

УДК (633 : 632.118) : 551.5

Л.Е. Божко, к.з.н.

Одесский государственный экологический университет

РАДИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Излагаются результаты выполненных автором многолетних экспериментальных исследований гидрометеорологического режима полей с овощными культурами. Установлены закономерности изменения радиационного и теплового балансов в посевах баклажан, сладких перцев, томатов различной густоты, их влияние на формирование гидрометеорологического режима и его изменение под влиянием орошения.

Ключевые слова: *овощные, гидрометеорологический, продуктивность, тепловой, радиационный, баланс, эксперимент, радиация, урожай, орошение.*

Введение. Исследования радиационного и теплового балансов сельскохозяйственных полей способствуют существенному расширению и углублению представлений о закономерностях радиационно-теплового режима подстилающей поверхности и их изменении под влиянием орошения.

Для анализа закономерностей физического режима атмосферы внутри растительного покрова необходимо иметь представление об особенностях фитогеометрии как отдельных растений, так и их сообщества.

Радиационные процессы, протекающие в деятельном слое любого фитоценоза, являются энергетической основой фотосинтеза, определяют жизнедеятельность растений и формирование их продуктивности. Исследованию этого вопроса придается особое значение в связи с биофизическими аспектами проблем фотосинтеза растительного покрова [1 – 5, 8].

Целью исследования является изучение связи продуктивности овощных культур с составляющими теплового баланса и элементами микроклимата, а также влияние их изменения на продуктивность культур под влиянием орошения. Исследование сводится к решению следующих задач: изучению закономерностей формирования радиационно-теплового режима в зависимости от состояния растительного покрова, условий возделывания овощных культур и орошения.

Материалы и методы исследования. В основу исследований был положен комплексный биолого-агрометеорологический эксперимент для получения сведений о факторах жизнедеятельности, состоянии растений и их фотосинтетической продуктивности. Эксперимент включал наблюдения за состоянием растений и посевов в целом (фенологические и фитометрические), за состоянием внешней среды (полный комплекс актинометрических, фитоклиматических, тепло- и водобалансовых наблюдений над посевом и в посевах).

Экспериментальные исследования проводились с 1993 по 1996 г. на посевах наиболее распространенных в сельскохозяйственном производстве сортов сладкого перца, баклажан и томатов на полях АМЛ «Черноморка». Поля расположены на равнинном плато с небольшим уклоном на юг. Почвы – южные черноземы, среднесуглинистые, слабосолонцеватые. Предшественники – чистые пары. Размер наблюдательных участков 40 – 60 м². Посадка растений ленточно - двустрочная. Полив – дождеванием, за вегетационный период 8-12 поливов перца и баклажан и 8-10 поливов томатов с нормами поливов от 250 м³/га перед высадкой и после высадки рассады в грунт и 350 – 450 м³/га в течение вегетационного периода культур. Нормы

поливов рассчитывались исходя из влажности почвы перед поливами и сумм осадков. Поливы производились из расчета поддержания влажности почвы 75 – 85 % НВ.

Контролем служили материалы синхронных наблюдений на метеорологической площадке, расположенной в 200 м от экспериментальных участков.

При исследовании продукционного процесса овощных культур их посеvy рассматривались как единое целое сообщество одновидовых растений, поэтому фитометрические наблюдения проводились таким образом, чтобы можно было дать достоверную характеристику этому сообществу, в соответствии с общепринятыми методикой [6, 7].

При выборе параметров, характеризующих факторы жизнедеятельности растений, исходили из таких предпосылок: каждый фактор должен определяться одним параметром; выбранный параметр должен позволять элиминировать полученные зависимости от конкретных географических условий; каждый параметр должен просто и надежно измеряться.

В программу радиационных наблюдений входило измерение радиационного баланса (R) и его составляющих: прямой (S'), суммарной (Q), рассеянной (D), отраженной радиации (r_k) и эффективного излучения ($E_{эф}$) на посевах овощных и метеорологической площадке, измерение их вертикальных профилей в растительном покрове ($ПП$) и определение радиационных характеристик посевов в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Наблюдения проводились в соответствии с «Наставлением по актинометрическим наблюдениям» (1961) над и под $ПП$, а также над вертикальным распределением радиационных потоков внутри $ПП$ часовыми сериями в основные фазы развития растений. Для исследования термического режима и теплового баланса проводилось определение температуры и влажности воздуха в посевах на высоте 10 см; температуры, влажности воздуха и скорости ветра на высотах 50, 100, 200 см над слоем вытеснения; температуры поверхности почвы и на глубинах 5, 10, 15, и 20 см; составляющих радиационного баланса на высоте 1,5 м над посевом.

Обработка наблюдений за составляющими радиационного баланса производилась в соответствии с [7].

Радиационный баланс посевов овощных культур представляет разницу между приходом и расходом коротко- и длинноволновой радиации на их деятельную поверхность и выражается уравнением

$$R = S' + D - r_k + E_a - E_3 - r_q, \quad (1)$$

где S' и D – прямая и рассеянная радиация, поступающие на деятельную поверхность;

r_k – отраженная коротковолновая солнечная радиация от деятельной поверхности;

E_a – излучение атмосферы, направленное к деятельной поверхности;

E_3 – излучение деятельной поверхности, направленное в атмосферу;

r_q – отраженная длинноволновая радиация.

Обычно отраженная длинноволновая радиация настолько незначительна, что этой величиной пренебрегают, а величину отраженной коротковолновой радиации оценивают отражательной способностью деятельной поверхности, т. е. альбедо (A_k), тогда

$$R = (S' + D) (1 - A_k) - \sigma E_a - E_3, \quad (2)$$

где σ – поглощательная способность деятельной поверхности.

