

. . .

### Rezumat

Un rol deosebit în aprovizionarea plantelor cu apă revine depunerilor atmosferice, ponderea cărora în lipsa irigației a constituit 83%. Coeficientul de utilizare a apei variază într-un diapazon larg și depinde de particularitățile biologice ale soiurilor, condițiile climatice, rezervele de umiditate, cantitatea de apă administrată în procesul de irigare și capacitatea de infiltrare a solului. Pentru obținerea unei tone de fructe marfă de tomate în condiții fără irigare s-au consumat 86 m<sup>3</sup> de apă. Majorarea nivelului de aprovizionare cu apă de la 70 la 80% din umiditatea efectivă a câmpului a sporit consumul de apă cu 30-40 m<sup>3</sup>/t de producție, reducând eficacitatea apei la irigare. Simularea virtuală reprezintă un mod avantajos de cercetare, înlesnește procesarea rezultatelor factologice, cunoștințelor acumulate și utilizarea acestora în sintetizarea măsurilor agrotehnice.

*Cuvinte cheie:* sol – umiditate – irigare – plantă – tomate – condiții climatice

*Depus la redac ie 17 septembrie 2012*

-----  
*Adresa pentru coresponden :* Botnari Vasile, Institutul de Genetică și Fiziologie a Plantelor al Academiei de Științe a Moldovei, str. Pădurii, 20, MD-2002 Chișinău, Republica Moldova, e-mail: *asm\_igfp@yahoo.com, vasilebotnari@yahoo.com*, tel. (+373 22) 770447

Источником развития аграрной науки служит непрерывное взаимодействие между экспериментом и гипотезами, наблюдениями и теорией, неизменно сопровождающееся ростом точности, обобщенностью и глубиной научных выводов. Используя достижения физики, математики, химии, молекулярной биологии, физиологии и биохимии растений, мы можем по-новому, на качественно более высоком уровне, анализировать современное состояние дел в разработке агротехнологии, а также определить основные направления научного поиска с целью совершенствования наших знаний и их использования для решения прикладных задач. Особое место в этом направлении принадлежит математическому моделированию продукционного процесса в посевах сельскохозяйственных культур, способного интегрировать накопленные в различных отраслях науки знания для выработки и поддержки агротехнологических решений [13, 14, 16, 17, 18]. Обоснованное применение результатов экспериментальных исследований для идентификации параметров моделей представляет такой же исследовательский процесс, как и полевой эксперимент или разработка модели. Практика показывает, что для надежной идентификации модели продукционного процесса растений (ППР) необходимо затратить значительно больше труда, чем на разработку самой модели. Иногда для полной идентификации моделей с целью получения дополнительных данных, как было и в наших исследованиях, необходимо провести специальные опыты. Принципы и методы, используемые при идентификации модели формирования урожая сельскохозяйственных культур, изложены в работах [2, 3, 13, 14, 16].

Количество моделей ППР, фигурирующих в настоящее время в сфере исследования, велико и продолжает расти, К тому же разные группы исследователей, описывая один и тот же процесс, преследуя при этом одни и те же цели, применяют разные методы. Экзогенные коэффициенты, фигурирующие в одних моделях, даже если они имеют одну и ту же содержательную формулировку, часто являются разными величинами, определяемыми своим набором факторов, что в значительной степени затрудняет их применение в других моделях. В существующих моделях ППР нелегко разобраться. Использование модели вне коллективов, их разработчиков, довольно проблематично, иногда легче разработать новую модель, чем приспособить уже разработанную [14], даже если она частично идентифицирована. Учитывая, что овощные культуры возделываются, в основном, в условиях орошения, мы считаем, что для контроля и управления водным режимом почвы и процессами формирования урожая целесообразно разработать единую методологию моделирования и базовую модель с последующей ее адаптацией, идентификацией и верификацией с учетом биологических и технологических особенностей овощных культур.

В основу исследований положено комплексное обобщение технологических и биолого-агрометеорологических экспериментов, проведенных на культуре безрассадных томатов. Опыты проводились в юго-восточной зоне Республики Молдова. Определение норм и сроков полива проводили на основании данных термостатно-весового метода путем взятия образцов почвенных компартментов через 10 см. В последующем накопленный нами фактологический материал был использован для создания банка данных влажности почвы и идентификации параметров модели. Гидрологические константы опытного участка изложены в предыдущей работе [11], количество выпавших осадков учитывали дождемером Третьякова, а нетто оросительной воды - по поливным нормам.

