

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>
УДК 635.1/.7:581.1.045

**А.Ю. Федосов,
А.М. Меньших, М.И. Иванова**

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Россия, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

Для цитирования: Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Оценка водного следа овощных культур. *Овощи России*. 2021; (4):57-64. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>

Поступила в редакцию: 26.06.2021

Принята к печати: 11.08.2021

Опубликована: 25.08.2021

**Aleksandr Y. Fedosov,
Aleksandr M. Menshikh, Maria I. Ivanova**

All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center
500, Vereya, Ramensky district, Moscow region, Russia

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

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article.
For citations: Fedosov A.Y., Menshikh A.M., Ivanova M.I. Assessment of water footprint of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):57-64. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>

Received: 26.06.2021

Accepted for publication: 11.08.2021

Accepted: 25.08.2021

Оценка водного следа овощных культур



Резюме

Актуальность. Сельскохозяйственное производство является основным потребителем воды. В мировом масштабе около 70% пресной воды ежегодно используется для сельскохозяйственного (продовольственного и непродовольственного) производства. Почти 40% мировых запасов продовольствия производится за счет орошения. Во всем мире нехватка воды для орошения из-за конкуренции между промышленностью и городским потреблением угрожает продовольственной безопасности. Ожидается, что будущий рост населения, рост доходов и изменения в питании повысят спрос на воду. Темпы потепления на территории России с середины 1970-х годов примерно в 2,5 раза превосходят среднеглобальные. Наибольшая скорость прироста температуры имеет место в высоких широтах. Потеплению подвержена вся территория России как в целом за год, так и во все сезоны. Учет водного следа (WF), предложенный Сетью водного следа (WFN), потенциально может предоставить важную информацию для управления водными ресурсами, особенно в регионах с дефицитом воды, которые полагаются на орошение для удовлетворения потребностей в продуктах питания.

Методика. Целью этого систематического обзора было сопоставление и обобщение имеющихся данных о глобальном использовании воды при производстве овощной продукции. Проведен поиск в онлайн-базах данных, охватывающих области окружающей среды, социальных наук, общественного здравоохранения, питания и сельского хозяйства. Поиск проводили с использованием predetermined поисковых терминов, которые включали понятия «овощные культуры» и «водный след».

Результаты. В статье представлен краткий обзор водного следа овощеводства и устойчивости голубого водного следа. В целом, высокий зеленый или общий (зеленый + синий) WF может указывать на то, что овощные культуры имеют низкую урожайность или неэффективно используют воду. Низкий зеленый и высокий синий WF указывает на неэффективное использование дождевой воды, что может привести к чрезмерной эксплуатации поверхностных и грунтовых вод. Водный след можно считать хорошим экономическим эргометром, показывающим уровень потребления воды, необходимый для получения определенной овощной продукции, независимо от того, приносит ли он экономические выгоды или нет, полезен для общества или нет.

Ключевые слова: управление водными ресурсами, водный след, овощные культуры

Assessment of water footprint of vegetable crops

Abstract

Relevance. Agricultural production is the main consumer of water. Globally, about 70% of fresh water is annually used for agricultural (food and non-food) production. Nearly 40% of the world's food supply comes from irrigation. Globally, the scarcity of irrigation water due to competition between industry and urban consumption threatens food security. Future population growth, income growth and changes in nutrition are expected to increase demand for water. The rate of warming in Russia since the mid-1970s about 2.5 times the global average. The highest rate of temperature increase occurs at high latitudes. The entire territory of Russia is subject to warming, both as a whole for the year and in all seasons. Water Footprint Accounting (WF), proposed by the Water Footprint Network (WFN), has the potential to provide important information for water management, especially in water-stressed regions that rely on irrigation to meet food needs.

Methodology. The purpose of this systematic review was to collate and synthesize available data on global water use in vegetable production. Searched online databases covering the areas of environment, social sciences, public health, nutrition and agriculture: Web of Science Core Collection, Scopus, OvidSP MEDLINE, EconLit, OvidSP AGRIS, EBSCO GreenFILE, and OvidSP CAB Abstracts. The search was conducted using predefined search terms that included the concepts of "vegetable crops" and "water footprint".

Results. This article provides a brief overview of the vegetable growing water footprint and the sustainability of the blue water footprint. In general, a high green or overall (green + blue) WF may indicate that the vegetable crops are having low yields or inefficient water use. Low green and high blue WF indicate inefficient use of rainwater, which can lead to overexploitation of surface and groundwater. The water footprint can be considered a good economic ergometer, showing the level of water consumption required to obtain a certain vegetable product, whether it brings economic benefits or not, beneficial to society or not.

