

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск **130 (211)**

ВОПРОСЫ
МЕТЕОРОЛОГИИ
И АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

МОСКВА
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1988

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск

130(211)

ВОПРОСЫ
МЕТЕОРОЛОГИИ
И АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Под редакцией
докторов геогр. наук Б. А. АЙЗЕНШТАТА,
Ф. А. МУМИНОВА



МОСКВА·МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА — 1988

УДК 551.515 : 551 + 555.8 + 551.551.2 + 551.584.6 + 551.586 +
+ 621.315.1 + 630 : 551 + 551.509 + 631.559

Сборник содержит работы, относящиеся к различным вопросам региональной климатологии Средней Азии, сельскохозяйственной метеорологии и прикладной климатологии.

Рассматриваются изменения климата в связи с орошением Ферганской долины и усыханием Аральского моря, анализируются колебания осадков в отдельных районах Средней Азии, исследуется пыльная мгла на Памиро-Алае, рассматриваются результаты изучения сдвигов ветра, нетрадиционные методы решения прикладных климатологических задач, методы расчетов температуры поверхностей оконных стекол, приводятся данные по тепловому режиму человека в условиях городской застройки.

Освещается методика прогноза урожая хлопка-сырца в Азербайджане, изучается влияние термического режима на длину волокна, дается метод прогноза теплообеспеченности, фаз развития и испарения с полей сельскохозяйственных культур в условиях Киргизии, рассматриваются особенности динамики запасов кормов пастбищной растительности и методика их прогнозов, оцениваются агроклиматические ресурсы богарных зерновых и хлопчатника.

Сборник рассчитан на климатологов, агрометеорологов, работников сельского хозяйства, архитекторов, гигиенистов.

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКОННЫХ СТЕКОЛ

Температура поверхности оконных стекол оказывает определенное влияние на тепловой режим человека. Для человека, находящегося вне помещения вблизи зданий, оконные стекла, являясь локальными источниками теплового излучения, участвуют в процессах лучистого теплообмена с телом человека, что следует учитывать в задачах внешнего городского биоклимата. С другой стороны, температура той поверхности оконных стекол, которая обращена внутрь помещения, оказывает влияние на температурный режим в комнатах за счет конвективного теплообмена и непосредственно воздействует на тепловое состояние человека, находящегося в помещении, путем теплового излучения. В отдельных типах застройки площадь остекления составляет значительную долю от общей поверхности вертикальных ограждений, превышая в некоторых случаях 50%, и их влияние на тепловое состояние человека и помещений может оказаться существенным. Естественно, что в экстремальных погодных и климатических условиях влияние оконного остекления на термические режимы помещения и человека проявляется особенно значительно благодаря возможным большим температурным перепадам между поверхностью стекла и воздухом в помещении, а также большим температурным разностям стекло — тело человека. Несмотря на актуальность задачи, сведения о температуре поверхности стекол, по-видимому, весьма ограничены. Некоторые данные о приближенном методе расчета температуры оконного стекла содержатся в [4, 5].

В связи с изложенным нами были разработаны аналитические методы определения температуры оконного остекления. Рассмотрим здесь два расчетных метода: первый, основанный на решении дифференциального уравнения, описывающего прохождение радиационных потоков через стекло (Ю. М. Денисов), и второй, основанный на методе теплового баланса стекла, содержащий некоторые допущения о распределении радиации в стекле, которые, однако, не приводят к заметному уменьшению точности (Б. А. Айзенштат).

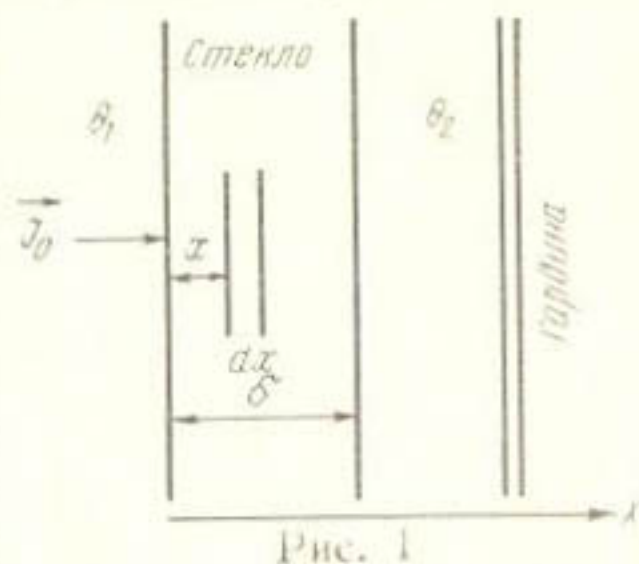


Рис. 1

I метод. Рассмотрим вертикально расположенное стекло толщиной δ (рис. 1). Одна поверхность стекла (на рисунке левая) обращена к внешней среде, другая — в сторону помещения. Кроме того, примем, что со стороны комнаты около окна находится гардина, температура которой t_r задается. Стекло будем считать непрозрачным для теплового излучения и пропускающим коротковолновую радиацию в соответствии с его оптической плотностью.

Поток тепла q через элемент dx за счет теплопроводности равен

$$q = -\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x}, \quad (1)$$

где t_c — температура стекла, λ — его теплопроводность.

Приращение тепла в выделенном элементе за счет теплопроводности равно

$$q(x) = -\frac{\partial q}{\partial x} dx \quad (2)$$

или, учитывая (1),

$$\frac{\partial q}{\partial x} dx = \lambda \frac{\partial^2 t_c}{\partial x^2} dx. \quad (3)$$

Если пренебречь многократными отражениями радиации от поверхностей внутри стекла, то за счет радиации I , поступающей слева ($\rightarrow$) и справа ($\leftarrow$), элемент получит количество тепла, равное

$$-\frac{\partial \vec{I}}{\partial x} dx + \frac{\partial \tilde{I}}{\partial x} dx. \quad (4)$$

Изменение за время τ температуры элемента за счет поступления тепла путем теплопроводности и от радиации выразится

$$\lambda \frac{\partial^2 t_c}{\partial x^2} - \frac{\partial \vec{I}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{I}}{\partial x} = C_s \rho \frac{\partial t_c}{\partial \tau}, \quad (5)$$

где C_s — удельная теплоемкость стекла, ρ — плотность стекла.

Ослабление радиации в толще стекла представим в виде

$$\frac{\partial \vec{I}}{\partial x} = -\epsilon \vec{I}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \tilde{I}}{\partial x} = -\epsilon \tilde{I}, \quad (7)$$

где ϵ — линейный коэффициент ослабления радиации в стекле.

Подставляя (6) и (7) в (5), получаем

$$C_c \rho \frac{\partial t_c}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t_c}{\partial x^2} + \varepsilon (\vec{I} + \vec{I}). \quad (8)$$

Решая уравнение (6), получим радиацию, вошедшую в элемент dx слева:

$$\vec{I}(x) = I(0) e^{-\varepsilon x}, \quad (9)$$

где $\vec{I}(0)$ — радиация, вошедшая в стекло извне.

Но $\vec{I}(0) = (1 - A_c) \vec{I}_0$, где A_c — альбедо стекла, $\vec{I}_0$ — коротковолновая радиация, падающая на внешнюю поверхность стекла. Следовательно,

$$\vec{I}(x) = (1 - A_c) \vec{I}_0 e^{-\varepsilon x}. \quad (10)$$

Принимая $x = \delta$, найдем радиацию, прошедшую через стекло и упавшую на гардину:

$$\vec{I}_r = (1 - A_c) \vec{I}_0 e^{-\varepsilon \delta}. \quad (11)$$

Радиация, отраженная от гардины и вошедшая в стекло, равна

$$\vec{I}_0(\delta) = A_r (1 - A_c) \vec{I}_r = A_r (1 - A_c)^2 \vec{I}_0 e^{-\varepsilon \delta}, \quad (12)$$

где A_r — альбедо гардины.

Решая уравнение (7), находим радиацию, распространяющуюся в стекле справа после отражения от гардины,

$$\vec{I}(x) = \vec{I}_0 e^{\varepsilon x}. \quad (13)$$

При $x = \delta$

$$\vec{I}(\delta) = \vec{I}_0 e^{\varepsilon \delta}. \quad (14)$$

Из (12), (13) и (14) находим

$$\vec{I}(x) = A_r (1 - A_c)^2 \vec{I}_0 e^{-\varepsilon (2\delta - x)}. \quad (15)$$

Подставляя (10) и (15) в (8), получим

$$C_c \rho \frac{\partial t_c}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t_c}{\partial x^2} + \varepsilon (1 - A_c) \vec{I}_0 [e^{-\varepsilon x} + A_r (1 - A_c) e^{-\varepsilon (2\delta - x)}]. \quad (16)$$

Для стационарных условий $\partial t_c / \partial \tau = 0$. Тогда из (16) находим

$$\frac{d^2 t_c}{dx^2} = -\frac{\varepsilon (1 - A_c)}{\lambda} \vec{I}_0 [e^{-\varepsilon x} + A_r (1 - A_c) e^{-\varepsilon (2\delta - x)}].$$

Введем обозначения:

$$N = \frac{\varepsilon (1 - A_c)}{\lambda} \vec{I}_0, \quad G = A_r (1 - A_c) e^{-2 \varepsilon \delta},$$

тогда

$$\frac{d^2 t_c}{d x^2} = -N (e^{-\varepsilon x} + G e^{\varepsilon x}). \quad (17)$$

Интегрируя дважды, находим

$$t_c(x) = C_1 + C_0 x - \frac{N}{\varepsilon^2} (e^{-\varepsilon x} + G e^{\varepsilon x}). \quad (18)$$

Граничные условия напишем в виде

$$-\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_1 (\theta_1 - t_c(0)) + \delta^* \sigma \left(\frac{T_3^4}{2} + \frac{T_a^4}{2} - T_c(0)^4 \right), \quad (19)$$

$$-\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_2 (\theta_2 - t_c(\delta)) + \delta^* \sigma (T_r^4 - T_c(\delta)^4), \quad (20)$$

где θ_1 и θ_2 — температура внешнего воздуха и в помещении соответственно, °С; T_3 и T_a — температура поверхности земли и радиационная температура атмосферы соответственно, К; $T_c(0)$, $T_c(\delta)$ и T_r — абсолютные температуры наружной и внутренней поверхности стекла и поверхности гардины соответственно, К; α_1 и α_2 — коэффициенты конвективного теплообмена на наружной и внутренней поверхностях стекла соответственно; δ^* — излучательная способность рассматриваемых объектов, которая принята одинаковой и равной 0,95; σ — постоянная Стефана—Больцмана; λ — коэффициент теплопроводности стекла.

Переходя к приближенным значениям членов, выражающих обмен потоками теплового излучения (путем линеаризации четвертых степеней температур), перепишем (19) и (20) в виде

$$-\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_1 (\theta_1 - t_c(0)) + \frac{\beta}{2} (t_3 + t_a - 2 t_c(0)), \quad (21)$$

$$\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_2 (\theta_2 - t_c(\delta)) + \beta (t_r - t_c(\delta)), \quad (22)$$

где $\beta = 4 \delta^* \sigma \bar{T}^3$; $\bar{T}$ — средняя абсолютная температура поверхности объектов; t_3 и t_a — соответствующие температуры, °С.

Дифференцируя (18) при $x=0$, находим

$$-\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\lambda C_0 - \lambda \frac{N}{\varepsilon} (1 - G). \quad (23)$$

Подставляя в (21) значение $t_c(0)$, полученное из (18), находим

$$-\lambda \frac{\partial t_c}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_1 \theta_1 - C_1 (\alpha_1 + \beta) + (\alpha_1 + \beta) \frac{N}{\varepsilon^2} (1 + G) + \frac{\beta}{2} (t_3 + t_a). \quad (24)$$

Из (23) и (24) получаем

$$(\alpha_1 + \beta) C_1 - \lambda C_0 = f_1, \quad (25)$$

где

$$f_1 = \alpha_1 \theta_1 + \frac{\beta}{2} (t_3 + t_a) + \lambda \frac{N}{\varepsilon} (1 - G) + (\alpha_1 + \beta) \frac{N}{\varepsilon^2} (1 + G).$$

Для условия $x = \delta$ аналогичным путем находим

$$(\alpha_2 + \beta) C_1 + [\lambda + (\alpha_2 + \beta) \delta] C_0 = f_2, \quad (26)$$

где

$$f_2 = \alpha_2 \theta_2 + \beta t_r - \lambda \frac{N}{\varepsilon} (e^{-\varepsilon \delta} - G e^{\varepsilon \delta}) + (\alpha_2 + \beta) \frac{N}{\varepsilon^2} (e^{-\varepsilon \delta} + G e^{\varepsilon \delta}).$$

Из (25) и (26) исключаем C_1 и находим C_0 :

$$C_0 = \frac{(\alpha_1 + \beta) f_2 - (\alpha_2 + \beta) f_1}{\lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + 2\beta) + (\alpha_1 + \beta) (\alpha_2 + \beta) \delta}. \quad (27)$$

Из (26) и (27) находим C_1 :

$$C_1 = \frac{[\lambda + (\alpha_2 + \beta) \delta] f_1 + \lambda f_2}{\lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + 2\beta) + (\alpha_1 + \beta) (\alpha_2 + \beta) \delta}. \quad (28)$$

Подставляя C_0 и C_1 в (18) и заменяя N и G их значениями, находим искомые значения $t_c(x)$, $t_c(0)$ и $t_c(\delta)$:

$$t_c(x) = \frac{[\lambda + (\alpha_2 + \beta)(\delta - x)] f_1 + [\lambda + (\alpha_1 + \beta)x] f_2}{\lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + 2\beta) + (\alpha_1 + \beta) (\alpha_2 + \beta) \delta} - \frac{1 - A_c}{\varepsilon \lambda} I_0 [e^{-\varepsilon x} + A_r (1 - A_c) e^{\varepsilon(x - 2\delta)}], \quad (29)$$

$$t_c(0) = \frac{[\lambda + (\alpha_2 + \beta)\delta] f_1 + \lambda f_2}{\lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + 2\beta) + (\alpha_1 + \beta) (\alpha_2 + \beta) \delta} - \frac{1 - A_c}{\varepsilon \lambda} I_0 [1 + A_r (1 - A_c) e^{-2\varepsilon \delta}], \quad (30)$$

$$t_c(\delta) = \frac{\lambda f_1 + [\lambda + (\alpha_1 + \beta)\delta] f_2}{\lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + 2\beta) + (\alpha_1 + \beta) (\alpha_2 + \beta) \delta} - \frac{1 - A_c}{\varepsilon \lambda} I_0 [1 + A_r (1 - A_c)] e^{-\varepsilon \delta}. \quad (31)$$

Значения t_a и β , входящие в f_1 и f_2 , могут быть рассчитаны по формулам [1-3]:

$$t_a = (\theta_1 + 273) \sqrt[4]{(0,65 + 0,05 \sqrt{e^*}) (1 + 0,22 n^2)} - 273^\circ \text{C}, \quad (32)$$

$$\beta = 0,014 (t_3 + t_a) + 5,37 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}, \quad (33)$$

где e^* — парциальное давление водяного пара, гПа; n — степень покрытия неба облаками (в долях единицы).