Водобалансовые наблюдения включали: определение запасов продуктивной почвенной влаги, измерения осадков, количества поливов и поливные нормы, испарения с поверхности почвы и суммарного испарения. Наблюдения над запасами

продуктивной влаги в почве проводились еженедельно, а также до и после полива термостатно - буровым методом до глубины 80 см через каждые 10 см.

Суммарное испарение E определялось по уравнению водного баланса

$$E = W_1 + X - W_2 - r_e - r_r - r_{нов.} \quad (3)$$

где W_1 и W_2 - начальные и конечные за расчетный период запасы влаги (мм);

X - сумма осадков за расчетный период плюс поливы (мм);

$r_e, r_r, r_{нов.}$ - составляющие вертикального, горизонтального и поверхностного стока. при хорошо спланированных полях этими составляющими можно пренебречь. Тогда формула для расчета E упрощается.

Осадки (X) и количество поливной воды на полях определялось дождемерами Ф.Ф. Давитая, установленными в междурядьях в восьмикратной повторности.

По данным измерений интегральной (ИР) и фотосинтетически активной радиации (ФАР) над и под РП определялись показатели: коэффициенты пропускания прямой a_s , рассеянной a_d и суммарной a_t интегральной и фотосинтетически активной радиации как отношение соответствующих потоков под растениями и над ними; альbedo посевов и почвы; коэффициенты ослабления эффективного излучения ϵ_t и полного радиационного баланса b_t ; коэффициенты поглощения интегральной радиации a_p и ФАР $a_{нф.}$

При изучении вегетационного хода радиационных характеристик РП использовались средневзвешенные за день и за сутки значения альbedo (A_k), коэффициенты пропускания (a_t) и поглощения интегральной и фотосинтетически активной радиации (a_n). Преимуществом этих величин является их независимость в течение вегетационного периода от высоты солнца, его азимута и они определяются, в основном, степенью развития РП. Количество солнечной радиации, поглощенной за сутки или другие отрезки времени, можно получить используя средневзвешенные значения указанных величин.

Наблюдения над вертикальным распределением радиационных потоков внутри растительного покрова выполнялись с помощью пиранометров и балансомеров, установленных на специальной стойке внутри травостоя и проводились часовыми сериями. Внутри травостоя измерялся нисходящий поток рассеянной радиации ($D_{я}$), радиационный баланс без солнца ($B - S'$) и коэффициент пропускания a_s прямой солнечной радиации. Одновременно измерения всех величин выполнялось на высоте 1,5 м над РП.

Результаты исследований. Влияние орошения на динамику составляющих теплового баланса посевов исследовалось многими авторами [1-5]. Однако, для посевов овощных культур эти исследования носят, в основном, качественный характер.

Динамика хода составляющих радиационного баланса на поле с овощными культурами в разные периоды их развития разная (табл. 1).

Прямая солнечная радиация (S') во все фазы развития овощных растений является наиболее существенной составляющей радиационного баланса в течение всей вегетации и имеет дневной максимум между 11 и 12 часами. За вегетационный период максимальное значение $S' = 5,36 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² наблюдалось в период массового цветения (конец июня).

Исследование пропускания S' растительностью проводилось с помощью формулы Ю.Росса и Т. Нильсона [8]

$$a_{s,} = \exp [- G (h_o) L \sin (h_o)], \quad (4)$$

где $G (h_0)$ - эффективная проекция единицы площади фитоэлементов на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам.

Таблица 1 – Дневной ход составляющих радиационного баланса, на поле занятом растениями сладкого перца ($Вт \cdot м^{-2}$)

Составляющие радиационного баланса	Часы наблюдений						
	6 – 7	7 – 8	9 - 10	11 – 12	13 – 14	15 - 16	17 – 18
Высадка рассады в грунт (15 – 22 мая)							
R	0,21	3,19	5,58	6,62	6,28	3,98	1,53
S'	0,62	3,41	5,48	7,96	7,54	5,09	2,09
D	0,55	1,18	1,04	1,26	1,33	1,39	1,60
Q	1,25	4,74	7,26	8,10	8,58	6,56	2,79
A_K	0,91	0,97	1,05	1,27	1,39	1,60	-
r_k	-	0,63	0,91	1,04	1,04	1,04	0,55
E_a	2,79	2,79	3,07	3,01	3,01	3,07	3,35
E_3	3,28	3,55	3,62	3,71	3,71	3,76	3,76
r_q	-0,49	-0,56	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83
Цветение (конец июня)							
R	0,21	2,79	5,23	6,35	6,00	3,77	1,47
S'	0,69	3,49	7,40	8,93	7,68	6,01	3,49
D	0,49	1,11	1,39	1,32	1,41	1,25	0,84
Q	1,25	4,40	7,59	8,38	8,52	6,84	2,93
A_K	-	1,53	1,32	1,29	1,29	1,39	-
r_k	0,35	0,91	1,39	1,41	1,44	1,19	0,55
E_a	3,00	3,21	3,25	3,49	3,50	3,50	3,49
E_3	3,23	3,98	4,39	4,46	4,46	4,54	4,52
r_q	-0,69	-0,76	-1,11	-0,98	-0,98	-0,95	-0,95
Техническая спелость (конец июля)							
R	0,07	2,17	4,96	6,26	5,96	3,69	0,87
S'	0,41	2,72	6,21	7,61	6,98	4,47	1,54
D	0,27	0,83	0,97	1,05	1,15	0,84	0,41
Q	0,63	3,96	8,45	8,17	8,17	5,31	2,09
A_K	-	0,91	1,39	1,39	1,25	1,06	-
r_k	0,13	1,69	1,41	1,41	1,47	1,60	0,91
E_a	3,14	3,12	3,52	3,52	3,52	3,49	3,21
E_3	3,69	4,01	4,33	4,33	4,45	4,54	4,19
r_q	-0,50	-0,13	-0,83	-0,76	-0,98	-0,67	-0,41