Keywords: water resources management, water footprint, vegetable crops

Количество пищи, доступной для потребления человеком, зависит от использования сельскохозяйственных культур для других непищевых целей, таких как корм для животных, биоэнергетика и промышленное использование. В глобальном масштабе только 67% произведенных сельскохозяйственных культур (по массе) или 55% произведенных калорий доступны для непосредственного потребления человеком [4]. Оставшаяся часть урожая отправляется на корм животным (24% по массе) и на другое промышленное использование, включая биоэнергетику (9% по массе). Животноводство менее эффективно, чем растениеводство в превращении кормов в пищу для людей [24, 27]. В результате только 12% из 36% мировых калорий, используемых в кормах для животных, в итоге будут вносить вклад в рацион человека [4, 12].

Овощи играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, являясь основным источником пищевых волокон, магния, калия и витаминов А и С, которые имеют решающее значение в питании человека. Овощная продукция очень скоропортящаяся, а растения чувствительны к непредсказуемым и экстремальным изменениям климата. Овощи на 80-95% состоят из воды, при этом урожай и качество продукции часто страдают от засухи [[1,2,3].

За последнее десятилетие разработаны многочисленные индикаторы для анализа степени и тенденций в достижении целей устойчивого развития. В контексте недавних глобальных экономических преобразований и постоянно растущей потребности в обеспечении устойчивости производственных систем водный след можно считать одним из наиболее актуальных и универсальных индикаторов, подчеркивающих устойчивость развития сельскохозяйственных систем, путем предоставления важных элементов при проектировании и реализации определенных вариантов, связанных с использованием воды. В ряде исследований

показана роль виртуальной торговли водой для глобальной экономии воды, сокращения дефицита воды и снижения риска нехватки воды [20,21,25].

Учет водного следа (WF), предложенный Сетью водного следа (WFN) в 2002 году, а также ГОСТ Р ИСО 14046-2017 «Экологический менеджмент. Водный след. Принципы, требования и руководящие указания» потенциально может предоставить важную информацию для управления водными ресурсами, особенно в регионах с дефицитом водных ресурсов, которые полагаются на орошение для удовлетворения потребностей в продуктах питания. Международная организация по стандартизации (ISO) 14046 (2014) и WFN Water Footprint Assessment Manual – это две международно признанные методологии оценки водного следа в стране, регионе или продукте [13, 17]. Обе методологии представляют разные типы воды для оценки водного следа. Таким образом, в стандарте ISO 14046 типы воды классифицируются как пресная, солоноватая, поверхностная, морская, грунтовые и ископаемые, а в Руководстве по оценке экологического следа WFN типы воды классифицируются как зеленая, синяя и серая вода.

Учет водного следа (WF) – это новый подход с целью более точной количественной оценки воздействия человеческой деятельности на количество и качество воды и руководства улучшенными решениями и управлением. Подробный тип водных ресурсов для синей воды установлен в соответствии с требованиями ISO 14046 (табл. 1). Кроме того, требования ISO 14044 интегрированы с методами WFN расчета количества косвенной воды и оценки воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла сельскохозяйственной и животноводческой продукции [16, 18].

В контексте растениеводства «Синие водные ресурсы» состоят в основном из поливной воды. Определяется как сумма испарения поливной воды с

Таблица 1. Типы воды по категориям данных
Table 1. Water types by data category

Виды деятельности Activities		Категория данных Data category	Тип воды Water type		
			зеленый green	синий blue	серый grey
Прямое использование воды Direct use of water	орошительная вода irrigation water	подземные воды, поверхностные воды groundwater, surface water		+	
	эффективные осадки effective precipitation	осадки precipitation	+		
	сточные воды wastewater	биохимическая потребность в кислороде, химическая потребность в кислороде, взвешенные твердые частицы, общий азот, общий фосфор biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus			
Непрямое использование воды Indirect use of water	сырье / энергия raw materials / energy	сырье: семена, рассада, удобрение raw materials: seeds, seedlings, fertilizer	+	+	+
		пестициды, сельскохозяйственные материалы pesticides, agricultural materials			
	энергия: электричество, смазочное масло, мазут energy: electricity, lubricating oil, fuel oil				
	сточные воды wastewater	биохимическая потребность в кислороде, химическая потребность в кислороде, взвешенные твердые частицы, общий азот, общий фосфор biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus			
	твердые отходы solid waste	шлам, упаковка отходов sludge, waste packaging			

полей и испарения воды оросительных каналов и созданных водохранилищ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, которые доступны множеству пользователей, определяются как синяя вода. “Зеленые водные ресурсы” возникают в результате дождя, который накапливается в почве и доступен только для эвапотранспирации (ET_0). “Серые водные ресурсы” – это объем воды, загрязненной в процессе производства продукции, который определяется путем вычисления объема воды, необходимого для разбавления загрязняющих веществ, поступающих в природные водные системы в течение процесса производства, до получения качества воды, соответствующего стандартам.

Как показано на рисунке 1, граница системы для оценки водного следа агрокультуры включает посев, посадку, возделывание и уборку.

