



О.К.Рычко

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УЧЕТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИТОГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В АРИДНЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

Предлагается система специальных методов оценки и алгоритмов расчета основных растительных, водных и тепловых факторов, формирующих фитогидротермические условия вегетирования культурной растительности в аридных регионах.

Значительная в аридных регионах территориальная и внутрисезонная изменчивость фитогидротермических условий функционирования антропогенных ландшафтов – к которым в полной мере можно отнести сельскохозяйственные ландшафты - требует осуществления их учета и прогнозирования в виде определения растительных и водно-тепловых факторов, формирующих режимы вегетирования культурных фитогеоценозов – агроценозов.

Ведущими биогидрометеорологическими факторами, влияющими на биофизическое состояние сельскохозяйственных ландшафтов (агроландшафтов), являются температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, почвенные влагозапасы, суммарное испарение, величина подпитывания слоя почвы от грунтовых вод, при их близком залегании, фазы развития и другие фитофенологические параметры агроценозов.

Несмотря на особую актуальность и большую практическую значимость вышеизложенного, до настоящего момента для засушливых территорий остается насущной задача разработки фитогидрометеорологических концепций и методов, позволяющих оперативно и заблаговременно, достоверно и комплексно учитывать региональные географические особенности процессов формирования и пространственно-временного распределения растительных и водно-тепловых компонентов таких природно-хозяйственных комплексов как агроландшафты.

Обозначенная проблема во многом решается с помощью предлагаемой автором комплексной структурно-функциональной схемы как совокупности специальных контрольно-диагностических и прогностических методов, способов и алгоритмов и действующей на основе использования репрезентативной информации о биогидрометеорологических факторах, формирующих фитогидротермические условия (ФГТУ) в аридных агроландшафтах.

Разработанная схема, структурно пока-

занная на рис.1, создана по результатам проведенных на опытно-производственных орошаемых агроценозах типичного аридного среднеазиатского региона, комплексных экспериментальных водно-тепlobалансовых и фитофенологических исследований, а также на основе обобщения фондовых агрометеорологических данных [5-7].

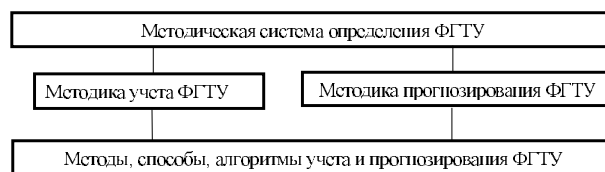


Рис.1 Структурная схема определения фитогидротермических условий агроландшафта

При этом были решены следующие основные задачи:

- изучены процессы энерго- и массообмена в аридных агроландшафтах и установлены закономерности внутрисезонной и территориальной изменчивости элементов растительных, тепловых и водных ресурсов местности в зависимости от их исходного состояния;

- определены главные биогидрометеорологические факторы, влияющие на фитофенологические и гидротермические условия вегетирования агроценозов;

- установлены, имеющие оценочно-прогностическое значение, предикторы и уравнения и разработаны методологические основы создания схемы учета и прогнозирования ФГТУ.

Схема базируется на выявленных зависимостях, полученных количественных и качественных показателях тепло- и влагопереноса в системе почва-растительность-воздух и включает комплексные био-физико-математические модели и методики, предназначенные для определения сроков наступления фенофаз, тепловых ресурсов, оптимального (при достаточном

почвенном увлажнении) суммарного испарения, испаряемости, почвенных влагозапасов и других компонентов агроландшафтов за различные фактические и перспективные периоды вегетирования основных агроценозов.

В данной работе, на примере агроценозов корнеплодов (сахарная и столовая свекла, репа, редька, и др.) показаны структурно-функциональные особенности предлагаемой схемы и её элементов.

Из многочисленных, в т.ч. наших, публикаций следует, что возобновление вегетации сахарной свеклы происходят в сроки, близкие к дате устойчивого перехода температуры воздуха через 5°C весной (D_5), что позволяет использовать D_5 в качестве предиктора при расчетах дат посева данных агроценозов.