Эта функция существенно зависит от структуры посева и, прежде всего, от ориентации листьев. В посевах овощных культур 2/3 листьев расположены в верхнем слое. Посевы овощных культур горизонтально неоднородны, что влияет на величину a_s . Наши исследования показали, что ход a_s в начальные фазы развития растений имеет несущественную асимметрию, которая усиливается по мере роста растений и ее проявление зависит от ориентации рядов растений относительно сторон света. Ослабление радиации в посевах овощных культур существенно зависит от высоты растений, надземной фитомассы и площади листьев. Среди рассматриваемых овощных культур наибольшее ослабление радиации наблюдается на посевах сладкого перца, наименьшее – на посевах томатов.

Рассеянная радиация (D) имеет незначительный максимум между 14 и 15 часами и составляет в среднем $1,26 - 1,60 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² в июне и $0,91 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² в августе. Такой же ход S' и D наблюдались на полях баклажан и томатов.

Разность между прямой и рассеянной радиацией на поле с растениями баклажан, сладких перцев, томатов и метеорологической площадкой составляет в среднем $0,14 - 0,18 \cdot 10^{-2}$ Вт/м².

Суммарная радиация Q является основной приходной частью радиационного баланса и в часы с максимальными значениями $7,33 - 8,01 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² изменяется незначительно, уменьшаясь от высадки рассады в грунт до технической спелости.

Пропускание суммарной радиации (a_t) растительным покровом определяется закономерностями коэффициентов пропускания прямой и рассеянной радиации и рассчитывается по формуле

$$a_t = 1 / (1 + cL / \sin(h_0)), \quad (5)$$

где коэффициент c меняется в зависимости от высоты солнца. При однородном посеве и при расположении L на высоте $2/3$ высоты растений значение коэффициента пропускания составляет от 0,8 до 0,9 для томатов и 0,6 – 0,8 баклажан и перца.

Дневной ход отраженной коротковолновой радиации (r_k) аналогичен ходу прямой солнечной радиации и составляет после высадки рассады в грунт $1,04 - 1,05 \cdot 10^{-2}$ Вт/м², в период цветения – $0,96 - 1,19 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² для всех рассматриваемых овощных культур. Значение r_k на полях с культурами ниже, чем на метеорологической площадке. Наибольшее значение r_k наблюдается в период максимального прироста листовой поверхности растений (техническая спелость).

Альbedo (A_k) полей с овощными культурами зависит от возраста растений и определяется отражательной способностью деятельной поверхности. После высадки рассады в грунт отражение происходит в основном от поверхности почвы и составляет около 13 %. По мере развития растений величина альbedo возрастает и в фазе технической спелости достигает значений 24 – 26 % на полях сладких перцев, 23 – 24 % на полях баклажанов, и 21 – 22 % на полях томатов. После технической спелости альbedo на полях всех культур изменяется незначительно. На метеорологической площадке альbedo практически постоянно.

Кроме коротковолнового потока в виде прямой и рассеянной радиации к деятельной поверхности поступает длинноволновая лучистая энергия от излучения атмосферы. Основными факторами, определяющими длинноволновое излучение атмосферы, являются изменения температуры и влажности воздуха с высотой. В суточном ходе излучение атмосферы на метеорологической площадке выше, чем на полях с овощными культурами. Наибольшая разница между максимумом и минимумом наблюдается спустя две недели после высадки рассады в грунт. По мере развития растений она уменьшается и к технической спелости составляет от $0,07 \cdot 10^{-2}$ до $0,13 \cdot 10^{-2}$ Вт/м².

Суточный ход излучения деятельной поверхности (E_3) полей овощных культур существенно отличается от суточного хода E_3 на метеорологической площадке. На метеорологической площадке E_3 выше, чем на поле, имеет четко выраженный минимум к восходу солнца и максимум после полудня. Наибольшая разница между значениями E_3 на метеорологической площадке и на полях овощных культур наблюдается в 13 часов и составляет $1,74 - 1,88 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². В ночное время E_3 на полях с овощными культурами выше на $0,07 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Особенно увеличивается разница после полива.

Длинноволновый радиационный баланс (r_q) имеет более высокие значения на полях с овощными культурами по сравнению с метеорологической площадкой.

Максимальных значений он достигает в послеполуденные часы в период массового цветения. Амплитуда колебаний суточного хода r_q на полях с овощными культурами составляет $0,42 \cdot 10^{-2}$ Вт/м², на метеорологической площадке она равна $1,79 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Наименьшие значения амплитуды на полях наблюдаются в первые дни после поливов. Амплитуда колебаний суточного хода длинноволнового радиационного баланса на полях с овощными культурами увеличивается по мере удаления от даты полива и перед очередным поливом достигает значений $0,97 - 1,11 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². На суточный ход амплитуды также значительное влияние оказывает разница температур деятельной поверхности полей с овощными культурами и метеорологической площадки.

Суточный ход радиационного баланса R отчетливо выражен и на участках с овощными культурами и на метеорологической площадке.

