

держит 5 видов, из них *Navicula minuscula*, *N. Discerpha* var. *turundulata*, *N. mutica* var. *nivalis* обнаружен в образцах как северного так и южного склона. *Navicula cryptocephala* и *N. discerpha* выявлен только на северном склоне. Из рода *Pinnularia* *P. borealis* найден в общих склонах, *P. mesolepta* выявлен в образцах северного склона. Род *Hantzschia* представлен видами *H. amphioxys*, *H. capitata* встречаются на северном и южном склоне, а *H. amphioxys* var. *capitata* обнаружен только на северном склоне. Из рода *Nitzschia* *N. amphibia* выявлен на южном, *N. palea* на северном склоне. Слабо развивался *Gomphonema acuminata* в образцах южного склона. В видовом разнообразии северный склон представлен 11, южный 9 видами обуславливающие развитие метеорологических и эдафических факторов. Общее количество клеток водорослей в светло-бурой почве в зависимости от времени года колеблется от 26,5 до 75,0 тыс в 1 г почве.

Выводы

Благоприятный почвенный фактор, температурный и водный режим (особенно летом), хорошо

выраженная структура, по разному благоприятствуют обильному развитию влаголюбивых зеленых, желто-зеленых и диатомовых водорослей, чем сине-зеленых. По количеству видов преобладают нитчатые формы. Характерным являются *Vumillaria klebsiana*, *Vumilleriopsis terricola*, *V. brevis* из желто-зеленых и виды рода *Phormidium* из сине-зеленых. Представители *Chlorococcales* и *Oosystaceae* гиперацидные сине-зеленые развивались меньше. Из диатомовых в образцах чаще попадались *Navicula mutica* var. *nivalis*, *N. cryptocephala*, *N. minuscula*, *Pinnularia mesolepta*.

Использованная литература

1. Бут В.П. Сообщества водорослей некоторых почв Западного Памира и их изменение при культивировании. Автореферат дисс. кандидат биологических наук. Душанбе. 1963 г с 24
2. Горбунова Н.П. Альгология. М.; Высшая школа. 1991 г с 256
3. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.; Наука. 1969 г с 228

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ЛИСТЬЯМИ РАСТЕНИЙ СОИ: ТРАДИЦИИ И НОВЫЕ КРИТЕРИИ

Харчук Олег Андреевич

Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,

Институт генетики, физиологии и защиты растений, г. Кишинев

Кириллов Александр Филаретович

Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,

Будак Александр Борисович

Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,

Институт генетики, физиологии и защиты растений, г. Кишинев

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.1.56.42-46](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2018.1.56.42-46)

АННОТАЦИЯ

Целью исследования являлось оценка традиционных и новых критериев оценки эффективности использования воды (ЭИВ) листьями растений сои сорт Амелина посредством сравнения абсолютных величин разных параметров при кратковременных измерениях (ЭИВ_i) с величинами ЭИВ в поле, а также изучения их суточной динамики. Исследования проводили в контролируемых условиях вегетационного комплекса в сосудах при достаточной влагообеспеченности (70% ПВ) растений с использованием монитора фотосинтеза и транспирации РТМ-48. Установлено, что по абсолютной величине наиболее близким к ЭИВ в полевых условиях является ЭИВ_i по величине дыхания. Оценка ЭИВ_i листом по ранее известным показателям не соответствует ЭИВ на уровне ценоза.

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the traditional and new criteria for evaluating water use efficiency (WUE) of soybean leaves by comparing different parameters from instantaneous measurements (WUE_i) with the WUE at the field level, as well as studying WUE_i-parameters in daily dynamics. Studies were performed using photosynthesis and transpiration rate monitor РТМ-48А to soybean plants (variety Amelina) in pots with sufficient water supply. It was concluded that as close as possible to WUE field value (0,80 g seeds per kg H₂O) is the evaluation of the WUE_i as a ratio of respiration per unit of water transpired. Estimation of leaf WUE_i according to previously known parameters does not correspond to field level WUE.

Ключевые слова: эффективность использования воды, соя.

Keywords: water use efficiency, soybean.

