u \cdot p_b \cdot 10^3 \cdot (1 + w)}{d_n \cdot p_n \cdot (C_{\text{с.п}} + w \cdot C_{\text{в}}) \cdot 3600}. \tag{10}$$

Таким образом, в процессе испарения влаги поверхность почвы охлаждается, причем изменение температуры поверхности почвы  $\Delta T_n$  прямо пропорционально интенсивности испарения влаги  $W_u$ .

Отсюда найдем интенсивность испарения влаги  $W_u$  из почвы без учета климатических условий, мм/ч:

$$W_u = \frac{\Delta T_n \cdot d_n \cdot p_n \cdot (C_{\text{с.п}} + w \cdot C_{\text{в}}) \cdot 10^3}{t \cdot L_u \cdot p_b \cdot (1 + w)}. \tag{11}$$

Охлаждение поверхности почвы компенсируется нагреванием в ходе притока солнечной энергии, часть которой поглощается почвой, увеличивая ее внутреннюю энергию. Другая ее часть отражается и излучается в пространство, а также теряется в результате турбулентного теплообмена с приземными слоями воздуха [9-12].

Из закона сохранения энергии зависимость (7) можно представить в виде уравнения теплового баланса мульчирующего слоя почвы:

$$\Delta U_{мп} + U_{тп} = U_{сол} - Q_{и} - U_{отр} - U_{возд}, \quad (12)$$

где  $U_{мп}$  – изменение тепловой энергии верхнего мульчирующего слоя почвы, Дж;

$U_{тп}$  – теплопередача энергии в глубь почвы, Дж;

$U_{сол}$  – количество поступающей энергии в виде солнечной радиации, Дж;

$U_{отр}$  – количество отраженной энергии в виде солнечной радиации, Дж;

$U_{возд}$  – количество энергии, расходуемое на турбулентный теплообмен с приземным воздухом, Дж.

Учитывая исследования ученых, каждую составляющую теплового баланса почвы можно представить следующими зависимостями:

$$U_{тп} = k \cdot \Delta T', \quad (13)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи (теплообмена) верхнего мульчирующего слоя почвы с нижерасположенным слоем, Дж/К;

$\Delta T'$  – разность температур верхнего мульчирующего слоя почвы с нижерасположенным слоем, К.

$$U_{сол} = \frac{E_{осв}}{K_{\tau}}, \quad (14)$$

где  $E_{осв}$  – освещенность поверхности почвы солнечной радиацией, лк;

$K_{\tau}$  – переводной множитель при переходе от энергетических к световым величинам, лк/Дж.

$$U_{отр} = A_n \cdot U_{сол} \cdot S_n \cdot t, \quad (15)$$

где  $A_n$  – альbedo почвы (доля отражаемой энергии).

$$U_{возд} = k_{возд} \cdot \Delta T_{в-п} \cdot S_n \cdot t, \quad (16)$$

где  $k_{возд}$  – коэффициент турбулентной теплопроводности, Дж/К;

$\Delta T_{в-п}$  – разница температур верхнего слоя почвы и приземного слоя воздуха, К.

**Результаты и обсуждение.** Таким образом, уравнение теплового баланса (12) можно переписать в виде следующей зависимости:

$$Q_{и} = \left[ (1 - A_n) \cdot \frac{E_{осв}}{K_{\tau}} - k \cdot \Delta T' - k_{возд} \cdot \Delta T_{в-п} - \frac{C_{с,п} + w \cdot C_s \cdot d_n \cdot p_n \cdot \Delta T_n}{1 + w} \right] \cdot S_n \cdot t \quad (17)$$

Подставив уравнение (17) в формулу (6), получим зависимость, моделирующую интенсивность испарения влаги в зависимости от физико-механических характеристик почвы и климатических условий, мм/ч:

$$W_u = 3,6 \cdot 10^6 \left[ \frac{(1 - A_n) \cdot \frac{E_{осв}}{K_{\tau}} - k \cdot \Delta T' - k_{возд} \cdot \Delta T_{в-п}}{L_u \cdot p_n} - \frac{C_{с,п} + w \cdot C_s \cdot d_n \cdot p_n \cdot \Delta T_n}{L_u \cdot p_n (1 + w)} \right] \quad (18)$$

Анализ данного уравнения позволяет наметить пути снижения потерь влаги на испарение. Во-первых, следует повысить качество крошения почвы, чтобы уменьшить испаряющую поверхность почвы. Во-вторых, создать защитный мульчирующий слой, который позволит увеличить альbedo почвы и снизить ее температуру, что вкуче сократит непроизводительные потери влаги на испарение и повысит приток влаги, конденсирующейся из паров воздуха.

Для решения задачи повышения влагосбережения почвой при осенней мелкой мульчирующей обработке были проведены соответствующие исследования эффективности ее влияния на сбережение запасов влаги.

