

Influence of technologies of cultivation on the transpiration of perennial blue grass herbs grown in water meadows

S. M. Pakshina, N. M. Belous, E. V. Smolsky, A. L. Silayev

Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russia

Article info

Received 19.11.2016

Received in revised form

09.01.2017

Accepted 14.01.2017

*Bryansk State Agricultural
University, Sovetskaya Str., 2a,
Kokino, 243365, Vygonichsky
District, Bryansk Region, Russia
E-mail: bgsha@bgsha.com*

Pakshina, S. M., Belous, N. M., Smolsky, E. V., & Silayev, A. L. (2017). Influence of technologies of cultivation on the transpiration of perennial bluegrass herbs grown in water meadows. *Biosystems Diversity*, 25(1), 9–15. doi: 10.15421/011702

This article discusses the process of transpiration in perennial herb crops in the southwest of Bryansk region (Russia) under different technologies of cultivation, using superficial and radical improvement of natural fodder conditions. Experimental field surveys were conducted on the flood plain of the river Iput in 2009–2014. These years were characterized by different phytoclimatic conditions. The amounts of daily values of radiation balance for the period of vegetation in 2010, 2012, 2013, 2014 constituted respectively 1127, 1126, 1181, 1157 MDzh/m² whereas during 2009 and 2011 respectively they came to 963 and 915 MDzh/m². The maximum daily values for photosynthetically active radiation (PAR) were observed in 2012 and 2013 and constituted respectively 764 and 710 MDzh/m², the minimum – in 2009 and 2011 – constituted respectively 635 and 592 MDzh/m². During the vegetation period from the first hay crop to the second higher values of radiation balance and PAR were observed than during the period up to the first hay crop. Despite differences in the productivity between different variants of the cultures, a directly proportional linear dependence between productivity and transpiration with a high coefficient of correlation was obtained for every year of the research and stage of the hay crop. The transpiration coefficient for bluegrass herbs which are grown in river flood plains is established for the first time. The transpiration coefficient doesn't depend on the type of dose and ratio between different fertilizers, nor on the method of preparing the soil. The transpiration coefficient of crops of bluegrass herbs doesn't depend on doses and a type of the introduced fertilizers, the method of handling of the soil, and for the first and second hay crops respectively constituted 469 and 486 per dry weight. The increase in transpirational consumption of moisture in dry weight formation during the period from the first hay crop to the second was caused by decrease in bioavailability of moisture during this period. We established that the crops of bluegrass herbs cultivated on alluvial sandy soil without use of mineral fertilizers don't use the moisture which is accumulated during the autumn and winter and spring period, and the crops of bluegrass herbs cultivated using mineral fertilizers lack moisture during the vegetation period from first to the second hay crop only in drought years. We have experimentally proved that mineral fertilizers raise the relative transpiration and bioavailability of soil moisture to plants. It is suggested that the soluble salts which are a component of fertilizers increase osmotic pressure in the vascular system of plants. It was proved that preseedling working of the soil with a turnover of the layer at a depth of 20 cm increases bioavailability of soil moisture and absorption of solar radiation during the vegetation period in drought years.

Keywords: alluvial soil; perennial herbs; handling of the soil; photosynthetically active radiation; radiation balance; transpiration

Влияние технологии возделывания многолетних мятликовых трав на их транспирацию в условиях заливных лугов

С. М. Пакшина, Н. М. Белоус, Е. В. Смольский, А. Л. Силаев

Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

В условиях юго-запада Брянской области России проанализирован процесс транспирации посевов многолетних трав при разных технологиях возделывания при поверхностном и коренном улучшении естественных кормовых угодий. Экспериментально-полевые исследования проведены в пойме реки Ипут в 2009–2014 годах. Эти годы характеризовались разными фитоклиматическими условиями. Суммы суточных значений радиационного баланса за период вегетации в 2010, 2012, 2013, 2014 гг. составили соответственно 1127, 1126, 1181, 1157 МДж/м², тогда как в 2009 и 2011 равнялись соответственно 963 и 915 МДж/м². Максимальная величина суммы суточных значений фотосинтетически активной радиации (ФАР) наблюдалась в 2012 и 2013 годах и составляла соответственно 764 и 710 МДж/м², минимальная – в 2009 и 2011 – составляла соответственно 635 и 592 МДж/м². В период вегетации от первого укоса до второго наблюдались более высокие значения радиационного баланса и ФАР, чем в период до первого укоса. Несмотря на различия в урожайности культур на вариантах, получена линейная прямая зависимость между урожайностью и транспирацией с высоким коэффициентом корреляции для каждого года исследований и срока укоса. Впервые установлен транспирационный коэффициент для мятликовых трав, выращиваемых в пойме реки. Транспирационный коэффициент не зависит от вида доз и соотношения между разными удобрениями, а

также от способа обработки почвы. Транспирационный коэффициент посевов мятликовых трав не зависит от доз и вида вносимых удобрений, способа обработки почвы и составляет к первому и второму укосам соответственно 469 и 486 в расчете на сухую массу. Увеличение транспирационного расхода влаги на формирование сухой массы в период от первого укоса до второго обусловлено снижением биодоступности влаги в этот период. Посевы мятликовых трав, возделываемые на аллювиальной песчаной почве без применения минеральных удобрений, не используют накопленную за осенне-зимне-весенний период влагу, а посевы мятликовых трав, возделываемые с применением минеральных удобрений, испытывают недостаток влаги в период вегетации от первого до второго укоса лишь в засушливые годы. Экспериментально доказано, что минеральные удобрения повышают относительную транспирацию и биодоступность почвенной влаги растениям. Высказано предположение, что растворимые соли, входящие в состав удобрений, повышают осмотическое давление в проводящей системе растения. Предпосевная обработка почвы с оборотом пласта на глубину 20 см повышает биодоступность почвенной влаги и поглощение солнечной радиации в период вегетации в засушливые годы.