II метод. Одинарное остекление. Потокам тепла, относящимся к наружной поверхности стекла, присвоим индекс 1, потокам, относящимся к внутренней поверхности (обращенной к комнате), — индекс 2 (рис. 2а). Окно со стороны комнаты занавешено гардиной. Примем, что ее температура и альбеда известны.

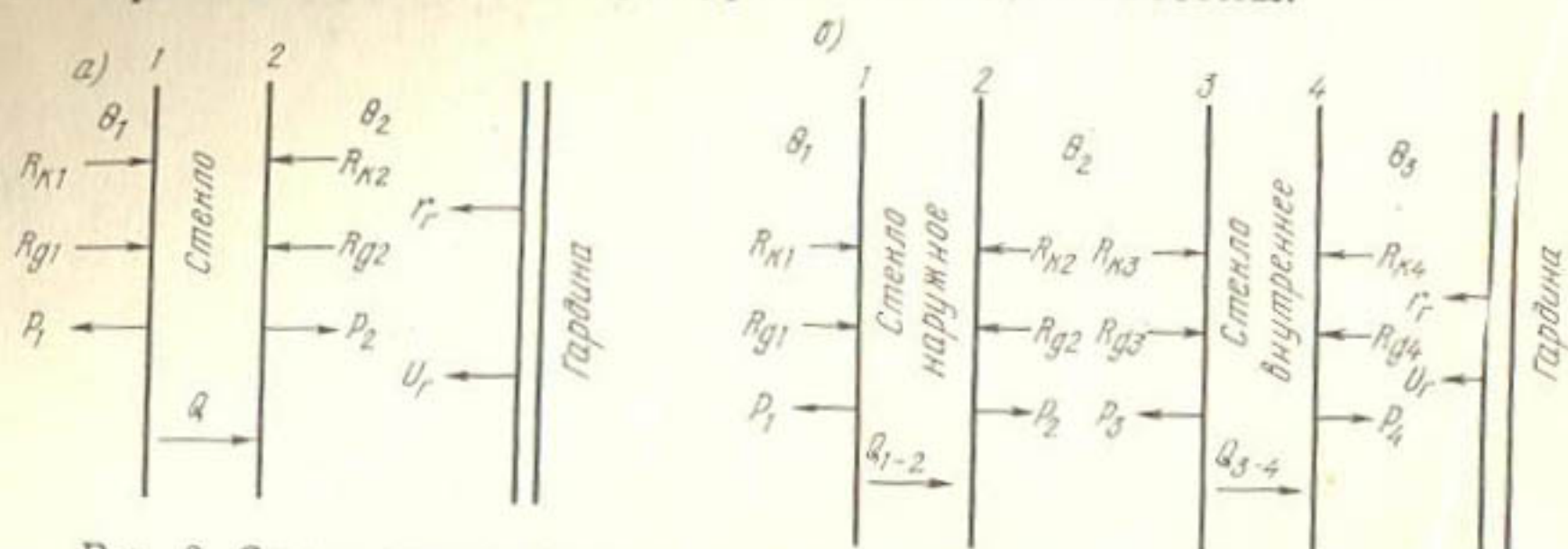


Рис. 2. Схема тепловых потоков при одинарном (а) и двойном (б) остеклении

Напишем уравнения теплового баланса для поверхностей 1 и 2 стекла:

$$R_{K1} + R_{d1} = P_1 + Q, \quad (34)$$

$$R_{K2} + R_{d2} = P_2 - Q, \quad (35)$$

где R_{K1} — коротковолновая радиация, вошедшая в стекло через поверхность 1. R_{d1} — длинноволновая радиация, поступившая к поверхности 1 стекла, P_1 — турбулентный поток тепла, характеризующий конвективный теплообмен между стеклом и внешним воздухом. R_{K2} , R_{d2} , P_2 — аналогичные характеристики, относящиеся к поверхности 2 стекла. Q — поток тепла в стекле, характеризующий теплообмен между поверхностями 1 и 2 путем теплопроводности.

Поглощенные стеклом потоки коротковолновой радиации, поступающие слева (извне), обозначим $\vec{R}_{K,п}$, а поступающие справа — $\vec{R}_{K,п}$. Примем, что левой половиной толщи стекла поглощается $R_{K1} = a\vec{R}_{K,п} + b\vec{R}_{K,п}$, правой половиной — $R_{K2} = b\vec{R}_{K,п} + a\vec{R}_{K,п}$, где a и b — доли радиации от поглощенной всей толщиной стекла. Очевидно, что $a + b = 1$.

Значения a и b можно найти с помощью следующих уравнений, характеризующих поглощенную прямую солнечную радиацию левой половиной стекла S_1 , правой S_2 и всей толщиной стекла $S_1 + S_2$:

$$S_1 = (1 - A_c) S \left(1 - e^{-\tau \frac{\delta}{2}} \right), \quad (36)$$

$$S_2 = (1 - A_c) S \left(e^{-\tau \frac{\delta}{2}} - e^{-\tau \delta} \right), \quad (37)$$

$$S_1 + S_2 = (1 - A_c) S (1 - e^{-\epsilon \delta}), \quad (38)$$

$$a = \frac{S_1}{S_1 + S_2}, \quad b = \frac{S_2}{S_1 + S_2}, \quad (39)$$

где S — интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на стекло, δ — длина пути луча в стекле (при перпендикулярном падении луча δ — толщина стекла).

Значения коэффициентов поглощения ϵ радиации стеклом примем одинаковыми для потоков прямой и рассеянной радиации. Кроме того, радиацию, поглощенную левой и правой половинами толщи стекла, отнесем к соответствующим поверхностям 1 и 2 стекла. Учитывая малую долю поглощения коротковолновой радиации в стекле, можно полагать, что поток тепла от поверхности 1 к поверхности 2 при реальных условиях будут мало отличаться от потока при сделанном допущении:

$$R_{к1} = (1 - A_c) \epsilon \delta \left[a \left(S_{\perp c} + \frac{D}{2} + \frac{r_3}{2} \right) + b r_r \right], \quad (40)$$

$$R_{к2} = (1 - A_c) \epsilon \delta \left[b \left(S_{\perp c} + \frac{D}{2} + \frac{r_3}{2} \right) + a r_r \right], \quad (41)$$

где $S_{\perp c}$ — нормальная составляющая прямой солнечной радиации, падающей на стекло; D и r_3 — интенсивность рассеянной и отраженной от земли радиации, r_r — интенсивность радиации, отраженной от гардины.

$$S_{\perp c} = S \cos h \cos(\omega_c - \omega_{\odot}), \quad (42)$$

где S — интенсивность прямой солнечной радиации, h — высота солнца над горизонтом, ω_c — азимут нормали к поверхности стекла, $\omega_{\odot}$ — азимут солнца.

$$r_r = A_r \left(S_{\perp c} + \frac{D}{2} + \frac{r_3}{2} \right) (1 - A_c - \epsilon \delta). \quad (43)$$

Для длинноволнового радиационного баланса поверхностей 1 и 2 стекла

$$R_{д1} = \frac{\beta}{2} (t_3 + t_a - 2 t_{c1}), \quad (44)$$

$$R_{д2} = \beta (t_r - t_{c2}), \quad (45)$$

где t_{c1} и t_{c2} — температуры поверхностей 1 и 2 стекла.

$$P_1 = \alpha_1 (t_{c1} - \theta_1), \quad (46)$$

$$P_2 = \alpha_2 (t_{c2} - \theta_2), \quad (47)$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплообмена на наружной и внут-

ренной поверхностях стекла; θ_1 и θ_2 — температуры внешнего воздуха и воздуха помещения соответственно.

$$Q = \gamma (t_{c1} - t_{c2}), \quad (48)$$

где γ — коэффициент теплообмена между поверхностями стекла путем теплопроводности.

Подставляя в уравнения (34) и (35) значения R_{k1} , R_{k2} , R_{d1} , R_{d2} , P_1 , P_2 и Q , получим два уравнения с двумя неизвестными: t_{c1} и t_{c2} .

Решая эти уравнения, находим

$$t_{c1} = \frac{1}{(\alpha_1 + \beta + \gamma)(\alpha_2 + \beta + \gamma) - \gamma^2} \left\{ (\alpha_2 + \beta + \gamma) \left[R_{k1} + \frac{\beta}{2} (t_3 + t_4) + \alpha_1 \theta_1 \right] + \gamma (R_{k2} + \beta t_r + \alpha_2 \theta_2) \right\}, \quad (49)$$

$$t_{c2} = \frac{1}{\alpha_2 + \beta + \gamma} (R_{k2} + \beta t_r + \alpha_2 \theta_2 + \gamma t_{c1}). \quad (50)$$

Выражения для R_{k1} и R_{k2} даны в (40) и (41).

Двойное остекление. Обозначим температуры поверхностей стекла в последовательности от наружной, обращенной к внешней среде, до внутренней, обращенной к помещению, через t_{c1} , t_{c2} , t_{c3} и t_{c4} . Затем обозначим: t_r — температура поверхности гардины, обращенной к окну; θ_1 и θ_3 — температуры наружного воздуха и помещения. Воздушное пространство между стеклами будем считать герметичным и температуру воздуха θ_2 этого пространства примем равной $0,5 (t_{c2} + t_{c3})$. Схема потоков тепла при двойном остеклении дана на рис. 2б, где R_k и R_d — коротковолновый и длинноволновый радиационные балансы стекол, P — конвективный теплообмен поверхностей стекол с воздухом, Q — потоки тепла внутри стекол за счет теплопроводности, r_r и U_r — отраженная радиация от гардины и ее тепловое излучение. Числовые индексы соответствуют порядковым номерам поверхностей стекол в направлении от внешней среды к помещению.

Напишем для каждой поверхности стекол уравнения теплового баланса:

$$R_{k1} + R_{d1} = P_1 + Q_{1-2}, \quad (51)$$

$$R_{k2} + R_{d2} = P_2 - Q_{1-2}, \quad (52)$$

$$R_{k3} + R_{d3} = P_3 + Q_{3-4}, \quad (53)$$

$$R_{k4} + R_{d4} = P_4 - Q_{3-4}. \quad (54)$$

Принимая рассуждения о поглощении коротковолновой радиации в стекле, сделанные для случая одинарного остекления, можем написать

$$R_{k1} = a \vec{R}_{k.p,n} + b \vec{R}_{k.p,n}, \quad (55)$$

$$R_{к2} = b\vec{R}_{к.п.н} + a\vec{R}_{к.п.н}, \quad (56)$$

$$R_{к3} = a\vec{R}_{к.п.в} + b\vec{R}_{к.и.в}, \quad (57)$$

$$R_{к4} = b\vec{R}_{к.п.в} + a\vec{R}_{к.п.в}, \quad (58)$$

где индексы к.п означают поглощенную стеклом коротковолновую радиацию, которая относится к поверхностям наружного стекла (индекс н) и внутреннего (индекс в). Стрелками показано направление потоков радиации.

Проследивая преобразования коротковолновой радиации на пути от внешней поверхности стекла к гардине и обратно, можем написать, обозначая падающую на внешнюю поверхность стекла радиацию $I_0 = S_{\perp c} + \frac{D}{2} + \frac{r_3}{2}$:

$$R_{к1} = I_0 (1 - A_c) \varepsilon \delta [a + b (1 - A_c - \varepsilon \delta)^3 A_r], \quad (59)$$

$$R_{к2} = I_0 (1 - A_c) \varepsilon \delta [b + a (1 - A_c - \varepsilon \delta)^3 A_r], \quad (60)$$

$$R_{к3} = I_0 (1 - A_c) (1 - A_c - \varepsilon \delta) [a + b (1 - A_c - \varepsilon \delta) A_r], \quad (61)$$

$$R_{к4} = I_0 (1 - A_c) (1 - A_c - \varepsilon \delta) [b + a (1 - A_c - \varepsilon \delta) A_r]. \quad (62)$$

Для потоков длинноволновой радиации находим

$$R_{д1} = \frac{\beta}{2} (t_3 + t_a - 2 t_{c1}). \quad (63)$$

$$R_{д2} = \beta (t_{c3} - t_{c2}), \quad (64)$$

$$R_{д3} = \beta (t_{c2} - t_{c3}), \quad (65)$$

$$R_{д4} = \beta (t_r - t_{c4}). \quad (66)$$

Для конвективных потоков тепла:

$$P_1 = \alpha_1 (t_{c1} - \theta_1), \quad (67)$$

$$P_2 = \alpha_2 (t_{c2} - \theta_2) = \frac{\alpha_2}{2} (t_{c2} - t_{c3}), \quad (68)$$

$$P_3 = \alpha_2 (t_{c3} - \theta_2) = \frac{\alpha_2}{2} (t_{c3} - t_{c2}), \quad (69)$$

$$P_4 = \alpha_3 (t_{c4} - \theta_3). \quad (70)$$

Для потоков тепла внутри стекол путем теплопроводности:

$$Q_{1-2} = \gamma (t_{c1} - t_{c2}), \quad (71)$$

$$Q_{3-4} = \gamma (t_{c3} - t_{c4}). \quad (72)$$

В уравнениях (67) — (70) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — коэффициенты теплообмена между поверхностями стекол и воздухом внешним, заключенным между стеклами, и в помещении соответственно.