Связь D_5 с оптимальными сроками посева (C) для сахарной свеклы характеризуется следующим уравнением:

$$C = 0,85D_5 + 37,61 \quad (1)$$

здесь C и D_5 отсчитываются в сутках от 1 января;

$$r = 0,84 \pm 0,03, n = 35, E_y = 5,00 \text{ суток};$$

где r – коэффициент корреляции, n – число членов, E_y – ошибка уравнения.

Дата перехода через 5 °C может быть получена по данным наблюдений или предвычислена по уравнению:

$$D_5 = 0,53D_0 + 45,16 \quad (2)$$

$$r = 0,76 + 0,05; n = 50; E_y = 5,54 \text{ суток};$$

где D_0 – дата перехода через 0°C весной, отсчитываемая от 1 января, сутки.

Результаты выполненных исследований позволяют при учете и прогнозировании оптимального суммарного испарения, испаряемости, тепловых ресурсов и сроков наступления фенофаз агроценозов, в качестве ведущих биогидрометеорологических предикторов и расчетно-прогнозных факторов использовать даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5°C весной, суммы активных температур воздуха и оптимальные сроки посева агроценозов, близкие температурно-му пределу в 5 °C.

Определение оптимального суммарного испарения агроценозов осуществляется по расчетным зависимостям, аналогичным предложенным А.М.Алпатьевым [1], М.И.Будыко [3], и адаптированными нами применительно к использованию

в засушливой зоне:

$$E = K_{t,d,Q,R,E\ddot{y}} \quad (3)$$

где E – значение оптимального суммарного испарения агроценоза за расчетный – декадный, межфазный, вегетационный – период (мм), определяемое по суммам: температуры воздуха t , дефицита влажности воздуха d , суммарной радиации Q , радиационного баланса R , испаряемости $E\ddot{y}$ за соответствующий расчетный период; $K_t, K_d, K_Q, K_R, K_{E\ddot{y}}$ – фитоклиматические коэффициенты оптимального суммарного испарения агроценоза (учитывающие региональные гидроклиматические и фитофенологические особенности агроландшафта), соответственно, по температуре воздуха (мм/°C), дефициту влажности воздуха (мм/мб), суммарной радиации и радиационному балансу (мм/кал), испаряемости, полученные нами экспериментально для агроценозов корнеплодов аридных регионов – табл.1,2.

При оценках оптимального суммарного испарения и влагообеспеченности агроландшафтов используется характеристика потенциально возможного испарения (испаряемости), которая для теплого периода года может определяться из уравнений:

$$E\ddot{y} = 0,30t \quad (4)$$

$$E\ddot{y} = 0,70Q \quad (5)$$

$$E\ddot{y} = 1,00R \quad (6)$$

где $E\ddot{y}$ – испаряемость (в мм) за расчетный период; t – сумма среднесуточных температур воздуха (в °C), Q, R – суммы, соответственно, суммарной радиации и радиационного баланса (в кал) за тот же период. При этом исходные величины $E\ddot{y}$ определялись нами по зависимости А. И.Будаговского [2].

Значения показателя естественного увлажнения (K) и водных ресурсов (B) аридного агроландшафта за любой промежуток теплого периода года оцениваются по уравнениям водного баланса:

$$K = \frac{X + (V - V') + \Pi}{E} \quad (7);$$

$$B = E - X + (V - V') + \Pi \quad (8)$$

где X – атмосферные осадки; V, V' – начальные и конечные влагозапасы заданного корнеобитаемого слоя почвы; Π – подпитывание корнеобитаемого слоя почвы от грунтовых вод; E – испаряемость или оптимальное суммарное испарение агроценоза – все в мм.