Ключевые слова: аллювиальная почва; многолетние травы; обработка почвы; фотосинтетически активная радиация; радиационный баланс; транспирация

Введение

Природные кормовые угодья являются источником дешевых высококачественных кормов, а также играют многофункциональную роль в формировании устойчивого агроландшафта (Chirkov and Laretin, 2012). Поэтому изучение повышения их продуктивности и восстановления после антропогенных нарушений вызывает большой интерес (Losvik, 1988; Wallin and Svensson, 2012; Vogl et al., 2016). Особенно в условиях радиоактивного загрязнения, когда наряду с повышением продуктивности сенокосов и пастбищ важным становится получение экологически чистых кормов (Belous et al., 2016; Bel'chenko et al., 2016). Наиболее эффективными и доступными направлениями повышения эффективности использования природных кормовых угодий, как свидетельствуют научные исследования и практический опыт, являются мероприятия поверхностного и коренного улучшения (Purdy et al., 2012; Walden-Schreiner and Leung, 2013; Magda et al., 2015).

Известны работы, посвященные исследованию транспирации древесных (Petzold et al., 2011; Espadafor et al., 2015; Taylor et al., 2015), кустарниковых (Barman et al., 2008; Suvočarev et al., 2013) и полевых культур (Penka, 1963; Ben-Asher et al., 2008; Ta et al., 2011; Beggi et al., 2015) при глубоком залегании грунтовых вод (3–5 м) в период вегетации. Для многих культур определены транспирационные коэффициенты, продуктивность транспирации, относительная транспирация, при которой посевы нуждаются в дополнительном увлажнении (Torikov et al., 2014; Pakshina et al., 2016). Изучены действия мероприятий по улучшению угодий на биодоступность почвенной влаги в течение вегетации в засушливые годы (Lei et al., 2008; Glenn et al., 2013; Lagos et al., 2013), при этом остается мало изученной биодоступность почвенной влаги на естественных кормовых угодьях.

Цель данной статьи – выявить оптимальный способ обработки почвы для посевов многолетних трав, выращиваемых в условиях близкого залегания грунтовых вод (около 1 м), используя количественные показатели транспирации.

Материал и методы исследований

Экспериментально-полевые исследования проводили в Новозыбковском районе Брянской области на луговом участке центральной поймы реки Ипуть в 2009–2014 годах. Почва опытного участка представлена аллювиальной дерново-оглеенной песчаной. Содержание гумуса составляет 3,08–3,33%, P_2O_5 – 620–840 мг/кг, K_2O – 133–180 мг/кг, pH KCL 5,2–5,6. Плотность загрязнения почвы в 2009–2014 годах составляла 559–867 кБк/м².

Агротехнические мероприятия предусматривали дискование почвы дисковыми бородами БДФ-2,4 и вспашку плугом ПН-3-35 с последующим посевом мятликовой травосмеси. Типичная для региона травосмесь включала овсяницу луговую (*Festuca pratensis* Huds.) (6 кг/га), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.) (5 кг/га), двукосточник тростниковый (*Phalaris arundinacea* L.) (7 кг/га).

Схема опыта – двухфакторная, первый фактор – система удобрений (1 – контроль, без удобрения; 2 – $P_{60}K_{90}$; 3 –

$N_{90}P_{60}K_{90}$; 4 – $N_{90}P_{60}K_{120}$; 5 – $N_{90}P_{60}K_{150}$; 6 – $P_{60}K_{120}$; 7 – $N_{120}P_{60}K_{120}$; 8 – $N_{120}P_{60}K_{150}$; 9 – $N_{120}P_{60}K_{180}$), второй – способ обработки почв (дискование и вспашка). Удобрения (аммиачная селитра, простой гранулированный суперфосфат, калий хлористый) вносили ежегодно: азотные, калийные в два приема (половина расчетной дозы под первый укос, половина – под второй), а фосфорные – полной дозой в один прием под первый укос.

Площадь посевного участка – 63 м², уборочного – 24 м². Учет урожая зеленой массы проводили сплошным поделяночным методом путем скашивания травостоя косилкой Е-302 и последующего взвешивания. Урожайность сухого вещества определяли путем высушивания зеленой массы с 1 м² до воздушно-сухого состояния с последующим пересчетом на сено. В год проводили два укоса (первый укос – 01.06–10.06; второй – 25.08–01.09).

Для обоснования влияния способов обработки почвы на транспирационный расход влаги посевами мятликовых трав, количественные характеристики транспирации, на взаимосвязь между биодоступностью почвенной влаги и поглощением фотосинтетически активной радиации использованы данные актинометрических наблюдений. Необходимые данные для обработки эмпирического материала не проводятся на метеостанции Новозыбков. Наиболее близко расположенными станциями, на которых проводятся актинометрические наблюдения, являются метеостанции Минск, Смоленск, БГАУ. Ближайшей к месту проведения полевых опытов является метеостанция БГАУ, расположенная на расстоянии около 190 км.