Подставляя в уравнения (51) — (54) выражения для $R_{д1} \dots R_{д4}, P_1 \dots P_4, Q_{1-2}$ и Q_{3-4} , получим четыре уравнения с четырьмя неизвестными. Решая эту систему, находим t_{c1}, t_{c2}, t_{c3} и t_{c4} :

$$t_{c1} = \frac{MG + E}{CG - \gamma^2}, \quad (73)$$

где

$$M = R_{к1} + \frac{\beta}{2} (t_3 - t_a) \alpha_1 \theta_1, \quad (74)$$

$$G = \frac{\alpha_2}{2} + \beta + \gamma - \frac{1}{K} \left(\frac{\alpha_2}{2} + \beta \right)^2, \quad (75)$$

$$E = \gamma \left[R_{к2} + \frac{1}{K} \left(\frac{\alpha_2}{2} + \beta \right) \left(R_{к3} + \frac{\gamma(R_{к4} + \beta t_r + \alpha_3 \theta_3)}{\alpha_3 + \beta + \gamma} \right) \right], \quad (76)$$

$$C = \alpha_1 + \beta + \gamma. \quad (77)$$

$$K = \frac{\alpha_2}{2} + \beta + \gamma \frac{\alpha_3 + \beta}{\alpha_3 + \beta + \gamma}, \quad (78)$$

$$t_{c2} = \frac{1}{\gamma} (Ct_{c1} - M), \quad (79)$$

$$t_{c3} = \frac{1}{\frac{\alpha_2}{2} + \beta} \left[\left(\frac{\alpha_2}{2} + \beta + \gamma \right) t_{c2} - \gamma t_{c1} - R_{к2} \right], \quad (80)$$

$$t_{c4} = \frac{1}{\alpha_3 + \beta + \gamma} (R_{к4} + \beta t_r + \alpha_3 \theta_3 + \gamma t_{c3}). \quad (81)$$

Значения $R_{к1}, \dots, R_{к4}$, входящие в (74), (76), (79), (80), (81), рассчитываются по (59) — (62) с учетом (39).

Для одинарного остекления были рассчитаны значения t_{c1} и t_{c2} по обоим методам. При этом были приняты следующие исходные данные:

$\theta_1 = 35,0^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 30,0^\circ\text{C}$; $t_r = 33,0^\circ\text{C}$; $t_3 = 50,0^\circ\text{C}$; $t_a = 20,0^\circ\text{C}$; $I_0 = 646,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $A_c = 0,05$; $A_r = 0,6$ (и др. значения); $\alpha_1 = 9,07 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ (и др. значения); $\alpha_2 = 5,58 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$; $\beta = 6,28 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$; $\gamma = 315,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$; $\epsilon = 0,75$ и $0,33$; $\delta = 0,2 \text{ см}$; $\lambda = 0,63 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$.

В табл. 1 рассчитанные значения t_{c1} и t_{c2} приведены с точностью до сотых долей градуса с тем, чтобы можно было более точно оценить величину разностей температур $t_{c1} - t_{c2}$, а также величину расхождений в температурах, обусловленную различием обеих численных моделей. Как следует из табл. 1, разности $t_{c1} - t_{c2}$ для рассматриваемых условий оказались весьма малыми,

Таблица 1

Значения температур ($^{\circ}\text{C}$) внешней (t_{c1}) и внутренней (t_{c2}) поверхностей стекла при различных значениях α_1 ;
 $A_r=0,6$; $\varepsilon=0,75 \text{ см}^{-1}$. Одинарное остекление

$\alpha_1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$	$V \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	Метод			
		Денисова		Айзенштата	
		t_{c1}	t_{c2}	t_{c1}	t_{c2}
5,58	0,8	39,53	39,47	39,96	39,89
9,42	1,6	38,89	38,85	39,26	39,22
23,24	5,0	37,58	37,58	37,82	37,83
31,12	8,5	37,16	37,18	37,37	37,40

Примечание. Значения α_1 при различных V приведены по [4].

в большинстве не превышающими $0,05^{\circ}\text{C}$. Также весьма невелики различия температур, полученных обоими методами, они варьируют в пределах $0,2\text{--}0,4^{\circ}\text{C}$. Это указывает на возможность пользоваться любым из рассмотренных расчетных методов практически с одинаковой точностью.

Из табл. 1 также следует, что усиление скорости ветра от $0,8$ до $8,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ приводит к понижению температуры поверхностей стекла примерно на 2°C . Охлаждающее влияние ветра объясняется более высокой температурой поверхности стекла по отношению к температуре внешнего воздуха.

При данной интенсивности коротковолновой радиации, падающей на стекло, его температура будет зависеть от поглощения радиации в толще стекла. Естественно, что температура поверхностей стекла будет тем выше, чем больше коэффициент поглощения ε . Это видно из табл. 2, где приведены результаты расчетов t_{c1} и t_{c2} для двух значений ε : $0,75$ и $0,33 \text{ см}^{-1}$. Кроме того, оказывает

Таблица 2

Значения температур ($^{\circ}\text{C}$) внешней и внутренней поверхностей стекла при различных значениях альбедо гардины и при двух значениях коэффициента поглощения стекла.
 $\alpha_1=9,07 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ ($V=1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$)

A_r	Метод				A_r	Метод			
	Денисова		Айзенштата			Денисова		Айзенштата	
	t_{c1}	t_{c2}	t_{c1}	t_{c2}		t_{c1}	t_{c2}	t_{c1}	t_{c2}
$\varepsilon = 0,75 \text{ см}^{-1}$					$\varepsilon = 0,33 \text{ см}^{-1}$				
0,0	37,16	37,11	37,45	37,39	0,0	35,20	35,14	35,26	35,20
0,2	37,75	37,11	38,07	38,02	0,2	35,50	35,44	35,56	35,50
0,4	38,35	38,30	38,69	38,64	0,4	35,80	35,74	35,87	35,81
0,6	38,94	38,90	39,32	39,28	0,6	36,09	36,03	36,17	36,11
0,8	39,53	39,49	39,94	39,90	0,8	36,39	36,33	36,47	36,41
1,0	40,12	40,09	40,57	40,54	1,0	36,68	36,63	36,78	36,73

ся, что величины t_{c1} и t_{c2} также зависят от альбедо гардины A_r , находящейся в помещении перед окном, причем для условий менее прозрачного стекла ($\varepsilon=0,75 \text{ см}^{-1}$) влияние изменений A_r сказывается в большей мере, чем для условий более прозрачного ($\varepsilon=0,33 \text{ см}^{-1}$). Качественная сторона этого явления физически вполне понятна (более прозрачное стекло меньше поглощает радиации, отраженной от гардины). Из табл. 2 также видны весьма малые различия температур обеих поверхностей стекла и температур, полученных обоими методами.

Таблица 3

Значение температур ($^{\circ}\text{C}$) поверхностей стекол при различных значениях α_1 : $A_r=0,6$; $\varepsilon=0,75 \text{ см}^{-1}$. Двойное остекление

$\alpha_1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$	$V \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	t_{c1}	t_{c2}	t_{c3}	t_{c4}
3,49	0,5	46,87	47,01	43,94	43,73
9,07	1,5	43,56	43,75	42,69	42,56
12,91	2,5	42,19	42,40	42,12	41,93
23,24	5,0	40,02	40,26	41,16	41,00
31,12	8,5	38,92	39,17	40,46	40,32

Для случая двойного остекления температуры поверхностей стекол, вычисленные по формулам (73), (79), (80), (81) при тех же исходных данных, оказались более высокими для внешнего остекления (t_{c1} , t_{c2}) по сравнению с температурами, относящимися к стеклам внутреннего остекления (t_{c3} , t_{c4}) (табл. 3). При скорости ветра $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ эти различия составляют около 3°C , с ростом скорости ветра они убывают и при ветре около $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ меняют знак.

Сравнение с данными инструментальных измерений t_1 и t_4 , проведенных в Ташкенте в безоблачный день августа, показало удовлетворительное согласование рассчитанных и измеренных значений. Различия (при $\varepsilon=0,33 \text{ см}$) составили $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштат Б. А., Абдумаликов Т. И. Статистические закономерности биоклимата некоторых городов Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1972, вып. 4(85), с. 108—119.
2. Айзенштат Б. А. Рекомендации по описанию климата Большого города. Ч. 4. Показатели теплового состояния человека и характеристика биоклимата городской среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 66 с.
2. Айзенштат Б. А. Рекомендации по описанию климата большого города. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 128 с.
4. Ершов А. В. Теплоступления солнечной радиации и методы их расчета. — Строительство и архитектура Узбекистана, 1965, № 5, с. 36—39.
5. Ильинский В. М. Строительная теплофизика. — М.: Высшая школа, 1974. — 319 с.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ УЗБЕКИСТАНА

Под воздействием метеорологических факторов на элементы городской застройки на территории города формируется особая тепловая среда, для биометеорологических оценок которой необходим учет радиационного тепла, поступающего к человеку от элементов городской среды. На основе имеющихся разработок* автором получены выражения для расчетов потоков радиационного тепла, поступающих к человеку в зоне односторонней и двусторонней застройки при различных условиях инсоляции.

Оценки радиационно-теплого воздействия элементов городской среды на человека проводились методом теплового баланса. Анализ составляющих теплового баланса человека показывает, что тепловое влияние элементов городской застройки характеризуется величиной изменения радиационного баланса $\Delta FR = FR - FR_0$, где FR — радиационный баланс человека в условиях открытой застройки, FR_0 — радиационный баланс человека в условиях открытой местности.

Допуская, что энергетическая яркость элементов городской среды удовлетворяет условиям изотропности, можем представить

$$FR = F \left[(1 - A_k) \left(\frac{S}{4} f(X) + D\varphi_a + r_{z\odot} \varphi_{z\odot} + \sum_{i=1}^m r_{zti} \varphi_{zti} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{j=1}^n r_{эj} \varphi_{эj} \right) + \beta \left(t_a \varphi_a + t_{z\odot} \varphi_{z\odot} + \sum_{i=1}^m t_{zti} \varphi_{zti} + \sum_{j=1}^n t_{эj} \varphi_{эj} - t_k \right) \right], \quad (1)$$

где S — интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; D — интенсивность рассеянной радиации, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $r_{z\odot}$, r_{zti} и $r_{эj}$ — интенсивность радиации, отраженной от инсолируемых и затененных участков поверхности земли и от элементов городской среды, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; t_a — радиационная температура атмосферы, $^{\circ}\text{C}$; $t_{z\odot}$, t_{zti} и $t_{эj}$ — температура поверхности инсолируемых и затененных участков земли и поверхности элементов городской среды, $^{\circ}\text{C}$; t_k — температура поверхности кожи, $^{\circ}\text{C}$; A_k — альбедо кожи; F — площадь поверхности тела человека, м^2 ; β — коэффициент обмена потоками длинноволновой радиации между поверхностью тела и окружающей средой, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$; φ_a , $\varphi_{z\odot}$, φ_{zti} и $\varphi_{эj}$ — угловые коэффициенты, характеризующие лучистый теплообмен между телом человека и атмосферой, поверхностями инсолируемых и затененных участков земли и поверхностями элементов городской среды, учи-

* Айзенштат Б. А. Радиационное влияние элементов окружающей среды на тепловой режим человека. — Труды САНИГМИ, 1971, вып. 53(68), с. 3—27.

тывающие геометрические параметры застройки и положение человека относительно строений; $f(x)$ — функция, величина которой определяется условиями инсоляции человека.

Радиационный баланс человека, находящегося в зоне односторонней застройки (она рассматривается в виде бесконечно длинного здания, температура и альbedo стен которого во всех точках одинаковы), можно представить в виде

$$FR = F \left[(1 - A_k) \left(\frac{S}{4} f(X) + D \varphi_a + r_c \varphi_c + r_{з\odot} \varphi_{з\odot} + r_{зт} \varphi_{зт} \right) + \right. \\ \left. + \beta (t_a \varphi_a + t_c \varphi_c + t_{з\odot} \varphi_{з\odot} + t_{зт} \varphi_{зт} - t_k) \right], \quad (2)$$

где r_c — интенсивность отраженной от стены радиации, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; t_c — температура стены, $^{\circ}\text{C}$.

Угловые коэффициенты определяются выражениями:

$$\varphi_a = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \arctg \frac{H-h}{X}, \quad \varphi_{зт} = \frac{1}{2\pi} \left(\arctg \frac{X}{h} + \arctg \frac{l_t - X}{h} \right), \quad (3) \\ \varphi_c = \frac{1}{2\pi} \left(\arctg \frac{H-h}{X} + \arctg \frac{h}{X} \right), \quad \varphi_{з\odot} = \frac{1}{4} - \frac{1}{2\pi} \arctg \frac{l_t - X}{h},$$

где H — высота застройки, м; h — эффективная высота человека, м; X — расстояние от человека до застройки, м; l_t — ширина тени, м.

Функция $f(X)$ принимает значения

$$f(X) = \begin{cases} 1 & \text{в условиях инсоляции при } X \geq (H-h) \operatorname{ctg} h_{\odot} \cos(\omega_c - \omega_{\odot}), \\ 0 & \text{в условиях затенения при } X < (H-h) \operatorname{ctg} h_{\odot} \cos(\omega_c - \omega_{\odot}), \end{cases}$$

где $h_{\odot}$ — высота солнца над горизонтом, $^{\circ}$; ω_c — азимут стены, $^{\circ}$; $\omega_{\odot}$ — азимут солнца, $^{\circ}$.

Двусторонняя застройка, наиболее распространенная в условиях города, рассматривается в виде прямолинейной улицы бесконечной длины с равновысокими на каждой стороне улицы зданиями.