Максимальное значение R наблюдается около полудня, минимум – после захода солнца в период массового цветения баклажан, сладких перцев и томатов ($7,74 - 7,79 \cdot 10^{-2}$ Вт/м²).

Ночные значения радиационного баланса, в основном, определяются потоками эффективного излучения и зависят от температуры деятельной поверхности, облачности и стратификации атмосферы. В среднем ночью радиационный баланс колеблется в пределах от $-0,43$ до $-0,48 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Максимальная суточная амплитуда наблюдается в период массового цветения овощных и составляет на поле перцев $7,84 \cdot 10^{-2}$ Вт/м², баклажан – $7,65 \cdot 10^{-2}$ Вт/м², томатов – $7,63 \cdot 10^{-2}$ Вт/м².

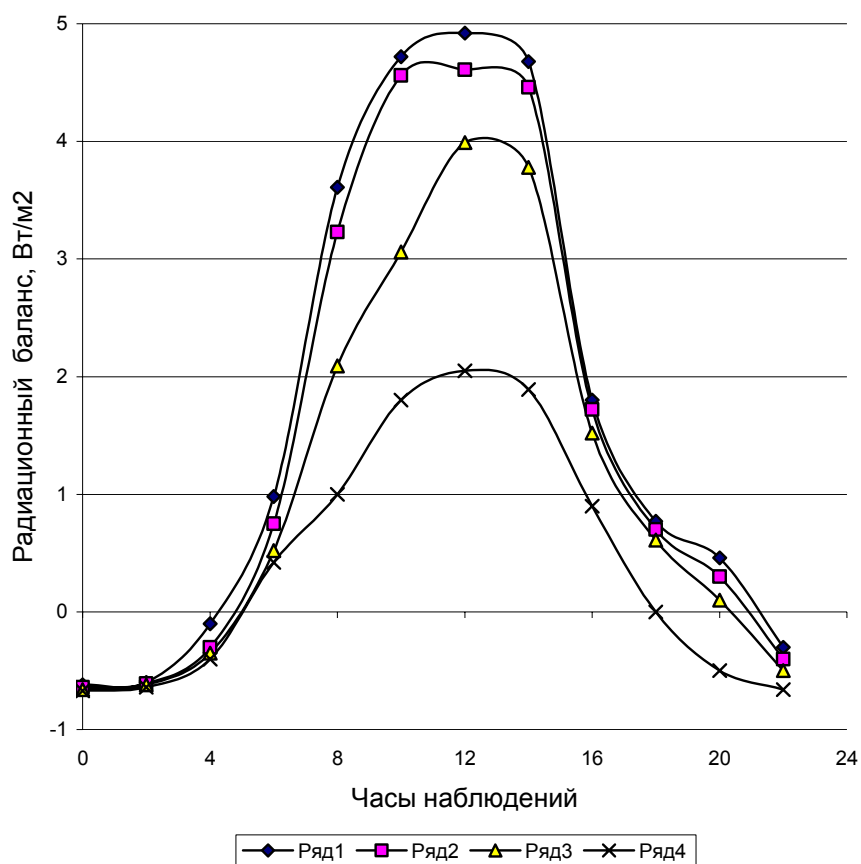
В ночные часы значения радиационного баланса на полях с овощными культурами мало отличаются от его значений на метеорологической площадке и всегда имеют отрицательный знак.

Переход радиационного баланса через 0 на полях с овощными культурами в утренние часы происходит раньше, чем на метеорологической площадке на 40 мин – 1 час.

Значения радиационного баланса в дневные часы на полях с овощными культурами больше, чем на метеорологической площадке в течение всего периода вегетации. Разности уменьшаются в дни перед поливом и достигают значений $2,16 - 1,99 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Значения R на полях овощных культур и на метеорологической площадке изменяются вслед за изменением притока радиации к деятельной поверхности.

Облачность нарушает ход радиационного баланса. В пасмурные дни послеполуденные значения радиационного баланса значительно ниже до полуденных. Изменяется также значение радиационного баланса под влиянием орошения.

Радиационные свойства посевов овощных культур в значительной степени зависят от фаз развития растений. По мере роста и развития растений дневные величины значений радиационного баланса уменьшаются. При средней высоте растений 40 – 45 см и относительной площади листьев 26 – 28 тыс. м²/га величина послеполуденного радиационного баланса составляет $4,6 - 4,2 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². При высоте растений 55 – 60 см и площади листьев 29-30 тыс. м²/га полуденные значения радиационного баланса составляют $3,6 - 2,8 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² (рис. 1). Радиационный баланс в слое растительности уменьшается и составляет на высоте 20 см от поверхности почвы 38 – 42 %, на высоте 35 – 40 см - 45 – 47 % общего радиационного баланса.



1 - после высадки рассады в грунт; 2 - в период массового цветения; 3 - в период технической спелости; 4- перед прекращением вегетации
 Рисунок 1 - Суточный ход радиационного баланса поля сладких перцев.

Тепловой баланс подстилающей поверхности в значительной мере определяется величиной радиационного баланса и рассчитывался по формуле

$$R = P + LE + B + \Delta, \quad (6)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности;
 P - турбулентный поток теплоты;
 LE – затраты теплоты на испарение (L – удельная теплота парообразования, E - поток водяного пара или суммарное испарение);
 B – поток теплоты в почву;
 Δ - тепло, расходуемое или выделяемое при биохимических процессах, происходящих в растениях или почве. Эта величина не превышает 2 % от величины радиационного баланса и при расчетах ею пренебрегают.