Прямое использование воды включает воду для орошения (т.е. поверхностные и подземные воды), осадки и сточные воды, включая показатели качества воды, такие как биохимическая потребность в кислороде, химическая потребность в кислороде, взвешенные твердые частицы, общий азот и общий фосфор [36]. Объем орошения рассчитывается путем исключения значения эффективных осадков и воды для культивирования из суммарного испарения, рассчитанного Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) с использованием уравнения Пенмана – Монтейта [10, 41].

Непрямое использование воды рассчитывается путем умножения коллективной деятельности на коэффициенты безвозвратного водопользования отдельных видов деятельности. Коэффициенты безвозвратного водопользования конвертируются из национальной базы данных инвентаризации жизненного цикла продукции.

Техническая процедура измерения прямого количества воды для каждой культуры включает оценку суммарного испарения для каждой овощной культуры, расчет необходимой поливной воды и измерение прямого количества воды (рис. 2).

Эффективное количество осадков определяется в зависимости от разницы между общим количеством осадков и фактическим суммарным испарением. Его можно измерить непосредственно по климатическим параметрам и используемым запасам почвы. На уров-

не земли вода от эффективных дождевых осадков классифицируется как поверхностный сток и инфильтрация. Уравнение (1) рассчитывает эффективное количество осадков.

$$Re(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + ETc(t) \quad (1)$$

где: $Re(t)$ – эффективное количество осадков в t дней (мм), $D(t)$ – влажность почвы в t дней (мм), $D(t-1)$ – влажность почвы в $t-1$ дней (мм), $Req(t)$ – чистый полив за 1 день (мм), а $ETc(t)$ – потребление (или эвапотранспирация) культурой в момент t дней (мм).

Уравнения (2) и (3) показывают, если минимальное значение $D(t)$ меньше суммы $D(t-1)$ и $Re(t)$, поливная вода не требуется. Однако, если минимальное значение $D(t)$ больше суммы $D(t-1)$ и $Re(t)$, вычитают $ETc(t)$. Вода для орошения затем рассчитывается как сумма максимального значения $D(t)$ и $ETc(t)$ за вычетом суммы $D(t-1)$ и $Re(t)$.

$$If Dmin \leq D(t-1) + Re(t), Req(t) = 0 \quad (2)$$

$$If Dmin \geq D(t-1) + Re(t) - ETc(t), Req(t) = Dmax - D(t-1) - Re(t) + ETc(t) \quad (3)$$

Количество необходимой воды для орошения пересчитывается в количество поверхностных и грунтовых вод с учетом скорости потребления источником воды, потребляемой в каждом регионе. Преобразованное использование поверхностных и грунтовых вод переводится в прямое потребление воды путем умножения индекса нехватки воды на источник воды, разработанного с использованием метода следа нехватки воды. Токийский университет [22, 40] предлагает следующий индекс дефицита воды (табл. 2).

Водные следы могут указывать на потребление воды, определяемое как потеря воды из конкретного водосбора, например, из-за испарения или переноса в другие водосборные бассейны, по всей производственной цепочке в расчете на выход продукции [13]. В то время как традиционно основное внимание уделялось производителям сельскохозяйственной продукции и техническим аспектам ирригации и дренажа для уменьшения воздействия на ресурсы пресной воды, WF потенциально позволяют решать водные пробле-

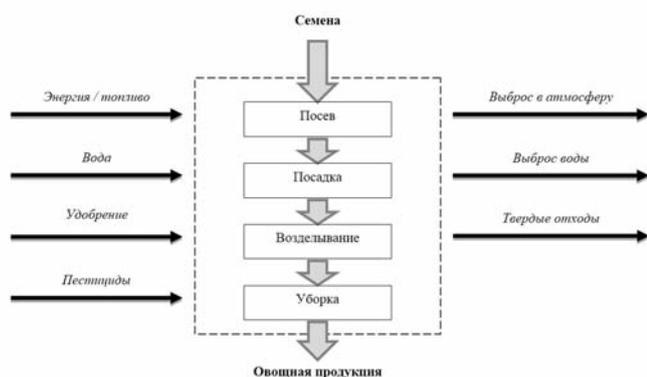


Рис. 1. Системные границы производства овощной продукции
Fig. 1. System boundaries of vegetable production



Рис. 2. Техническая процедура для прямого измерения количества воды для каждой овощной культуры
Fig. 2. Technical procedure for direct measurement of the amount of water for each vegetable crop

Таблица 2. Индекс дефицита воды по источникам воды [22,40]
Table 2. Index of water scarcity by water sources [22.40]

	Осадки Precipitation	Поверхностные воды : река Surface water: river	Поверхностные воды : резервуар Surface water: reservoir	Грунтовые воды Ground water
Индекс дефицита воды Water scarcity index	1.0	2.5	6.9	35.1

мы с помощью региональной торговой политики и отношения потребителей [7]. Учет WF также может предоставить показатели водопользования растениями в понятной форме, что может помочь фермерам улучшить управление водными ресурсами. Если WF могут быть созданы для ряда хорошо управляемых хозяйств, они могут служить ориентирами, которые могут использоваться другими фермерами для улучшения синего, зеленого и серого водного следа. Эффективное использование зеленой воды в сельском хозяйстве имеет существенное значение для минимизации использования ресурсов синей воды для орошения. Чрезмерное орошение нежелательно, поскольку может привести к заболачиванию, засолению почвы, загрязнению грунтовых вод, вымыванию питательных веществ и другим воздействиям на почву.