Идентификация параметров имитационной модели и возможности управления водным режимом и процессами роста растений осуществлены на основании данных многофакторных полевых опытов. Для идентификации блока влажности применен ряд констант, независимых от вида культуры и географического местоположения. Часть из них заимствована из литературных источников, другая - получена в процессе обработки данных полевых опытов, которые изложены нами в предыдущих сообщениях [7, 8, 9, 10, 11].

е

Среди показателей влагопереноса в системе «почва-растение-атмосфера» (ПРА) особый интерес вызывает режим влажности почвы, представляющий собой совокупность всех количественных и качественных изменений составляющих водного баланса в пространстве и времени [19].

На участке без орошения влажность почвы во многом определялась погодными условиями и варьировала в довольно широких пределах - от полного насыщения до значений, близких к влажности завядания, тогда как на участках с предполивными режимами 70 и 80% от наименьшей влагоемкости (НВ) влажность почвы не опускалась ниже заданных пределов. В начальные фазы

развития растений томатов запасы влаги в почве определялись, главным образом, количеством осадков, выпавших в осенне-зимний и весенний периоды, которые в условиях Молдовы составляют более трети их годового количества. Хотя, как отмечают другие авторы [1, 6], и в холодное время года из почвы на испарение расходуется 40-50 мм воды.

По многолетним данным, в условиях Республики Молдова на начало вегетации безрассадных томатов и других овощных культур запасы продуктивной влаги в метровом слое обыкновенного чернозема составляют 140-180 мм или 90-97% от НВ (обеспеченность 70-80%). Вместе с тем, в отдельные годы запасы влаги в верхнем слое почвы недостаточны для получения дружных и жизнеспособных всходов. По этой причине посев томатов в открытый грунт рекомендуем проводить как можно раньше, при первой же возможности выхода в поле (первая декада апреля), несмотря на то, что в это время, как правило, температура почвы достигает всего лишь 4-6°C, что далеко от биологического минимума (12,5°C), необходимого для прорастания семян.

В проведенных нами полевых опытах на момент посева безрассадных томатов влажность почвы в верхнем слое складывалась по-разному в зависимости от количества выпавших осадков и условий года. Характерной особенностью динамики влажности почвы при возделывании томатов в безрассадной культуре явилось то, что до фазы массового плодообразования во все годы исследования она не опускалась ниже 80% от НВ в слое 0-50 см. В связи с этим первый полив проводили не зависимо от условий года на 26-28 день после появления всходов. Начало проведения поливов и межполивные периоды определялись в основном режимом орошения, количеством и сроком выпадения осадков. На участке с предполивной влажностью 70% от НВ первый полив проводили в зависимости от условий года на 2-3 недели позже, чем на участке с предполивной влажностью 80% от НВ. Для поддержания предполивной влажности в 0-50 см слое почвы на уровне 70% от НВ в зависимости от климатических условий в разные годы проводили от двух до трех поливов нормой 40-45 мм/га, а на уровне 80% от НВ - 4-5 поливов нормой 35-38 мм. По средним за годы исследований данным, суммарное водопотребление на участке с поливным режимом 70% от НВ составило 366 мм, а на режиме 80% от НВ - 435 мм, что соответственно в 1,2 и 1,4 раза больше, чем на участке без орошения. Решающая роль в обеспечении растений влагой принадлежит осадкам, доля которых составила 83% на участке без орошения и 60% на участке с предполивным режимом 80% от НВ (таблица 1).

В результате анализа и обобщения фактологического материала было установлено, что режим влажности почвы в значительной степени связан с составляющими теплового баланса [8, 9], а именно, запасы влаги (W) в почве находятся в прямой зависимости от затрат тепла на испарение (LE). Корреляционная связь между этими показателями аппроксимируется уравнениями:

$$W = 64,6 + 5,89 LE \quad (1)$$

$$W = 128,9 - 12,8 \frac{0,76}{P} \quad (2)$$

## 1.

		-		-		, %			-
		,		,					
		мм	сум- мар- ное	сре- дне- суто- чное	оса- дки	полив- ная вода	почвен- ная влага		
						%	мм		
	262	0	316	2,2	83	0	17	54	86
<b>70%</b>	262	86	366	2,6	72	23	5	18	47
<b>80%</b>	262	178	434	3,0	60	41	-1	-4	56