«...В 21 веке человечеству...продуктивность использования земли нужно будет дополнить эффективностью использования воды.» [2, р. 8]. По традиционной терминологии эффективность использования воды (ЭИВ) определяется отношением количества произведенного сухого вещества (ρ) к количеству использованной воды (k_2), при этом в количестве использованной воды входят осадки и

изменение влагозапасов почвы [5, р. 117]. Для агрофитоценоза сои ЭИВ по отношению урожая зерна к эвапотранспирации (ЭТ, масса воды, суммарно испаряемая за вегетационный сезон почвой и растениями) составляет 0,6-1,0 г кг⁻¹ [6, р. 16]. Для оценки ЭИВ Sinclair et al. [7, р. 36] предложили, в дополнение к сезонным оценкам, более короткие временные периоды: мгновенные (instantaneous, i) и

суточные (daily, d), при этом для оценки ЭИВ листом используют отношение веса ассимилированного CO_2 (общая ассимиляция CO_2 минус дыхание) к весу транспирированной воды. В качестве нового параметра для «мгновенных» определений эффективности использования воды, ЭИВ_i, в последние годы предложено использовать отношение фотосинтеза к устьичной проводимости [3, 4, 8]. Нами поставлена задача оценить традиционные и новые

параметры эффективности использования воды растениями сои (сорт Амелина) посредством сравнения кратковременно измеренных величин в суточной динамике (ЭИВ_i) с величиной ЭИВ для ценоза сои.

Измерения ЭИВ в полевых условиях. Для объекта наших исследований, сои сорт Амелина, в среднем за два года (2017-2018) ЭИВ составила $0,80 \pm 0,06$ г зерна/кг воды (Таблица 1).

Таблица 1. Эффективность использования воды агрофитоценозом сои сорт Амелина

год	Расход воды за вегетацию, кг/м ²			Урожай зерна, г/м ²	ЭИВ, г/кг
	осадки	вода почвы	всего (ЭТ)		
2017 (45)	236,6	151,2	387,8	287±12	0,74±0,03
2018 (40)	317,7	103,7	421,4	365±36	0,87±0,08
среднее за два года (2017-2018)					0,80±0,06

Помимо статистической недостоверности различий ЭИВ в 2017 и 2018 гг., в 2018 г. величина ЭИВ может быть завышена ввиду существенного снижения влажности почвы за сезон (-5,2%, с 17,9% при севе до 12,7% при уборке урожая) в самом глубоком (140-150см) из всех горизонтов, где определяли влажность почвы с помощью ручного бурения (при этом максимальное снижение, -8,2%, с 17,1% при севе до 8,9% при уборке, урожая было в почвенном слое 20-30 см). Если предположить снижение влажности почвы и в более глубоких горизонтах, то только слой 150-160 см при снижении влажности почвы за сезон на 5,2% даст дополнительное водопотребление $7,2$ кг м⁻², что снизит ЭИВ до 0,85. В 2017 году наблюдали несущественное снижение влажности почвы за сезон (-1,6%, с 15,7% при севе до 14,2% при уборке урожая) в самом глубоком (140-150см) из всех горизонтов, где определяли влажность почвы с помощью ручного бурения (при этом максимальное снижение, -18,0%, с 25,0% при севе до 7,0% при уборке урожая было в почвенном слое 0-10 см). Если предположить снижение влажности почвы и в более глубоких горизонтах, то слой 150-160 см при снижении влажности почвы за сезон на 1,6% даст дополнительное водопотребление $2,2$ кг м⁻², что оставит без изменения величину ЭИВ, $0,74$ г кг⁻¹. Поэтому наиболее достоверной для полей сои с. Амелина в Республике Молдова мы считаем величину ЭИВ $0,8$ г/кг.

Измерения на растениях в вегетационных сосудах. Круглосуточный мониторинг параметров газообмена растений сои осуществляли в алгоритме работы монитора фотосинтеза и транспирации РТМ-48А («Bio Instruments SRL», Республика Молдова), ранее описанного в [1]. Измерения проводили в типичные летние дни на растениях сои

сорт Амелина (68-70 дней после сева), выращенных в сосудах объемом 10 л (3 растения на сосуд) в контролируемых условиях вегетационного комплекса Института генетики, физиологии и защиты растений при влагообеспеченности 70% от ПВ (полной влагоемкости). Были измерены в круглосуточной динамике (с 20 до 23 июля 2018 г.) с интервалом 15 минут такие показатели: полный фотосинтез ($\mu\text{моль}CO_2 \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), дыхание ($\mu\text{моль}CO_2 \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), ассимиляция CO_2 (полный фотосинтез минус дыхание, ($\mu\text{моль}CO_2 \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), транспирация ($\text{мг}H_2O \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), устьичная проводимость ($\text{мм} \text{ сек}^{-1}$) и др. Газообмен измеряли на зрелых тройчатых листьях (сухая поверхностная плотность листьев $45-46$ г м⁻²) растений сои.