Для условий двусторонней застройки FR можно представить

$$FR = F \left[(1 - A_k) \left(\frac{S}{4} f(x) + D \varphi_a + r_{с\odot} \varphi_{с\odot} + r_{з\odot} \varphi_{т\odot} + r_{зт} \varphi_{зт} + \right. \right. \\ \left. \left. + r_{ст} \varphi_{ст} \right) + \beta (t_a \varphi_a + t_{с\odot} \varphi_{с\odot} + t_{з\odot} \varphi_{з\odot} + t_{зт} \varphi_{зт} + t_{ст} \varphi_{ст} - t_k) \right]. \quad (4)$$

Угловые коэффициенты определяются выражениями

$$\varphi_{с\odot} = \frac{1}{2\pi} \left(\arctg \frac{H-h}{X} + \arctg \frac{h}{X} \right), \quad \varphi_{ст} = \frac{1}{2\pi} \left(\arctg \frac{H-h}{L-X} + \right. \\ \left. + \arctg \frac{h}{L-X} \right),$$

$$\varphi_{3\odot} = \frac{1}{2\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{X}{h} + \operatorname{arctg} \frac{L - l_r - X}{h} \right), \quad \varphi_{3r} = \frac{1}{2\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{L - X}{h} + \right. \\ \left. + \operatorname{arctg} \frac{L - l_r - X}{h} \right), \quad (5)$$

$$\varphi_a = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{H - h}{X} + \operatorname{arctg} \frac{H - h}{L - X} \right),$$

где H — высота застройки, м; L — ширина улицы, м; l_r — ширина тени, м; X — удаление человека от инсолируемого здания, м.

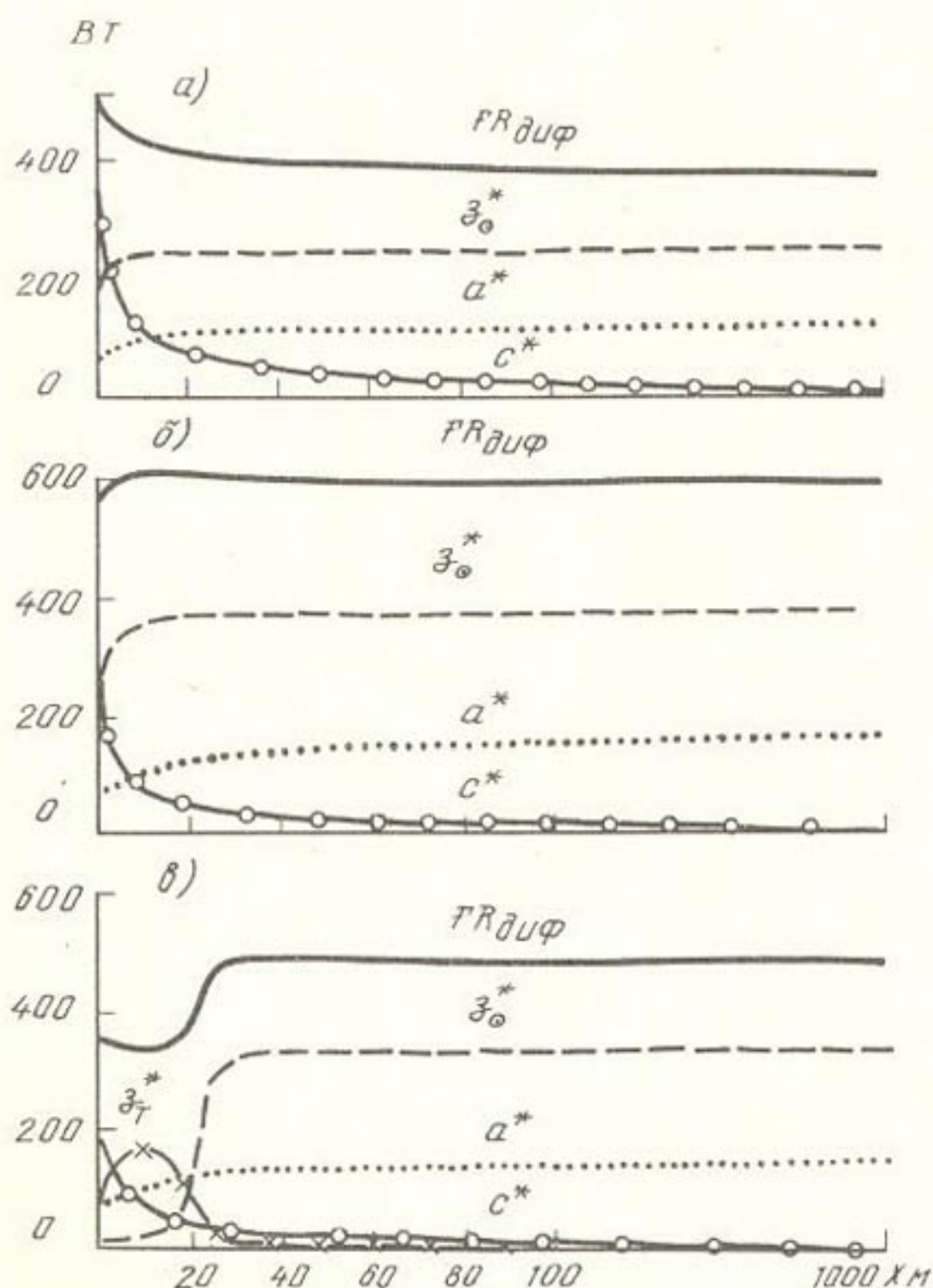


Рис. 1. Распределение суммарного потока диффузной радиации ($FR_{\text{диф}}$) и потоков диффузной радиации от стен зданий (c^*), атмосферы (a^*), инсолируемого ($z_{\odot}^*$) и затененного (z_r^*) участков земли в зоне односторонней застройки восточной ориентации в дневные часы. Высота застройки 15 м. Ташкент,

а — 08, б — 12, в — 16 ч

$f(X)$ принимает значения

$$f(X) = \begin{cases} 1 & \text{на инсолируемом участке при } X \leq L - \\ & -(H-h) \operatorname{ctg} h_{\odot} \cos(\omega_c - \omega_{\odot}), \\ 0 & \text{на затененном участке при } X > L - \\ & -(H-h) \operatorname{ctg} h_{\odot} \cos(\omega_c - \omega_{\odot}). \end{cases}$$

Для условий открытой местности величина FR_0 рассчитывается по выражению, полученному Б. А. Айзенштатом:

$$FR_0 = F \left[(1 - A_k) \left(\frac{S}{4} + \frac{D}{2} + \frac{r_{3\odot}}{2} \right) + \beta \left(\frac{t_a}{2} + \frac{t_{3\odot}}{2} - t_k \right) \right]. \quad (6)$$

Выражения (2) — (6) получены для шаровой модели тела человека.

Радиационно-тепловое влияние застройки определяется величиной потоков диффузной радиации, поступающих к человеку от отдельных элементов* (рис. 1). Как видно из рис. 1, влияние стен зданий оказывается наибольшим вблизи застройки — от 1 до 5 м при различных условиях инсоляции. Вклады коротковолнового и длинноволнового излучения в суммарный поток диффузной радиации составляют в условиях инсоляции 10—40 и 25—30%, а в условиях затенения — 2—5 и 40—50% соответственно. Радиационно-тепловое влияние поверхности почвы возрастает по мере удаления от зданий и также определяется условиями инсоляции. В зоне освещенной застройки поток радиационного тепла от поверхности почвы на удалении 5 м составляет 50—65% $FR_{\text{диф}}$. В условиях затенения влияние почвы медленно возрастает при удалении от зданий, резко увеличивается вблизи границы тени и дос-

Изменение $\Delta FR/FR_0$ (%) в зоне односторонней застройки
восточной ориентации высотой 15 м. Ташкент

X м	Время, ч						
	7	8	10	12	14	16	18
0	110	68	19	—9	—64	—71	—83
1	93	50	20	—2	—62	—71	—90
5	64	40	17	4	—57	—73	—96
110	47	29	13	4	—5	—77	—100
30	20	14	5	3	1	0	—104
50	12	10	4	2	0	0	—105
70	9	6	3	1	0	0	0
100	6	4	2	1	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. Курсив соответствует границе тени.

* Поток диффузной радиации от элемента застройки (Θ^*) и суммарный поток диффузной радиации ($FR_{\text{диф}}$) определяются выражениями

$$\Theta^* = F [(1 - A_k) r_{\Theta} \varphi_{\Theta} + \beta t_{\Theta} \varphi_{\Theta}],$$

$$FR_{\text{диф}} = FR - F \left[(1 - A_k) \frac{S}{4} f(X) - \beta t_k \right].$$

стигает наибольшего значения на инсолируемом участке. Влияние атмосферы невелико, оно возрастает по мере удаления от здания и составляет в дневные часы 10—30% суммарного потока диффузной радиации.

Суммарный поток радиационного тепла (FR), поступающий к человеку в дневные часы при различных условиях инсоляции, в зоне односторонней застройки может быть больше или меньше, чем на открытом участке (таблица).

В зоне двусторонней застройки отмечаются значительные различия в распределении потоков радиационного тепла, которые ослаблены в затененной части улицы, резко увеличиваются вблизи границы тени и достигают наибольших значений на инсолируемом участке. Распределение потоков тепла от отдельных элементов двухсторонней застройки носит такой же характер, как и в условиях односторонней застройки: вблизи зданий наибольшее влияние оказывают стены, при удалении — поверхность почвы и атмосфера.

Радиационно-тепловое влияние застройки существенно за-

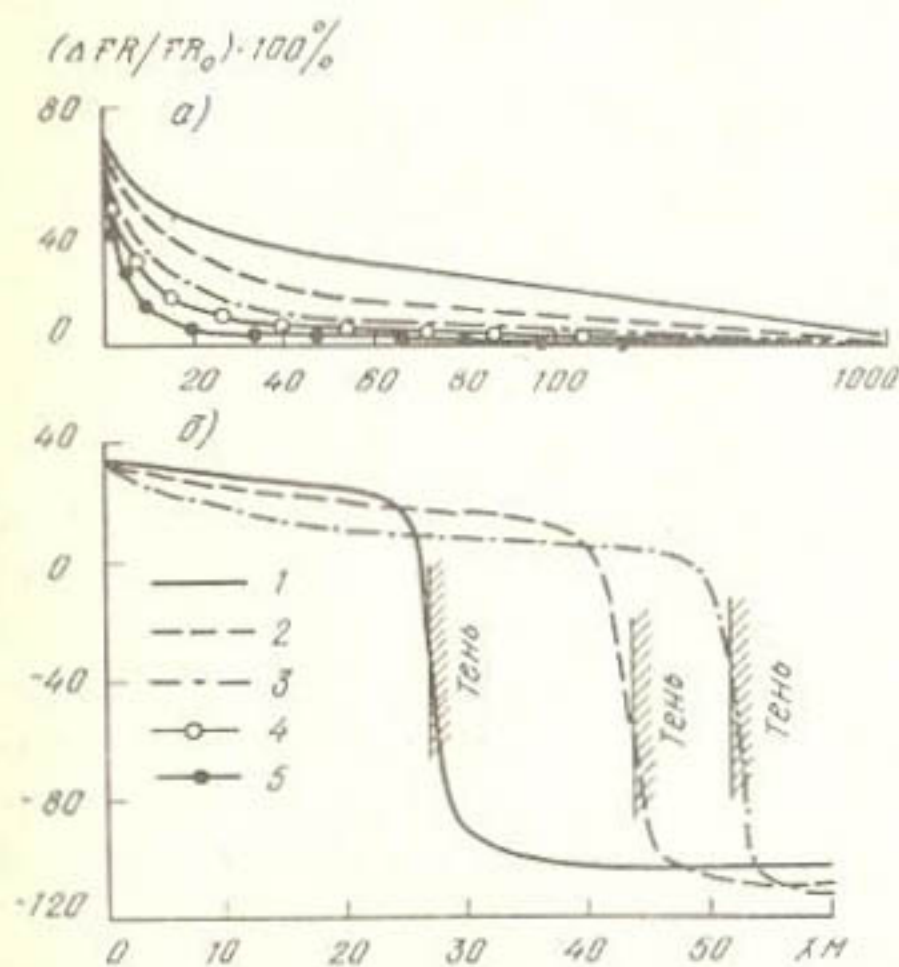


Рис. 2. Относительное влияние застройки различной высоты на человека. Ташкент, июль:

а — односторонняя застройка восточной ориентации, 7 ч; б — двусторонняя застройка, ориентация сторон В—З, 10 ч; 1—5 — соответственно 60, 30, 15, 10, 5 м

