

**ВЛИЯНИЕ ЛУКОВЫХ КУЛЬТУР НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА
В ПРОФИЛЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО****THE EFFECT OF ONION CROPS ON THERMAL REGIME FORMATION
IN THE PROFILE OF LEACHED CHERNOZEM**

Ключевые слова: лук, тепло, температура, сумма температур, тепловой поток.

Репчатый лук – важная и популярная овощная культура, которая требует значительного количества тепла и влаги в почве. С целью изучения теплового режима чернозема при его возделывании проводились систематические измерения температуры на различных глубинах почвенного профиля в течение вегетационных периодов ряда лет. Знание этих температур позволило рассчитать суммы суточных температур и величины тепловых потоков в верхнем корнеобитаемом слое (0–20 см) почвы. Оказалось, что сумма суточных температур как в пахотном горизонте, так и во всей метровой толще чернозема, занятого паром за годы исследований, превышает этот показатель на участках под луковой культурой. Аналогичные различия были характерны и для потоков тепла в верхнем 20-сантиметровом слое почвы. При этом тепловой режим чернозема за годы исследований оказался благоприятным для произрастания репчатого лука.

Keywords: onion, heat, temperature, cumulative temperatures, heat flux.

Bulb onion is a popular and important vegetable crop which requires a significant amount of heat and moisture in the soil. To study the thermal regime of chernozem under bulb onions we performed systematic temperature measurements at different depths of the soil profile during the growing season over a number of years. The knowledge of those temperatures enabled calculating the cumulative daily temperatures and the heat flux in the upper root layer (0–20 cm) of the soil. It was found that over the research years the cumulative daily temperatures both in arable horizon and throughout one meter chernozem layer under a fallow exceeded the cumulative daily temperatures in the plots under onion crops. Similar differences were observed for the heat flux in the upper 20 cm soil layer. At the same time the thermal regime of the chernozem over the research years was favorable for bulb onion cultivation.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Введение

Репчатый лук – одна из наиболее важных и популярных овощных культур. В пищу его употребляют в свежем виде и как приправу к различным блюдам. Лук обладает бактерицидным свойством, его фитонциды убивают возбудителей различных заболеваний.

Наилучшей температурой для роста и развития луковых растений является температура 22–25°C. Они относятся к влаголюбивым культурам. Репчатый лук требует особенно много влаги в первую половину развития. Эта потребность значительно сокращается, когда идет подсыхание листьев и формируется луковица. С начала роста и до начала созревания луковиц влажность в корнеобитаемом слое почвы не должна быть ниже 73% наименьшей влагоемкости (НВ) [1, 2].

Целью работы явилось изучение теплового режима почвы под луковыми культурами. При этом решалась **задача** измерения температуры генетических горизонтов чернозема под луком и в паровом поле (контроль). Луковые культуры формируют режим тепла,

имеющий свои специфические особенности. Для его выявления нами в течение вегетации 2004–2007 гг. проводились наблюдения за температурой почвы на территории Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСООС).

Результаты исследований

Представлены температурные данные на отдельных глубинах и в целом в 20-сантиметровом слое почвы (рис., табл. 1).

В течение всего срока наблюдений в 2004 г. температура поверхности чернозема в пару оставалась выше, чем под покровом лука. Более сильное прогревание воздуха приводило к значительному перепаду температур на поверхности почвы исследуемых вариантов. С глубиной этот эффект нивелировался. В целом суточная сумма температур в верхнем 20-сантиметровом слое в пару за все время вегетации была больше на 25–40°C по сравнению с луковым участком.

На рисунке видно, что различия в сумме температур на глубине 5 см, где формируется луковица, в пару и под луком незначи-

тельные, хотя прослеживается тенденция к ее снижению к концу вегетационного периода.

Разница в сумме температур между паром и луком за весь период наблюдений 2004 г. составила в среднем 4,7%.

Невелика разница между суммой температур слоя 0-20 см в конкретный час наблюдения (13:00 ч) на данных вариантах (табл. 1). Если 9 июня она составила 17⁰С, то в июле практически отсутствовала.