Таблица 1

Фитоклиматические коэффициенты оптимального

суммарного испарения сахарной свеклы
по основным гидрометеорологическим факторам

Сумма активных температур воздуха от даты посева, °С	Значения коэффициента				
	K _Q	K _R	K _O	K _I	K _d
0-200	0,35	0,52	0,67	0,17	0,32
200-400	0,39	0,57	0,76	0,79	0,36
400-600	0,43	0,62	0,82	0,21	0,38
600-800	0,47	0,70	0,89	0,23	0,42
800-1000	0,54	0,78	0,95	0,26	0,49
1000-1200	0,58	0,85	0,99	0,28	0,51
1200-1400	0,60	0,89	1,04	0,29	0,53
1400-1600	0,62	0,93	1,04	0,30	0,57
1600-1800	0,66	0,98	1,01	0,32	0,59
1800-2000	0,65	0,98	1,00	0,32	0,58
2000-2200	0,63	0,92	0,96	0,31	0,56
2200-2400	0,59	0,89	0,92	0,29	0,51
2400-2600	0,55	0,81	0,90	0,28	0,48
2600-2800	0,53	0,77	0,86	0,26	0,46
2800-3000	0,48	0,71	0,80	0,23	0,41
3000-3200	0,45	0,70	0,80	0,22	0,40
3200-3400	0,44	0,68	0,80	0,22	0,39
среднее	0,53	0,78	0,90	0,26	0,47

Таблица 2

Температурные фитоклиматические коэффициенты
оптимального суммарного испарения К агроцено-
зов
и б) за межфазные периоды – от даты посева

Значение коэффициента	Фазы развития						
	вторая пара листьев	начало роста корнеп- лода	смыкание в рядах	закры- тие между- рядий	макси- маль- ное разви- тие	пожел- тение ниж- них листь- ев	тех- ниче- ская спе- лость
а) пофазно	0,20	0,23	0,26	0,30	0,32	0,26	0,23
б) от даты посева	0,19	0,20	0,21	0,23	0,26	0,26	0,26

Величина (Π) рассчитывается по фор-
муле С.И. Харченко [8], с адаптацией
содержащихся в ней параметров:

$$\Pi = \frac{E'}{e^{Gm}} \quad (9),$$

здесь Π – в мм за расчетный период; E' – ис-
паряемость по (6)-(9) за тот же период, мм; e –
основание натурального логарифма; G –
глубина залегания грунтовых вод, м; m – эм-
пирический коэффициент зависящий от агро-
физических свойств почво-грунтов, вида агро-
ценоза, глубины корнеобитаемого слоя по-
чвы и определяемый экспериментально в кон-
кретных агроклиматических условиях.

Оценка ожидаемых тепловых ресурсов
агрорландшафтов ведется по дате устойчи-
вого перехода среднесуточной температу-
ры воздуха через 5 °С весной (за различные
от D₅ подекадно нарастающие или межфаз-
ные периоды) на основе уравнений табл.3

Даты наступления фенофаз агроценозов
рассчитываются по данным об оптимальном
сроке их посева по уравнениям аналогичным
табл.4.

Разработанные методы позволяют в пе-
риод от посева и до окончания вегетации

Таблица 3
Зависимость между D₅ и подекадно
нарастающими суммами тепловых
ресурсов (Y, °С)