ЭИВ_i листа определяли посредством «мгновенных» (экспозиция 15 минут) измерений интенсивности фотосинтеза и транспирации. При анализе полученных результатов преимущественно использовали измерения в диапазоне «нестрессовых» величин ФАР (<1700 $\mu\text{моль} \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), с существенной величиной ассимиляции углекислого газа (>5 $\mu\text{моль} CO_2 \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$) – временной период такой световой радиации составляет 8-9 часов (с 7-30 до 18 часов), обеспечивая минимум 90% суммарного суточного фотосинтеза. Этот период состоит из двух частей: дополуденной, с ростом ФАР во времени и послеполуденной, с падением ФАР во времени. По отношению ассимиляция CO_2 /транспирация [7, р. 36], при анализе суточной динамики (через 1 час) суммировали данные 4х измерений в течение каждого часа, пересчитывая CO_2 -ассимиляцию и транспирацию в г м⁻²час⁻¹ для конечного выражения ЭИВ_i листа в г кг⁻¹ (Рис. 1).

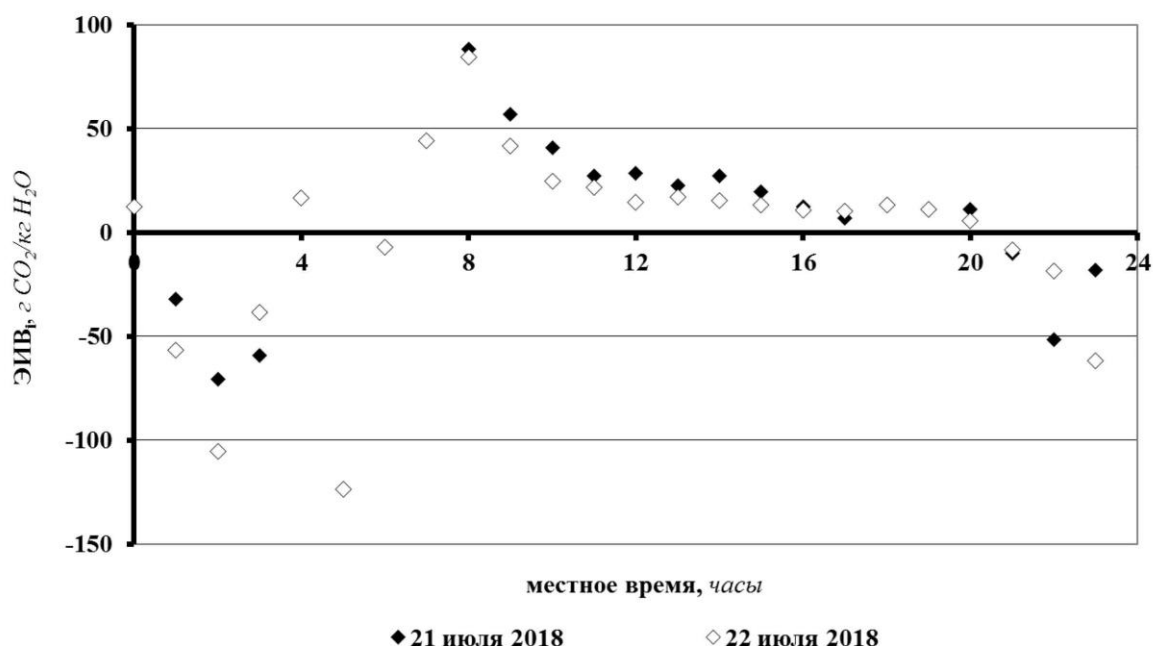


Рисунок 1. Суточная динамика ЭИВ_i (как отношения CO₂-ассимиляции к транспирации по мгновенным (почасовое суммирование данных измерений фотосинтеза и транспирации при 15 минутных экспозициях, раздельно за 21 и 22.07.2018).

По нашим данным суточная ЭИВ_i равна 18 ± 3 г CO₂/кг H₂O. Близкая к этой величине мгновенная (за час) ЭИВ_i получена в 12-13 часов. Эта величина многократно превышает ЭИВ на поле сои сорт Амелина, определенную по отношению урожая зерна к эвапотранспирации, $0,80 \pm 0,06$ г/кг H₂O (в

среднем за 2017-2018 гг.), что говорит об определенном запасе ассимилятов для более высокого урожая.

Аналогичным способом нами получена суточная кривая и определена суточная величина ЭИВ_i по отношению суммарного суточного дыхания к суммарной суточной транспирации (Таблица 2).

Таблица 2. Суточная ассимиляция CO₂ (A_н), транспирация (Т) и дыхание (Д), а также значения разных параметров ЭИВ_i листьев растений сои с. Амелина.