Основная часть водного баланса - суммарное испарение (E) существенно изменялось под влиянием погодных условий и носило вполне закономерный характер по периодам роста и развития растений. В начале вегетации, когда растения имели небольшую листовую поверхность, а основная часть поверхности почвы была оголена, интенсивность испарения была относительно невысокая - 1,6-2,5 мм/сут. По мере увеличения площади листовой поверхности и высоты растений, а также возрастания температуры воздуха, интенсивность данного показателя возрастала. Во время цветения томатов суммарное испарение достигало 3,2 мм/сут., а плодообразования - 3,6 мм/сут. В период созревания плодов интенсивность испарения уменьшалась на 1,1-1,6 мм/сут. Влияние метеорологических факторов на интенсивность испарения в посевах томатов приведено в таблице 2.

В начале вегетации томатов на орошаемом участке динамика суммарного испарения во многом сходна с таковой на неорошаемом. Наиболее существенная разница этого показателя установлена в фазе интенсивного формирования плодов. В этот период на участке с предполивным режимом влажности 80% от НВ величина E возрастала до 4,6-5,2 мм/сут., тогда как в начале и в конце вегетации разница между величинами суммарного испарения орошаемого и неорошаемого участков не превышала 0,3-0,4 мм/сут.

В среднем за период вегетации томатов, возделываемых безрассадным способом, суммарное испарение на орошаемом участке (80% от НВ) было на 0,5 мм/сут. выше в сравнении с неорошаемым. С экологической и экономической точек зрения особый интерес представляет оценка эффективности использования воды растениями, рациональность использования которой определяют с помощью коэффициента суммарного испарения к величине урожая (Y):

$$K_B = \frac{E}{Y} \quad (3)$$

Коэффициент водопотребления ( $K_B$ ) колеблется в широких пределах и зависит от биологических особенностей отдельных сортов и условий года, запасов влаги в почве, количества оросительной воды и величины инфильтрации [20].

Согласно нашим исследованиям, на формирование одной тонны стандартных плодов томата на участке без орошения расходовалось 86 м<sup>3</sup>, тогда как на режиме с предполивной влажностью 70% от НВ - 47 м<sup>3</sup> воды (таблица 1).

2.

( ),

	-	- ,%		
=-834,9+2,66 - 0,7 <sub>1</sub>	0,99	8-10	1240-5600 м <sup>3</sup> /га	Сумма температур - 900-2130°C Сумма дефицитов - 440-1220 мб
=-1806,6+3,94 <sub>2</sub> +5,26 <sub>1</sub>	0,95	8-12	900-5500 м <sup>3</sup> /га	Сумма ФАР - 190-270 млн.кКал/га Сумма дефицитов - 433-1213 мб
=-1220,8+4,5 <sub>3</sub> +4,7 <sub>1</sub>	0,99	6-8	1500-4320м <sup>3</sup> /га	Сумма ФАР - 60-235 млн.кКал/га Сумма дефицитов - 390-1213 мб
=2,34 - 820,7	0,99	6-7	1900-5230м <sup>3</sup> /га	Сумма температура 990-2200°C
=4,75 <sub>1</sub> - 469,4	0,95	4-6	1430-1900м <sup>3</sup> /га	Сумма дефицитов - 500-1200 мб

: - ,<sup>3/</sup> ; - ,<sup>0</sup> ;  
1 - , ; 2 - , . / ;  
3 - , . / .

Повышение уровня водообеспеченности с 70 до 80% от НВ увеличивало водопотребление на 30-40 м<sup>3</sup> на тонну продукции, тем самым снижало эффективность использования оросительной воды. Сопоставление фактических данных полевых опытов и численных экспериментов, проведенных с помощью моделей, показало, что имитационная модель адекватно реагирует на поступление влаги в почву за счет атмосферных осадков и вегетационных поливов, достоверно отражает динамику изменений запасов влаги в расчетном слое почвы. Погрешность рассчитываемых влагозапасов в условиях орошения не превышает 2-3% в период появления всходов, 3-6% - цветения и 7-12% в период формирования и созревания плодов. Без применения орошения отклонения расчетных параметров от экспериментальных были более существенны и составили 12-19% (рис.1).