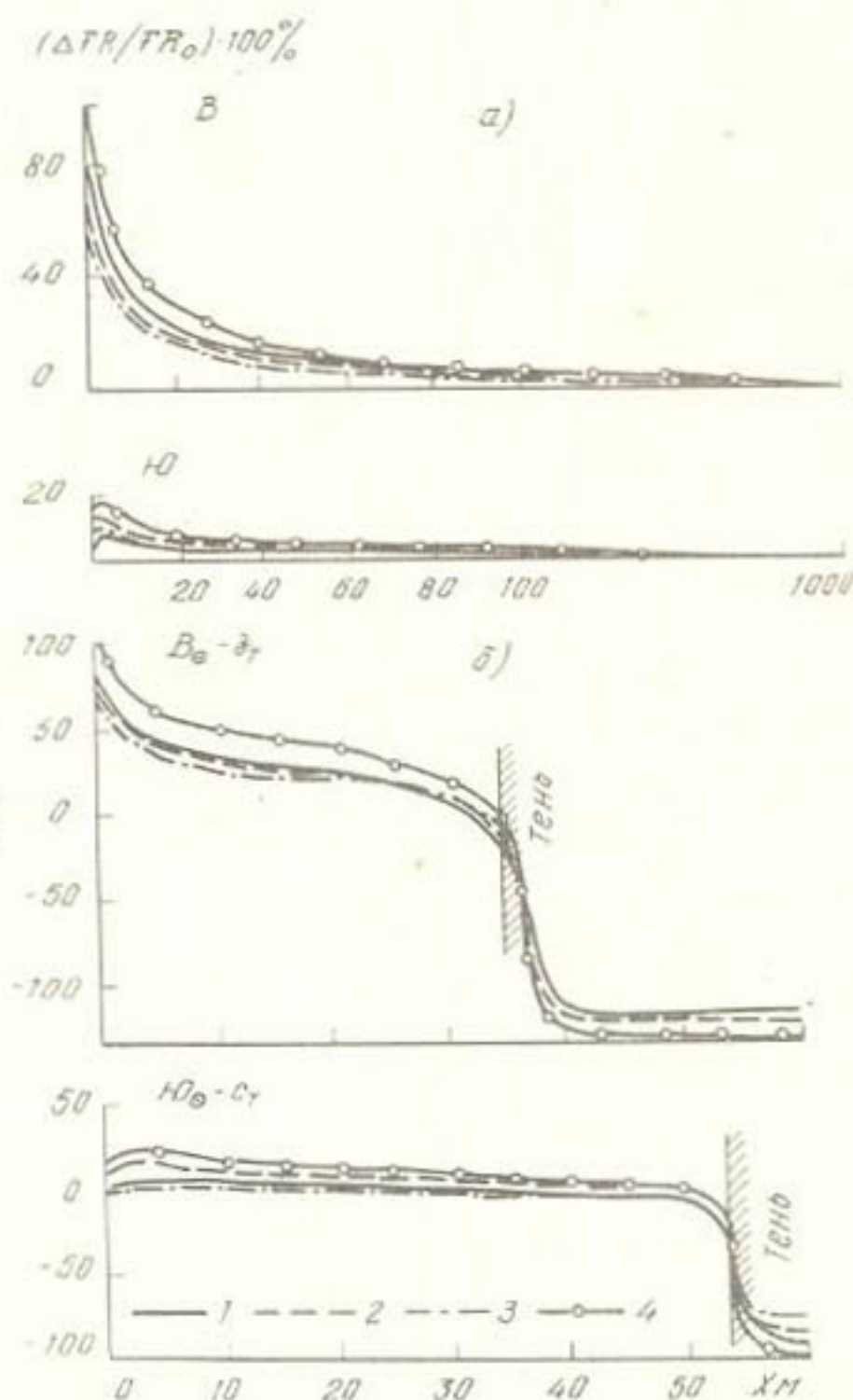


Рис. 3. Относительное влияние односторонней (а) и двусторонней (б) застройки высотой 15 м:

1 — Ташкент, 2 — Нукус, 3 — Термез, 4 — Чимган

висит от ее геометрических параметров, причем эта зависимость проявляется более значительно в условиях двусторонней застройки (рис. 2).

По (2)—(6) были выполнены оценки радиационно-теплого влияния односторонней и двусторонней застройки на человека в Нукусе, Термезе (пустынная зона), Ташкенте (зона оазиса), Чимгане (горная зона). Полученные данные (рис. 3) показывают, в этих пунктах изменение потоков радиационного тепла в зоне застройки носит одинаковый характер. Различия величины относительного влияния застройки (наибольшее — в Чимгане, менее значительное — в Термезе, Ташкенте и Нукусе) связаны с климатическими особенностями рассматриваемых зон, характеризующихся параметром FR_0 , значение которого составляет в 7 и 12 ч в Нукусе — 223 и 416 Вт, в Термезе — 237 и 477 Вт, в Ташкенте — 188 и 427 Вт, в Чимгане 166 и 385 Вт соответственно.

Полученные данные показывают, что представленные выражения позволяют оценить величину и характер радиационно-теплого влияния застройки в зависимости от ее геометрических параметров, структуры, условий инсоляции, климатического фона и т. д., что может оказаться полезным при решении градостроительных задач по оптимизации биотермического режима городской среды.

Т. И. МОЛОСНОВА, О. И. СУББОТИНА

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КЛИМАТА ГОЛОДНОЙ СТЕПИ, ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ В ПЕРИОД ОРОШЕНИЯ И ПРИАРАЛЬЯ В ПЕРИОД УСЫХАНИЯ МОРЯ

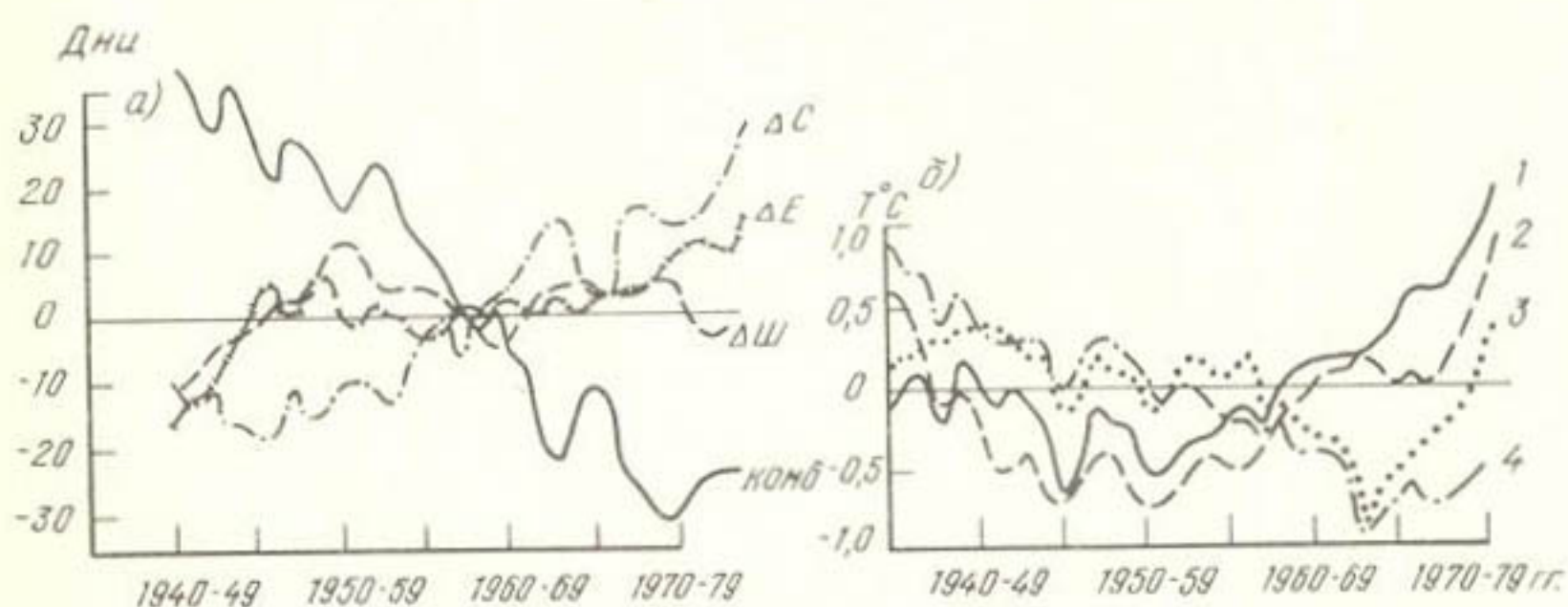
На территории Средней Азии в течение 1950—1980 гг. произошло два противоположных по своему характеру активных воздействия на окружающую среду. Это, во-первых, интенсивное увеличение орошаемых площадей в районах Голодной степи и Ферганской долины и, во-вторых, в связи с изъятием вод из основных рек, питающих Аральское море, Амударьи и Сырдарьи, наблюдается резкое падение уровня моря, что привело к освобождению от воды больших площадей (нескольких десятков тысяч квадратных километров).

В табл. 1 дан многолетний ход уровня Аральского моря, где четко видно, что с 1960 г. наблюдается неуклонное его снижение, результатом чего является сокращение площади водной поверхности, уменьшение объема водных масс и глубины, существенное изменение конфигурации береговой линии, значительное увеличение солености морских, грунтовых, речных вод. В этой же таблице приведен многолетний ход размера орошаемых площадей в ирригационных районах бассейна Сырдарьи (Ферганская долина, Голодная степь). Неуклонный рост размера орошаемых площадей, особенно интенсивный, начиная с 1960 г., несомненно, должен был привести к изменению температуры поверхности земли, к увели-

Многолетний ход уровня Аральского моря
и размеры орошаемых площадей
в ирригационных районах бассейна Сырдарьи

Период наблюдений, годы	Аральское море, абс. м	Ферганская долина, тыс. га	Голодная степь, тыс. га	Период наблюдений, годы	Аральское море, абс. м	Ферганская долина, тыс. га	Голодная степь, тыс. га
1925—1929		670	63	1955—1959	53,3	953	223
1930—1934		708	72	1960—1964	52,5	993	291
1935—1939		822	91	1965—1969	51,3	1057	406
1940—1944		860	128	1970—1974	50,0	1102	486
1945—1949	52,8	820	123	1975	49,5	1163	479
1950—1954	53,2	877	182	1980	46,0	1225	530

чению испарения на значительных площадях и, как следствие, к увеличению влажности в приземном слое атмосферы, уменьшению вертикальных градиентов температуры вплоть до инверсий. Последнее должно повлиять на местные особенности климата.



Кривые, характеризующие изменения общей циркуляции атмосферы (а), и 10-летние скользящие средние отклонения приземной температуры воздуха от средней многолетней (б):

1 — Тамды, 2 — Приаралье, 3 — Ферганская долина, 4 — Голодная степь

На формирование метеорежима определяющее влияние оказывают крупномасштабные изменения, происходящие в общей циркуляции атмосферы, и в какой-то мере антропогенное воздействие. Нашей задачей является выяснение степени зависимости элементов метеорежима от крупномасштабных изменений общей циркуляции атмосферы и обнаружение той доли вклада в изменчивость элементов метеорежима, которая принадлежит антропогенному воздействию.

Характер изменений, происшедших в общей циркуляции атмосферы, представлен на рисунке а, где приведен многолетний ход 10-летних скользящих средних отклонений продолжительности различных форм циркуляции М. Х. Байдала от их средней много-

летней величины за период 1940—1979 гг. [1]. Здесь индексами С и Е названы формы меридионального типа циркуляции. Они противоположны друг другу по географической локализации как высотных гребней, так и типов погоды. Индекс Ш соответствует зональной форме состояния циркуляции. На рисунке «комбинированный» означает, что месячную норму дней превышали одновременно какие-либо две формы циркуляции [1].

Приведенные кривые указывают на существенные изменения, происшедшие в поведении форм циркуляции. Если с 40-х годов до периода 1958—1967 гг. преобладали комбинированные формы циркуляции, то в последние два с лишним десятилетия, когда продолжительность зональных процессов значительно уменьшалась, произошло увеличение продолжительности меридиональной циркуляции формы С, что случайно совпало с изменением условий увлажнения рассматриваемых районов, хотя в период 1965—1974 гг. отмечался некоторый спад в продолжительности меридиональной формы циркуляции. В целом за имеющийся период наблюдений выделяются две крупные циркуляционные эпохи. Десятилетие, когда произошли изменения в преобладании одной формы циркуляции над другой, достаточно хорошо согласуются с результатами анализа циркуляционных эпох, приведенных в работах [2, 3].

Обнаружение зависимости отдельных элементов метеорежима от изменений, наблюдающихся в общей циркуляции атмосферы для трех различных областей (Приаралье, Ферганская долина, Голодная степь), явилось последующим этапом работы. Для этого исходная информация об отдельных элементах метеорологического режима была представлена наблюдениями на следующей сети станций: Приаралье—Муйнак, Уялы, Тигровый, Чимбай, Голодная степь—Джизак, Янгиер, Сырдарья, Кокарал, Дальверзин, Богарное, Галляарал, Ферганская долина—Фергана, Байток, Наманган, Андижан, Федченко, Коканд.

Температура воздуха

Об изменениях, происшедших в температурном режиме в течение всего рассматриваемого периода наблюдений, можно судить по результатам 10-летних скользящих средних отклонений температуры от среднего многолетнего значения для трех рассматриваемых областей и реперной станции, т. е. станции, на которой не происходило столь интенсивных изменений в распределении водных ресурсов (рисунок б). На рисунке достаточно четко видна согласованность изменений, происшедших в температурном режиме, с изменениями, которые произошли в общей циркуляции атмосферы, независимо от типа воздействия на окружающую среду (орошение или усыхание). Этот же вывод следует из табл. 2, где приведены значения линейного тренда β ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) и относительного вклада его в общую дисперсию ряда α (%) за соответствующие периоды наблюдений за температурой [4].

**Оценка параметров линейного тренда
средней месячной приземной температуры воздуха**

	1933—1958 гг.		1959—1980 гг.			1933—1958 гг.		1959—1980 гг.	
	β	α	β	α		β	α	β	α
	И ю л ь					Я н в а р ь			
Приаралье	—0,04	10	0,09	24	Приаралье	0,11	8	—0,21	12
Голодная степь	—0,03	3	0,01	0	Голодная степь	0,16	14	—0,16	8
Ферганская долина	—0,00	0	0,05	13	Ферганская долина	0,16	18	—0,09	4
Реперная станция	—0,06	16	0,11	28	Реперная станция	0,11	7	—0,21	10

Если до 1958 г., когда преобладали комбинированные формы циркуляции, для всех рассматриваемых областей β для июля отрицательно, то в последующий период (1959—1980), β меняет знак на обратный независимо от того, какая из областей подвергается анализу, хотя тенденция к потеплению за этот период лет в рассматриваемых районах различна. Менее интенсивно осуществляется потепление в Голодной степи, нежели в Приаралье и реперной станции. В этой же таблице приведены значения β и α , характеризующие тенденцию изменений, происшедших в температуре в различные временные периоды для зимы. Так, период 1959—1980 гг. отличается повсеместным похолоданием, в наименьшей мере оно выражено в Ферганской долине, здесь, по-видимому, сказывается физико-географическое положение этого района.

Суточная амплитуда температуры воздуха

Одной из метеорологических характеристик, относительно слабо зависящей от особенностей общей циркуляции атмосферы, является суточная амплитуда температуры воздуха. При отсутствии каких-либо антропогенных факторов (орошение, усыхание, интенсивное загрязнение) атмосферы промышленными выбросами и др.). Эта характеристика для всех рассматриваемых областей не имеет какого-либо устойчивого (положительного или отрицательного) значения тренда. Это достаточно четко прослеживается в период 1933—1958 гг. (табл. 3).