Исследования проводили в полевых условиях весной во время наибольшей интенсивности процесса непродуктивного испарения. Изучали почву – чернозем обыкновенный среднесуглинистый со слабовыраженным микрорельефом.

В исследовании рассмотрены наиболее распространенные виды мелкой обработки почвы – дискование и мелкая плоскорезная обработка с мульчированием поверхности. В качестве контрольного выбран агрофон без обработки. Дискование проведено дисковым мульчировщиком ДМ-5,2 на глубину 0,12 м, мелкая плоскорезная обработка с мульчированием поверхности – культиватором-плоскорезом игольчато-роторным КПИР-3,6 на глубину 0,16 м (рисунк).

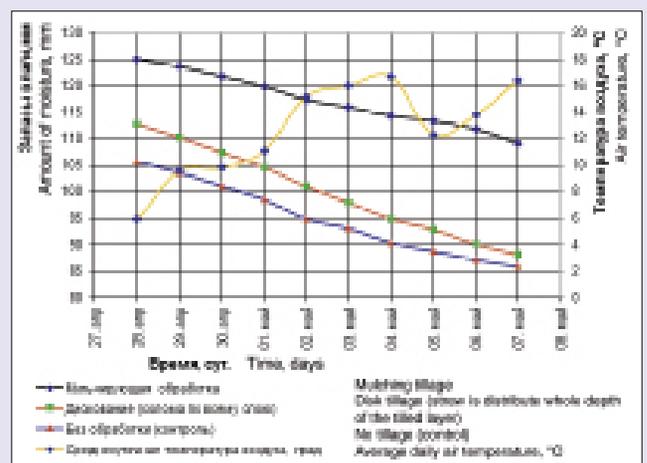


Рис. Изменение общих запасов влаги в пахотном слое в зависимости от видов обработки и среднесуточной температуры воздуха

Fig. Dependence of total soil water storage in a surface soil on types of cultivation and average daily air temperature



**Выводы.** Анализ результатов исследований подтвердил существенное преимущество безотвальной мульчирующей обработки почвы в сбережении почвенной влаги. За 9-дневный период наблюдений общие запасы почвенной влаги в варианте с мульчирующей обработкой уменьшились на 15,6 мм, а после дискования и в контроле (без обработки) этот показатель снизился, соответственно, на 24,5 и 19,8 мм. Среднесуточная температура приземного воздуха колебалась в пределах 5,9-18,5°C.

Преимущество по общим запасам влаги почвы,

имеющей агрофон с мелкой плоскорезной мульчирующей обработкой, можно объяснить наличием мульчирующего поверхностного слоя, обладающего более низкой теплопроводностью, обеспечивающего снижение непродуктивных потерь влаги на испарение. Поэтому осенняя мелкая обработка почвы представляет собой перспективный агроприем, эффективность которого зависит от качества создания верхнего мульчирующего слоя почвы, обладающего необходимыми теплоизоляционными и влагоудерживающими свойствами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии технические средства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. №8. 30-32.
2. Лачуга Ю.Ф., Савченко И.В., Чекмарев П.А., Шогенов Ю.Х., Кирсанов В.В., Шумов Ю.А., Голубев Д.А., Измайлов А.Ю., Мазитов Н.К., Кряжков В.М., Лобачевский Я.П., Елизаров В.П., Смирнов И.Г., Шайхов М.К., Жук А.Ф., Марченко О.С., Сорокин Н.Т., Белых С.А., Рычков В.А., Солдатова Т.Г. и др. Влагоаккумулирующие технологии, техника для обработки почв и использование минеральных удобрений в экстремальных условиях. Рязань, 2014. 246 с.
3. Мазитов Н.К., Лобачевский Я.П., Сахапов Р.Л., Галаяутдинов Н.Х. Шарафиев Л.З. Влаго- и энергосберегающая технология обработки почвы и посева в остро засушливых условиях // Техника и оборудование для села. 2013. №3(189). С. 2-6.
4. Лачуга Ю.Ф., Мазитов Н.К., Бледных В.В., Кряжков В.М., Краснощеков Н.В., Черноиванов В.И., Кормановский Л.П., Попов В.Д., Липкович Э.И., Сысуйев В.А., Ковалев Н.Г., Измайлов А.Ю., Федоренко В.Ф., Сахапов Р.Л., Рахимов Р.С., Хлызов Н.Т., Боровицкий М.В., Хаецкий Г.В., Алфеев В.Р., Стоян С.В. и др. Почвообрабатывающий и посевной комплекс для энерго-ресурсо-