Идентификация биологических параметров модели осуществлена на основании данных фенологических наблюдений и биометрических измерений в посевах томата. Результаты наблюдений за динамикой развития томата в зависимости от уровня водообеспеченности приведены в таблице 3.

Установлено, что в начальные фазы развития растений томата листовая поверхность растет экспоненциально, по мере роста и ветвления главного стебля

одновременно увеличивается и число листьев и их размеры. В фазе 4-5-ти листьев она составила 0,7 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, 7-ми – 1,6, а в начале плодообразования – 2,4 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Максимальное значение листового индекса (5,8 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>) отмечено в период формирования плодов.

3.

			70%		80%	
	19.04	19.04	19.04	19.04	19.04	19.04
	9.05	14.05	9.05	14.05	9.05	14.05
<b>4-3</b> ( )	20.05	22.05	20.05	27.05	20.05	27.05
<b>7-8</b> ( )	30.05	6.06	30.05	6.06	29.05	4.06
	6.06	17.06	6.06	17.06	8.06	20.06
	19.06	21.07	23.06	27.07	23.06	30.07
	2.08	24.08	6.08	28.08	18.08	5.09

: 1 -

(25%); 2 -

(75%).

В дальнейшем, в результате старения листьев различных ярусов, начиная с основания, наблюдается постепенное уменьшение ассимиляционной поверхности и фотосинтетической активности. Динамика развития которого, рассчитанная с помощью модели, показана на рисунке 2.

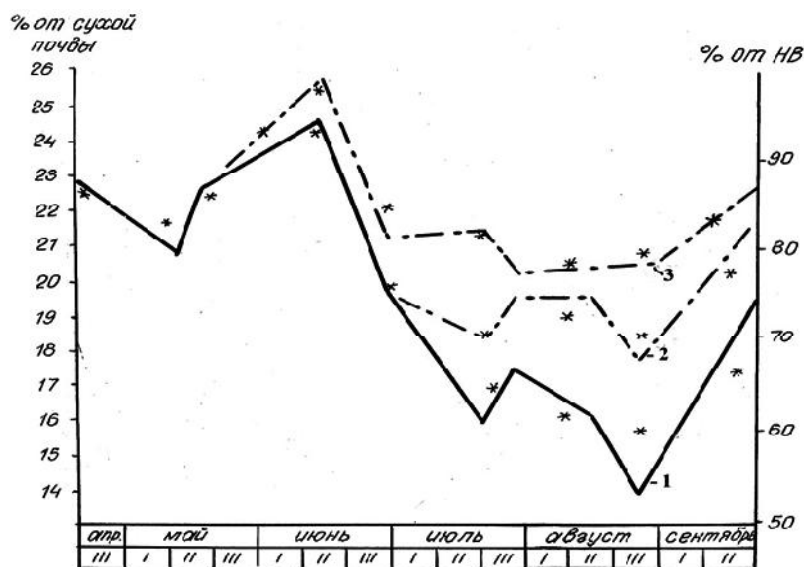
Поливы оказывают существенное влияние на процесс фотосинтеза. У растений томатов в этом отношении наблюдается следующая закономерность: если перед поливом влажность почвы опускается ниже допустимого уровня (то есть ниже 70% от НВ), то в этом случае поливы способствуют повышению активности фотосинтеза и ее нарастанию на протяжении 3-4 дней. Проведение поливов при более высоких показателях влажности в отдельных случаях вызывает даже некоторое снижение интенсивности фотосинтеза.

Значения продуктивности транспирации в течение 2-3 дней после полива, как правило, бывают более низкими, чем до полива, то есть, в эти дни растения менее эффективно используют воду. Вот почему при разработке режимов орошения необходимо стремиться к снижению числа поливов, так как это полезно не только с точки зрения экономного использования поливной воды, но и для самих растений.