Для расчета необходимых фитоклиматических величин использован банк данных срочных наблюдений, имеющийся на метеостанции БГАУ. В период вегетации культур на метеостанции БГАУ актинометрические наблюдения проводят пять раз в сутки: в 8, 11, 14, 17, 20 часов по местному времени. Расчет суточных значений солнечной радиации не проводится. Поэтому суточные значения прямой (S), рассеянной (D), отраженной радиации (R_k) и радиационного баланса (B_k) вычисляли по данным срочных наблюдений. Расчет суточных сумм S' , D , R_k проводили по методу трапеций:

$$\sum S' = \frac{N_1}{2} \cdot t_1 + \left(\frac{N_1}{2} + N_2 + N_3 + N_4 + \frac{N_5}{2} \right) \cdot 180 + \frac{N_5}{2} \cdot t_2, \quad (1)$$

где N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 – показания актинометрических приборов соответственно в 8, 11, 14, 17 и 20 часов (кал/см² мин), $t_1 = 8 - t_0$, $t_2 = t_2 - 20$; здесь, t_0 и t_2 – соответственно восход и заход солнца по местному времени.

Положительные дневные суммы радиационного баланса находили по формуле:

$$\sum B_k = \sum S' + D - \sum R_k, \quad (2)$$

Для расчетов суточных сумм радиационного баланса $\sum B$ ($\sum B = \sum B_k - \sum B_d$) использовали эмпирические коэффициенты, рассчитанные по данным, приведенным в работе Pakshina et al. (2016). Эмпирические коэффициенты учитывают снижение величины $\sum B$ по сравнению с величиной $\sum B_k$, вызванные отрицательными значениями сумм радиационного баланса ($\sum B_d$) от захода до восхода солнца, когда измерения длинноволновой радиации на метеостанции БГАУ не проводятся.

По данным работы Pakshina et al. (2016), коэффициенты для апреля, мая, июня, июля, августа, сентября составили соответственно 0,73, 0,87, 0,90, 0,90, 0,86 и 0,71. Суточные значе-

ния фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитывали по формуле:

$$\Sigma Q = 0,43 \Sigma S + 0,57 \Sigma D, \quad (3)$$

где ΣS – сумма прямой радиации, приходящей на горизонтальную поверхность; ΣD – сумма рассеянной радиации за определенный период (час, сутки, пентада, декада, месяц, вегетационный период, год) (Abakumova et al., 2012).

Для расчетов испаряемости (E) в период весенне-летней вегетации посевов использовалась формула М.И. Будыко (Torikov et al., 2014):

$$E = \frac{\Sigma B}{L}, \quad (4)$$

где L – удельная теплота парообразования. При выборе значений L учитывали температуру воздуха.

Коэффициент использования посевов ФАР (K) рассчитывали по формуле (Ponomarev et al., 1978):

$$K = Y \times q \times \frac{100}{\Sigma vQ}, \quad (5)$$

где Y – урожайность абсолютно-сухой массы (кг/га); q – калорийность сена многолетних трав (18,828 МДж/кг); ΣvQ – сумма фотосинтетически активной радиации за период вегетации (Дж/га).

Транспирацию культур за период вегетации рассчитывали по формуле Пенмана (Torikov et al., 2014). Формула для расчета транспирации:

Таблица 1

Фитоклиматические условия весенне-летней вегетации посевов сеяных мятликовых трав в разные годы

Показатель	2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ
ΣB_s	394	569	-175	439	688	-249	432	485	-53	389	737	-348	395	786	-391	469	688	-219
ΣQ_f	266	460	-194	268	426	-158	256	336	-80	263	501	-238	247	463	-216	328	358	-30
T	13,9	19,4	-5,5	16,2	25,0	-8,8	16,3	21,1	-4,8	16,3	21,2	-4,9	18,0	20,9	-2,9	17,2	21,2	-4,0
L	2,466	2,458	0,008	2,468	2,45	0,018	2,468	2,450	0,018	2,468	2,450	0,018	2,458	2,450	0,008	2,458	2,450	0,008
$\Sigma_v E_0$	160	231	-71	178	281	-103	175	198	-23	158	301	-143	161	321	-160	191	281	-90
$\Sigma_v H$	75,8	15,3	60,5	86,7	200,7	-114,0	84,1	169,1	-85,0	86,6	170	-83,4	96,6	168,1	-71,5	93,2	167,2	-74,0
$\Sigma H_v - \Sigma_v E_0$	-84	-76	-8	-91	-80	-11	-91	-29	-62	-71	-131	60	-64	-153	89	-98	-114	16
KU	0,47	0,67	-0,20	0,49	0,71	-0,22	0,48	0,85	-0,37	0,55	0,56	-0,01	0,60	0,52	0,08	0,49	0,59	-0,10

Примечание: ΣB_s – сумма суточных значений радиационного баланса в период вегетации (МДж/м²); ΣQ_f – сумма суточных значений в течение вегетации фотосинтетически активной радиации (МДж/м²); T – температура воздуха в градусах Цельсия; L – удельная теплота парообразования (МДж/кг); $\Sigma_v E_0$ – испаряемость за период вегетации (мм); $\Sigma_v H$ – сумма осадков за период вегетации (мм); $\Sigma H_v - \Sigma_v E_0$ – дефицит влаги в период вегетации (мм); KU – коэффициент увлажнения; 1 – период вегетации до первого укоса; 2 – период вегетации от первого до второго укоса; δ – разница между первым и вторым периодом.