Для наиболее полной характеристики теплового режима чернозема выщелоченного на вариантах опыта необходимо знание о величинах теплоточков. Известно, что теплооборота в основном зависят от амплитуды колебания температуры поверхности почвы как одного из производных параметров континентальности климата. Кроме того, теплообмен в почве определяется не только приходом солнечной радиации, но и вертикальными градиентами, влагозапасами, а также физическими свойствами почв [3-6].

Нами рассчитаны теплоточков на основании данных об изменении температуры почвы в верхнем 20-сантиметровом слое и объемной теплоемкости чернозема. Нужно указать, что определение тепловых потоков производилось в разных метеорологических условиях.

Особенности формирования гидротермических полей сказались на величине тепловых потоков, поступающих в почву. Так, суточные измерения температуры летом 2004 г. проводились три раза (табл. 2). Более сильное

прогревание корнеобитаемого слоя почвы (0-20 см) обусловило повышенные значения потоков тепла в пару по сравнению с луком.

Так, 9-10 июня теплоточков на первом варианте составили 92,8, а на втором – только 59,9 Вт/м². Резкое снижение температуры в ночь на первое августа вызвало не только уменьшение суточной суммы температур пахотного слоя, но и минимум потока тепла в почву.

Наблюдения за гидротермическим режимом чернозема были продолжены в 2005-2006 гг. В таблице 3 представлены температуры на отдельных глубинах верхнего 20-сантиметрового слоя почвы, где сосредоточена практически вся корневая система лука репчатого.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что суточная сумма температур на поверхности парового поля в течение вегетации 2006 г. была выше, чем в 2004 г. Так, в конце июня в пару она составила в первом случае 863,2⁰С, а под луком – только 818,0⁰С. Аналогичная картина сохранялась и во второй половине лета. Более высокие значения суммы температур отмечались во всем пахотном слое.

Сравнение агрофонов показало, что суммы температур как на отдельных глубинах, так и во всем корнеобитаемом слое почвы в 2006 г. были выше в пару в течение всей вегетации. В конце июня разница между вариантами составила 45⁰С, тогда как в июле и августе – 19 и 15⁰С соответственно.

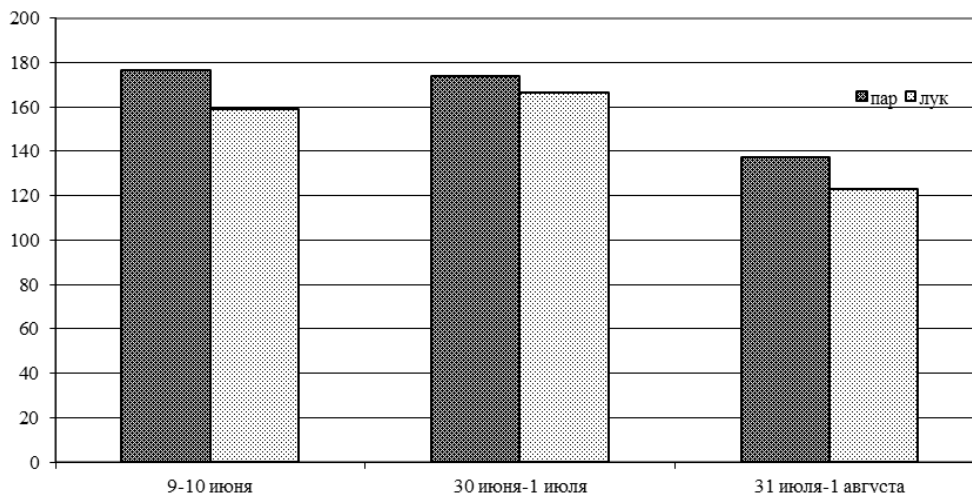


Рис. Сумма температур в пару и под луком на глубине 5 см (2004 г.)

Таблица 1

Сумма температур в 13:00 ч в слое 0-20 см (2004 г.)