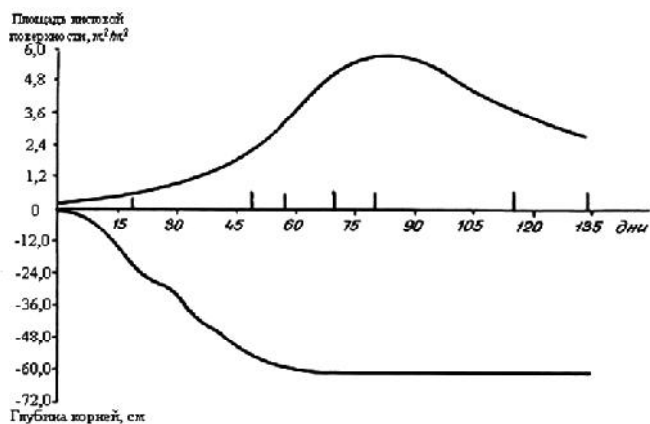
Более того частые поливы небольшими нормами из-за увлажнения верхнего слоя почвы вызывают поверхностное развитие корневой системы, тогда как увеличение норм поливов и интервалов между ними приводит к увлажнению и накоплению водных запасов в более глубоких слоях почвы, что способствует проникновению корней вглубь по почвенному профилю. Известно, что растение с глубокой корневой системой значительно легче переносит неблагоприятные климатические условия и формирует хороший урожай даже при умеренном дефиците почвенной влаги.

Процесс накопления сухой массы характеризует не только рост и развитие растений в течение вегетации, но и направление "свежих" и перераспределение "старых" ассимиляторов между органами растений. Такая информация

необходима, прежде всего, для идентификации ростовых функций, которую целесообразно осуществить в два этапа.



. 1. ( 0,5 )  
 . 1 - 70% , 2 - 80% ; \* -



. 2.

На первом этапе значения функций определяют непосредственно по экспериментальным данным, а на втором - их уточняют путем проведения численных экспериментов с помощью имитационной динамической модели ППР. Для этого рассчитываются функции роста для соответствующих значений сумм эффективных температур ( $W^i$ ). Последние являются аргументом функции и выступают в виде биологического времени.

$$CO^i = CO^{i-1} + (T - T_0) \text{ если } T^i > T_0 \text{ иначе } W^i = W^{i-1}$$

где  $T$  - среднесуточная температура воздуха;  $T_0$  - биологический ноль культуры,

равный для томатов соответственно 12,5°C в момент появления всходов и 15°C в остальной период.

Следует отметить, что такой подход позволяет интерпретировать эмпирически ростовые функции, если учитывать при этом механизмы саморегуляции растений в посеве. Так, например, если предположить, что в начальные фазы развития растений ассимиляты распределяются по органам томата в соответствии с принципом максимальной продуктивности [4, 5], то есть таким образом, чтобы обеспечить максимальную скорость прироста общей массы растений. В репродуктивный период растения стремятся максимизировать массу плодов, пока не начинается снижение фотосинтеза вследствие старения листовых пластинок. Во время созревания плодов механизм распределения ассимиляторов между органами растения направлен на формирование урожая за счет поддержания жизнеспособности органов растений.

В начале вегетации продукты фотосинтеза распределяются между листьями и корнями, что приводит к увеличению фотосинтетического потенциала посева. После того, как листовая поверхность достигает “оптимальных” размеров, ее дальнейшее увеличение приводит к снижению продуктивности посева из-за ухудшения условий освещения и произрастания в результате возрастания конкуренции растений. Часть органического вещества направляется в листья и корни для поддержания их необходимых значений вследствие отмирания, а оставшаяся часть поступает в стебель. Причем, с одной стороны, рост стебля позволяет несколько уменьшить затенение в посеве, а с другой, стебли служат своего рода главным местом “утилизации” продуктов фотосинтеза, которые не могут быть использованы на рост листьев, корней и плодов. Учитывая, что у рода *Lycopersicon esculentum* Mill. имеются сорта с детерминантным, полудетерминантным и индетерминантным ростом такое распределение ассимилятов позволяет заключить, что, хотя рост стебля генетически обусловлен, интенсивность его роста определяется “избытком” структурной биомассы, образуемой в процессе фотосинтеза.

Следовательно, для поддержания присущего данному виду или сорту соотношения органов, растения, как саморегулирующиеся системы, должны обладать регуляторным механизмом, контролирующим распределение первичных продуктов фотосинтеза между корневой системой и надземной частью органами в соответствии со степенью напряженности функционирования и роста отдельных органов [15]. Причем, как отмечено в научной литературе [21], саморегуляция роста растений охватывает все уровни организации растений - от клеточного до организменного, которой присуще увеличение относительного веса того органа, метаболиты которого находятся в минимуме. Таким образом, генетически заложенный в растениях механизм распределения органического вещества как бы контролирует и оптимизирует архитектуру растений на протяжении всего периода вегетации [12].