Максимальные значения суточных сумм радиационного баланса в течение вегетации наблюдались в 2010, 2012, 2013, 2014 годах, которые соответственно равны 688, 737, 786, 688 МДж/м² в период от первого укоса до второго. Суммарная испаряемость за период вегетации 2009–2014 гг. составила соответственно 391, 459, 373, 459, 482, 472 мм. Максимальный дефицит влаги сложился в 2010, 2012, 2013 и 2014 годах от первого до второго укоса. Анализ фитоклиматических условий выращивания сеяных мятликовых трав показывает, что вегетация посевов в 2010, 2012, 2013 гг. проходила при неблагоприятном водном и радиационном режимах.

На рисунке 1 представлены графики функции урожайности от транспирации в разные годы в период от возобновления вегетации до первого укоса, а на рисунке 2 – от первого до второго укоса при обработке почвы дискованием. На рисунке 3 представлены графики функции урожайности от транспирации в разные годы в период от возобновления вегетации до первого укоса, а на рисунке 4 – от первого до второго укоса при обработке почвы вспашкой на глубину 20 см. Складывается линейная прямая зависимость между урожайностью зеленой массы сеяных мятликовых трав и транспирацией посевов.

Несмотря на то, что в формулу (6) входит 40% суточных сумм радиационного баланса, тогда как KFAR составили для периодов до первого и второго укоса соответственно 0,6–7,0% и 0,1–2,5%, коэффициенты детерминации (r^2) показывают, что более 99% изменений урожайности обусловлены изменениями транспирации.

$$\Sigma B_t = \frac{0,4K \Sigma vB}{L}, \quad (6)$$

где ΣvB – сумма суточных значений радиационного баланса за период вегетации (МДж/м²); K – коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (%); L – удельная теплота парообразования при температуре воздуха в период вегетации, (Дж/м³). Коэффициент транспирации (k_t) по сене рассчитывали по формуле:

$$k_t = \frac{\Sigma B_t}{Y}, \quad (7)$$

где Y – урожайность абсолютно-сухой массы (т/га).

Относительная транспирация рассчитывалась по формуле:

$$\alpha = \frac{\Sigma B_t}{\Sigma B}, \quad (8)$$

Полученные данные подвергали корреляционному и регрессионному анализу. Повторность вариантов опыта при отборе образцов по определению урожайности – 3-кратная, число парных наблюдений (n) между урожайностью и транспирацией равно 9.

Результаты

Сумма суточных значений радиационного баланса в период от первого укоса до второго превышала это значение от возобновления вегетации до первого укоса (табл. 1).

Уравнение регрессии использовано для расчета количественных характеристик транспирации. Коэффициент регрессии равен продуктивности транспирации, обратная величина которого равна коэффициенту транспирации.

В таблице 2 представлены данные k_t и $1/k_t$ в разные годы при обработке почвы дискованием и вспашкой за периоды до первого и второго укосов. Значение k_t не изменяется от вида и дозы минерального удобрения, способа обработки почвы. От возобновления вегетации до первого укоса и от первого укоса до второго значения k_t составили соответственно 470 и 486.

Увеличение значения k_t от первого укоса до второго обусловлено более высокими суточными суммами радиационного баланса, повышенной испаряемостью и большим дефицитом почвенной влаги и, следовательно, снижением биодоступности воды. Продуктивность транспирации снижается от первого ко второму укосу и составляет соответственно 2,14 и 2,07 кг сухой массы, накопленной за период, когда посев испаряет одну тонну воды.

В работе Shatilov et al. (1978) приводится значение k_t сена клевера, равное 185. Урожай сена клевера получен на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на покровном суглинке с уровнем грунтовых вод на глубине 5–9 м. Возделывание многолетних трав на пойменных лугах с близким уровнем грунтовых вод почти в 2,5 раза повышает транспирационный расход влаги на формирование 1 т сухой фитомассы.

В таблице 3 представлены данные относительной транспирации на контроле и варианте с внесением максимальной в

опыте дозой полного минерального удобрения ($N_{120}P_{60}K_{180}$). На этих вариантах получен минимальный и максимальный урожай зеленой массы многолетних трав в опыте. Относительная транспирация характеризует биодоступность почвенной влаги посевам культур, что приведено в работах авторов (Ben-

Gal et al., 2003; Taghvaeian et al., 2014). Эта количественная характеристика транспирации получила название «коэффициент влагообеспеченности», «индекс стресса» (Poberezhskij, 1977). По величине α оценивают потребность во влаге посевам культур, начало полива в орошаемых условиях земледелия.

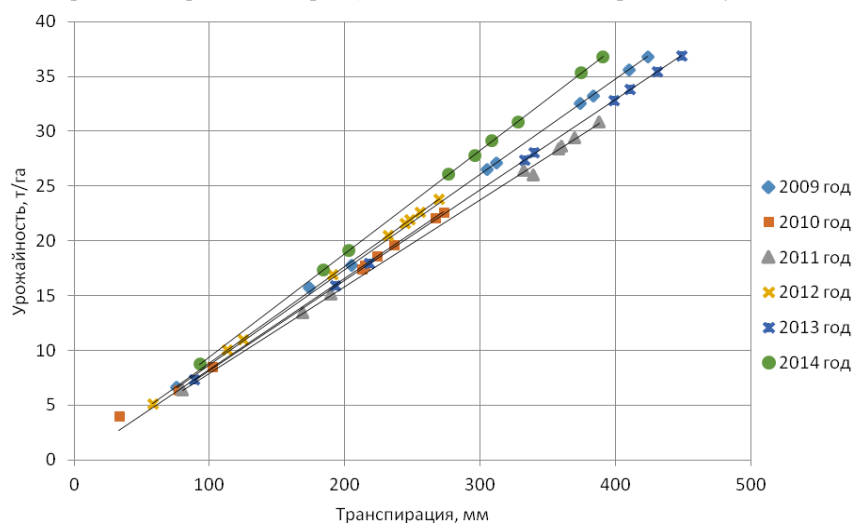


Рис. 1. Зависимость урожайности первого укоса сеяных мятликовых трав от транспирации в течение весенне-летней вегетации при обработке луга дисковыми боронами ($n = 9$)

