

Суточная динамика температуры обогреваемой почвы

Линкевич Н.Н.
(БГПА)

Проведение подпочвенного обогрева грунта — значительный резерв повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий.

В 1990 ... 1993 годах на опытно-производственном участке ЦНИИКИВР, примыкающем к территории Минской ТЭЦ-4, проводились исследования по эффективности применения подпочвенного обогрева как тепломелиоративного мероприятия. Обогрев осуществляется при помощи сети труб, уложенных в почву на глубину 0,55...60 м и расстоянии 1,0...2,0 м друг от друга, через которые пропускалась теплая вода с температурой 17...38 °С.

Наличие в почвенной толще линейных переменных источников тепла отражается на формировании ее температурного режима.

Тепловой режим почвы в суточном цикле, в связи с различием в поглощении и отражении солнечной радиации поверхностью почвы в разное время суток, характеризуется изменением ее температуры от максимальных до минимальных значений, величина которых изменяется со временем и глубиной.

Наблюдения за суточным ходом температуры почв проводили одновременно на всех стационарных площадках, как в солнечные, так и в пасмурные дни в разные периоды года.

Анализ суточного хода температуры обогреваемой и не обогреваемой почвы показывает, что общий характер ее изменения в течение суток, как на обогреваемых, так и на контрольном участке, остается одинаковым. Это проявляется, в частности, в таких показателях, как время наступления экстремальных температур, амплитуда их колебаний на разных глубинах и глубина проникновения суточных температур (рис.1, 2).

На поверхности почвы максимум температуры наступает в 13...15 час., а минимальная температура наблюдается в 3...5 час. С глубиной время наступления максимумов и минимумов сдвигается: на глубине 5 см на 2...3 часа, а на глубине 20 см на 4...6 часов.

В солнечные дни величины суточных амплитуд температур выше, чем в пасмурные дни (рис.3), поскольку в солнечные дни почва лучше прогревается днем и сильнее охлаждается в малооблачную или ясную погоду ночью (в результате интенсивного теплового излучения). Величины суточных амплитуд температур почвы максимальные значения имеют на поверхности почвы без растительного покрова, а на участке под картофелем они минимальны (рис.2) и составляют на поверхности почвы 1,2 °С. На поверхности почвы без растительного

покрова это связано с интенсивным нагреванием почвы днем и охлаждением ночью, а под картофелем – ослаблением нагревания почвы в результате затенения растительностью в дневные часы и уменьшением охлаждения в ночные часы. Во всех случаях с глубиной суточные амплитуды заметно уменьшаются и незначительно отличаются по вариантам опыта (рис.3).

Изменения температуры почв на разных глубинах также показывают, что суточный теплооборот в обогреваемой и не обогреваемой почвах (слой почвы, в котором в течение суток изменяется температура) при отсутствии растительного покрова может достигать 70...80 см, а под покровом картофеля он уменьшается до 40...50 см. Обогрев почвы, как показали наши наблюдения, не оказывает существенного влияния на его величину.

Разность температур не обогреваемой и обогреваемой почв в 13 час. и среднесуточной имеет наибольшую величину на поверхности почвы, с глубиной резко уменьшается, а начиная с глубины 10...20 см, значения температур почв в 13 час. и среднесуточной на разных вариантах опыта очень близки (табл.1).