Однако расчет точных WF для короткосезонных овощных культур, таких как морковь, капуста, свекла столовая, брокколи и салат, представляет некоторые проблемы. Сроки посадки и вегетационные погодные условия влияют на результаты WF: объединение наборов данных о погоде, содержащих только показатели об осадках, минимальной и максимальной температуре, с наборами данных о солнечной радиации и скорости ветра, влияющими на модели овощных культур и результаты WF. Выбранная функциональная единица также может иметь большое влияние на результаты. Например, WF согласно подходу WFN, не учитывают растительные остатки, используемые для других целей, таких как компостирование и корм для животных. Использование выходов сухого вещества, а не свежей массы также влияет на показатели WF, что затрудняет сравнение. Чтобы преодолеть это, использование питательной ценности овощных культур в качестве функциональной единицы может напрямую связать использование воды с потенциальными выгодами, получаемыми от различных культур, и позволить более простые сравнения. Серый WF на основе азота не учитывает загрязнение воды, вызванное фосфатами, пестицидами и засолением. Недостаточное понимание роли азота затрудняет оценку азотных нагрузок на водоносный горизонт [19].

Проведен ряд исследований WF для различных культур, например, WFN рассчитала WF для нескольких культур из глобальных баз данных [26]. WF рассчитывали для выращивания капусты, томата, шпината и бобов, культивируемых мелкими фермерскими хозяйствами при различных схемах орошения [29]. WF потенциально могут быть полезным инструментом для количественной оценки прямого и косвенного водопользования, причем его гибкость особенно выгодна, поскольку можно применять к различным организациям, включая продукты, потребителей, предприятия и водосборные бассейны [32]. WF полезны для оценки использования воды с точки зрения экономической

выгоды и создания рабочих мест [31], а также для информирования разработчиков политики с целью улучшения устойчивого развития [30]. Подчеркнута важность вычисления WF с локальными данными и интерпретации WF в локальном контексте [29, 35].

WF рассчитывают согласно подходу WFN, как указано в уравнениях (4) и (5) соответственно [13]:

$$\text{След голубой воды} = \frac{\min(ETc, Irr)}{\text{Урожайность}} \quad (4)$$

$$\text{Экологический водный след} = \frac{[ETc - \min(ETc, Irr)]}{\text{Урожайность}} \quad (5)$$

где: ETc - суммарное испарение культурой (мм), Irr (мм) – норма общего полива от посадки до сбора урожая.

Сельскохозяйственная деятельность обычно связана с загрязнением воды из-за используемых пестицидов, удобрений и других агрохимикатов, которые можно экспортировать в водоемы. Загрязнение азотом (N) и фосфором (P) от сельского хозяйства привлекло большое внимание из-за хорошо известной роли, которую эти питательные вещества играют в эвтрофикации поверхностных водных ресурсов [6]. Хотя эвтрофикация может не стать проблемой, если N или P являются ограничивающими, важно минимизировать количество N и P, попадающих в поверхностные и подземные водные ресурсы. В водной экосистеме, где контролируются только уровни фосфора, избыток азота все же может привести к эвтрофикации водных ресурсов ниже по течению, включая эстуарии и прибрежные морские экосистемы [6]. Следовательно, при вычислении серого WF следует учитывать как N, так и P. Неорганический азот обычно более подвижен в почве, чем фосфат, поскольку фосфор адсорбируется на частицах глины [38]. Загрязнение азотом может также косвенно мобилизовать P за счет окисления геологических отложений пирита и увеличения уровней сульфатов, которые вступают в реакцию с соединениями железа, вызывая высвобождение и мобилизацию адсорбированного P, потенциально вызывая эвтрофикацию [38]. Азот также является наиболее распространенным сельскохозяйственным загрязнителем, который использовался для расчета серого WF [5,25-27], что позволяет проводить сравнения с широким спектром других исследований WF, описанных в литературе.

Серый WF определяют с использованием уравнения (6), полученного WFN [13] как:

$$\text{След серой воды} = \frac{N \text{ нагрузк}}{C_{\max} - C_{\text{nat}}} \cdot FW^{-1} \quad (6)$$

где: C_{\max} и C_{nat} – максимальная и естественная фоновая концентрация загрязняющего вещества, соответ-

ственно. За Стах приняты общие нормативы азота в сточных водах 15 мг/л. C_{nat} – это концентрация азота в воде при отсутствии человеческого фактора.