Число и обо- значение декад от D ₅	Статистические параметры при n=50				
	коэффи- циент корреляции	средне квадратиче- ское откло- нение, °С	коэффи- циент вариации, %	уравнение регрессии	ошибка уравнения регрессии, °С
Y ₁	0,60±0,07	20,10	24	Y ₁ =1,22D ₅ +2,08	15,48
Y ₂	0,62±0,07	35,28	20	Y ₂ =2,20D ₅ +13,20	27,17
Y ₃	0,68±0,07	65,21	19	Y ₃ =4,14D ₅ +18,71	43,55
Y ₄	0,73±0,06	79,38	18	Y ₄ =6,02D ₅ +32,44	55,57
Y ₅	0,77±0,06	99,60	16	Y ₅ =7,75D ₅ +12,72	62,75
Y ₆	0,79±0,06	117,91	15	Y ₆ =9,32D ₅ +32,29	74,28
Y ₇	0,82±0,05	134,97	14	Y ₇ =11,47D ₅ +57,55	75,58
Y ₈	0,83±0,05	146,25	12	Y ₈ =11,34D ₅ +219,58	81,90
Y ₉	0,84±0,05	148,44	9	Y ₉ =12,01D ₅ +422,68	83,13
Y ₁₀	0,84±0,05	160,00	9	Y ₁₀ =12,92D ₅ +563,74	89,60
Y ₁₁	0,83±0,05	169,98	8	Y ₁₁ =13,80D ₅ +723,60	95,19
Y ₁₂	0,81±0,05	169,74	7	Y ₁₂ =13,14D ₅ +1013,44	95,05
Y ₁₃	0,80±0,06	179,57	7	Y ₁₃ =13,80D ₅ +1202,85	113,13
Y ₁₄	0,79±0,06	169,28	6	Y ₁₄ =13,41D ₅ +1474,44	106,65
Y ₁₅	0,77±0,06	159,57	5	Y ₁₅ =12,39D ₅ +1769,40	100,30
Y ₁₆	0,75±0,06	147,44	5	Y ₁₆ =11,00D ₅ +2086,20	92,89
Y ₁₇	0,72±0,07	135,97	4	Y ₁₇ =9,88D ₅ +2350,45	95,18
Y ₁₈	0,69±0,07	127,50	4	Y ₁₈ =8,87D ₅ +2587,56	89,25
Y ₁₉	0,65±0,07	128,85	4	Y ₁₉ =8,45D ₅ +2762,73	99,21
Y ₂₀	0,65±0,07	130,07	4	Y ₂₀ =7,93D ₅ +2911,27	100,75

Таблица 4

Зависимость между оптимальным сроком посева (С)
и датами наступления фаз
развития сахарной свеклы (Y)

Фазы развития	Статистические параметры при n=40				
	коэффи- циент корреляции	средне квадратиче- ское откло- нение, сутки	коэффи- циент вариации, %	уравнение регрессии	ошибка уравнения регрессии, °С
посев – всходы (Y ₁)	-0,84±0,03	4,76	34	Y ₁ = -0,53C+70,01	2,57
посев – вторая пара листьев (Y ₂)	-0,73±0,05	5,15	17	Y ₂ = -0,55C+83,32	3,63
посев – начало роста корнеплода (Y ₃)	-0,68±0,06	6,38	14	Y ₃ = -0,65C+112,86	4,78
посев – смыкание в рядах (Y ₄)	-0,68±0,06	7,32	12	Y ₄ = -0,78C+141,32	5,39
посев – закрытие междурядий (Y ₅)	-0,69±0,06	7,67	10	Y ₅ = -0,77C+158,74	5,74
посев – максимальн ое развитие (Y ₆)	-0,70±0,05	9,35	8	Y ₆ = -0,92C+202,37	6,42
посев – пожелтение нижних листьев (Y ₇)	-0,72±0,05	10,70	7	Y ₇ = -1,17C+268,53	7,34
посев – техническая спелость (Y ₈)	-0,74±0,05	12,09	7	Y ₈ = -1,27C+300,99	8,30

оперативно, или с заблаговременностью от одного до шести месяцев, прогнозировать значения дат наступления фенофаз и другие фитотермические параметры ведущих агроценозов, их тепловые и водные ресурсы в пределах агроландшафтов за различные подекадные и межфазные периоды.

Расчеты ведутся по оперативным данным гидрометеостанции или любого пункта наблюдений, репрезентативного для территории, по которой производятся учет и прогнозирование.