Известно, что характер деятельной поверхности поля, занятого растениями, изменяется по мере роста и развития растений. Также на характер деятельной поверхности влияют: орошение, внесение удобрений, агротехнические мероприятия. Все эти факторы оказывают существенное влияние на структуру теплового баланса деятельной поверхности [2, 4, 5].

В табл. 2 представлены средние значения составляющих теплового баланса по межфазным периодам развития овощных культур.

В суточном ходе турбулентного теплообмена (P) и затрат тепла на испарение (LE) установлено, что максимальное значение этих величин наблюдается около полудня (рис. 2). После 14 часов наблюдается смена знаков потока тепла в почве (B). Суточная сумма теплообмена по средним данным на всех полях составляет 4 - 5 % соответствующей величины радиационного баланса. На нагревание воздуха путем турбулентного теплообмена затрачивается за сутки $544,7 \cdot 10^4$ Вт/м², что составляет 42 - 44 % суточной суммы радиационного баланса.

Отрицательные значения турбулентного потока тепла (P), т. е. притока тепла из воздуха к деятельной поверхности, в сумме составляет 3 - 5 % положительных значений P .

Расход тепла на испарение в среднем за сутки равен $585,6 \cdot 10^4$ Вт/м², что составляет 50% радиационного баланса. При этом затраты тепла на испарение в дневные часы меньше турбулентной теплоотдачи в воздух, а в сумме за сутки обе составляющие баланса очень близки между собой. Суточная сумма теплообмена в почве (B) по осредненным данным за 3 года эксперимента равна 4 - 5 % соответствующей величины радиационного баланса. В результате теплооборота за сутки деятельная поверхность посадок овощных культур получает от $52,3 \cdot 10^4$ до $54,4 \cdot 10^4$ Вт/м².

В период от цветения до последнего сбора овощных культур в величинах составляющих теплового баланса происходят изменения, особенно перед поливом и в первые дни после полива. Затраты тепла на испарение после полива увеличиваются в 1,5 - 2 раза, а турбулентный поток в дневные сроки уменьшается. Эта закономерность сохраняется на полях всех культур. Перед поливом максимальное значение затрат тепла на испарение достигает $1,04 \cdot 10^4$ Вт/м² после полива - $1,67 \cdot 10^4$ Вт/м². Турбулентный теплообмен до полива составляет $0,622 \cdot 10^4$ Вт/м² после полива $0,79 \cdot 10^4$ Вт/м².

Существенно различаются среднесуточные значения величин теплового баланса на полях с различной густотой стояния растений, различной степенью развития растительного покрова, до и после поливов и по сравнению с метеорологической площадкой (табл. 3).

Следует отметить, что к моменту наступления технической спелости плодов всех культур, когда наблюдается наибольшее развитие растительного покрова, различия в величинах составляющих теплового баланса несколько сглаживаются между участками с различной густотой посадок, но остаются значительными по сравнению с метеорологической площадкой.

Различия в составляющих теплового баланса в разные межфазные периоды обусловлены в основном изменением поглощательных свойств деятельной поверхности, физических свойств почвы под влиянием орошения и биологическими процессами, происходящими в растениях под влиянием орошения.

Уменьшение дневных сумм составляющих теплового баланса по фазам развития культур от высадки рассады в грунт до биологической спелости объясняется уменьшением прихода суммарной радиации и возрастанием эффективного излучения деятельной поверхности.