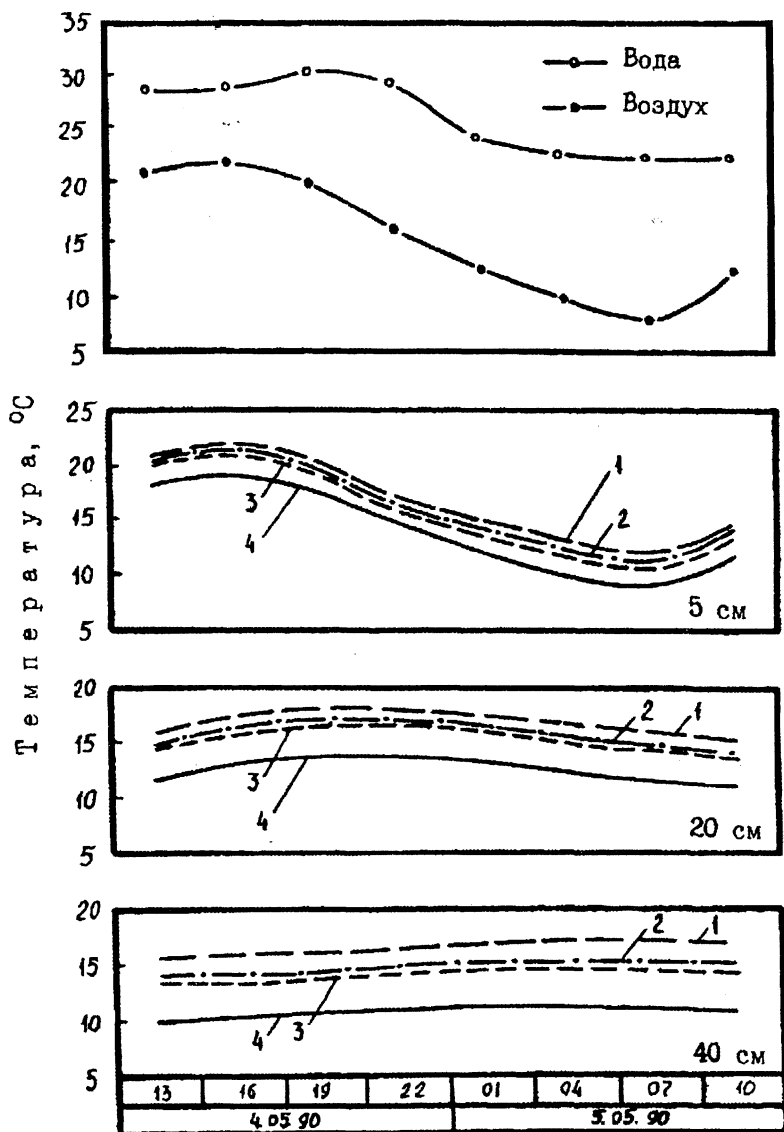


Рис.1. Суточный ход температуры обогреваемой и не обогреваемой почвы на разных глубинах в весенний период: 1 – расстояние между трубами 1,0 м; 2 – 1,5 м; 3 – 2,0 м; 4 – контроль.