Водоносный горизонт имеет очень низкие концентрации N, в среднем 0,3 мг/л, и поэтому не отражает ожидаемого воздействия сельскохозяйственной деятельности. Таким образом, средние естественные концентрации азота в водоносном горизонте считаются отражающими естественные условия, несмотря на возможные воздействия от сельскохозяйственной деятельности, и принимают за C_{nat} .

Нагрузка азота, которая просачивается в водоносный горизонт, определяют путем оценки излишка азота, внесенного на посевах, вместе с коэффициентом стока выщелачивания в соответствии с методом, приведенным в Руководстве Gray WF [9]. Чтобы определить избыток азота, содержание азота в собранном продукте (представляет собой часть азота, которая поглощается растением и удаляется с поля) вычитают из дозы внесенного азота для формирования урожая.

Расчетный глобальный водный след (зеленый + синий) колеблется от 5938 до 8508 км³/год (табл. 3). Прогнозируется, что водный след увеличится на 22% из-за изменения климата и изменения землепользования к 2090 году. Примерно 57% глобального голубого водного следа нарушают требования к экологии, что

необходимы действия по повышению устойчивости водных ресурсов и защите зависимых от них экосистем. Некоторые из мер включают повышение продуктивности воды, установление контрольных показателей, установление пределов водного следа для каждого речного бассейна, перевод рациона питания на продукты с низким потреблением воды и сокращение пищевых отходов.

В таблице 4 приведены примеры расчетных среднемировых водных следов овощной продукции. Средний глобальный водный след для томата свежего составляет 214 л/кг, капусты кочанной – 237, салата – 238, огурца и тыквы – 353, томата сушеного – 4275 л/кг продукции.

Увеличение WF для овощных культур имеет следующий ряд в порядке уменьшения: зеленый > серый > синий (табл. 5). Высокий зеленый или общий (зеленый + синий) WF может указывать на то, что овощные культуры имеют низкую урожайность или неэффективно используют воду. Низкий зеленый и высокий синий WF указывает на неэффективное использование дождевой воды, что может привести к чрезмерной эксплуатации поверхностных и грунтовых вод [26].

Функциональную единицу определяют, как «количественное описание качества обслуживания (удовлетворенных потребностей) исследуемой продуктовой

Таблица 3. Оценка потребляемого водного следа (WF) мирового растениеводства
Table 3. Estimates of the consumed water footprint (WF) of world crop production

Ссылка Reference	Годы Years	Продукт Product	Глобальный водный след, связанный с производством сельскохозяйственных культур (км ³ /год) Global water footprint associated with crop production (km ³ / year)		
			зеленый green	синий blue	всего total
[13]	1997–2001	164 отдельных культур	5330	1060	6390
[37]	1998–2002	20 отдельных культур и 6 основных групп	5505	1180	6685
[11]	1985–1999	Предполагается, что один основной урожай в системе	5550	1530	7080
[8]	1998–2002	12 функциональных типов культур	6000	923	6923
[26]	1996-2005	164 отдельных культур	5771	899	6670
[34]	1971-2000	12 функциональных типов культур	7250 1	600–1258	7850–8508 1
[14]	1971-2000		4887	1121	6008
	2071-2099	12 категорий культур	5440	1909	7349

¹ Суммарная эвапотранспирация с пахотных земель, включая межвегетационный период.

¹ Total evapotranspiration from arable land, including the non-growing season.

Таблица 4. Средний глобальный водный след овощной продукции
Table 4. Average global water footprint of vegetable products

Vegetable products Овощная продукция	Средний глобальный водный след, л/кг Average global water footprint, l/kg
Капуста кочанная Cabbage	237
Огурец Cucumber	353
Салат Lettuce	238
Тыква Pumpkin	353
Томат свежий Fresh tomato	214
Томат сушеный Dried tomato	4275

Таблица 5. Синий, зеленый и серый WF свежей массы в качестве функциональной единицы при выращивании овощных культур [26]
 Table 5. Blue, green and gray WF of fresh mass as a functional unit in the cultivation of vegetable crops [26]

Культура crop	WF (м ³ /т)			
	синий blue	зеленый green	синий + зеленый blue + green	серый grey
Морковь столовая	28	106	134	61
Капуста кочанная	26	181	207	73
Свекла столовая	26	82	108	25
Брокколи	21	189	210	75
Салат	28	133	161	77

Таблица 6. Связь между плотностью питательных веществ и водным следом собранного урожая овощей [24]
 Relationship between nutrient density and water footprint of harvested vegetables [24]