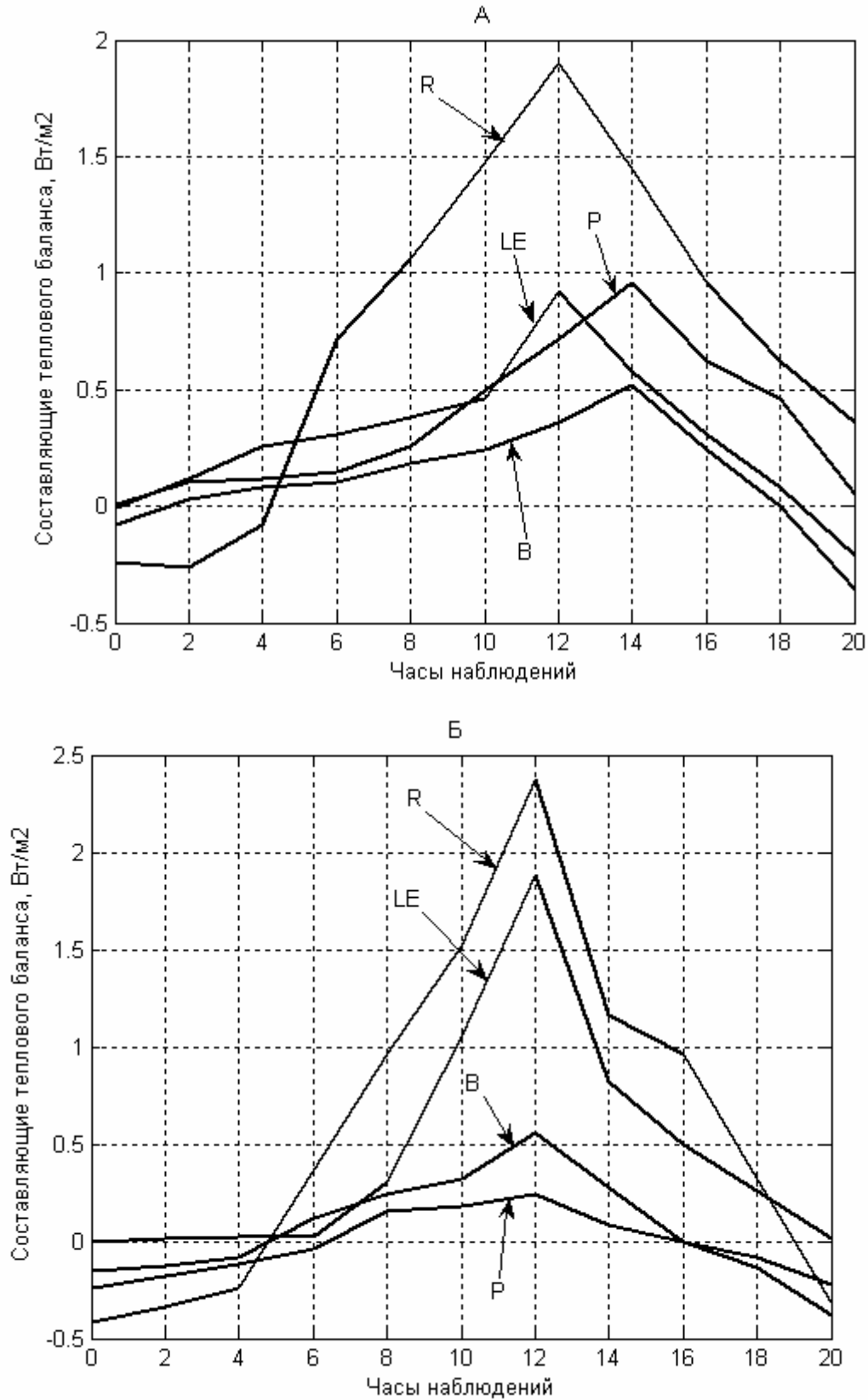


Рисунок 2 - Суточный ход составляющих теплового баланса посевов сладкого перца. А) до полива; Б) – после полива.

Таблица 2 – Суточный ход составляющих теплового баланса поля баклажан по межфазным периодам развития

Межфазные периоды	Составляющие теплового баланса	Ч а с ы н а б л ю д е н и й									
		0	4	6	8	10	12	14	16	18	20
высадка рассады в грунт- цветение	<i>R</i>	- 0,63	- 0,55	0,48	3,14	4,54	4,37	3,66	2,09	0,00	-0,48
	<i>P</i>	- 0,14	- 0,9	0,00	0,48	1,25	1,87	1,81	1,39	0,06	-0,06
	<i>LE</i>	- 0,19	0,06	0,06	0,82	1,28	1,39	1,31	1,11	0,69	0,38
	<i>B</i>	- 0,69	- 0,36	0,38	1,39	1,81	1,31	0,36	-0,18	-0,83	-1,05
цветение– техническая спелость	<i>R</i>	- 0,35	- 0,24	0,06	2,65	4,75	5,65	5,02	2,24	0,20	-0,36
	<i>P</i>	- 0,06	- 0,12	-0,18	-0,36	-0,47	-0,62	-0,62	-0,12	-0,12	-0,12
	<i>LE</i>	- 0,06	0,12	0,35	2,51	4,53	5,44	5,35	3,55	0,76	0,20
	<i>B</i>	- 0,05	- 0,05	0,00	0,06	0,10	0,12	0,05	0,00	-0,04	-0,07
техническая спелость– последний сбор	<i>R</i>	- 0,36	- 0,24	- 0,24	1,60	3,42	4,26	3,42	0,97	- 0,36	-0,48
	<i>P</i>	- 0,06	- 0,06	- 0,18	0,06	0,62	0,48	0,55	0,06	- 0,06	-0,18
	<i>LE</i>	0,06	0,00	0,12	1,05	1,67	2,72	2,45	0,18	0,06	0,18
	<i>B</i>	- 0,31	- 0,24	- 0,06	0,18	0,76	0,83	0,35	- 0,18	- 0,36	-0,48

Важным показателем теплового баланса является его структура. Подструктурой теплового баланса подразумевается соотношение между отдельными составляющими: R, LE, P, G . В качестве характеристики структуры теплового баланса PII нами используется отношение P/R_{pn} , где R_{pn} - радиационный баланс PII . Как указывается в [1-3] в первом приближении R_{pn} равен количеству поглощенной растениями ФАР. Была получена зависимость отношения P/R_{pn} от суммарной радиации Q и запасов продуктивной влаги W . Зависимость характеризуется достаточно высоким значением корреляционного отношения ($\eta = 0,72 \pm 0,02$) и может быть использована для расчета отношения P/R_{pn} по значениям Q и W . Зависимость позволяет сделать вывод, что доля турбулентного теплообмена в радиационном балансе PII тем выше, чем ниже запасы влаги в почве и чем выше приход солнечной радиации при неизменных запасах влаги (рис 3).

Комплексным показателем тепло- и влагообеспеченности посевов служит соотношение Боуэна (P/LE). Его используют при исследовании закономерностей взаимной зависимости компонентов внешней среды и продуктивности растений [5]. Отношение Боуэна может служить теплобалансовым критерием оценки засушливых условий и динамическим показателем эффективности оросительных мероприятий.

Основными параметрами, определяющими изменчивость соотношения Боуэна, являются состояние РП и условия влагообеспеченности. Исследование связи P/LE с относительной площадью листьев (L) и относительными запасами продуктивной влаги (W) показало, что доля влияния этих величин на P/LE составляет 58 %, тогда как других факторов – 42 %.

Зависимость P/LE от относительной площади листовой поверхности при разных значениях запасов продуктивной влаги в полуметровом слое почвы представлена на рис.4.