Толщина слоя, см	Сроки наблюдений					
	9 июня		30 июня		31 июля	
	пар	лук	пар	лук	пар	лук
0-20	140,6	123,7	127,5	128,7	97,1	96,4

Определяя сумму температур в 13:00 ч дня в пахотном слое в 2006 г., наблюдаем картину, аналогичную предыдущим измерениям: в июне разница составила 5⁰С, в остальные сроки – 1-2⁰С (табл. 4).

Вертикальные градиенты температур в почвенном профиле, влагосодержание, обу-

словившее значения объемной теплоемкости, определили формирование и направление потоков тепла в пахотном слое чернозема (табл. 5). 27-28 июня в пару и под луком они оказались равны, соответственно, 68,5 и 63,9 Вт/м². Но погодные условия могут внести коррективы в тепловые потоки [7].

Таблица 2

Тепловые потоки (P, Вт/м²) в черноземе выщелоченном в отдельные сроки наблюдений и средние за сутки за вегетационный период 2004 г.

Время, ч	9-10 июня		30 июня-1 июля		31 июля-1 августа	
	пар	лук	пар	лук	пар	лук
13:00	127,07	97,30	24,29	39,42	25,32	43,63
16:00	-17,01	-5,02	27,21	-13,53	0,20	4,80
19:00	-99,92	-94,23	13,77	-15,32	-31,9	-47,47
1:00	-58,64	-44,48	-35,99	-22,33	-26,3	-34,39
7:00	19,25	26,90	9,91	-3,85	10,71	7,20
10:00	122,05	79,45	56,76	63,8	30,27	32,95
Σ	92,79	59,92	95,95	55,89	8,25	6,71

Таблица 3

Суточная сумма температур в профиле чернозема в 2006 г. (0-20 см)

Глубина, см	27-28 июня		25-26 июля		8-9 августа	
	пар	лук	пар	лук	пар	лук
0	187,8	177,2	147,2	138,2	138,5	123,7
5	176,0	167,7	139,4	131,1	128,7	115,7
10	169,5	160,9	127,4	128,0	114,3	109,5
15	166,8	155,7	126,0	126,2	109,2	107,9
20	163,1	156,5	128,7	126,1	100,7	106,0
Σ	863,2	818,0	668,7	649,6	577,4	562,8

Таблица 4

Сумма температур в 13:00 ч в слое 0-20 см (2006 г.)

Толщина слоя, см	Сроки наблюдений					
	27 июня		25 июля		8 августа	
	пар	лук	пар	лук	пар	лук
0-20	164,5	159,6	132,6	131,5	86,5	84,1

Таблица 5

Тепловые потоки (P, Вт/м²) в черноземе выщелоченном в отдельные сроки наблюдений и средние за сутки за вегетационный период 2006 г.

Время, ч	27-28 июня		25-26 июля		8-9 августа	
	пар	лук	пар	лук	пар	лук
13:00	37,54	54,59	25,27	36,98	64,14	44,35
16:00	16,72	18,20	15,63	20,55	35,41	45,68
19:00	-10,51	-29,42	-29,30	-22,56	-25,84	-23,95
1:00	-25,32	-33,72	-38,13	-33,76	-44,03	-45,45
7:00	7,20	6,79	-4,57	-9,07	-5,27	6,81
10:00	42,82	47,49	13,80	18,56	41,65	26,99
Σ	68,45	63,93	-17,21	10,69	66,08	54,42

Таблица 6

Суточная сумма температур в профиле чернозема в 2007 г. (0-20 см)

Глубина, см	16-17 июня		21-22 июля	
	пар	лук	пар	лук
0	155,9	135,8	185,0	175,2
5	141,1	127,4	180,1	173,9
10	127,0	124,6	175,6	170,6
15	120,7	116,4	168,9	168,8
20	115,4	112,2	162,5	164,1
Σ	660,1	616,4	872,1	852,6

Тепловые потоки (Р, Вт/м²) в черноземе выщелоченном в отдельные сроки наблюдений и средние за сутки за вегетационный период 2007 г.