Культура crop	Плотность питательных веществ Nutrient Density Score (NDS)	Зеленый-синий средний глобальный водный след (м ³ /т) Green-Blue Global Water Footprint Average (m ³ /ton)	Примечания относительно средних значений Notes on Averages
Шпинат Spinach	100.00	132	Считается темно-зеленым листовым овощем
Салат Lettuce	81.14	161	NDS - среднее значение для разновидностей
Капуста цветная Cauliflower	58.68	211	
Чили и перец, зеленые Chilies and peppers, green	56.56	282	NDS - среднее значение для разновидностей
Капуста белокочанная Cabbages	48.25	208	
Спаржа Asparagus	47.10	1643	
Окра Okra	42.32	511	
Томат Tomatoes	37.00	171	
Морковь Carrots	36.94	134	Богат витамином А
Тыква, кабачок Pumpkins, squash	28.41	252	NDS - среднее количество для разновидностей; оранжевая или темно-пожелтевшая мякоть, богатая витамином А
Фасоль, зеленая Beans, green	25.50	374	Съедобная часть - бобы
Горох, зеленый Peas, green	24.97	446	Предполагается, что едят бобы с семенами
Артишок Artichokes	18.44	720	
Огурец и корнишон Cucumbers and gherkins	15.74	249	
Баклажан Eggplants	12.34	267	
Лук и шалот, зеленый Onions and shallots, green	10.25	221	NDS - среднее значение для лука и шалота

системы». Функциональной единицей овощных культур, например, может быть урожай или их функция, например, пищевая ценность [33]. Несмотря на обычное использование урожая в качестве функциональной единицы, его критиковали за то, что он не является наиболее подходящим, поскольку культуры имеют разное содержание влаги и могут обеспечить потребителю определенную питательную ценность, которая не обязательно коррелирует со свежей массой [15]. Из-за различий в содержании воды, некоторые культуры имеют непропорционально высокий WF, если используется урожай в свежей массе, но если урожай в сухом веществе используется для этих культур, WF становится относительно низким.

Использование питательной ценности овощных культур в качестве функциональной единицы может быть полезным, поскольку использование воды напрямую связано с определенной пользой, получаемой от урожая. Следовательно, водные следы также были представлены в виде отдельных питательных веществ, необходимых человеку в день [23]. Необходимые питательные вещества как функциональная единица сложны, потому что задействовано большое количество переменных, таких как: различные WF для каждого вегетационного периода; различия в рекомендуемой диете в зависимости от пола и возраста человека; различные питательные вещества, которые содержит овощная продукция.

Хотя WF могут предоставить очень полезную информацию в контексте овощеводства, все еще существуют проблемы, связанные с расчетом WF, интерпретацией информации и пониманием ограничений информации, которые необходимо учитывать. В ряде исследований в литературе сообщается о различных WF из-за пространственных и годовых изменений погодных условий [28, 39]. Отмечено, что межгодовые колебания синего, зеленого и серого WF при производстве кукурузы в Китае связаны с изменением климата и методами управления сельским хозяйством [39]. Голубой WF увеличился, а зеленый WF уменьшился как в результате более засушливого климата, так и в результате интенсификации сельскохозяйственных затрат. Сообщается об увеличении зеленого WF с высоким уровнем осадков и увеличении синего WF с низким уровнем осадков и более высокими температурами [28].

Оценка плотности питательных веществ (NDS) служит эффективным индикатором для измерения вклада выбранной культуры в рацион человека. Связь между плотностью питательных веществ и водным следом собранного урожая овощей, богатых витамином А, представлена в табл. 6. Среди овощей шпинат является рентабельным: NDS - 100,00, водный след - 132 м³/т. В целом, NDS для овощей составляет 36,94, а водный след - 249 м³/т [24].

Заключение

Водный след (WF) представляет собой объем воды, потребляемой при производстве продуктов питания, разделенный по источникам воды; синий WF представляет использование грунтовых и поверхностных вод, а зеленый WF - использование дождевой воды. Информация о WF может информировать сельхозпроизводителей о необходимости выращивать

менее влаголюбивые овощные культуры или менеджеров водных ресурсов, чтобы ограничить урожай определенных культур в засушливые годы или месяцы. Однако этот метод усложняется в контексте овощеводства из-за межсезонных и межгодовых колебаний WF, важности местных параметров овощных культур и потребности в полных данных о погоде. Такие культуры, как брокколи, с низким индексом урожайности будут иметь высокий WF, не представляющий того, как остатки растений потенциально могут использоваться для других полезных целей, таких как компостирование и корм для животных. Водные следы, рассчитанные с использованием свежей массы, как функциональная единица приводит к высоким WF сельскохозяйственных культур с низким содержанием воды, таких как кукуруза и пшеница, по сравнению с культурами с высоким содержанием воды, такими как овощные культуры. Если WF рассчитываются с использованием сухого вещества, высокие WF кукурузы и пшеницы становятся более похожими на WF овощных культур. Использование альтернативных функциональных единиц, таких как содержание питательных веществ, потенциально предоставляет более значимую информацию, которая позволяет менеджерам принимать более обоснованные решения относительно управления и распределения воды на овощных культурах.