В Приаралье и Феранской долине наблюдается некоторое понижение суточной амплитуды на 0,8 и 0,4°C/10 лет соответственно, а в Голодной степи и на реперной станции — повышение на 0,5—0,4°C/10 лет.

Иной характер изменений β наблюдается в период 1959—1980 гг., когда суточная амплитуда в Приаралье существенно растет до 2,5°C/10 лет, между тем на реперной станции этот рост составляет 0,1°C/10 лет, а в Голодной степи и Ферганской доли-

Таблица 3

Оценка параметров
линейного тренда
суточной амплитуды
температуры воздуха

	1933—1958 гг.		1959—1980 гг.	
	β	α	β	α
Приаралье	—0,08	50	0,25	85
Голодная степь	0,05	10	0,04	12
Ферганская долина	—0,04	13	0,00	0
Реперная станция	0,04	7	0,01	2

Таблица 4

Оценка параметров
линейного тренда
относительной влажности

	1933—1958 гг.		1959—1980 гг.	
	β %/год	α %	β %/год	α %
Уялы	0,32	7	—0,30	8
Муйнак	0,22	29	—0,16	5
Джизак	0,10	4	0,54	58
Фергана	0,26	29	0,15	6
Реперная станция	0,20	10	—0,14	5

не, напротив, не происходит увеличения суточной амплитуды температуры воздуха.

Изменения в суточной амплитуде температуры, которые наблюдаются в Приаралье, объясняются процессом усыхания моря, а в Голодной степи и Ферганской долине — процессом орошения.

Относительная влажность

Не менее ярко выражен эффект антропогенного воздействия в изменении относительной влажности (табл. 4).

В период 1933—1958 гг. тенденция в изменении относительной влажности для всех станций имела один и тот же знак и близкие по значению β . Последующий период (1959—1980) характеризуется интенсивным падением относительной влажности на станциях Уялы, Муйнак, превосходящим ее падение на реперной станции, и интенсивным увеличением относительной влажности на станциях Голодной степи и Ферганской долины.

Разность температуры между реперной станцией и станциями, расположенными в различных зонах увлажнения (ΔT°)

Эффект антропогенного воздействия можно обнаружить также в изменениях разности температуры между реперной станцией, расположенной в пустыне, и станциями, находящимися в районе Приаралья, Голодной степи и Ферганской долины (табл. 5).

В I циркуляционной эпохе во всех районах сохраняется один и тот же знак и близкие значения β . Во II циркуляционной эпохе, когда увеличились орошаемые площади, особенно на территории Голодной степи (табл. 1), а Аральское море существенно отошло от берегов, наблюдается уменьшение ΔT° между пустыней и морем ($\beta = -0,1^\circ\text{C}/10$ лет) — выравниваются температурные раз-

Таблица 5

Оценка параметров линейного тренда
разности температуры (ΔT°)
между реперной станцией и станциями,
расположенными в разных зонах увлажнения

	1933—1958 гг.		1959—1980 гг.	
	β	α	β	α
Приаралье	0,03	3	—0,01	1
Ферганская долина	0,03	7	0,04	16
Голодная степь	0,01	1	0,13	82

личия. Зато весьма существенное увеличение ΔT° происходит в Голодной степи ($1,3^\circ\text{C}/10$ лет), что свидетельствует об увеличении зоны увлажнения на этой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М. Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 208 с.
2. Кононова Н. К. Естественные и антропогенные факторы динамики климата. — В кн.: Материалы метеорологических исследований. Хроника. Обсуждения. 1982, № 5, с. 7—16.
3. Николаев Ю. В., Колтаков Ю. Н. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы (по данным классификации Г. Я. Вангенгейма — А. А. Гирса). — Метеорология и гидрология, 1983, № 11, с. 14—19.
4. Поляк И. И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 255 с.

Т. И. МОЛОСНОВА, З. Н. ФАТХУЛЛАЕВА, Г. С. ХОХЛОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНИХ СРЕДНЕГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТАШКЕНТЕ И ФЕРГАНЕ

К числу наиболее эффективных способов исследования интенсивности климатических колебаний метеорологических элементов во времени относится анализ линейного тренда, параметры которого вычисляются по данным наблюдений за определенный период лет. Линейный тренд исследуется одновременно с соответствующими оценками спектральных характеристик.

С помощью метода наименьших квадратов для наблюдений $Y_0, Y_1, \dots, Y_k$, заданных в точках $t_0, t_1, \dots, t_k$ ($(t_{i+1} - t_i) = \text{const}$), можно провести оценку параметров линейного тренда и их статистических характеристик.

Оценка параметров линейного тренда по данным наблюдений
за среднегодовой температурой воздуха в Ташкенте и Фергане

Период наблюдений, годы	K	β_1	σ_{β_1}	$t(K-1)$	Период наблюдений, годы	K	β_1	σ_{β_1}	$t(K-1)$
Т а ш к е н т					Ф е р г а н а				
1877—1980	104	0,009	0,812	0,01	1919—1980	62	0,018	0,693	0,02
1881—1980	100	0,009	0,787	0,01	1921—1980	60	0,019	0,678	0,03
1891—1980	90	0,008	0,793	0,01	1931—1980	50	0,021	0,693	0,03
1901—1980	80	0,011	0,806	0,01	1941—1980	40	0,014	0,693	0,02
1911—1980	70	0,011	0,843	0,01	1951—1980	30	0,027	0,648	0,04
1921—1980	60	0,018	0,812	0,02	1961—1980	20	0,016	0,693	0,02
1931—1980	50	0,020	0,812	0,02	1971—1980	10	0,126	0,557	0,23
1941—1980	40	0,021	0,812	0,02					
1951—1980	30	0,028	0,748	0,04					
1961—1980	20	0,008	0,762	0,01					
1971—1980	10	0,107	0,721	0,10					

В таблице приводятся данные результатов аппроксимации временных рядов среднегодовых значений температуры в Ташкенте и Фергане прямой линией. Установить наличие или отсутствие тренда необходимо перед тем, как анализировать наблюдения методами стационарных случайных процессов, так как ряд, имеющий тренд, не удовлетворяет условиям стационарности и должен быть исследован с учетом этой особенности.

Рассмотрим результаты оценивания параметров линейного тренда временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха.

Проведем анализ оценок параметров линейного тренда с помощью критерия [3]:

$$t(K-1) = \frac{|\beta_1|}{\sigma_{\beta_1}},$$

где β_1 — один из коэффициентов прямой $\beta_0 + \beta_1 t$, характеризующей скорость изменения температуры; σ_{β_1} — дисперсия коэффициента β_1 , K — объем выборки.

С помощью оценки $t(K-1)$ можно рассмотреть гипотезу о наличии статистически значимого линейного тренда в наблюдаемых выборках. Рассчитав эту величину и сравнив ее с табличным значением для выбранного уровня значимости при соответствующем объеме выборки, можно оценить вероятность того, что β_1 окажется статистически значимым. Так, для 95%-ного уровня при $K=104$ и $K=62$ эта вероятность должна превосходить соответственно 1,98 и 2,00 [1].

Анализируя представленные оценки параметров линейного тренда, можно заметить, что независимо от продолжительности временных рядов значение β_1 оказалось статистически незначимым. Временной ряд должен иметь большую продолжительность, чтобы параметр β_1 можно было бы оценить с достаточной достоверностью [4].

Вычисленные параметры линейного тренда на отдельных участках анализируемых временных рядов показывают, что в основном наблюдается тенденция к потеплению, наиболее интенсивному за последние 30 лет. Так, за период 1951—1980 гг. оно составляет $2,7^{\circ}\text{C}/100$ лет. Это во многом обусловлено глобальным потеплением, наблюдающимся в первой половине XX в. Определенное влияние имеет и то, что станции представляют собой города, рост энергетики которых сказался на изменении их климата.

Одним из важных этапов изучения колебаний временных рядов является спектральный анализ, который позволяет разделить временной ряд на различные частотные составляющие. Для этого необходимо, чтобы ряд отвечал требованиям теории стационарных случайных процессов. Наличие статистически значимого линейного тренда должно быть исключено, после чего анализируемые временные ряды можно считать выборками стационарных случайных процессов.

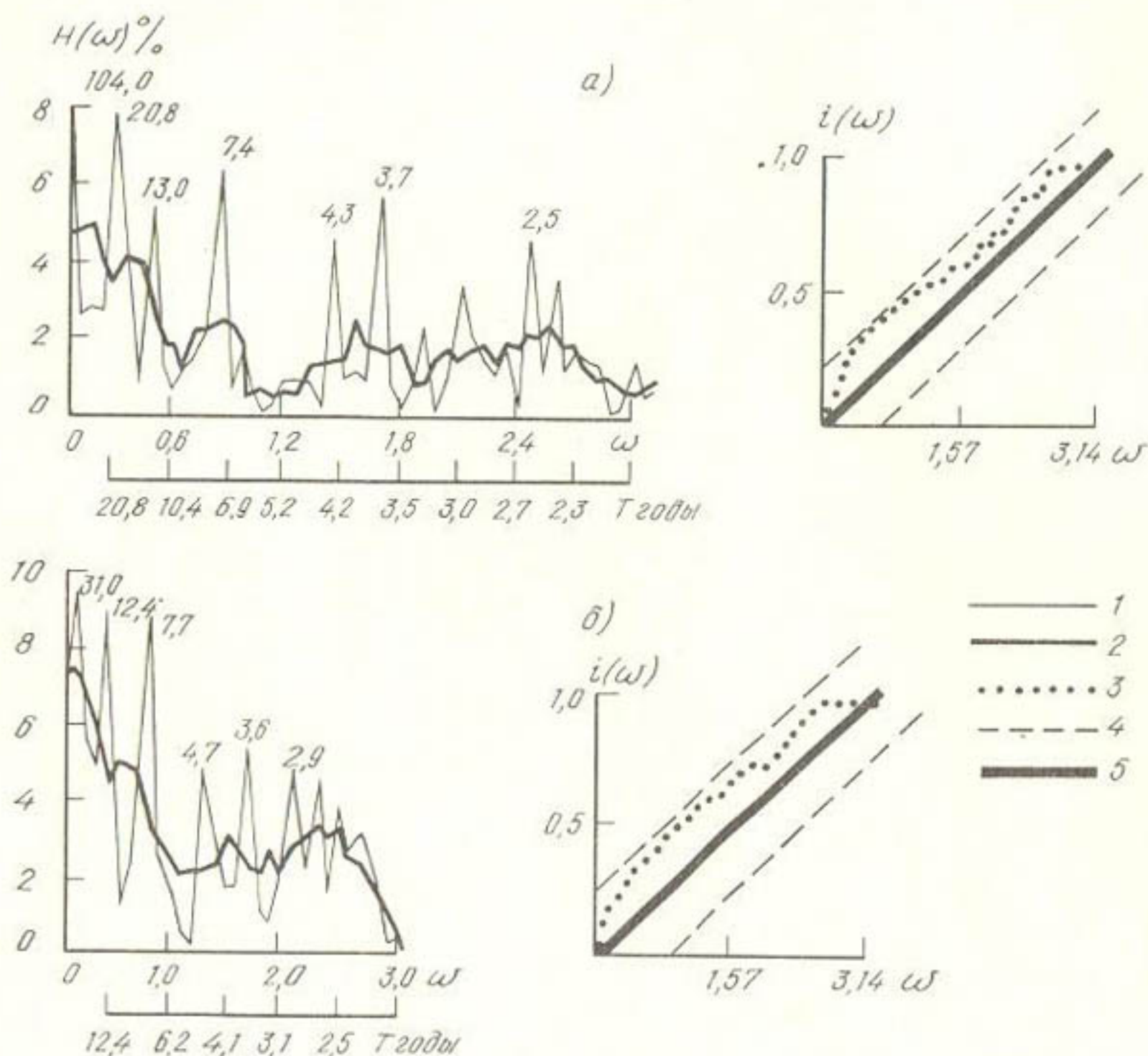
Итоговым результатом вычислений является периодограмма, которая определяется амплитудами, соответствующими колебаниям с определенными частотами в разложении Фурье. Гармоническим частотам

$$\omega_P = \frac{2\pi P}{K \Delta t}$$

(здесь P — номер гармоники) соответствуют периоды $T_P = T/P$. Периодограмма показывает, каковы амплитуды гармоник, формирующих заданный временной ряд на рассматриваемом конечном временном интервале. Она представляет объективную информацию о мощности колебаний, составляющих ряд.

Рассмотрим периодограмму, построенную по данным наблюдений за среднегодовыми значениями температуры в Ташкенте за 104 года (1877—1980) — это один из самых продолжительных рядов наблюдений за температурой в Средней Азии — и Фергане за 62 года (1919—1980). Значения периодограммы на рисунке даны в процентах от оценки дисперсии ряда. Периодограмма указывает на то, что рассчитанные величины представляют флуктуации, имеющие различную мощность на отдельных частотных интервалах. Здесь же приведена шкала с периодами, соответствующими различным гармоническим частотам. Для значительных всплесков, имеющих на периодограмме, отмечены им соответствующие периоды. Наиболее мощные из них (рисунок *а*) приходятся на низкочастотную часть и имеют периоды 104 года (8%), 21 год (8%) и 13 лет (5,5%). На рисунке *б* приведена периодограмма, рассчитанная по среднегодовым значениям температуры в Фергане. Здесь отмечаются три отдельных всплеска в низкочастотной области, соответствующих периодам 31, 12,4 и 7,7 года, значения которых достигают 9,7% дисперсии. Флуктуации сравнительно большой мощности (превосходящие 4%) для периодов менее 5 лет наблюдаются в высокочастотной области периодограммы, соответ-

ствующие 4,7; 3,6 и 2,9 года. Аналогичные всплески с близкими по значению периодами 4,3; 3,7 и 2,5 года обнаружены в наблюдениях за среднегодовой температурой в Ташкенте.