Время, ч	16-17 июня		21-22 июля	
	пар	лук	пар	лук
13:00	77,70	38,06	71,22	39,18
16:00	53,19	20,05	-17,31	16,77
19:00	-40,52	-15,33	-62,45	-19,90
1:00	-62,21	-28,56	-49,66	-33,66
7:00	25,04	15,92	25,45	7,69
10:00	71,23	47,17	101,19	43,86
Σ	124,42	77,31	68,44	53,96

Например, 25 июля температура воздуха составляла 25°C, но ночью 26 июля прошел дождь, температура сильно понизилась и днем оказалась равной лишь 16°C. В результате теплоток под луковыми растениями составил только 10,7 Вт/м², а в пару, лишенном растительного покрова, оказался отрицательным, т.е. поменял направление, и тепло уходило из почвы в воздух.

Распределение суточных сумм температур под луковыми культурами и в пару в 2007 г. подтвердило направленность предыдущих лет (табл. 6). В пару в течение вегетации они оказались, как правило, выше, чем под растительным покровом и составили 16-17 июня 660 и 619°C соответственно.

21-22 июля воздух прогревался до 30°C, что повлияло на значения суточных сумм температур. Они оказались выше, чем в те же периоды в предыдущие годы. Сумма температур на глубине 5 см составила 180,1°C в пару и 173,9°C под луком.

Температурные данные и знание теплофизических коэффициентов позволили определить тепловые потоки в почвенных профилях (табл. 7).

Тепловой поток 16-17 июня в пару составил 124,4 Вт/м², тогда как под луком – только 77,3 Вт/м². Снижение температуры в течение суток приводит к значительному падению теплоток в почве. Так, 21 июля температура воздуха достигала 30°C, а на следующий день при усилении ветра она уменьшилась до 20°C. В результате тепловые потоки на соответствующих агрофонах стали равны 68,44 и 53,96 Вт/м².

Выводы

В заключение следует отметить, что сумма суточных температур как в пахотном горизонте, так и во всей метровой толще чернозема, занятого паром за все периоды вегетации 2004-2007 гг., превышает этот показатель на участках под луковой культурой.

Такие же различия были характерны для потоков тепла в верхнем 20-сантиметровом слое чернозема. В то же время тепловой режим почвы за годы исследований оказался оптимальным, о чем свидетельствуют данные по урожайности репчатого лука.

Библиографический список

1. Шуин К.А., Дудоров И.Т., Миранцов П.С. Производство овощей в Нечерноземье. – Л., 1982. – С. 165-180.
2. Демина Р.Ж. Режим орошения лука в дельте Волги // Овощеводство. – 1983. – № 9. – С. 50.
3. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. – М.: Наука, 1967. – 583 с.
4. Мартыанова Г.Н. Некоторые особенности теплового режима почв Онон-Аргунской степи // Климат почвы: докл. совещ. науч. совета по изучению климатических и агроклиматических ресурсов. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – С. 103-109.
5. Воронина Л.В. Роль теплового баланса в формировании климата почв // Почвенная климатология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 64-84.
6. Павлов А.В. Итоги и перспективы стационарных исследований теплового баланса и гидротермического режима почвы в криолитозоне // Климат почв: сб. науч. тр. – Пуццино, 1985. – С. 127-131.
7. Макарычев С.В., Терновская Л.В. Формирование ресурсов тепла и влаги в черноземах выщелоченных под овощными культурами в условиях Правобережья реки Оби // Вестник Алтайского государственного университета. – 2008. – № 2. – С. 35-39.

References

1. Shuin K.A., Dudorov I.T., Mirantsov P.S. Proizvodstvo ovoshchei v Nechernozem'e. – L., 1982. – S. 165-180.
2. Demina R.Zh. Rezhim orosheniya luka v del'te Volgi // Ovoshchevodstvo. – 1983. – № 9. – S. 50.
3. Nerpin S.V., Chudnovskii A.F. Fizika pochvy. – M.: Nauka, 1967. – 583 s.
4. Mart'yanova G.N. Nekotorye osobennosti teplovogo rezhima pochv Onon-Argunskoi stepi // Klimat pochvy: dokl. soveshch. nach. sojeta po izucheniyu klimaticheskikh i agroklimaticheskikh resursov. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – S. 103-109.
5. Voronina L.V. Rol' teplovogo balanssa v formirovanii klimata pochv // Pochvennaya klimatologiya Sibiri. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – S. 64-84.