Дата	A _н , г CO ₂ м ⁻² сутки ⁻¹	Т, кг H ₂ O м ⁻² сутки ⁻¹	Д, г CO ₂ м ⁻² сутки ⁻¹	ЭИВ _i , г/кг	
				A _н /Т	Д/Т
21.07. (45)	27,90	1,32	3,96	21,1	3,00
22.07 (40)	27,57	1,79	3,59	15,4	2,01
ср.	27,74±0,16	1,55±0,23	3,78±0,18	18,3±2,8	2,50±0,49

Величины ЭИВ, полученные по отношению дыхания (в данной статье общее дыхание) к транспирации, (ЭИВ_i)_д, имеют качественно иную суточную динамику (Рис. 2) по сравнению с традиционной величиной ЭИВ_i (A_н/Т).

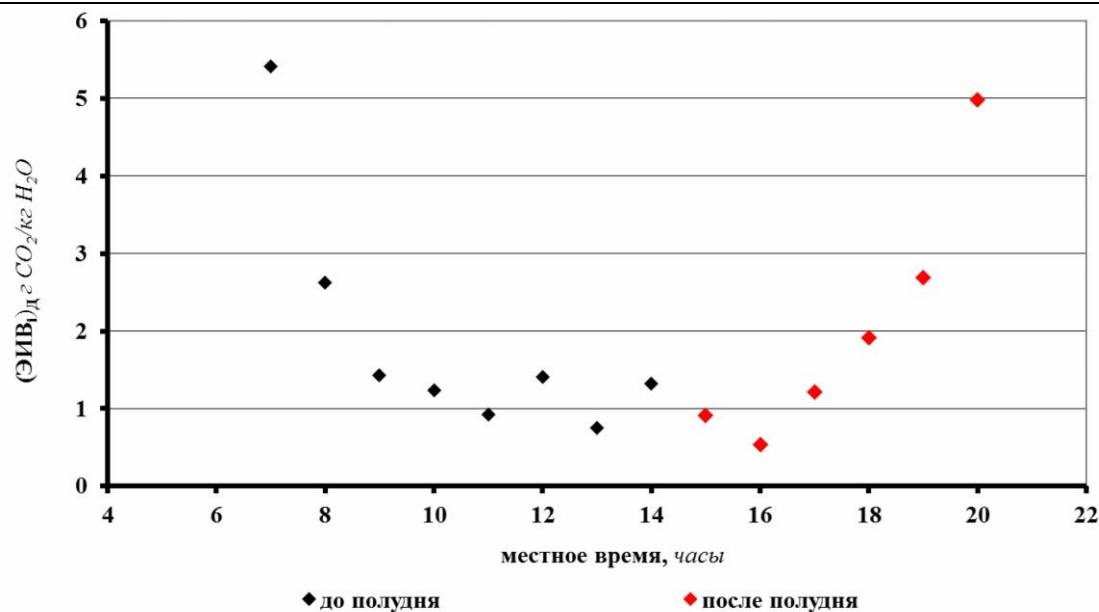


Рисунок 2. Дневная динамика $(ЭИВ)_д$, как отношения дыхания к транспирации, листьев растений сои сорт Амелина, определенное почасовым суммированием «мгновенных» (при 15 минутных экспозициях) данных измерений дыхания и транспирации.

Снижение $ЭИВ)_д$ в полуденное время связано с повышенными (около максимальными) величинами интенсивности транспирации в полуденное время, что коррелирует с ростом транспирации при увеличении ФАР: в 3-6 раз при увеличении ФАР от 500 до 1500 $\mu\text{моль квантов/м}^2 \text{сек}$ (данные по транспирации не приводятся).

В суточном временном интервале $(ЭИВ)_д$ равно $2,50 \pm 0,49 \text{ г } CO_2/\text{кг } H_2O$. Эта, посуточная, величина формально соответствует мгновенной величине в 8 часов утра или 19 часов вечера. Величина $(ЭИВ)_д$ почти на порядок меньше традиционной фотосинтетической величины $ЭИВ)_i$ и лишь в несколько раз превышает величину $ЭИВ)$ для поля сои сорт Амелина, которая определена как отношение урожая зерна к эвапотранспирации ($0,80 \pm 0,06 \text{ г/кг } H_2O$, в среднем за 2017-2018 гг.). Кроме абсолютной величины, показатель $(ЭИВ)_д$ отличается от традиционного фотосинтетического критерия $ЭИВ)_i$ дневной динамикой: дневная динамика этого показателя характеризуется дневным минимумом (Рис. 2) и противоположна дневной динамике транспирации.

