

## Динамика температуры почвы в агролесоландшафтах при формировании биопродуктивности сельскохозяйственных культур

*О.В. Рулёва, д.с.-х.н., Н.Н. Овечко, н.с., ФГБНУ ВНИАЛМИ*

Решающую роль в процессе развития растений играют водно-воздушный режим почв и метеорологические условия. Среди метеорологических факторов нами изучалась температура почвы.

При отсутствии или слабом развитии растительного покрова за счёт повышенной теплоёмкости и теплопроводности почвы на облесённых полях происходит её большее прогревание, чем без лесных полос (ЛП). Средняя дневная температура поверхностных слоёв почвы (до глубины 20 см) в зоне влияния полос в основном выше на 0,5–2°C [1].

С ростом сельскохозяйственных культур тепловой режим почвы на защищённых и незащищённых участках поля начинает изменяться. При слабом развитии растительного покрова соотношение температур на межполосных клетках такое же, как на пару, т.е. почвы теплее. Затем разница с открытым полем начинает сглаживаться. Во второй половине вегетационного сезона температура почвы на полях среди полос становится ниже, чем в открытой степи, так как более высокий стеблестой под защитой полос сильнее затеняет почву. Средняя дневная температура почвы до глубины 30 см на защищённых полях оказывается ниже, чем в открытой степи, на 0,5–2°C и более [2].

На полях среди полос температура почвы имеет выровненный характер. Так, в Азербайджане средняя разность температур на поверхности почвы и на глубине 30 см в пределах защищённого хлопкового поля составляла в июле 4,9–6,8, а на участке без полос – 10,3°C [3]. Следовательно, корневые системы растений на незащищённых полях подвержены в течение суток более значительным колебаниям температуры почвы. Снижение температуры, уменьшение амплитуды колебаний её в верхнем слое почвы создаёт во второй половине вегетации растений лучшие условия для произрастания сельскохозяйственных культур на облесённых полях.

**Материал и методы исследования.** Исследование было проведено в течение трёх лет на Ростовской опытно-мелиоративной станции. Лесная полоса из акации белой, семирядной, высотой 10 метров, уплотнена смородиной золотой. Расстояние между основными лесными полосами 500 м. Почвы опытного поля представлены предкавказскими слабо-выщелоченными среднemocными карбонатными тяжелосуглинистыми чернозёмами на лёссовидных суглинках. Не засоленные. Содержание гумуса в пахотном слое 0–30 см – 3,4–4,0%. Межполосная клетка представлена экологической системой с условными границами агроценоза, отделённой

лесными полосами. Температуру почвы определяли на глубине от 5 до 20 см термометром Савинова [4].

При существовании зависимостей показателей температуры почвы  $Y_{(i)}$  от условно разделённой экологической системы на некоторые пункты наблюдений  $X_{(i)}$  возникает возможность оценить их в рамках математической модели. Нами высказана гипотеза, что наблюдаемые величины  $Y\{Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n\}$ ;  $X\{X_5, X_{10}, X_{15}, X_{20}, X_{30}\}$  связаны между собой линейной регрессионной зависимостью вида

$$Y_{(i)} = B_1 \cdot X_{(i)} + B_0 + e_{(i)}, \quad 0 < i \leq n, \quad (1)$$

где  $Y_{(i)}$  – показатели температуры почвы на разных расстояниях от лесной полосы ( $X_5 \dots X_{30}$ );

$B_1, B_0$  – неизвестные константы.

$e_{(i)}$  – ненаблюдаемые случайные величины со средним 0 (т.е. являются несмещёнными) и неизвестной дисперсией, не меняющейся от опыта к опыту.

В постановку задачи входит оценка параметров модели  $B_1, B_0$  по наблюдаемым  $X_{(i)}$  и  $Y_{(i)}$  значениям наилучшим образом, построение доверительного интервала для  $B_1, B_0$ , проверка гипотезы о значимости регрессии; оценка степени адекватности модели.

**Результаты исследования.** Температура почвы осенью под защитой ажурной полосы в зоне до 20Н без растительного покрова очень изменчива. В 8 час. она меньше, чем на контроле, на 0,8–1,8°C (рис. 1а). В 13 час. температура почвы на глубине 5–20 см уменьшается с 11,1°C (5Н под влиянием защитных лесных насаждений) до 9,2°C – на контроле (30Н). Разница составляет почти 2 раза. В 18 час. сохраняется та же тенденция, т.е. за счёт тепляющего действия ЛП температура под влиянием защитных лесных насаждений (ЗЛН) выше, чем на контроле. В результате регрессионного анализа была получена экспоненциальная зависимость изменения температуры почвы от расстояния до лесных полос, описываемая уравнением

$$y = a \cdot e^{-bx}, \quad (2)$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;

$a$  и  $b$  – коэффициенты, определяющие угол наклона и изгиба кривой (табл. 1).