Учитывая все потребности сельского хозяйства в воде, существуют более устойчивые методы ведения сельского хозяйства, которые стремятся учитывать водосбережение, что может сделать фермы более устойчивыми к водным проблемам, таким как засуха и конкуренция за водные ресурсы. Регенеративное сельское хозяйство, пермакультура и органическое земледелие нацелены на разумное использование ресурсов для улучшения качества и продуктивности почвы, чтобы она сохраняла влагу, сводя к минимуму потребность в чрезмерном орошении. Подходы к управлению сельским хозяйством, такие как мульчирование, применение навоза или консервативная обработка почвы могут сохранять или повышать органическое вещество, тем самым увеличивая его способность удерживать воду и уменьшить суммарное испарение. Последние технологические достижения в области гидропоники, аквапоники, аэропоники и вертикального земледелия позволяют очень эффективно выращивать овощную продукцию, сводя к минимуму использование воды в различных местах. Хотя ни один из методов ведения сельского хозяйства не является идеальным, все они могут работать вместе для создания местных и региональных продовольственных систем, повышающих устойчивость сельского хозяйства.

Температура воздуха, ветер и качество почвы резко изменяют количество воды, необходимое для выращивания овощных культур. Поскольку изменение климата меняет погодные условия, а водные ресурсы становятся более уязвимыми, вполне вероятно, что модели производства продуктов питания также должны будут измениться. Если эти изменения произойдут, вся инфраструктура продовольственной системы также должна будет адаптироваться.

Об авторах:

Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник отдела технологий и инноваций,
<https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Александр Михайлович Меньших – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и инноваций,
<https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, soulsunnet@gmail.com

Мария Ивановна Иванова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

About the authors:

Alexander Yu. Fedosov – Junior Researcher, Technology and Innovation Department,
<https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Alexander M. Mentshikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Technology and Innovation Department,
<https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, soulsunnet@gmail.com

Maria I. Ivanova – Doc. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Breeding and Seed Production, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