6. Pavlov A.V. Itogi i perspektivy statsionarnykh issledovaniy teplovogo balansa i gidrotermicheskogo rezhima pochvy v kriolitozone // *Klimat pochv: sb. nauch. tr. – Pushchino, 1985. – S. 127-131.*

7. Makarychev S.V., Ternovaya L.V. Formirovanie resursov tepla i vlagi v chernozemakh vyshchelochennykh pod ovoshchnymi kul'turami v usloviyakh Pravoberezh'ya reki Obi // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – № 2. – S. 35-39.*



УДК 631.436

А.Г. Болотов
A.G. Bolotov

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВЫ

SOIL THERMAL DIFFUSIVITY DETERMINATION METHOD

Ключевые слова: коэффициент температуропроводности почвы, теплофизические свойства почвы, метод температурной волны.

Для аналитического расчета коэффициента температуропроводности по экспериментальным данным термометрии, как правило, применяется метод температурных волн. Степень затухания температурной волны определяется коэффициентом температуропроводности почвы. Однако на относительно коротких промежутках времени, по сравнению с периодом колебания, а также для ангармонических колебаний, к которым относятся колебания температуры почвы, коэффициент температуропроводности невозможно без некоторых допущений определить с помощью данного метода. Предлагается новый метод расчета коэффициента температуропроводности, в основе которого положена электротепловая аналогия в сочетании с теорией сигналов в радиотехнике, позволяющей снять вышеуказанные ограничения. Идея метода заключается в том, что почва рассматривается как фильтр нижних частот, изменяющий энергетический (амплитудный) спектр исходной функции, которую предлагается разложить на элементарные гармоники с разными частотами с помощью преобразования Фурье. В данном случае преобразование Фурье используется как амплитудно-частотная декомпозиция сигнала, то есть обратимый переход от временного пространства в частотное. Дискретное преобразование Фурье может быть рассчитано с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье, что открывает возможности для применения метода во встроенных программных приложениях. Расчет, выполненный на примере чернозема выщелоченного Алтайского Приобья, показал, что полученные значения коэффициента температуропроводности совпадают с литературными данными. Разработанный метод позволяет определить коэффициент температуропроводности почвы по данным режимных наблюдений температуры почвы в естественных условиях. Примене-

ние предлагаемого метода намного упрощает и расширяет возможности определения вышеуказанной величины в полевых условиях долгосрочного теплофизического мониторинга.

Keywords: soil thermal diffusivity, soil thermo-physical properties, temperature wave method.

Generally, temperature wave method is used for analytical calculation of thermal diffusivity from the experimental data of thermometry. The temperature wave attenuation rate is determined by soil thermal diffusivity. However, this method is inapplicable without some assumptions for the determination of thermal diffusivity at relatively short intervals of time compared to the oscillation period and for anharmonic oscillations including soil temperature oscillations. In this study we propose a new method for calculating the thermal diffusivity which is based on electrothermal analogy combined with the radio signal theory enabling removing the above restrictions. The idea of the method is that the soil is regarded as a low-pass filter altering the energy (amplitude) spectrum of the initial function; it is proposed to expand this function into elementary harmonics with different frequencies using the Fourier transform. In this case the Fourier transform is used as the amplitude-frequency decomposition of the signal, i.e. the reversible transition from the temporal domain to frequency domain. The discrete Fourier transform may be calculated using the fast Fourier transform algorithm which enables the application of the method in the built-in software applications. The calculation using the case of the leached chernozem of the Priobye (the Ob River area) of the Altai Region showed that the obtained values of the thermal diffusivity agreed with the literature data. The developed method enables the determination of soil thermal diffusivity from the data of soil temperature regime observations in situ. The application of the proposed method greatly simplifies and extends the possibility of the determination of the above value in the field within long-term thermophysical monitoring.

Болотов Андрей Геннадьевич, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Bolotov Andrey Gennadyevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.