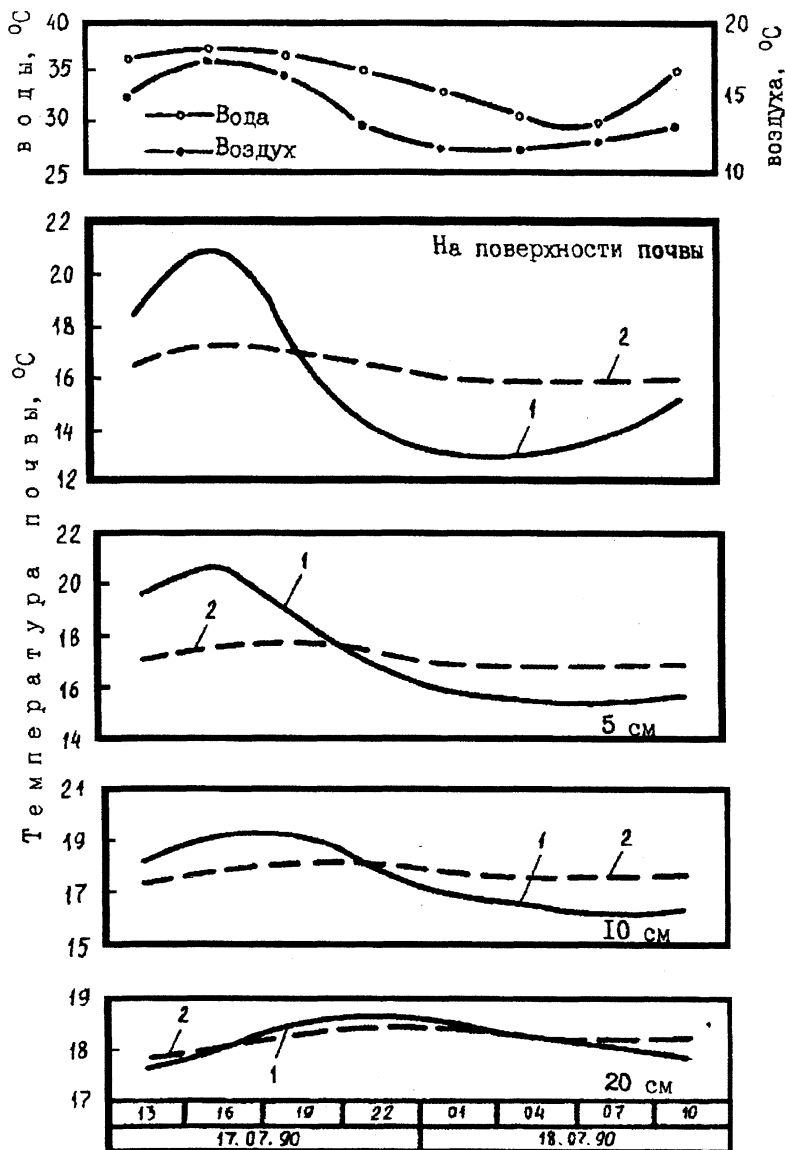


Рис.2. Суточный ход температуры обогреваемой ($E=1,5$ м) почвы на разных глубинах на поверхности почвы без растительного покрова (1) и под покровом картофеля (2).

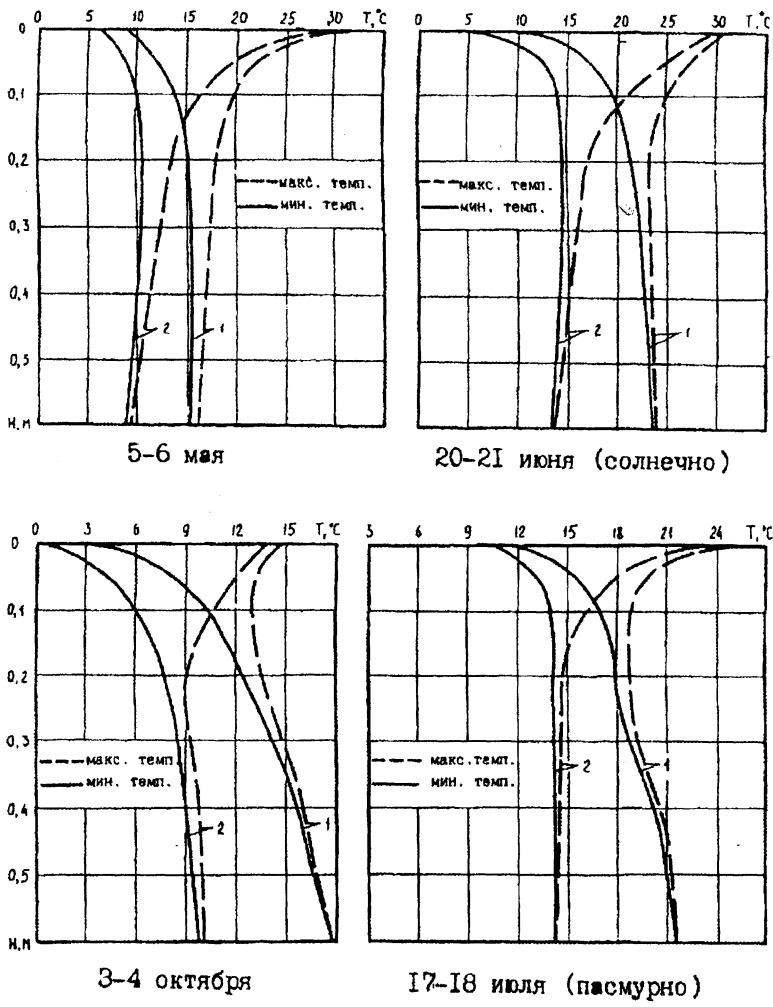


Рис.3. Максимальная и минимальная температура почвы на обогреваемом $E=1,0$ м (1) и не обогреваемом (2) участках в разные периоды года