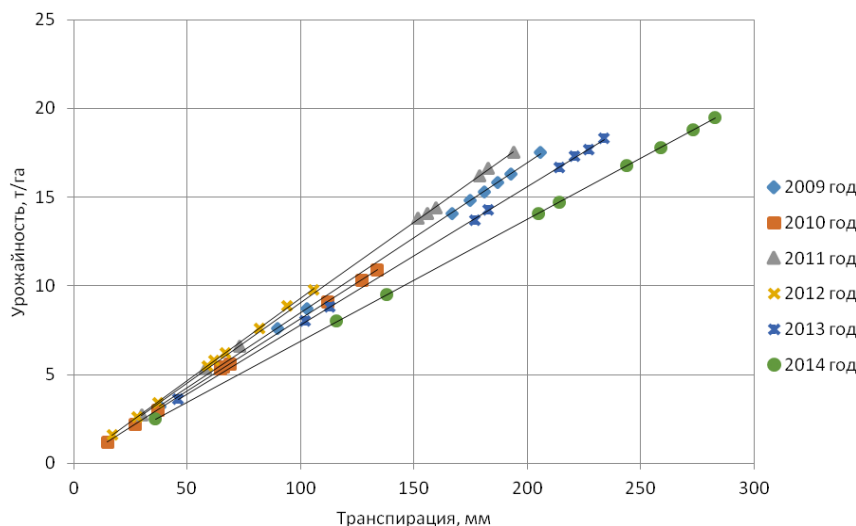


Рис. 2. Зависимость урожайности второго укоса сеяных мятликовых трав от транспирации в течение весенне-летней вегетации при обработке луга дисковыми боронами ($n = 9$)

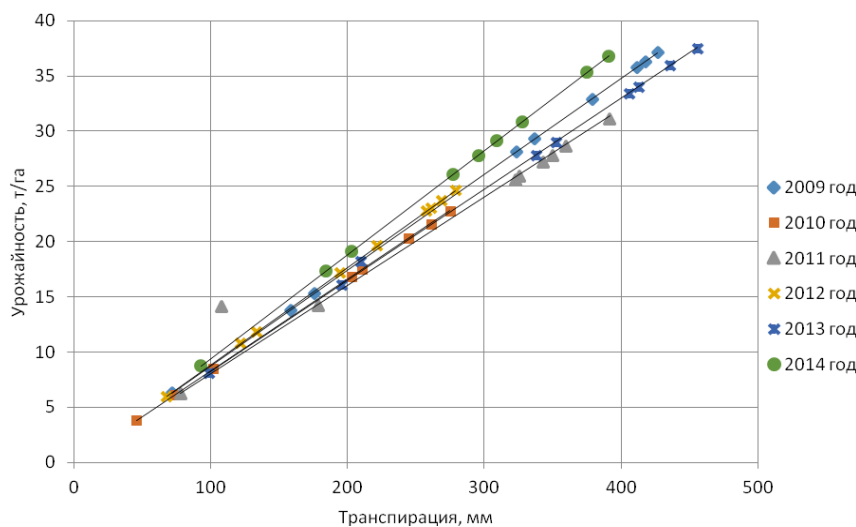


Рис. 3. Зависимость урожайности первого укоса сеяных мятликовых трав от транспирации в течение весенне-летней вегетации при обработке луга обычным плугом ($n = 9$)

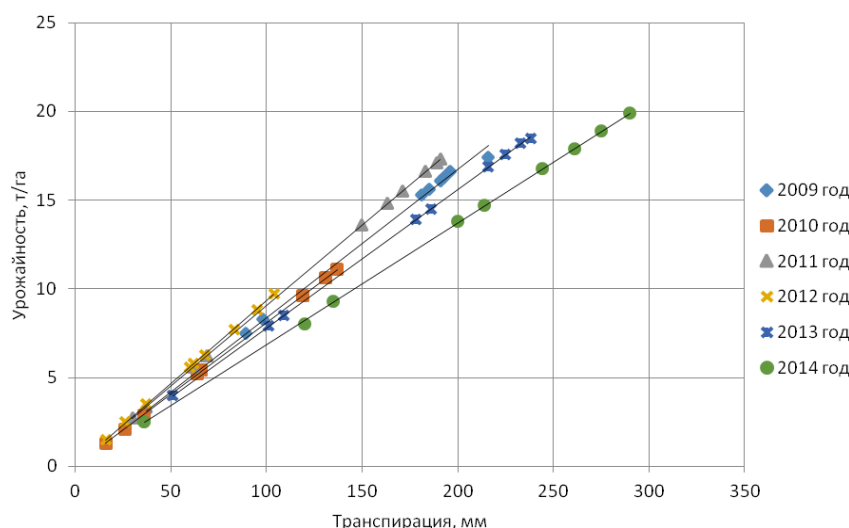


Рис. 4. Зависимость урожайности второго укоса сеяных люцерновых трав от транспирации в течение весенне-летней вегетации при обработке луга обычным плугом ($n = 9$)