В соответствии со схемой рис.2 биогидрометеорологические факторы и ФГТУ агроландшафта могут оцениваться по следующим равнозначным вариантам:

1) по (2) определяется дата перехода температуры воздуха через 5 °С весной (D_5); на основе D_5 и с учетом срока посева агроценоза оценивается подекадно нарастающая величина ожидаемых тепловых ресурсов за расчетный период (Т); на основе (Т), за тот же период, вычисляется оптимальное суммарное испарение (Е); с учетом величины естественного увлажнения, по (7), (8) определяются влагообеспеченность (К) и водные ресурсы агроценоза (В);

2) на основе D_5 по (1) предвычисляется дата оптимального срока посева агроценоза (С); по (С) определяются ожидаемые даты наступления фенофаз агроценоза (Ф); сравнением подекадных ожидаемых (Т), полученных по варианту 1, с ожидаемыми (Ф) определяются (Т) за межфазные и внутрифазные периоды; по (Т) и межфазным фитоклиматическим коэффициентам оптимального суммарного испарения оцениваются (Е) и (В) соответствующего межфазного периода вегетирования агроценоза.

Значения тепловых ресурсов, суммарного испарения и других гидрометеорологических факторов за более короткие, чем от межфазные или подекадные периоды рассчитываются по уравнениям типа:

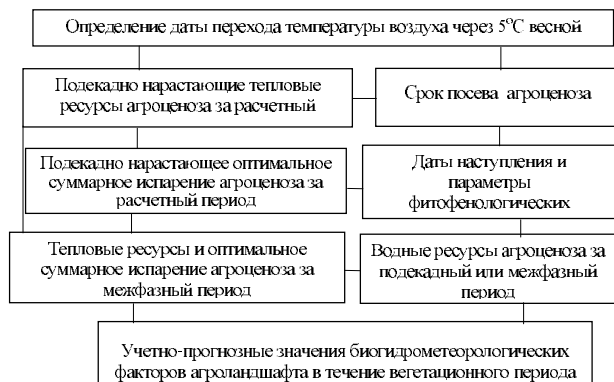


Рис. 2. Функциональная схема учета и прогнозирования фитогидротермических условий агроландшафтов за внутривегетационные периоды.

$$P = P_2 - P_1 \quad (10)$$

где P – значение заданного фактора за искомый период; P_2 – значение фактора на последующий срок; P_1 – то же на предыдущий срок.

Порядок учета и прогнозирования ФГТУ агроценоза сахарной свеклы за межфазный период «посев – смыкание в рядках» по варианту 2, при $D_5 = 10$ марта, и величине естественного увлажнения за счет $X + (V - V') + П = 180$ мм. следующий. Приводим D_5 к единому календарному ряду (отсчетом от 1 января), что дает $D_5 = 69$. По уравнению (1) вычисляется оптимальный срок посева (С) сахарной свеклы: $C = 0,85 Ч 69 + 37,61 = 96$, что дает дату посева = 6 апреля.

По уравнению 4 табл.4 определяется дата наступления фенофазы (Ф) «смыкание в рядках»: (Ф), $Y_4 = - 0,78 Ч 96 + 141,32 = 66$, т.е. заданная (Ф) наступит через 66 суток после оптимального срока посева – 11 июня. Далее, по D_5 , с помощью уравнения 9 табл.3, определяются ожидаемые тепловые ресурсы (Т) за 9 декад – с 10 марта по 11 июня: (Т), $Y_9 = 2,20 Ч 69 + 13,20 = 165$ (°С), тогда в соответствии с (10) тепловые ресурсы от срока посева до даты наступления фенофазы «смыкание в рядках» составят: $1251 - 165 = 1086$ (°С). Умножив оцененные тепловые ресурсы на соответствующий фитоклиматический коэффициент (K_f) табл.2, получим прогнозное оптимальное суммарное испарение сахарной свеклы за межфазный период «посев – смыкание в рядках»: $1086 Ч 0,21 = 228$ (мм).

Из уравнения (8) баланс водных ресурсов агроценоза сахарной свеклы за тот же расчетный период составит: $E - [X + (V - V') + П] = 228 - 180 = 48$ (мм) = 480 (м³ /га).