Периодограммы (1), оценки спектральных плотностей (2) и спектральные функции (3) временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха в Ташкенте (а) за 1877—1980 гг. и Фергане (б) за 1919—1980 гг., 4 — 95%-ные доверительные интервалы для белого шума 5

Результаты сравнения двух периодограмм позволяют отметить следующее: в низких частотах с периодами 12—13 и 7—8 лет флуктуации большой мощности (достигающие 8—9% для Ферганы) имеются на двух рассматриваемых периодограммах, периоды этих флуктуаций совпадают. Особенностью периодограмм явилась их регулярность как в высокочастотных, так и низкочастотных областях. В длиннопериодных областях периодограмм (более 20 лет) эта регулярность отсутствует, что можно объяснить различным объемом выборок. Кроме рассмотренных особенностей необходимо отметить, что на отдельных участках периодограмм обнаружены всплески дисперсии (до 4,5%), приходящиеся на различные периоды.

Помимо периодограмм на рисунке даны оценки спектральной плотности, полученные линейным сглаживанием по пяти точкам

[5]. Спектры двух рассматриваемых рядов наблюдений содержат максимумы в низких частотах, соответствующие периодам в несколько десятков лет. Это указывает на то, что спектральная плотность температуры устойчива в пространстве. Особенностью спектров можно назвать повышенную долю дисперсии, приходящуюся на низкие частоты с периодами более 7—8 лет. Особенности других частотных интервалов заключаются в схожести спектральной плотности рассматриваемых рядов.

Приводимые в [2] оценки показывают, что спектры временных рядов температуры устойчивы во времени.

Для проверки гипотезы о том, что наблюдаемый временной ряд является реализацией белого шума, был использован критерий значимости Колмогорова—Смирнова [4]. Он состоит в построении полосы $\pm \lambda / (K/2 - 1)^{1/2}$ около теоретической прямой. Для уровня значимости 0,95 $\lambda = 1,36$, доверительные границы для Ташкента равны $\pm 0,19$. На рисунке справа приведены спектральные функции $i(\omega)$ и 95%-ные доверительные границы для белого шума. Наносимые на график оценки нормированной спектральной функции отклоняются от теоретической прямой белого шума тем дальше, чем больше вероятность того, что анализируемая реализация не представляет собой выборку белого шума.

Приводимые на рисунке результаты показывают, что рассчитанные значения спектральной функции в низких частотах близки к отклонению от указанных границ. Следовательно, можно предположить, что временно ряд не является реализацией белого шума. Основная доля изменчивости температуры во времени обусловлена белым шумом, на который приходится $> 80\%$ дисперсии.

Всплески, наблюдаемые на периодограммах двух станций, указывают на наличие определенных циклов с соответствующим периодом колебаний. Для того чтобы судить об устойчивости этих циклов, необходимо подвергнуть спектральному анализу ряды наблюдений на других станциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Физматгиз, 1962. — 576 с.
2. Горбачева Н. А. и др. Пространственно-временные корреляционные функции поля аномалий среднемесячной температуры / Горбачева Н. А., Груза Г. В., Харманская Г. С. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1976, вып. 13, с. 55—71.
3. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения, М.: Мир, 1971. т. I. — 316 с.
4. Поляк И. И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 255 с.
5. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1971. — 192 с.

ПЫЛЬНАЯ МГЛА И ПЫЛЬНЫЕ БУРИ НА ЮГО-ВОСТОКЕ СРЕДНЕЙ АЗИИ

С конца прошлого века в районах южного Узбекистана, Таджикистана и северного Афганистана известны сильные ветры юго-западного направления, сопровождающиеся пыльными бурями и пыльной мглой — афганцы. Первое серьезное исследование этого явления было предпринято К. А. Каретниковой еще в 1935 г. [3]. Она доказала, что афганцы развиваются в процессе продвижения фронтов западных и северо-западных холодных вторжений на юго-восток Средней Азии. Много внимания исследованию пыльных бурь и пыльной мглы в этом районе уделено в работах Н. Н. Романова [7].

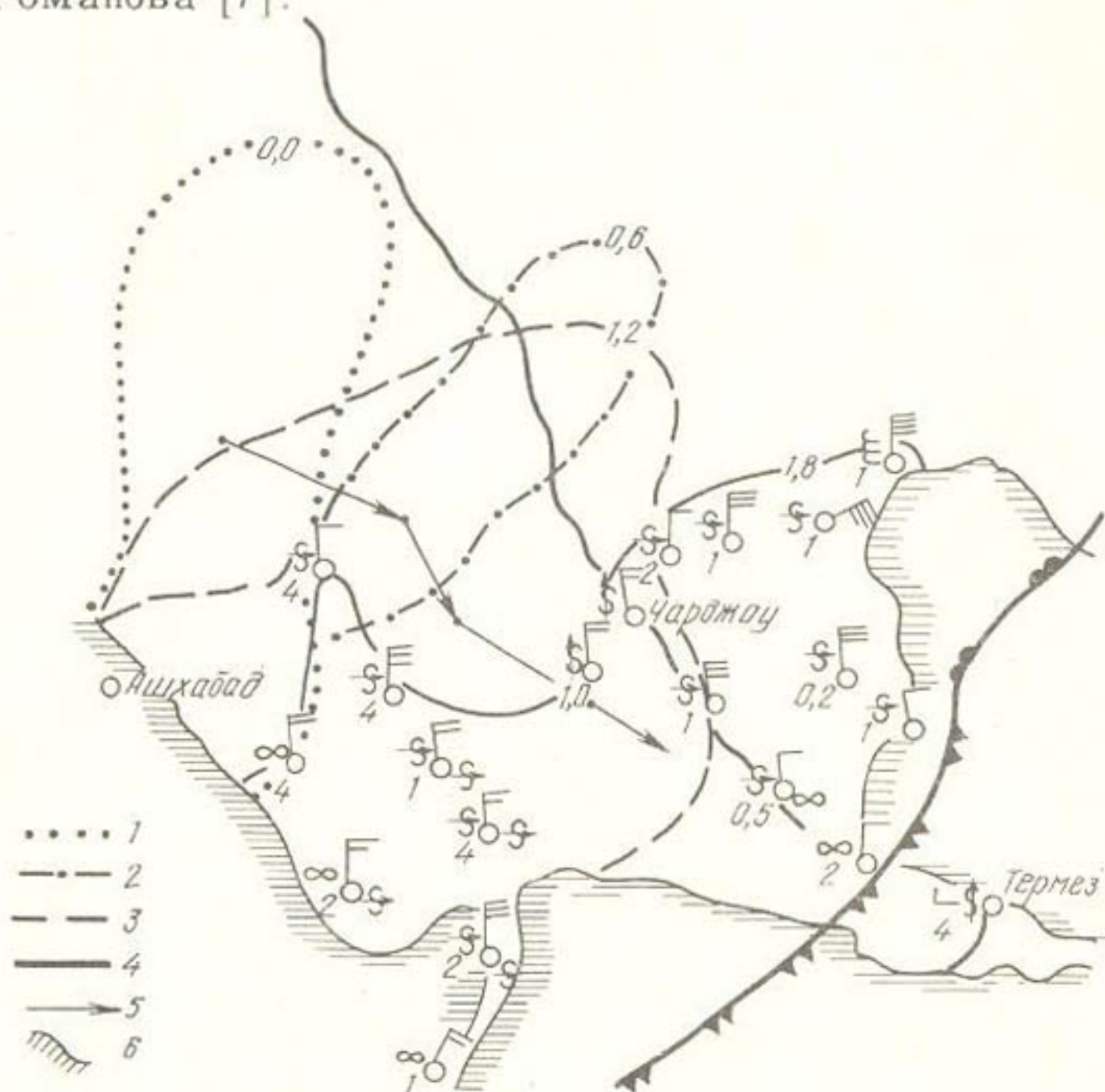


Рис. 1. Пыльные бури и пыльная мгла на фронте западного вторжения 4 VIII 1962:

1—4 — граница зон пыльных бурь и пыльной мглы соответственно в 00, 06, 12 и 18 ч мск, 5 — направление перемещения геометрического центра зон пыльных бурь и мглы, 6 — изогипса 500 м

Однако мы знаем об афганцах далеко не все. Так, не вполне ясен путь пылевого потока, сформированного в Юго-Восточных Каракумах к верховьям Амударьи и ее притоков; до сих пор нет фактических данных о пыльных бурях этого типа на территории

Афганистана; неизвестно, какова вероятность переноса пыли в область высокогорий, каково влияние орографии на характеристики пыльной мглы. Кроме того, метеорологические условия афганцев известны в самых общих чертах, в основном в виде качественных описаний. Задача данной работы — хотя бы частично осветить эти вопросы.

Типичная картина развития пыльных бурь и пыльной мглы в Юго-Восточных Каракумах на фронте западного вторжения изображена на рис. 1, где видно последовательное перемещение зон пыльных бурь и пыльной мглы с северо-запада на юго-восток по мере перемещения фронта. Внутри зон — ветер обычно северный или северо-западный. Когда фронт доходит до горных хребтов Памиро-Алая, поток запыленного холодного воздуха как бы разделяется на два рукава. Первый, несколько ослабевая, огибает юго-западные отроги Гиссарского хребта и идет вверх по долине Амударьи. В районе Термеза, обогнув хр. Кугитанг-Тау, поток принимает юго-западное направление. Второй поток продолжает свое движение на юг до северных предгорий Банди—Туркестана, вдоль которых возникает отраженный, все усиливающийся поток. Он попадает в долину Амударьи, имея также юго-западное направление и иногда опережая первый.

Этот отраженный поток можно охарактеризовать с помощью наблюдений ст. Мазари-Шериф, расположенной на территории ДРА, в 60 км к югу от Термеза. Данные наблюдений этой станции были любезно предоставлены нам доктором Маманди.

Приведем краткую сравнительную характеристику пыльных бурь и пыльной мглы на станциях Мазари-Шериф и Термез. В Термезе афганцы наблюдались чаще: за один и тот же период в Мазари-Шерифе отмечено 166, а в Термезе — 206 афганцев.

Число пыльных бурь, зарегистрированных на обеих станциях в течение одних и тех же суток, оказалось равным 112, причем в 77% из них пыльные бури начинаются сначала в Мазари-Шерифе, в 17% — в Термезе и лишь в 6% они возникают на обеих станциях одновременно (в течение получаса). В 54% таких совместных запылений пыльные бури или пыльная мгла в Термезе начинаются не позже чем через 3 ч, а в 83% — не позже чем через 6 ч после их начала в Мазари-Шерифе (табл. 1).

Таблица 1

Повторяемость интервалов времени,
через которые начинаются пыльные бури или мгла

Интервал времени, ч							Сумма
0—1	1,1—2	2,1—3	3,1—6	6,1—9	9,1—12	12	
23	15	14	26	8	3	4	93
24,7	16,1	15,1	28,0	8,6	3,2	4,3	100

Примечание. Здесь и в табл. 2—4 в числителе — число случаев, в знаменателе — %.

Сравнение наблюдений видимости и ветра на этих двух станциях показывают, что пыльные бури в Мазари-Шерифе — более опасное явление. Так, наиболее часто в пыльных бурях в Мазари-Шерифе отличалась видимость 500—800 м, а в Термезе — 4—6 км; в Мазари-Шерифе в 57% наблюдалась видимость ниже 1500 м, а в Термезе — лишь в 12% случаев (табл. 2).

Максимум повторяемости скоростей ветра в Мазари-Шерифе приходится на 15—18 м/с, а в Термезе на 7—10 м/с; в Мазари-Шерифе в 75,6% случаев отмечается ветер со скоростью более 10 м/с, а в Термезе — лишь в 41,3% (табл. 3).

Таблица 2

Повторяемость различных интервалов видимости
в пыльных бурях и пыльной мгле

Станция	Интервал видимости, м									Сумма
	50	100—400	500—800	1000—1200	1500	2000—2500	3000	4000—6000	10000	
Термез	$\frac{4}{0,3}$	$\frac{18}{1,2}$	$\frac{53}{3,7}$	$\frac{105}{7,3}$	$\frac{101}{7,0}$	$\frac{239}{16,5}$	$\frac{311}{21,5}$	$\frac{549}{37,3}$	$\frac{76}{5,2}$	$\frac{1446}{100}$
Мазари-Шериф	$\frac{8}{1,7}$	$\frac{63}{13,1}$	$\frac{128}{26,8}$	$\frac{76}{15,8}$	$\frac{54}{11,2}$	$\frac{53}{11,0}$	$\frac{20}{4,2}$	$\frac{51}{10,6}$	$\frac{27}{5,6}$	$\frac{480}{100}$

Таблица 3

Повторяемость скорости ветра в совместных пыльных бурях
и пыльной мгле

Станция	Скорость ветра, м/с								Сумма
	0—3	4—6	7—10	11—14	15—18	19—21	22—25	26—28	
Термез	$\frac{11}{8,4}$	$\frac{31}{23,7}$	$\frac{35}{26,6}$	$\frac{25}{19,1}$	$\frac{24}{18,1}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{1}{0,8}$	$\frac{1}{0,8}$	$\frac{131}{100}$
Мазари-Шериф	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{6}{4,6}$	$\frac{23}{17,5}$	$\frac{23}{17,5}$	$\frac{45}{34,4}$	$\frac{17}{13,0}$	$\frac{10}{7,6}$	$\frac{4}{3,1}$	$\frac{131}{100}$

Таким образом, можно заключить, что пылевой поток, направленный от предгорий Банди—Туркестана движется в большинстве случаев быстрее потока, огибающего отроги Гиссарского хребта, и отличается от него большей запыленностью и большими скоростями ветра. Примечательно, что никакой зависимости между видимостью в Термезе и Мазари-Шерифе не обнаружено ($r = -0,04$); для скоростей ветра существует прямая связь, но очень слабая ($r = 0,4$).

Продолжительность пыльных бурь и мглы более 6 ч в Мазари-Шерифе составляет 57%, а в Термезе — 37% (табл. 4).