Таблица 2

Количественные показатели транспирации посевов сеяных люцерновых трав в разные годы

Показатель	2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ
Обработка почвы дисковыми боронами																		
k_t	461	468	-7	487	496	-9	504	441	63	458	442	16	489	509	-20	425	578	-153
$1/k_t$	2,17	2,14	0,03	2,05	2,02	0,03	1,98	2,27	-0,29	2,18	2,26	-0,08	2,04	1,95	0,09	2,35	1,73	0,62
Обработка почвы плугом																		
k_t	459	478	-19	482	454	28	503	444	59	457	433	24	485	515	-30	425	580	-155
$1/k_t$	2,18	2,09	0,09	2,07	2,20	-0,13	1,99	2,25	-0,26	2,19	2,31	-0,12	2,06	1,95	0,11	2,35	1,72	0,63

Примечание: k_t – транспирационный расход влаги (т) на формирование 1 т сена; $1/k_t$ – продуктивность транспирации, равная массе сена (кг), накопленной посевом за период, когда испаряется 1 т воды; 1 – период вегетации до первого укоса; 2 – период вегетации от первого до второго укоса; δ – разница между первым и вторым периодом.

Таблица 3

Относительная транспирация посевов сеяных люцерновых трав

Вариант	2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ
Обработка почвы дисковыми боронами																		
Контроль	0,47	0,37	0,10	0,18	0,05	0,13	0,46	0,15	0,31	0,37	0,06	0,31	0,55	0,14	0,41	0,49	0,13	0,36
$N_{120}P_{60}K_{180}$	2,65	2,04	0,61	1,53	0,48	1,05	2,22	0,98	1,24	1,71	0,35	1,36	2,79	0,78	2,01	2,05	1,01	1,04
Обработка почвы плугом																		
Контроль	0,45	0,36	0,09	0,26	0,60	-0,34	0,46	0,15	0,31	0,43	0,05	0,38	0,61	0,16	0,45	0,49	0,13	0,36
$N_{120}P_{60}K_{180}$	2,67	2,03	0,64	1,54	0,49	1,05	2,24	0,96	1,28	1,77	0,35	1,42	2,83	0,74	2,09	2,45	1,03	1,42

Примечание: 1 – период вегетации до первого укоса; 2 – период вегетации от первого до второго укоса; δ – разница между первым и вторым периодом.

Минимальные значения α до первого и до второго укоса сеяных люцерновых трав наблюдались лишь в 2010, 2012 и 2013 годы, характеризующиеся максимальными суточными суммами радиационного баланса и ФАР. В эти годы на обоих вариантах в течение вегетации в периоды до первого и до второго укоса наблюдали понижение относительной транспирации. Исключение составил период до первого укоса в 2013 году. Это исключение можно объяснить большим количеством осадков в осенне-зимне-весенний период. В засушливые годы вегетация культур проходила при более высоком значении α на фоне обычной вспашки, чем при дисковании. На контроле в годы исследования при обработке почвы дискованием до первого и второго укосов величина α колебалась в интервалах соответственно 0,18–0,55 и 0,05–0,44. На варианте с внесением полного минерального удобрения ($N_{120}P_{60}K_{180}$) величина α изменялась в интервалах соответственно 1,53–2,79 и 0,35–0,73. При обработке почвы вспашкой на контроле до первого и второго укосов величина α изменялась в интервалах соответственно 0,26–0,61 и 0,05–0,16. На варианте с внесением полного минерального удобрения α до первого и второго укосов изменялась в интервале соответственно 1,54–2,83 и 0,35–0,74. Таким образом, при обработке почвы вспашкой перед посевом многолетних трав повышается биодоступность почвенной влаги посевам многолет-

них трав. Значительное увеличение биодоступности почвенной влаги при внесении минеральных удобрений обусловлено повышением осмотического давления клеточного сока в проводящей системе растений при поступлении в нее сильных электролитов, аналогичные заключения приведены в работах Nomiya et al. (2013), Shin and Son (2015).

Разница в поглощении ФАР посевами при двух способах обработки почвы наиболее заметно проявляется в засушливые годы (табл. 4). В засушливые годы при обработке почвы дискованием до первого и второго укосов на контроле величина КФАР изменяется в интервале 0,68–1,39% и 0,13–0,36%. На варианте с внесением полного минерального удобрения величина КФАР изменяется в интервале 3,84–7,01% и 0,88–1,83%. При обработке почвы вспашкой до первого и второго укосов на контроле величина КФАР изменяется в интервале 0,65–1,54% и 0,13–0,40%. На варианте с внесением полного минерального удобрения величина КФАР до первого и второго укосов изменялась в интервале значений 3,88–7,12% и 0,87–1,86%. Из этих данных следует, что при обработке почвы перед посевом многолетних трав вспашкой с оборотом пласта в засушливые годы повышается биодоступность почвенной влаги и увеличивается поглощение ФАР.