Коэффициент детерминации в 8 час.  $R^2 = 0,51$ , в 13 час. –  $R^2 = 0,84$ , в 18 час. –  $R^2 = 0,99$ .

В апреле температура почвы под ЗЛН была выше, чем на контроле, в 1,3 раза (рис. 1б), т.е. за счёт понижения скорости ветра, тепляющего действия лесных полос температура почвы стабильнее под ЗЛН. Данные также можно описать экспоненциальной зависимостью (табл. 1). Коэффициенты детерминации  $R^2 = 0,95–0,97$  свидетельствуют об удовлетворительной аппроксимации, т.е. модель в целом адекватна описываемому явлению.

В мае температура почвы в 8 и 13 час. была выше на контроле, а в 18 ч. — ниже, чем под влиянием ЗЛН (рис. 1в). При увеличении массы растительной ассоциации (озимая пшеница) в регуляцию теплообмена поверхности почвы включается фитоценоз. Это значит, что внутри агроценоза создаётся микроклимат за счёт деятельности самих растений, за ночь разница в температуре выравнивается, и с 8 до 13 час. за счёт повышенной испаряемости лесной полосы и растений температура под влиянием ЗЛН на поле становится ниже, чем на контроле. К 18 час. она увеличивается по сравнению с контролем. Перепады температурного градиента на открытом пространстве выше, чем под влиянием ЗЛН. Температура почвы в экосистеме межполосного пространства была описана уравнениями экспоненциальной зависимости (табл. 1) с коэффициентами детерминации  $R^2 = 0,78-0,92$ , что свидетельствует об удовлетворительной аппроксимации.

В июне растительная ассоциация озимой пшеницы достигла стадии созревания, фитомасса подсохла и утратила адаптивные свойства, что очень хорошо видно на графиках (рис. 1г). Если за счёт ЛП и её охлаждающего действия температура в 8 час. была ниже контрольных показателей, то к

13 час. она выровнялась по всему полю и только за счёт влияния ЛП носит экспоненциальный характер  $y = 27,27 \cdot e^{-0,007x}$ , т.е. температура почвы увеличилась.

Наиболее низкие коэффициенты детерминации приходится на осень. В 8 час. он равен 0,51. Это связано, очевидно, с непосредственным влиянием температуры воздуха на почвенный покров, который меняется в зависимости от температурных показателей за день. Т.е. действие растительности, выступающей в виде буфера в другие месяцы, здесь не выявлено.

Регрессионный анализ позволил выявить форму зависимости между случайными величинами  $Y$  (зависимой) и значениями нескольких переменных  $X$  (независимых) и значениями нескольких переменных точно заданы ( $X_5 \dots X_{30}$ ). Мы определили изменения между переменными экспоненциальной математической моделью с параметрами  $a$  и  $b$  (табл. 1) с 95-процентным доверительным интервалом. Проанализировав изменения температуры почвы в течение дня и сезона, выявив общие закономерности, для удобства дальнейшего анализа фактические данные были нормированы и сведены в корреляционную решетку.