Таблица 1

**Разность температур ($^{\circ}\text{C}$) не обогреваемой и обогреваемой почв
в 13 час. и среднесуточной в разные периоды года**

Дата	Вариант	Глубина, см							
		0	5	10	20	40	60	80	160
4...5.05.1990 г.	Контроль	+14,3	+4,0	+1,6	-0,9	-0,9	-0,3	-0,1	-0,1
	E=1,0 м	+12,3	+4,0	+1,0	-1,0	-1,0	-0,5	-0,4	0,0
	E=1,5 м	+13,1	+4,0	+1,1	-1,2	-0,9	-0,4	-0,2	0,0
	E=2,0 м	+13,4	+4,2	+1,3	-0,9	-0,8	-0,3	-0,1	-0,1
20...21.06.1990 г.	Контроль	+11,9	+4,2	+1,3	-0,9	-0,8	-0,2	-0,1	0,0
	E=1,0 м	+10,3	+2,8	+0,1	-1,2	-0,6	-0,1	-0,1	0,0
	E=1,5 м	+10,9	+3,6	+0,7	-1,1	-0,7	-0,2	0,0	0,0
	E=2,0 м	+10,3	+4,4	+1,3	-1,4	-0,8	-0,3	-0,1	0,0
17...18.07.1990 г.	Контроль	+3,3	+1,3	+0,1	-0,6	-0,2	0,0	+0,1	+0,1
	E=1,0 м	+4,5	+1,6	0,0	-0,5	-0,2	+0,1	+0,2	+0,1
	E=1,5 м	+2,7	+2,3	+0,6	-0,5	-0,1	+0,1	+0,2	0,0
	E=2,0 м	+1,4	+1,8	+0,4	-0,6	0,0	+0,1	+0,2	+0,1
3...4.10.1990 г.	Контроль	+6,2	+3,4	+1,0	-0,7	-0,1	+0,2	+0,1	0,0
	E=1,0 м	+5,3	+2,0	+0,3	-0,7	-0,1	+0,2	+0,1	0,0
	E=1,5 м	+5,4	+2,3	+1,0	-0,9	-0,2	+0,1	0,0	0,0
	E=2,0 м	+5,4	+2,0	+0,3	-0,7	-0,3	+0,1	+0,2	0,0

Если общий ход температуры почвы остается одинаковым на всех вариантах опыта и не зависит от расстояния между трубами, то абсолютные их значения существенно отличаются друг от друга. Причем эти различия нарастают с глубиной, уменьшаются по мере разряжения сети обогревающих труб и имеют свои особенности в разные периоды года.

Особенно неоднозначно влияние обогрева в течение суток на температуру поверхности почвы (табл.2), где оно больше в утренние часы, когда приток солнечной радиации отсутствует.

Таблица 2

**Суточный ход локального термического эффекта на поверхности
почвы в отдельные дня периода исследований, ($^{\circ}\text{C}$)**

Дата	Вариант	Часы суток							
		13	16	19	22	1	4	7	10
4...5.05.1990 г.	E=1,0 м	-1,0	-0,6	0,8	2,9	2,4	3,1	1,5	-1,0
	E=1,5 м	-0,4	-0,5	0,4	1,7	2,0	2,4	1,1	-0,4
	E=2,0 м	-0,2	-0,1	0,4	1,3	1,4	1,6	0,8	-0,2
20...21.06.1990 г.	E=1,0 м	1,5	1,4	3,5	3,0	3,0	3,5	6,2	2,8
	E=1,5 м	1,0	1,4	3,0	3,0	3,0	3,5	2,2	-1,5
	E=2,0 м	0	1,4	3,0	3,0	3,0	3,0	1,7	-2,5
3...4.10.1990 г.	E=1,0 м	0,7	1,0	1,6	2,0	1,9	2,5	2,6	0,2
	E=1,5 м	0,7	1,0	1,4	1,9	1,7	2,1	2,4	0,2
	E=2,0 м	0,1	0,4	0,9	1,2	1,1	1,5	1,6	0,2