Таблица 4

Коэффициенты использования фотосинтетически активной радиации посевами сеяных мятликовых трав

Вариант	2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ	1	2	δ
Обработка почвы дисковыми бородами																		
Контроль	1,19	0,41	0,78	0,68	0,13	0,55	1,15	0,38	0,77	0,92	0,14	0,78	1,39	0,36	1,03	1,23	0,32	0,91
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₈₀	6,62	2,22	4,40	3,84	1,20	2,64	5,54	2,45	3,09	4,28	0,88	3,40	7,01	1,83	5,18	5,15	2,53	2,62
Обработка почвы плугом																		
Контроль	1,13	0,40	0,73	0,65	0,14	0,51	1,11	0,38	0,73	1,08	0,13	0,95	1,54	0,40	1,14	1,23	0,32	0,91
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₈₀	6,68	2,22	4,46	3,88	1,22	2,66	5,60	2,42	3,18	4,43	0,87	3,56	7,12	1,85	5,27	5,15	2,59	2,56

Примечание: 1 – период вегетации до первого укоса; 2 – период вегетации от первого до второго укоса; δ – разница между первым и вторым периодом.

Обсуждение

Вопрос о роли агротехнических приемов в повышении продуктивности кормовых угодий, расположенных в поймах рек, актуален для развития кормовой базы животноводства. Результаты одних исследований показывают, что агротехнические способы обработки почвы оказывают слабое влияние на урожайность многолетних трав, других – что следует совершенствовать способы обработки пойменных почв для посева мятликовых трав (Losvik, 1988; Chirkov and Laretin, 2012; Bel'chenko et al., 2016).

Сравнительная оценка двух способов обработки пойменного луга, вспашки и дискования показала их разную эффективность. Расчеты транспирации и ее количественных показателей как полевых культур (Ben-Asher et al., 2008; Ta et al., 2011; Beggi et al., 2015), так и мятликовых трав, а именно продуктивности, относительной транспирации, транспирационного коэффициента, коэффициента использования ФАР, доказывают, что наибольшая эффективность вспашки по сравнению с дискованием заметно проявляется в засушливые годы при дефиците влаги.

Выводы

Мятликовые травы, возделываемые на аллювиальной песчаной почве в условиях эксперимента без внесения минеральных удобрений, не используют накопленную за осенне-зимне-весенний период влагу. Внесение исследуемых доз удобрений приводит к недостатку влаги в период вегетации от первого до второго укоса многолетних трав лишь в засушливые годы.

Внесение исследуемых доз минеральных удобрений повышает относительную транспирацию и биодоступность почвенной влаги растениям, обусловленную увеличением осмотического давления сока в проводящей системе растения действием растворимых солей, входящих в состав удобрений.

Агротехнические мероприятия по обороту пласта почвы на глубину 20 см перед посевом многолетних мятликовых трав повышают биодоступность почвенной влаги и поглощение солнечной радиации в период вегетации в засушливые годы.

Транспирационный коэффициент составляет 469 и 486 соответственно для первого и второго укоса мятликовых трав в расчете на сухую массу и не зависит от доз и вида вносимых удобрений, способа обработки почвы. В период от первого укоса до второго происходит увеличение транспирационного расхода влаги на формирование сухой массы, обусловленное снижением биодоступности влаги в этот период.

Благодарности

За помощь в проведении эксперимента выражаем благодарность сотрудникам Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции и сотрудникам агрометеорологической станции Брянского ГАУ.

References

Abakumova, G. M. (ed.) (2012). Klimaticheskie resursy solnechnoj jenerгии Moskovskogo regiona [Climatic resources of solar energy of the Moscow region]. Librokom, Moscow (in Russian).