В последние годы предложен еще один показатель $ЭИВ)_i$ [3, 4, 8], как отношение ассимиляции CO_2 к устьичной проводимости (A_n/g_s). Для этого показателя мы не имели возможность получить аналогичный суточный баланс, так как знаменатель (g_s) этого показателя нельзя просуммировать за сутки аналогично другим компонентам $ЭИВ)_i$ (A_n , Т и Д). Тем не менее формально мы смогли получить выражение этого параметра в единицах измерения $ЭИВ)$, как из своих измерений, так и из литературных данных. По формальному расчету $ЭИВ)_i$ по A_n/g_s составляет около $0,1 \text{ г/кг}$, что значительно меньше $ЭИВ)$ в ценозе ($0,8 \text{ г/кг}$). По данным Slattery et al. [8] $ЭИВ)_i$ по A_n/g_s для листьев растений сои колеблется в разные годы от 30 до $80 \mu\text{моль } CO_2 \text{ моль}^{-1} H_2O$. Первую величину, полученную во влажный

год можно формально (так как этот показатель не имеет физического смысла) выразить как $0,073 \text{ г } CO_2/\text{кг } H_2O$, что тем более меньше по сравнению с $ЭИВ)$ в поле ($0,8 \text{ г зерна/кг } H_2O$). Максимум этого показателя приходится на полуденные часы. Большое отличие от величин $ЭИВ)$ ценозов сои, $0,6-1,0 \text{ г кг}^{-1}$, вычисленных как отношение накопленной сухой биомассы к эвапотранспирации [6, p. 16], в совокупности с неясностью физического смысла указанного показателя, делает дискуссионным его применение к оценке $ЭИВ)$, несмотря на хорошую корреляцию с некоторыми другими методами.

Выводы. Установлено, что по абсолютной величине наиболее близкой к $ЭИВ)$ сои на уровне ценоза ($0,8 \text{ г/кг}$) является $ЭИВ)_i$ листьев, определенная по отношению величины дыхания к транспирации ($2,5 \text{ г/кг}$). Оценка $ЭИВ)_i$ листом по отношению фотосинтеза к транспирации существенно выше (примерно в 20 раз больше, чем $ЭИВ)$ на уровне ценоза).

Авторы выражают благодарность кандидатам биологических наук: главному инженеру фирмы «Bio Instruments SRL» Клейману Э. И. за консультации при использовании данных измерений на фитомониторе РТМ-48А и ведущему научному сотруднику Институт генетики, физиологии и защиты растений Скурту Г. И. за техническое содействие при проведении измерений на растениях сои в судах.

Список литературы:

1. Балаур Н.С., Воронцов В.А., Клейман Э.И., Тон Ю.Д. Новая технология мониторинга CO_2 -обмена у растений // Физиология растений. 2009, т. 56, №3, С. 466-470.
2. Borlaug N.E. (1970 Nobel Peace Prize Laureate). The Green Revolution Revised and The Road Ahead. Special 30th Anniversary Lecture, The Norwegian Nobel Institute, Oslo, September 8, 2000, 23p.

(https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/1970/borlaug-lecture.pdf).

3. *Medrano H., Pou A., Tomas M., Martorell S., Gulias J., Flexas J., Escalona J.M.* Average daily light interception determines leaf water use efficiency among different canopy locations in grapevine // *Agric. Water Manag.* 2012. 114, P. 4–10.

4. *Medrano H., Tomas M., Martorell S., Flexas J., Hernandez E., Rossello J., Pou A., Escalona J.-M., Bota J.* From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target // *The Crop Journal*. 2015. 3, P. 220-228.

5. *Passiora J.B.* Grain Yield, Harvest Index, and Water Use of Wheat // *The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 1977, Vol. 43, Nos. 3-4, PP. 117-120.

6. *Sadras V.O., Grassini P. and P. Steduto.* Status of water use efficiency of main crops. SOLAW Background Thematic Report – TP07. Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2012, 41 p.

(<https://www.researchgate.net/publication/230626092>)

7. *Sinclair T.R., Tanner C.B., Bennett J.M.* Water-Use Efficiency in Crop Production // *BioScience*. 1984. Vol. 34, No. 1, P. 36-40.

8. *Slattery R.A., VanLooke A., Bernacchi C.J., Zhu X.-G. and D.R.Ort.* Photosynthesis, light use efficiency, and yield of reduced-chlorophyll soybean mutants in field conditions. *Frontiers in Plant Science*. 2017, Vol. 8, article 549. Published online 2017 Apr 18. doi: [[10.3389/fpls.2017.00549](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00549)]