Это очень важно с точки зрения защиты растений от заморозков. Так, последний весенний заморозок на не обогреваемой почве был отмечен в 1990 г. 20 мая ($-3,5$ °C), а на обогреваемой почве температура была положительной ($0...1,5$ °C).

Летом в ночные часы, а также весной, когда почва на контроле еще недостаточно прогрета, и поток тепла направлен вглубь почвы, это выражено наиболее ярко. Например, 5 мая 1990 года в 4 часа повышение температуры поверхности почвы составило $1,6...3,1$ °C. Весной (4.05 ... 5.05) в дневные часы температуры на контрольном и обогреваемом участке выравниваются и даже на не обогреваемом могут быть выше. Это можно объяснить механизмом испарения влаги с ее поверхности, а также подтеканием холодного воздуха со стороны градирен ТЭЦ-4 (обогреваемый участок находится ближе к градирям). Летом (20.06 ... 21.06) это было связано с затенением поверхности почвы растениями картофеля на данных вариантах опыта, что также отразилось на величине термического эффекта на глубине 5 см в те же часы суток.

Следует отметить, что начиная с глубины 5 см термический эффект хотя и не остается постоянным в течение суток, однако имеет более устойчивый характер, что видно из рис.1.

Весной термический эффект на глубине 20 см изменяется в течение суток от $4,4$ до $4,7$ °C, от $3,1$ до $3,7$ °C и от $2,8$ до $3,2$ °C соответственно при расстоянии между трубами 1,0; 1,5 и 2,0 м. Летом, когда почва достаточно прогрета, его колебания возрастают до $1,2 ... 1,4$ °C, а осенью уменьшаются до $0,2 ... 0,4$ °C.

До сих пор анализ суточного хода температур почвы проводился нами по данным измерений в зоне, расположенной на равном расстоянии от двух соседних труб. Однако, следует отметить, что обнаруженные изменения не являются адекватными для всех точек, удаленных на разное расстояние от трубы.

Анализ суточного хода температур почв на разных глубинах над трубой и на удалении 50 см от трубы показал, что если для контрольного участка и точек обогреваемого поля, расположенных между трубами, как было показано выше, амплитуды суточных температур незначительно отличаются друг от друга, то над трубой для глубины 5...20 см они на $0,5$ °C выше. Такие различия обусловлены большим нагревом почвы непосредственно над трубой в дневные часы и более глубокими выхолаживанием ее в ночные. Это явление,

по всей вероятности, связано с процессом аккумуляции и переноса тепла, поступающего одновременно от солнца и от системы обогрева, что подтверждают данные таблицы 3 и 4, где дана динамика горизонтальных и вертикальных внутрипочвенных перепадов температур.

Из таблицы 3 видно, что в обогреваемой почве горизонтальные перепады температур в слое 0...20 см меняют свой знак в течение суток. Так, на глубине 20 см в утренние часы горизонтальный поток тепла направлен к зоне, расположенной над трубой (перепад отрицателен), а в дневные часы – поток тепла направлен от трубы к зоне, расположенной между трубами. На глубине 40 см поток тепла направлен все время от трубы, однако максимальное его значение наблюдается в 22...1 час.