Из вышеизложенного следует, что для имитирования формирования урожая все процессы распределения ассимилятов в растениях необходимо построить на основе двух принципов: стратегического регулирования, связанного с генетически обусловленным процессом морфогенеза, и оперативно тактического



регулирующего, выражающего зависимость параметров ростового блока от условий возделывания.

Несмотря на то, что ростовые функции, как и другие показатели, во многом определяются условиями возделывания, их характер, в первую очередь, определяется генетическими особенностями культуры и сорта. При этом заметим, что речь идет о консервативном характере лишь формы кривых, тогда как их взаимное расположение всецело зависит от силы действия того или иного фактора на рост растения и величину урожая. Это обстоятельство причиняет известные неудобства, так как во многих случаях для их уточнения необходимо закладывать специальные дорогостоящие опыты. В наших исследованиях, несмотря на то, что было много сортов, физически нам не удалось фиксировать с требуемой точностью наступление фаз по каждому из них в отдельности, поэтому в банке данных фенологических наблюдений развития растений томата отмечены даты прохождения фаз только для сорта Факел. Учет сортовых особенностей в наступлении фаз развития мы предлагаем реализовать в имитационных моделях ППР с помощью эмпирических коэффициентов, выведенных на основании данных о среднемноголетней длине вегетационного периода сорта. Такие сведения приводятся при описании районированных и перспективных сортов овощных культур.

По нашему мнению, как уже было отмечено [7], в получении достаточно надежных параметров биологического блока обеспечивает использование материалов наблюдений не менее, чем за два контрастных года по агрометеорологическим условиям. В таблице 4 приведены значения ростовых функций томата в безрассадной культуре, вычисленные непосредственно по экспериментальным данным.

## 4.

Элемент	Всходы	4-5-й лист	7-й лист	цветения	начало плодобразования	массового плодобразования	начало созревания	массового созревания
Ll	0,57	0,58	0,60	0,46	0,28	0,14	0,06	0,01
Ls	0,04	0,10	0,13	0,34	0,43	0,23	0,08	0,02
Lf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,14	0,54	0,82	0,97
Lr	0,39	0,32	0,27	0,20	0,16	0,09	0,04	0,0

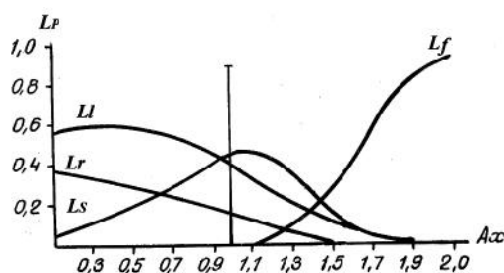
: Ll – листья; Ls – стебли; Lf – плоды; Lr – корни.

Графическое изображение ростовых функций показано на рисунке 3. Несмотря на то, что ростовые функции, как и другие показатели в некоторой степени зависят от условий возделывания, их характер, в первую очередь, определяется генетическими особенностями сорта.

Высокая адекватность имитационной модели ППР в широком диапазоне изменчивости климатических и агротехнических факторов (без орошения,

проведение поливов при 70 и 80% от НВ) позволяет применять ее для программирования на вероятностной основе возможных уровней урожайности овощных культур для разных по обеспеченности агроклиматическими ресурсами годы и производственных ситуаций. Результаты применения данной модели для проведения численных экспериментов, позволяющих имитировать процессы формирования урожая, нами приведены в опубликованной ранее работе [7].

Рассмотренная система оценок и численные эксперименты, моделирующие влияние на урожай отдельных переменных состояния агроэкосистемы, показывает принципиально новый подход дальнейшего развития методов агрометеорологического и научного обеспечения сельскохозяйственного производства.



3.  $L_l$  — листья;  $L_s$  — стебли;  $L_f$  — плоды;  $L_r$  — корни

Использование математических моделей и вычислительной техники, таким образом, позволяет осуществлять помимо дифференцированного количественного учета агрометеорологических и технологических условий формирования урожая, и решение задач планирования обоснованных уровней урожайности овощных культур и принятия оптимальных решений для управления процессами их возделывания.