Таблица 3 – Суточные суммы составляющих теплового баланса поля баклажан и метеорологической площадки перед поливом и после полива в различные периоды развития растений (Вт/м²)

Даты Полива	До полива				После полива			
	R	LE	P	B	R	LE	P	B
Поле баклажан								
1.УІ	1443	758	415	-38	1550	1839	-305	17
10.УІ	1391	1110	255	25	1825	1926	-150	-13
1.УІІ	1445	1516	-46	-25	1676	1927	-234	-14
10.УІІ	1298	548	646	113	1763	1659	79	25
1.УІІІ	1039	552	398	79	1361	1106	171	83
1.УІІІІ	997	550	377	67	1257	1022	159	79
Фазы развития растений	Поле баклажан				Метеорологическая площадка			
	R	LE	P	B	R	LE	P	B
10 дней после высадки рассады	1634	1298	71	620	1072	649	268	171
Цветение	1496	1453	25	17	921	477	389	54
Техническая спелость	1277	2032	-8	-366	1131	712	222	195

При высоких значениях запасов продуктивной влаги ($W = 80\% \text{ НВ}$) наблюдаются близкие к нулю и отрицательные значения P/LE . Это означает, что имеет место отрицательный турбулентный приток тепла к подстилающей поверхности. Такие условия на орошаемом поле возникают при хорошем развитии PI , на фоне высоких температур, увеличении дефицита насыщения и скорости ветра. При отсутствии или слабом развитии PI ($L \leq 1$) независимо от степени увлажнения почвы турбулентный обмен имеет положительный знак.

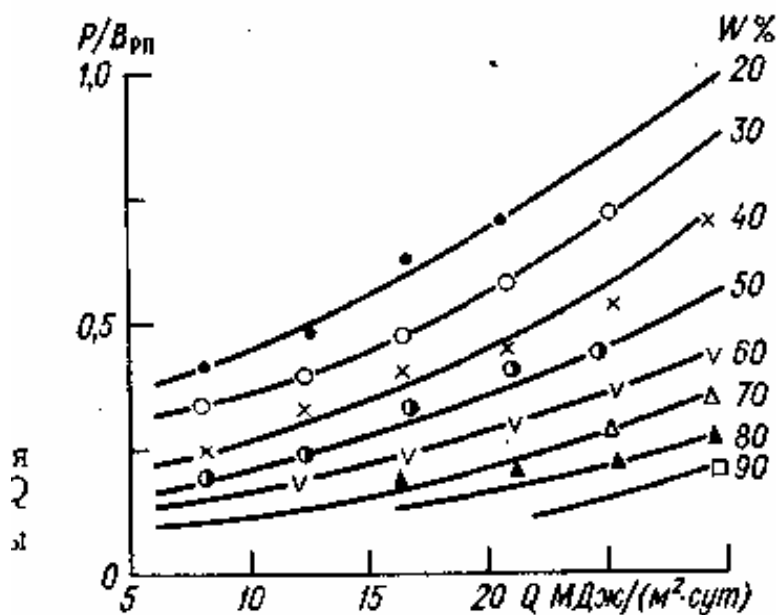


Рисунок 3 - Зависимость отношения $P/R_{рп}$ от суммарной радиации при различных запасах влаги в почве.

Связь P/LE с относительной площадью листьев и запасами влаги в почве криволинейна, корреляционное отношение составляет 0,62.

Суммарное испарение, как основная расходная составляющая теплового баланса орошаемых сельскохозяйственных полей, формируется под влиянием различных факторов: гидрогеологических, биологических, метеорологических, почвенных, хозяйственной деятельности человека.

Систематические наблюдения за суммарным испарением позволили выявить закономерности его изменения в динамике развития овощных культур в течение вегетационного периода.

Максимальные суточные величины суммарного испарения наблюдаются в период от цветения до технической спелости у всех рассматриваемых культур в связи с наибольшим количеством накопившейся растительной массы и повышенным температурным режимом (табл. 4).

Наибольшее количество потребляемой воды за вегетационный период приходится на долю сладкого перца, наименьшее – на долю томатов.

Сравнение величин суммарного испарения с полей овощных культур до полива и после полива показывает, что величина суммарного испарения до полива в два, два с