Таблица 3

Суточный ход горизонтальных внутрипочвенных перепадов температур в разных почвенных слоях обогреваемого грунта (E=1,0 м) в отдельные дни периода исследований, °С/10 см

Дата	Глубина	Часы суток							
		13	16	19	22	1	4	7	10
4...5.05.1990 г.	10	0,1	0,2	0,4	0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,2
	20	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,2
	40	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
	80	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
20...21.06.1990 г.	10	-0,5	-0,3	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	-0,4
	20	0,1	0,4	0,4	0,1	-0,1	-0,4	-0,4	-0,3
	40	0,1	0,0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,0	0,0
	80	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5

Выявленный характер изменения внутрипочвенных перепадов свидетельствует о наличии в почве горизонтальной циркуляции тепла в течение суток, особенно в слое 0...30 см, т.е. часть тепловой энергии, получаемой почвой от солнца и от системы обогрева, может расходоваться на периодическую горизонтальную циркуляцию тепла.

Данные таблицы 4 показывают, что вертикальные внутрипочвенные перепады температур изменяются в течение суток. В дневные часы, температура поверхности почвы выше температуры почв на глубине 10 и 20 см, поэтому величины внутрипочвенных перепадов имеют положительный знак. Поток тепла в этом случае направлен вниз от поверхности почвы к более глубоким слоям. Теплообмен осуществляется по типу инсоляции. Так, в летний период (20.06...21.06)

на контрольном участке величина положительных перепадов в слое 0...10 см достигает максимума (10,4 °С) в 13 часов. В обогреваемой почве его величина на середине между трубами изменяется в зависимости от межтрубного расстояния от 7,5 до 8,4 °С. В ночные часы характерна обратная зависимость: внутрипочвенные перепады температуры имеют отрицательный знак. Поток тепла в этом случае направлен вверх от более глубоких слоев почвы к их поверхности. При этом характерно, что на обогреваемой почве значения отрицательных перепадов температур выше чем на обогреваемой. Так, летом на контрольном участке величина отрицательных перепадов в слое 0...10 см достигает максимума (9,1 °С) в 4 часа. В обогреваемой почве их величина составляет посередине между трубами 11,3...8,7 °С, убывая по мере разряжения сети обогревающих труб. Следует отметить, что и продолжительность периода с отрицательными потоками тепла на обогреваемой почве больше чем на контроле на 2...4 часа.

Таблица 4

Суточный ход вертикальных внутрипочвенных перепадов температур в разных почвенных слоях обогреваемого и не обогреваемого грунта в летний период (20...21.06.1990 г.), °С/10 см

Вариант	Слой, см	Часы суток							
		13	16	19	22	1	4	7	10
К	0-10	10,4	8,1	0,7	-6,1	-8,7	-9,1	-4,4	7,9
	10-20	3,8	5,0	3,4	1,1	-0,2	0	-1,3	0,9
Над трубой									
E=1,0 м	0-10	10,9	5,9	-1,7	-8,2	-10,1	-11,0	-2,8	5,9
	10-20	1,1	2,7	1,7	-0,2	-1,4	-2,1	-2,0	-0,5
Между трубами									
E=1,0 м	0-10	8,4	5,5	-0,6	-8,5	-11,3	-11,3	-4,0	5,0
	10-20	1,6	2,9	1,9	0,2	-0,9	-1,7	-1,8	0,1
E=1,5 м	0-10	8,4	5,7	-0,2	-6,8	-9,3	-9,1	-6,0	2,5
	10-20	2,3	4,2	0,2	0,2	-1,2	-2,1	-1,9	0,1
E=2,0 м	0-10	7,5	6,3	0,3	-6,7	-8,7	-8,7	-5,3	3,2
	10-20	2,8	3,7	2,1	0,1	-1,6	-2,6	-2,5	-0,8

Таким образом, в условиях республики подпочвенный обогрев автоморфных супесчаных почв приводит к заметному улучшению температурного режима, как самой почвы, так и приземного слоя

воздуха. Этим существенно снижается опасность отрицательного воздействия весенних и осенних заморозков. Оптимизация температурных условий способствует ускоренному развитию всех испытанных (редис, салат, картофель, кабачки, огурцы) культур на 7...14 дней и увеличивает урожайность сельскохозяйственной продукции на 40...70%, а огурцов и кабачков — в несколько раз.