- Barman, T. S., Baruah, U., & Saikia, J. K. (2008). Irradiance influences tea leaf (*Camellia sinensis* L.) photosynthesis and transpiration. *Photosynthetic*, 46, 618–621.
- Beggi, F., Falalou, H., Buerkert, A., & Vadez, V. (2015). Tolerant pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) varieties to low soil P have higher transpiration efficiency and lower flowering delay than sensitive ones. *Plant and Soil*, 389, 89–108.
- Bel'chenko, S. A., Torikov, V. E., Shapovalov, V. F., & Belous, I. N. (2016). Tehnologii vozdel'nyvanija kormovyh kul'tur v uslovijah radioaktivnogo zagrjaznenija i ih vlijanie na sodержание tjazhelyh metallov i cезия-137 [Technologies of cultivation of forage crops in the conditions of radioactive pollution and their influence on the content of heavy metals and caesium-137]. *Vestnik Brjanskoy GSHA*, 2, 58–67 (in Russian).
- Belous, N. M., Podoljak, A. G., Karpenko, A. F., & Smol'skij, E. V. (2016). Jeффективnost' zashhitnyh meroprijatij pri reabilitacii kormovyh ugodij Rossii i Belarusi, zagrjaznennyh posle katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS [Efficiency of protective measures in case of rehabilitation of the fodder grounds of Russia and Belarus polluted after catastrophic crash on the Chernobyl NPP]. *Radiacionnaja Biologija. Radiojeologija*, 56(4), 405–413 (in Russian).
- Ben-Asher, J., Garcia y Garcia, A., & Hoogenboom, G. (2008). Effect of high temperature on photosynthesis and transpiration of sweet corn (*Zea mays* L. var. *rugosa*). *Photosynthetic*, 46, 595–603.
- Ben-Gal, A., Karlberg, L., Jansson, P. E., & Shani, U. (2003). Temporal robustness of linear relationships between production and transpiration. *Plant and Soil*, 251, 211–218.
- Chirkov, E. P., & Laretin, N. A. (2012). Kormoproizvodstvo: K strategii ustojchivogo razvitiya [Forage production: To the strategy of sustainable development]. *Jekonomist*, 12, 37–41 (in Russian).
- Espadafor, M., Orgaz, F., Testi, L., Lorite, I. J., & Villalobos, F. J. (2015). Transpiration of young almond trees in relation to intercepted radiation. *Irrigation Science*, 33, 265–275.
- Glenn, E. P., Nagler, P. L., Morino, K., & Hultine, K. R. (2013). Phreatophytes under stress: Transpiration and stomatal conductance of saltcedar (*Tamarix spp.*) in a high-salinity environment. *Plant and Soil*, 371, 655–672.
- Lagos, L. O., Martin, D. L., Verma, S. B., Irmak, S., Irmak, A., Eisenhauer, D., & Suyker, A. (2013). Surface energy balance model of transpiration from variable canopy cover and evaporation from residue-covered or bare soil systems: Model evaluation. *Irrigation Science*, 31, 135–150.
- Lei, H., Yang, D., Schymanski, S. J., & Sivapalan, M. (2008). Modeling the crop transpiration using an optimality-based approach. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 51, 60–75.
- Losvik, M. H. (1988). Phytosociology and ecology of old hay meadows in Hordaland, western Norway in relation to management. *Vegetatio*, 78, 157–187.
- Magda, D., de Sainte Marie, C., Plantureux, S., Agreil, C., Amiaud, B., Mestelan, P., & Mihout, S. (2015). Integrating agricultural and ecological goals into the management of species-rich grasslands: Learning from the flowering meadows competition in France. *Environmental Management*, 56, 1053–1064.
- Nomiya, R., Yasutake, D., Sago, Y., & Kitano, M. (2013). Transpiration integrated model for root ion absorption under salinized condition. *Biologia*, 68, 1113–1117.
- Pakshina, S. M., Torikov, V. E., Belous, N. M., & Melnikova, O. V. (2016). Influence of transpiration on grain productivity. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 1486–1493 (in Russian).
- Penka, M. (1963). Transpiration rates of leaf blades of irrigated and not irrigated plants of spring wheat. *Biologia Plantarum*, 5, 200–210.
- Petzold, R., Schwärzel, K., & Feger, K. H. (2011). Transpiration of a hybrid poplar plantation in Saxony (Germany) in response to climate and soil conditions. *European Journal of Forest Research*, 130, 695–706.
- Poberezhskij, L. N. (1977). Vodnyj balans zony aeracii v uslovijah oroshenija [Water balance of a zone of aeration in the conditions of irrigation]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).

- Ponomarev, A. V. (ed.) (1978). Ispol'zovanie fotosinteticheski aktivnoj radiacii polevymi kul'turami v sevooborote [Use of a fotosinteticheska of active radiation field cultures in a crop rotation]. Nauchnye osnovy programirovaniya urozhaja sel'skhozajstvennyh kul'tur. Kolos, Moscow (in Russian).
- Purdy, S. E., Moyle, P. B., & Tate, K. W. (2012). Montane meadows in the Sierra Nevada: Comparing terrestrial and aquatic assessment methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 6967–6986.
- Shatilov, I. S. (1978). Vodopotreblenie i transpiracija rastenij v polevyh uslovijah [Water consumption and transpiration of plants in field conditions]. Nauchnye osnovy programirovaniya urozhaja sel'skhozajstvennyh kul'tur. Kolos, Moscow (in Russian).
- Shin, J. H., & Son, J. E. (2015). Changes in electrical conductivity and moisture content of substrate and their subsequent effects on transpiration rate, water use efficiency, and plant growth in the soilless culture of paprika (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56, 178–185.
- Suvočarev, K., Blanco, O., Faci, J. M., Medina, E. T., & Martínez-Cob, A. (2013). Transpiration of table grape (*Vitis vinifera* L.) trained on an overhead trellis system under netting. *Irrigation Science*, 31, 1289–1302.
- Ta, T. H., Shin, J. H., Ahn, T. I., & Son, J. E. (2011). Modeling of transpiration of paprika (*Capsicum annuum* L.) plants based on radiation and leaf area index in soilless culture. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52, 265.
- Taghvaeian, S., Chávez, J. L., Bausch, W. C., DeJonge, K. C., & Trout, T. J. (2014). Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. *Irrigation Science*, 32, 53–65.
- Taylor, N. J., Mahohoma, W., Vahrmeijer, J. T., Gush, M. B., Allen, R. G., & Annandale, J. G. (2015). Crop coefficient approaches based on fixed estimates of leaf resistance are not appropriate for estimating water use of citrus. *Irrigation Science*, 33, 153–166.
- Torikov, V. E. (ed.) (2014). Ustojchivost' jarovogo jachmenja k stressovym faktoram sredy [Resistance of summer barley to stressful factors of the environment]. Brjanskaja GSHA, Brjansk (in Russian).
- Vogl, C. R., Vogl-Lukasser, B., & Walkenhorst, M. (2016). Local knowledge held by farmers in Eastern Tyrol (Austria) about the use of plants to maintain and improve animal health and welfare. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12, 40.
- Walden-Schreiner, C., & Leung, Y. F. (2013). Spatially characterizing visitor use and its association with informal trails in Yosemite Valley meadows. *Environmental Management*, 52, 163–178.
- Wallin, L., & Svensson, B. M. (2012). Reinforced traditional management is needed to save a declining meadow species. A demographic analysis. *Folia Geobotanica*, 47, 231–247.