• Литература / References

1. Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Иванова М.И., Мещерякова Р.А., Разин О.А., Сурихина Т.Н., Лебедева Н.Н. Нормативно-правовое обеспечение рынка органической продукции (в мире, странах ЕАЭС, России). *Овощи России*. 2021;(1):5-19. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-5-19> [Pivovarov V.F., Razin A.F., Ivanova M.I., Meshcheryakova R.A., Razin O.A., Surikhina T.N., Lebedeva N.N. Regulatory support for the organic market (in the world, EAEU countries, Russia). *Vegetable crops of Russia*. 2021;(1):5-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-5-19>]
2. Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Мещерякова Р.А., Шатилов М.В., Иванова М.И., Тактарова С.В., Разин О.А. Экономика овощеводства: состояние и современность. *Овощи России*. 2018;(5):63-68. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-63> [Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Razin A.F., Meshcheryakova R.A., Shatilov M.V., Ivanova M.I., Taktarova S.V., Razin O.A. The economy of vegetable growing: the state and the present. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(5):63-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-63-68>]
3. Солдатенко А.В., Разин А.Ф., Пивоваров В.Ф., Шатилов М.В., Иванова М.И., Россинская О.В., Разин О.А. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России. *Овощи России*. 2019;(2):9-15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15> [Soldatenko A.V., Razin A.F., Pivovarov V.F., Shatilov M.V., Ivanova M.I., Rossinskaya O.V., Razin O.A. Vegetables in the system of ensuring food security of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(2):9-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15>]
4. Cassidy E.S., West P.C., Gerber J.S., Foley J.A. Redefining agricultural yields: From tonnes to people nourished per hectare. *Environ. Res. Lett.* 2013;(8):034015.
5. Chapagain A., Hoekstra A. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecol. Econ.* 2011;(70):749–758.
6. Conley D.J., Paerl H.W., Howarth R.W., Boesch D.F., Seitzinger S.P., Karl E., Lancelot C., Gene E. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*. 2009;(123):1014–1015.
7. Deurer M., Green S.R., Clothier B.E., Mowat A. Can product water footprints indicate the hydrological impact of primary production? - A case study of New Zealand kiwifruit. *J. Hydrol.* 2011;(408):246–256.
8. Fader M., Gerten D., Thammer M., Heinke J., Lotze-Campen H., Lucht W., Cramer W. Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2011;(15):1641–1660.
9. Franke N.A., Boyacioglu H., Hoekstra A.Y. Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting Guidelines; Value of Water Research Report Series No. 65; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 2013.
10. Ghufuran M.A., Batoal A., Irfan M.F., Butt M.A., Farooqi A. Water footprint of major cereals and some selected minor crops of Pakistan. *J. Water Resour. Hydraul. Eng.* 2015;(4):358–366.
11. Hanasaki N., Inuzuka T., Kanae S., Oki T. An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological mode. *J. Hydrol.* 2010;(384):232–244.
12. Harris F., Moss C., Joy E.J.M., Quinn R., Scheelbeek P.F.D., Dangour A.D., Green R. The Water Footprint of Diets: A Global Systematic Review and Meta-analysis. *Advances in Nutrition*. 2020;11(2):375–386. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz091>.
13. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2011.
14. Huang Z., Hejazi M., Tang Q., Vernon C.R., Liu Y., Chen M., Calvin K. Global agricultural green and blue water consumption under future climate and land use changes. *J. Hydrol.* 2019;(574):242–256.
15. Ingwersen W.W. Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Ric. *J. Clean. Prod.* 2012;(35):152–163.
16. ISO. ISO 14044:2006: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines; ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
17. ISO. ISO 14046:2014: Life Cycle Assessment-Water Footprint-Principles, Requirements and Guidelines; ISO: Geneva, Switzerland, 2014.
18. Jefferie D., Muñoz I., Hodges J., King V.J., Aldaya M., Ercin A.E., Canals L.M., Hoekstra A.Y. Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *J. Clean. Prod.* 2010;(33):155–166.
19. le Roux B., van der Laan M., Vahrmeijer T., Annandale J.G., Bristow K.L. Estimating Water Footprints of Vegetable Crops: Influence of Growing Season, Solar Radiation Data and Functional Unit. *Water*. 2016;(8):473; doi:10.3390/w8100473.
20. Liu W., Yang H., Liu Y., Kumm M., Hoekstra A.Y., Liu J., Schulin R. Water resources conservation and nitrogen pollution reduction under global food trade and agricultural intensification. *Sci. Total Environ.* 2018;(633):1591–1601.
21. Liu W., Antonelli M., Kumm M., Zhao X., Wu P., Liu J., Zhuo L., Yang H. Savings and losses of global water resources in food-related virtual water trade. *WIREs Water*. 2019;(6):e1320.
22. Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M. Water footprint of crop productions: A review. *Sci. Total Environ.* 2016;(548–549):236–251.
23. Mahan L.K., Escott-Stump S. Krause's Food, Nutrition, & Diet Therapy, 11th ed.; Elsevier: New York, NY, USA, 2004.
24. Mekonnen M.M., Gerbens-Leenes W. The Water Footprint of Global Food Production. *Water*. 2020;(12):26-96.
25. Mekonnen M., Hoekstra A. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2010;(14):1259–1276.
26. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2011;(15):1577–1600.
27. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*. 2012;(15):401–415.
28. Multsch S., Pahlow M., Ellensohn J., Michalik T., Frede H.-G., Breuer L. A hotspot analysis of water footprints and groundwater decline in the high plains aquifer region, USA. *Reg. Environ. Chang.* 2016.
29. Nyambo P., Wakindiki I.I. Water footprint of growing vegetables in selected small-holder irrigation schemes in South Africa. *Water SA*. 2015;(41):571–578.
30. Pahlow M., Snowball J., Fraser G. Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. *Water SA*. 2015;(41):300–313.
31. Pegasys. Water Footprint Analysis for the Breede Catchment, South Africa Draft Report; Breede Overberg Catchment Management Agency: Cape Town, South Africa, 2012.
32. Ranchod N., Sheridan C.M., Pint N., Slatter K., Harding K.G. Assessing the blue-water footprint of an opencast platinum mine in South Africa. *Water SA*. 2015;(41):287–293.
33. Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W.-P., Suh S., Weidema B.P., Pennington D.W. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ. Int.* 2004;(30):701–720.
34. Rost S., Gerten D., Bondeau A., Lucht W., Rohwer J., Schaphoff S. Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resour. Res.* 2008;(44):W09405. DOI:10.1029/2007WR006331
35. Scheepers M.E., Jordaan H. Assessing the blue and green water footprint of lucerne for milk production in South Africa. *Sustainability*. 2016;8(1), 49. <https://doi.org/10.3390/su8010049>.
36. Serio F., Miglietta P.P., Lamastra L., Ficocelli S., Intini F., De Deo F., De Donno A. Groundwater nitrate contamination and agricultural land use: A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy). *Sci. Total Environ.* 2018;(645):1425–1431.
37. Siebert S., Döll P. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *J. Hydrol.* 2010;(384):198–217.
38. Smolders A.J., Lucassen E.C., Bobbink R., Roelofs J.G., Lamers L.P. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: The Sulphur bridge. *Biogeochemistry*. 2010;(98):1–7.
39. Sun S., Wu P., Wang Y., Zhao X. Temporal variability of water footprint for maize production: The case of Beijing from 1978 to 2008. *Water Resour. Manag.* 2013;(27):2447–2463.
40. Yang M., Guan X., Liu Y., Cui J., Ding C., Wang J. Effects of drip irrigation pattern and water regulation on the accumulation and allocation of dry matter and nitrogen, and water use efficiency in summer maize. *Acta Agron. Sin.* 2019;(45):443–459.
41. Zhuo L., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. Sensitivity and Uncertainty in Crop Water Footprint Accounting: A Case Study for the Yellow River Basin; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 2013.