- сберегающего производства продукции растениеводства. М.: 2008. 104 с.
5. Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. М.: Колос, 2000. 416 с.
6. Кауричев И.С. Почвоведение. М.: Колос, 1982. 496 с.
7. Буров Д.И. Научные основы обработки почв Заповолжья. Куйбышев, 1970. 294 с.
8. Хазен М.М., Матвеев Г.Х., Грицевский М.Е. Теплотехника. М.: Высшая школа, 1981. 488 с.
9. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. М: Наука, 1967. 584 с.
10. Denisov Yu.M., Sergeev A.I., Bezbrodov G.A., Bezborodov Yu.G. Moisture evaporation from bare soils. Irrigation and Drainage Systems. Netherlands. 2002; 16: 175-182. DOI: 10.1023/A:1021247218535.
11. Denisov Yu.M., Bezborodov G.A., Sergeyev A.I., Bezborodov Yu.G. A mathematical model of water movement through porous media. Modelling Soil Erosion, Sediment, Transport and Closely Related Hydrological Processes (Proceedings of a symposium held at Vienna). 1998: 151-156.
12. Kalma J.D.; McVicar T.R.; McCabe M.F. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. Surveys in Geophysics. 2008. 29: 421-469. DOI: 10.1007/s10712-008-9037-z.

### REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P. New soil-cultivating technologies and technical means. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000; 8: 30-32. (In Russian).
2. Lachuga Yu.F., Savchenko I.V., Chekmarev P.A., Shogenov Yu.Kh., Kirsanov V.V., Shumov Yu.A., Golubev D.A., Izmaylov A.Yu., Mazitov N.K., Kryazhkov V.M., Lobachevskiy Ya.P., Elizarov V.P., Smirnov I.G., Shaykhov M.K., Zhuk A.F., Marchenko O.S., Sorokin N.T., Belykh S.A., Rychkov V.A., Soldatova T.G. et al. Vлагоаккумулятивные технологии, техника для обработки почв и использование минеральных удобрений в экстремальных условиях [Moisture-retentive technologies, machinery for soil cultivation and mineral fertilization in extreme conditions]. Ryazan', 2014: 246. (In Russian)

3. Mazitov N.K., Lobachevskiy Ya.P., Sakhapov R.L., Galyautdinov N.Kh. Sharafiev L.Z. Moisture and Energy-Saving Technology of Soil Cultivation and Sowing in Strongly Arid Conditions. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2013; 3(189): 2-6. (In Russian)
4. Lachuga Yu.F., Mazitov N.K., Blednykh V.V., Kryazhkov V.M., Krasnoshchekov N.V., Chernov Ivanov V.I., Kormanovskiy L.P., Popov V.D., Lipkovich E.I., Sysuev V.A., Kovalev N.G., Izmaylov A.Yu., Fedorenko V.F., Sakhapov R.L., Rakhimov R.S., Khlyzov N.T., Borovitskiy M.V., Khaetskiy G.V., Alfeev V.R., Stoyan S.V. et al. Pochvoobrabatyvayushchiy i posevnoy kompleks dlya energo-resursosberegayushchego proizvodstva produktsii rastenievodstva [Soil-cultivating and sowing complex for power-resource-saving production

of crop industry]. Moscow: 2008: 104. (In Russian)

5. Kovrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. Pochvovedenie s osnovami geologii [Pedology with basic geology]. Moscow: Kolos, 2000: 416. (In Russian)

6. Kaurichev I.S. Pochvovedenie [Pedology]. Moscow: Kolos, 1982: 496. (In Russian)

7. Burov D.I. Nauchnye osnovy obrabotki pochv Zavolzh'ya [Scientific bases of soil tillage in trans-Volga region]. Kuybyshev, 1970: 294. (In Russian)

8. Khazen M.M., Matveev G.Kh., Gritsevskiy M.E. Teplo tekhnika [Heat engineering]. Moscow: Vysshaya shkola, 1981. 488. (In Russian)

9. Nerpin C.V., Chudnovskiy A.F. Fizika pochvy [Soil physics]. Moscow: Nauka, 1967: 584. (In Russian)

10. Denisov Yu.M., Sergeev A.I., Bezbrodov G.A.,

Bezbrodov Yu.G. Moisture evaporation from bare soils. *Irrigation and Drainage Systems*. Netherlands. 2002; 16: 175-182. DOI: 10.1023/A:1021247218535. (In English)

11. Denisov Yu.M., Bezbrodov G.A., Sergeev A.I., Bezbrodov Yu.G. A mathematical model of water movement through porous media. *Modelling Soil Erosion, Sediment, Transport and Closely Related Hydrological Processes* (Proceedings of a symposium held at Vienna), 1998: 151-156. (In English)

12. Kalma J.D.; McVicar T.R.; McCabe M.F. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*. 2008. 29: 421-469. DOI: 10.1007/s10712-008-9037-z. (In English)

**Критерии авторства.** Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution.** The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