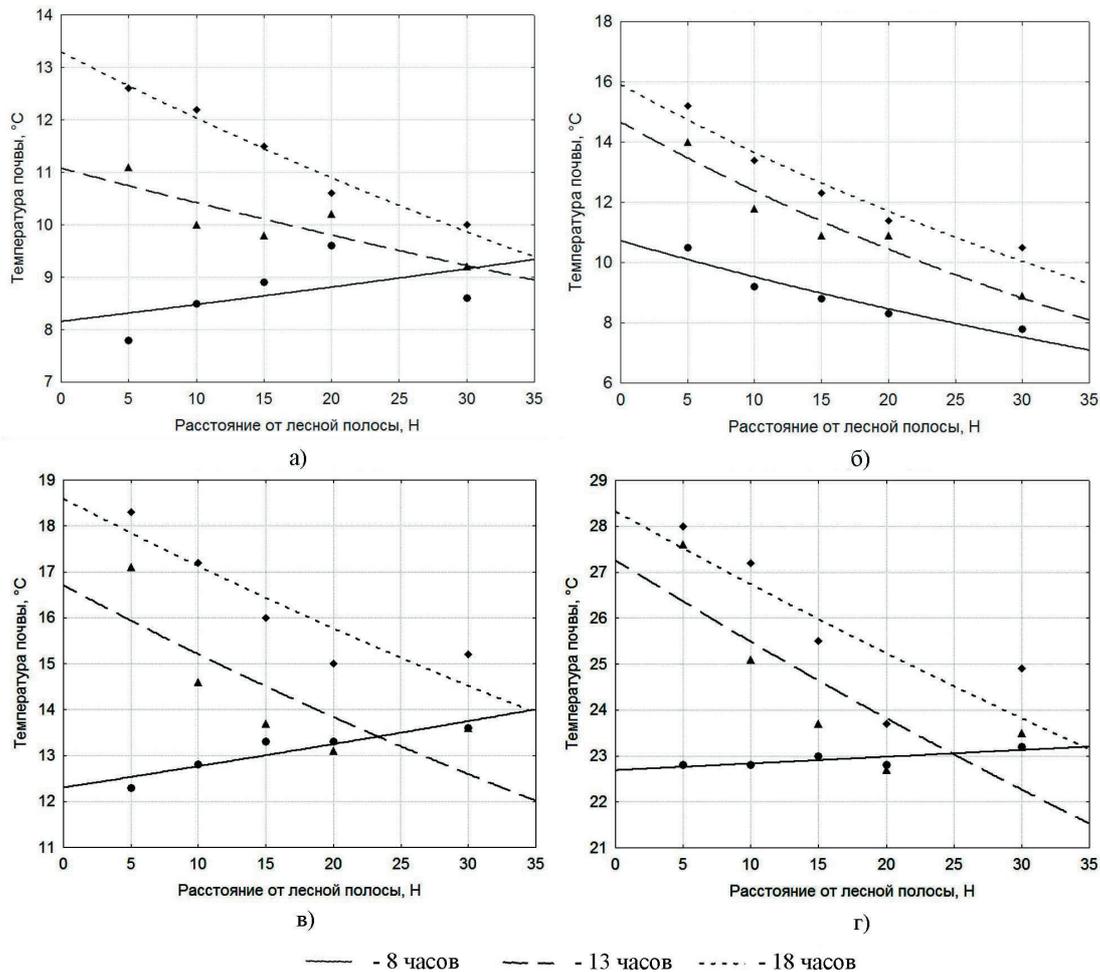


Рис. 1 – Зависимость температуры почвы от расстояния до лесной полосы по временам года: а – осень, б – ранняя весна (апрель), в – весна (май), г – лето (июнь)

1. Параметры обобщённого уравнения экспоненциальной зависимости  $y = a \cdot e^{-bx}$  температуры почвы от расстояния до лесной полосы

Календарный месяц	Время наблюдения, часы	Параметры уравнений		Коэффициент детерминации
		a	b	
Осень (средние многолетние)	8.00	8,16	0,004	0,51
	13.00	11,08	-0,006	0,84
	18.00	13,29	-0,010	0,99
Апрель (средние многолетние)	8.00	10,72	-0,012	0,95
	13.00	14,67	-0,017	0,96
	18.00	15,92	-0,015	0,97
Май (средние многолетние)	8.00	12,30	0,004	0,92
	13.00	16,71	-0,010	0,78
	18.00	18,60	-0,008	0,90
Июнь (средние многолетние)	8.00	22,69	0,0006	0,79
	13.00	27,27	-0,007	0,80
	18.00	28,33	-0,006	0,81

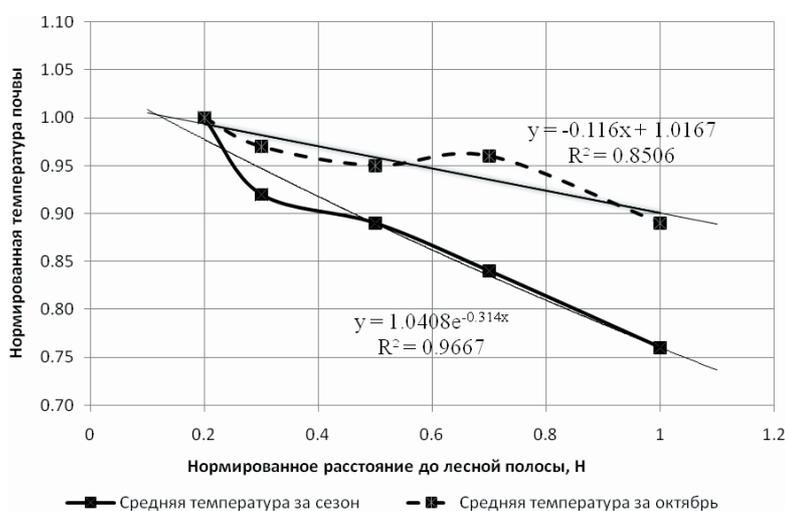


Рис. 2 – Средняя температура почвы на объекте исследования

На их основе построены графики (рис. 2). Уравнение изменения температуры почвы, находящейся под агроценозом озимой пшеницы под влиянием 7-рядной лесополосы на Ростовской опытно-мелиоративной станции за вегетационный сезон (апрель – июнь), имеет вид:  $y = 1,0408 \cdot e^{-0,314x}$  с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,97$ , что свидетельствует об удовлетворительной аппроксимации, т.е. модель адекватна описываемому явлению. Первоначально высказанная гипотеза о линейности наблюдаемых величин  $Y\{Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n\}; X\{X_5, X_{10}, X_{15}, X_{20}, X_{30}\}$  подтвердилась частично. Получено уравнение температуры почвы за октябрь вида  $y = -0,116x + 1,0167$  с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,85$ . За сезон средняя температура почвы описывается экспоненциальной зависимостью. Как было описано выше, здесь играет роль влияние лесной полосы, которая изменяет динамику температуры почвы.