Это показывает, что ожидается дефицит водных ресурсов и необходимо будет произвести орошение посевов сахарной свеклы в межфазный период «посев – смыкание в рядках» нормой в 48 мм, или 480 м³ /га.

В соответствии с уравнением (9) прогнозируемая степень естественного увлажнения или влагообеспеченность агроценоза (сахарной свеклы) за расчетный период составит :

$$\frac{X + (V - V') + П}{E} = \frac{180}{228} = 79 \%$$

от оптимальной, т. е. от величины водных ресурсов, необходимых для биоклиматически обоснованного вегетирования данного агроценоза.

С помощью предлагаемой методической системы прогнозировались значения биогидрометеорологических факторов в оперативных погодных условиях аридной зоны со средней точностью (оправдываемостью) свыше 75 %, что с уче-

том требований [4], вполне приемлемо для использования разработанной схемы и содержащихся в ней методов для прикладных целей.

Для повышения оперативности, точности и достоверности результатов прогнозирования разработана система методов уточнения (корректировки) прогнозных данных. Сущность предлагаемой методики заключается в более комплексном и детальном учете природно-техногенных факторов, влияющих на точностные параметры заданных показателей, а ее применение повышает точность прогнозирования в среднем на 10%.

Таким образом, в процессе формирования агрометеорологических концептуально-методических основ определения ФГТУ функционирования агроландшафтов в засушливых регионах, автором созданы комплексные методики контроля и оценки, прогнозирования и корректировки необходимых растительных и водно-тепловых факторов. Разработаны в качестве новых специальные методы расчета тепловых ресурсов, сроков наступления фитофенофаз агроценозов, площади их листовой поверхности и глубины корнеобитаемого слоя почвы. Усовершенствованы или адаптированы (применительно к аридным гидроклиматическим условиям) существующие способы оценки испаряемости, оптимального суммарного испарения агроценозов, величины подпитывания почвы от грунтовых вод, водных ресурсов и влагообеспеченности агроландшафтов. Получены расчетные схемы и алгоритмы,

упрощающие контроль суточных, декадных, сезонных значений оптимального суммарного испарения агроценозов, температуры, дефицита и относительной влажности воздуха, а также – учет влагозапасов заданного слоя почвы по наблюдениям за влагосодержанием лишь на одном выявленном репрезентативном уровне.

Разработанные методологические основы определения ФГТУ могут применяться для разработки концепций формирования географических информационных систем, а также при создании новых и унификации существующих методов контроля, оценки и прогнозирования величин ресурсоформирующих био-гидрометеорологических компонентов окружающей среды, для планирования и реализации необходимых природоохранных мероприятий и ресурсосберегающих технологий в засушливых регионах России и стран СНГ с аналогичными экспериментальными природно-хозяйственными условиями.

Список использованной литературы

1. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений.- Гидрометеиздат, 1954.-248 с.
2. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги.-М.: Наука, 1964. -243 с.
3. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности.-Л.: Гидрометеиздат, 1956.-256 с.
4. Пенман Х.Л. Растения и влага.-Л.: Гидрометеиздат. 1968.-164 с.
5. Руководящий документ (РД 5227284-91). Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и геофизических прогнозов.-М.: Госкомгидромет СССР, 1991. -150 с.
6. Рычко О.К. Принципы создания географических информационных систем горных территорий. – Информационный листок КиргНИИНТИ, Бишкек, 1991. – 4 с., И 170 (4845)
7. Рычко О. К. Агрометеорологические основы водосберегающих технологий на сельскохозяйственных угодьях Средней Азии.-М., 1991.-26 с. – Деп. в ВИНТИ 11.12.1991, М 4581.
8. Рычко О.К. Методологические основы прогнозирования тепловлагообеспеченности и фенологических условий вегетирования природных и агросистем в аридных регионах Средней Азии.- Бишкек, 1992.-56 с.- Деп. в КиргНИИНТИ 23.06.1992, И 566.
9. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. -Л.: Гидрометеиздат, 1975.-373 с.

Статья поступила в редакцию 20.07.99.