1. Решающая роль в обеспечении растений влагой принадлежит осадкам, доля которых составила 83% на участке без орошения и 60% на участке с предполивающим режимом 80% от НВ. Суммарное водопотребление при поливных режимах 70% и 80% от наименьшей влагоемкости, соответственно, в 1,2 и 1,4 раза больше, чем на участке без орошения.

2. Коэффициент водопотребления колеблется в широких пределах и зависит от биологических особенностей отдельных сортов и условий года, запасов влаги в почве, количества оросительной воды и величины инфильтрации. На формирование одной тонны стандартных плодов томата на участке без орошения расходовалось 86 м<sup>3</sup>. Повышение уровня водообеспеченности с 70 до 80% от НВ увеличивало водопотребление на 30-40 м<sup>3</sup> на тонну продукции, тем самым снижало эффективность использования оросительной воды.

3. Моделирование - наиболее экономичный путь исследований и, вероятно, наиболее правильный в нынешних условиях, когда в полевых опытах затруднено соблюдение всего комплекса планируемых агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение необходимой и достоверной информации в сложных и многофакторных экспериментах. Модели способствуют обобщению уже накопленных знаний и их применению для выработки агротехнологических решений.

1. . . . . Влагообороты в природе и их преобразование. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 286 с.
2. . . . . Расчет суточной динамики процессов энергии и массообмена системы "почва-растение-атмосфера" при иссушении почвы // Тр. ВНИИСХМ, 1986, вып.21. С. 33-47.
3. . . . . Методы оценки параметров моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы, 1986, №6. С. 3-15.
4. . . . . . . . . . Количественная теория фотосинтеза и ее использование для решения научных и прикладных задач физической географии // Изв. АН СССР, сер. геог., 1964, №6. С. 13-27.
5. . . . . . . . . . Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 51-58.
6. . . . . . . . . . Испарение в естественных условиях. Л.: Гидрометеоздат, 1948. 186 с.
7. . . . . . . . . . Программирование урожаев и управление водным режимом при возделывании овощных культур // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei, Ştiinţele Vieţii, 2010, nr.3 (312), p.70-80.
8. . . . . . . . . . Планирование урожаев овощных культур // Рекомендации. Кишинэу, 2000, 40 с.
9. . . . . . . . . . Характеристика теплового режима в системе «почва-растение-атмосфера» при возделывании томатов в открытом грунте // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei, Ştiinţele Vieţii, 2011, nr.2 (314), p.80-89
10. . . . . . . . . . Характеристика радиационного режима при возделывании томатов в открытом грунте // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei, Ştiinţele Vieţii, 2011, nr.3 (315), p.79-86
11. . . . . . . . . . Влияние орошения на влажность воздуха и моделирование водного режима при возделывании томатов. // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei, Ştiinţele Vieţii, 2012, nr.1 (316), p.92-104
12. . . . . . . . . . Экологическая генетика. Кишинев: Штиинца, 1980. 588 с.
13. . . . . . . . . . Прикладные расчеты на ЭВМ влагопереноса в зоне аэрации. М.: Недра, 1979. 161 с.
14. Математическое моделирование. Процессы в сложных экономических и экологических системах. М.: Наука, 1986. 293 с. 143.
15. . . . . . . . . . О физиологической интерпретации сигмоидных кривых органов растений // Физиология растений, 1979, т.26, вып. 5. С. 1029-1043. 165.
16. . . . . . . . . . Динамические модели агроэкосистемы. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 312 с. 188.
17. . . . . . . . . . Имитационное моделирование агроэкосистемы и ее информационная база // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоздат, 1980, т.3. С.65-73. 190.
18. . . . . . . . . . Об использовании динамических моделей для решения задач программирования урожая // Тр. ВНИИСХМ, 1986, вып.21, С. 66-75. 223.
19. . . . . . . . . . Движение почвенной влаги водопотребление растений. М.: МГУ, 1979. 253 с. 237.
20. . . . . . . . . . Показатели увлажнения вегетационного периода и их влияние на формирование урожая гороха // Тр. Каз. НИИГМИ, 1971, вып.40. С80-96. 257.
21. Физиология сельскохозяйственных растений / Под ред. Б.А. Рубина. М.: МГУ, 1967. 353 с. 259.