Достоверность полученного уравнения была подтверждена и дисперсионным анализом. В задачу нашего описания входило сравнить дисперсию, обусловленную случайными причинами, с дисперсией, вызываемой наличием исследуемого фактора. Если они значимо различаются, то счита-

ют, что фактор оказывает статистически значимое влияние на исследуемую переменную. Значимость различий проверяют и по критерию Фишера. Влияние случайной составляющей характеризует внутригрупповая дисперсия, а влияние изучаемого фактора – межгрупповая. Критерий Фишера считается значимым, если Р-значение  $< 0,05$ .

Дисперсионный анализ статистических данных по температуре почвы с растительным покровом показал, что отличия по сезонам года отсутствуют  $P=0,08$ , что больше  $0,05$  (табл. 2). Существенное влияние на показатели температуры почвы имеет только лесная полоса и расстояние в межполосном пространстве, так как  $P=0,004$  (табл. 3). В полученном экспоненциальном уравнении критерий Фишера значим и влияние лесной полосы на температуру почвы, описываемое за вегетационный сезон (апрель – июнь) по экспоненциальной зависимости является доказанным.

**Выводы.** Анализ литературных источников и собственные исследования показали, что изучение почвенного покрова и температуры приземных слоёв воздуха достаточно сложно и проводится, как правило, при различных условиях погоды, состояниях приземного слоя атмосферы, времени

2. Дисперсионный анализ статистических данных по температуре почвы с растительным покровом (вегетационный сезон) и без него (осень)

Группа	Счёт	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Апрель	5	4,08	0,816	0,015		
Май	5	4,59	0,918	0,003		
Июнь	5	4,66	0,932	0,002		
Средняя за сезон	5	4,41	0,882	0,008		
Осень	5	4,77	0,954	0,002		
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,058	4	0,015	2,449	0,08	2,87
Внутри групп	0,119	20	0,006			
Итого	0,177	24				

3. Дисперсионный анализ статистических данных по температуре почвы в экосистемном пространстве

Группа	Счёт	Сумма	Среднее	Дисперсия		
5 Н	5	5	1	0		
10 Н	5	4,63	0,926	0,002		
15 Н	5	4,46	0,892	0,003		
20 Н	5	4,3	0,86	0,006		
35 Н	5	4,12	0,824	0,011		
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,091	4	0,023	5,234	0,004	2,86
Внутри групп	0,086	20	0,004			
Итого	0,177	24				

года, под влиянием ЛП различной рядности, породного состава, конструкции, мощности стеблестоя сельскохозяйственных культур и т.п. Поэтому качественные оценки будут иметь ту или иную степень субъективизма, только лишней раз доказывая сложность изучаемого явления. Количественная интерпретация исследуемого процесса на основе экосистемного подхода с выделением главенствующей роли лесной полосы как экологического фактора, растительного ценоза, как наиболее тесно связанного с почвой элемента структуры экосистемы, позволяет учесть наиболее существенные факторы, определяющие динамику температуру почвы. Обобщая ранее полученные экспериментальные данные и теоретические предпосылки, следует заключить, что лесные полосы на защищённых полях, ослабляя скорость ветра, вертикальный обмен и горизонтальный перенос тепла, уменьшая затраты тепловой энергии на испарение, в большинстве

своём способствуют повышению температуры почвы в дневные часы. Косвенным подтверждением служит ускорение темпов развития растений на полях, находящихся под влиянием ЗЛН. Кроме того, без растительного покрова влияние лесных полос на температуру почвы межполосного пространства прямолинейно, а в течение вегетации изменяется по экспоненциальной зависимости.

**Литература**

1. Рулева О.В. Биопродуктивность орошаемых агролесоландшафтов юга Европейской России: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. Волгоград, 2005. 47 с.
2. Буков А.С., Лабазников Б.В. и др. Влияние лесных полос на микроклимат, сохранность и повышение урожайности сельскохозяйственных культур // Труды АзербНИИЛХ. Барда, 1964. Т. 5. С. 1163–1168.
3. Лабазников Б.В. Влияние полезащитных лесных полос на микроклимат, рост, развитие и урожайность хлопчатника в орошаемой зоне сухих субтропиков Азербайджана: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 1965. 20 с.
4. Павлова М.Д. Практикум по агрометеорологии: Л.: Гидрометеоздат, 1974. 168 с.