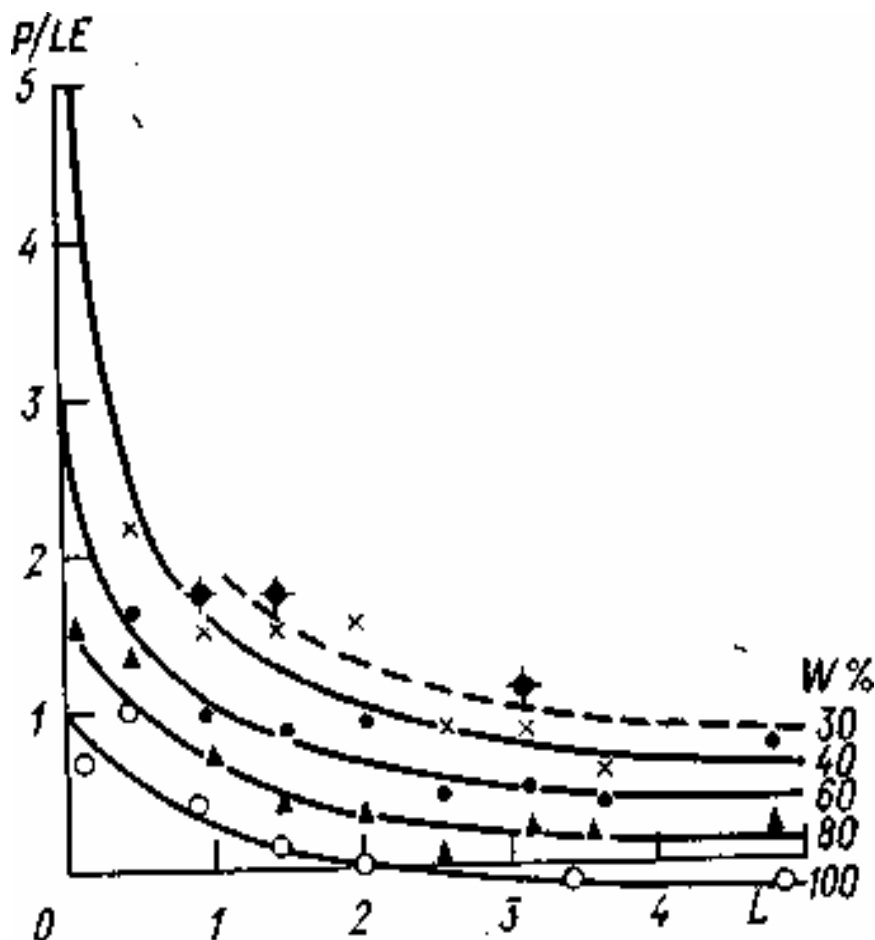


Рисунок 4- Зависимость структуры теплового баланса (P/LE) от относительной площади листьев и запасов продуктивной влаги в почве.

Таблица 4 – Суммарное испарение с полей овощных культур по межфазным периодам развития

Культуры	Ме ж ф а з н ы е п е р и о д ы						Всего
	высадка рассады в грунт – цветение		цветение– техническая спелость		техническая спелость– последний сбор		
	за период	за сутки	за период	за сутки	за период	за сутки	
Томаты	98	2,1	110	4,8	230	4,6	448
Сладкий Перец	95	2,5	154	6,5	281	5,8	530
Баклажаны	90	2,3	149	5,7	270	5,2	486

половиной раза ниже, чем после полива. Затем эффект орошения сглаживается и величина суммарного испарения через 6 – 7 дней достигает значений до полива. К моменту максимального развития надземной массы растений (фаза технической спелости) такого сглаживания не наблюдается вследствие увеличения транспирации

растений и уменьшения испарения из поверхности почвы из-за увеличения ее затенения. Такое соотношение величины суммарного испарения сохраняется до конца вегетационного периода.

Выводы. Обработка наблюдений экспериментальных исследований позволила количественно оценить влияние растительного покрова, солнечной радиации и режима увлажнения на структуру теплового баланса посевов. Из результатов анализа суточного и сезонного хода составляющих радиационного и теплового балансов следует, что величины составляющих обусловлены приходом суммарной радиации, мощностью и структурой посевов и увлажнением почвы.

Соотношение между наиболее важными составляющими теплового баланса: турбулентным потоком теплоты и ее затратами на суммарное испарение - существенным образом изменяется с развитием растений и изменением влажности почвы. Степень благоприятности условий произрастания растений тем выше, чем меньше это соотношение.

Турбулентный поток тепла можно использовать в качестве характеристики той части поглощенной растениями радиации, которая расходуется на перегрев растений при недостатке почвенной влаги, способствует снижению интенсивности фотосинтеза и скорости накопления органического вещества.

Экспериментальные данные позволят построить упрощенную модель радиационного режима посевов овощных культур для решения задач программирования урожая, а также для расчета урожая и радиационных характеристик посевов баклажан, сладких перцев и томатов при построении математических моделей продукционного процесса растений.

Список литературы

1. Гойса Н.И. Радиационные факторы и продуктивность сельскохозяйственных культур.// Труды УкрНИГМИ, 1978. –Вып. 164. –С. 49 – 72.
2. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 214 с.
3. Гойса Н.И., Олейник Н.Р., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. –Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 230 с.
4. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. –Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 342 с.
5. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 210 с.
6. Методика проведения комплексных полевых опытов для построения математических моделей агробиоценозов. – Новочеркасск, 1978. – 36 с.
7. Руководство по теплбалансовым наблюдениям. –Л.: Гидрометеиздат, 1977.– 146 с.
8. Будаговский А.И., Росс Ю.К., Тооминг Х.Г. Вертикальное распределение потоков длинноволновой радиации и радиационного баланса в растительном покрове. – В кн.: Актинометрия и оптика атмосферы.-Таллин.: Валгус, 1968. –С. 299 – 307.

Радіаційні фактори і продуктивність овочевих культур. Божко Л.Ю.

Викладаються результати виконаних автором багаторічних досліджень гідрометеорологічного режиму полів з овочевими культурами. Встановлені закономірності змін радіаційного та теплового балансів в посівах баклажан, солодкого перцю, томатів різної гуштини, та вплив цих змін на формування гідрометеорологічного режиму при зрошенні.

Ключові слова: овочеві, гідрометеорологічний, продуктивність, тепловий, радіаційний, баланс, експеримент, радіація, урожай, зрошення.

Radiating factors and efficiency of vegetable cultures. Bozhko L.E.

Results of the long-term experimental researches of a hydrometeorological regime of fields executed by the author with vegetable cultures are stated. Laws of change of radiating and thermal balances in crops an eggplant, sweet pepper and tomatoes of various density, their influence on formation of a hydrometeorological regime and its change under influence of an irrigation are established.

Key words: vegetable, hydrometeorological, efficiency, radiating, thermal, balance, experiment, radiation, irrigation.