Повторяемость интервалов длительности пыльных бурь

Станция	Интервал длительности, г									Сумма
	1	1-2	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12	
Термез	$\frac{26}{8,7}$	$\frac{42}{14,0}$	$\frac{29}{9,7}$	$\frac{47}{15,6}$	$\frac{47}{15,7}$	$\frac{26}{8,7}$	$\frac{31}{10,3}$	$\frac{12}{4,0}$	$\frac{40}{13,3}$	$\frac{300}{100}$
Мазари-Шериф	$\frac{11}{6,0}$	$\frac{10}{5,5}$	$\frac{10}{5,5}$	$\frac{18}{9,8}$	$\frac{29}{15,8}$	$\frac{26}{14,2}$	$\frac{28}{15,3}$	$\frac{16}{8,7}$	$\frac{35}{19,2}$	$\frac{183}{100}$

Для выяснения вопроса о динамике дальнейшего распространения пыли к востоку и северо-востоку, в глубь горной страны, мы выбрали из таблиц ТМ-1 Термеза за 1955—1963 гг. 43 случая развития интенсивных пыльных бурь и пыльной мглы с видимостью до 1 км. По этим датам выбирались данные о видимости, ветре и об атмосферных явлениях на 57 станциях Памиро-Алая. По этим данным мы определили повторяемость пыльных бурь и пыльной мглы, связанных с развитием афганцев (рис. 2).

Всего было рассмотрено 1007 случаев. Пыльные бури преобладают в Термезе и Айвадже, на остальных станциях в основном наблюдалась пыльная мгла. Наибольшей оказалась повторяемость этих явлений в долинах нижнего течения Сурхандарьи и Пянджа (83—93%). Интересно, что в Айвадже и Шаартузе, расположенных к востоку от Термеза в нижнем течении Кафирнигана, повторяемость на 20% меньше, чем в нижней части долины Пянджа, расположенной еще дальше к востоку.

Повторяемость в долинах правых притоков Амударьи уменьшается от устьев к верховьям. Если отождествить повторяемость, полученную нами, с вероятностью распространения пыли при афганцах, то можно сказать, что с вероятностью 70% пыльная мгла распространяется до Денау по Сурхандарье, до Исанбая по Кафирнигану, до Курган-Тюбе по Вахшу, до Дангары по Кызылсу; с вероятностью 50% пыль заполняет все участки долины этих рек, направленных с северо-востока на юго-запад. Довольно редко (11—26%) пыль попадает в Алайскую долину. Так же редко запыляется квазимеридиональная часть долины Пянджа к югу от ст. Хумраги. Обращает на себя внимание повышенная повторяемость пыльной мглы на ст. Ишкашим, расположенной на самом юге Пянджа. Возможно, что сюда попадает пыль из долины р. Кокча, левого притока Пянджа, протекающего по территории Афганистана. В единичных случаях пыльная мгла переваливает на оз. Искандеркуль; и лишь единственный раз пыльная мгла с видимостью 4 км проникла в центральные части Памира: на ст. Ледник Федченко и Булункуль.

На западных склонах Памиро-Алая, обращенных к Юго-Восточным Каракумам, пыльная мгла наблюдалась существенно реже, чем на южных и юго-западных: в Китабе, Акрабате, Гузаре

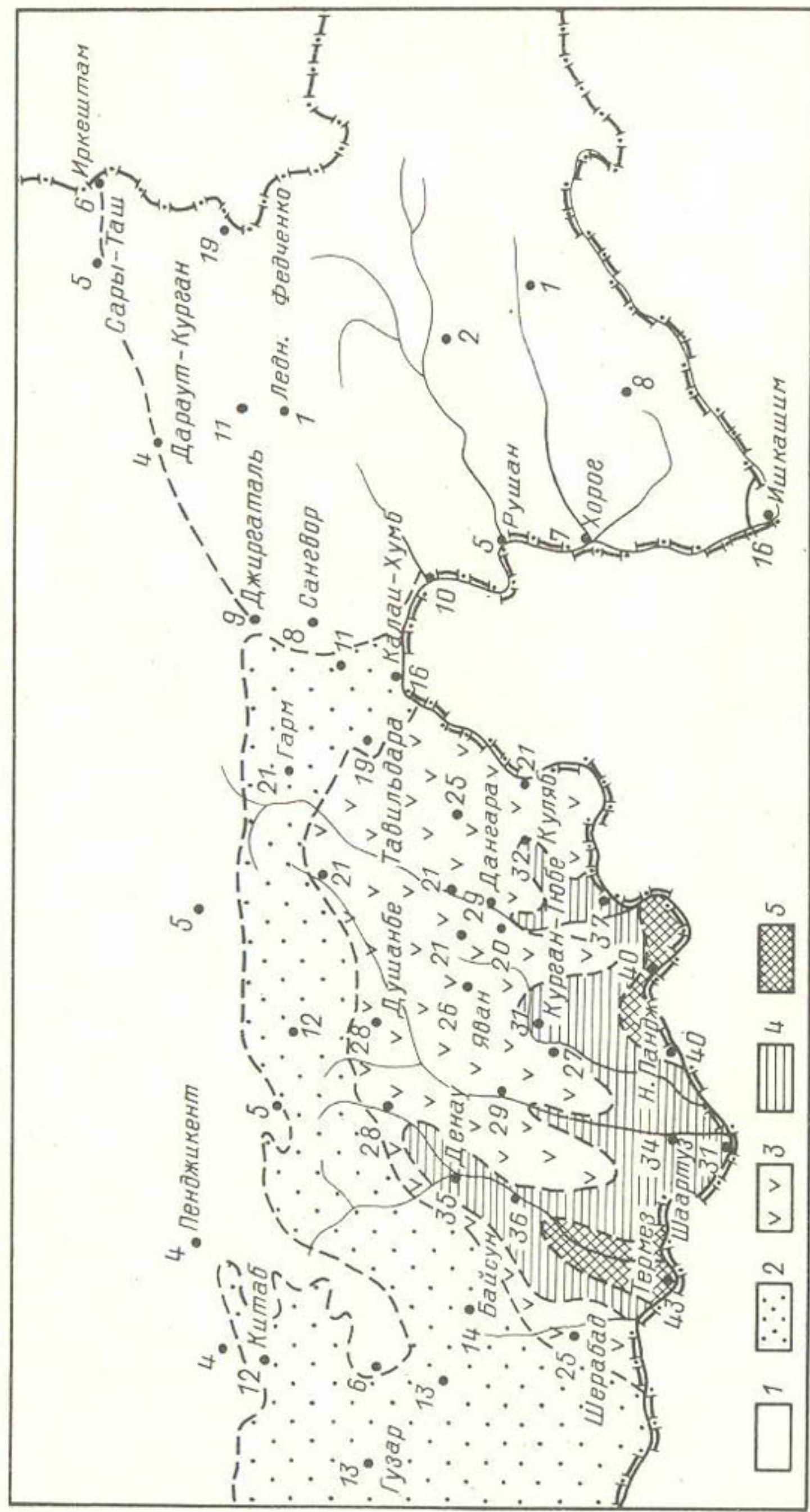


Рис. 2. Карта-схема повторяемости (число случаев) пыльной мглы и пыльных бурь на Памиро-Алае при холодных вторжениях с видимостью ≤ 1 км Термез:

1 — от 1 до 10, 2 — от 10 до 20, 3 — от 20 до 30, 4 — от 30 до 40, 5 — > 40

было 12—13 случаев (27—30%). Интересно, что иногда пыль из долины Сурхандарьи выносится на западные склоны Памиро-Алая.

Так, 25 августа 1958 г. пыльная мгла в ночные и утренние часы появилась в Термезе, в середине дня поднялась до перевала Байсун, а утром 26 августа перешла на западные склоны — ее заметили на ст. Акрабат, а немного позже — на ст. Минчукур.

Характерные формы рельефа оказывают значительное влияние на метеорологические элементы. В некоторых случаях эти связи можно оценить количественно, применяя многофакторный корреляционный анализ [1].

Для поиска связей характеристик пыльной мглы на Памиро-Алае с морфометрическими параметрами мы воспользовались рекомендациями, данными в [11]. Для повторяемости пыльной мглы ($P\%$) получилась следующая зависимость между нормализованными величинами:

$$P = 0,39 \frac{h}{H_{ст}} - 0,34 \frac{S_{ст.гр}}{S_{ст.д}} - 0,33 \frac{l_{св}}{l_{ст}}, \quad (1)$$

где h — глубина долины в районе станции; $H_{ст}$ — высота станции над ур. м.; $S_{ст.гр}$ — ширина долины в районе станции на уровне гребней; $S_{ст.д}$ — ширина долины по пойме; $l_{св}$ — удаленность станции от очагов пыльных бурь; для долины Сурхандарьи — расстояние до Термеза; для остальных долин $l_{св}$ — расстояние до Айваджа; $l_{ст}$ — расстояние от станции до хребта, запирающего долину.

Из уравнения (1) следует, что повторяемость пыльной мглы тем больше, чем ближе расположена станция к очагу пыльных бурь и чем дальше от хребтов, запирающих долины; кроме того, повторяемость возрастает в плоских, низко расположенных долинах с широкой поймой. Сводный коэффициент корреляции $R_c = 0,82$.

Из наших данных следует, что пыль в долине верхней Амударьи появляется сначала либо в Термезе (54%), либо в Айвадже (46%), где, как известно, афганцы достигают наибольшей силы — до 40 м/с [9], что, вероятно, связано с эффектом Бернулли.

С практической точки зрения достаточно важно установить среднее время $\Delta\bar{\tau}$, в течение которого пыль распространяется от устьев рек к их верховьям. Подсчет показал, что до большинства станций пыль доходит в течение суток и раньше. Лишь на самые удаленные и высоко расположенные станции пыльная мгла попадает на вторые сутки: в Хабурабаде $\Delta\bar{\tau} = 37,1$ ч, в Сангворе — 25,4 ч. Для 19 станций, расположенных в участках долин, направленных с северо-востока на юго-запад, среднее время распространения мглы оказалось тесно связанным с расстоянием от станции

Средняя видимость ($\overline{VV}$ км) в пыльной мгле на станциях юго-востока Средней Азии
при пыльных бурях с видимостью 1 км в Термезе

№ п/п	Станция	$\overline{VV}$	№ п/п	Станция	$\overline{VV}$	№ п/п	Станция	$\overline{VV}$	№ п/п	Станция	$\overline{VV}$
1	Термез	0,7	15	Н. Пяндж	2,4	30	Иркештам	13,0	44	Ишкашим	9,0
2	Шурчи	1,8	16	Московская	2,0	31	Кировабад	1,8	45	Джаушангоз	9,3
3	Денау	3,0	17	Ганджина	2,9	32	Пархар	2,2	46	Ирхт	10,0
4	Шахринау	2,2	18	Курган-Тюбе	2,7	33	Куляб	2,0	47	Булункуль	4,0
5	Шерабад	5,7	19	Яван	1,5	34	Ляур	5,3	48	Минчукур	11,8
6	Байсун	4,8	20	Санглок	5,4	35	Дангара	2,4	49	Китаб	6,7
7	Акрабат	6,9	21	Обигарм	4,6	36	Ховалинг	5,1	50	Аманкутан	6,1
8	Гузар	7,8	22	Гарм	7,6	37	Кангурт	3,3	51	Пенджикент	2,0
9	Айвадж	0,5	23	Тавиль-Дара	2,3	38	Митен-Тугай	1,1	52	Искандеркуль	3,4
10	Шаартуз	1,0	24	Хабурабад	4,8	39	Иол	2,5	53	Мадрушкент	4,0
11	Исанбай	5,3	25	Сангвор	4,1	40	Калай-Хумб	5,5	54	Танги-Ворух	4,0
12	Душанбе	2,6	26	Джергиталь	6,4	41	Хумраги	4,0	55	Хайдаркан	4,0
13	Бустонабад	3,4	27	Алтын-Мазар	21,8	42	Рушан	6,4	56	Ледник Федченко	4,0
14	Анзобский перевал	3,8	28	Дараут-Курган	50,0	43	Хорог	8,3	57	Каракуль	6,9

до устья и уклоном долины:

$$\Delta\tau = 0,78 l_y + 0,64 \frac{\Delta H}{l_y}, \quad (2)$$

где l_y — расстояние до устьевой станции, ΔH — превышение станции над устьем.

Сводный коэффициент корреляции $R_c = 0,94$. Это уравнение доказывает, что в подавляющем большинстве случаев при холодных вторжениях запыления воздушная масса достигает верховьев рек, двигаясь вверх по долинам. Наихудшая средняя видимость (VV) наблюдалась в Айвадже (0,5 км) и в Термезе (0,7 км). По мере продвижения пыльной мглы вверх по долинам видимость в ней улучшается (табл. 5).

Для станций, расположенных на юго-западных склонах Памиро-Алая, получена следующая корреляционная связь между средней видимостью и морфометрическими показателями:

$$\overline{VV} = 0,36 l_s + 0,29 \frac{S}{S_{\max}} - 0,26 \frac{h}{S_{\text{ст.гр}}}, \quad (3)$$

где l_s — удаление станции от очагов пыльных бурь — от Термеза или Айваджа, измеренное по долинам рек; $S/S_{\max}$ — отношение ширины долины, в которой расположена станция, к ширине самой крупной из рассмотренных долин Амударьи — Пянджа, протянувшейся от ст. Чаршанга на запад до ст. Хумраги на востоке; h — глубина долины в районе станции; $S_{\text{ст.гр}}$ — ширина долины в районе станции на уровне гребней.

Для нормализованных величин $R_c = 0,75$. Таким образом, на величину средней видимости на станции помимо ее удаления от очага пыльных бурь оказывают влияние еще два фактора: $\frac{S}{S_{\max}}$ и

$\frac{h}{S_{\text{ст.гр}}}$. Первый из них характеризует относительную ширину долины. Чем ближе $\frac{S}{S_{\max}}$ к единице, т. е. чем шире долина, тем хуже в ней видимость. Второй параметр связан с местными усилениями ветра. Известно, что части горных долин, где глубина h сравнима с шириной $S_{\text{ст.гр}}$, т. е. $\frac{h}{S} \rightarrow 1$, можно уподобить трубам, воздуховодам — ветер там усиливается [12].

Очень важной характеристикой пыльной мглы является ее продолжительность (табл. 6). На юго-востоке Средней Азии создаются условия для исключительно стойких запылений атмосферы [7]. Действительно, средняя длительность запыления в результате «афганцев» составляет 25 ч. Напомним, что на равнине (ст. Тамды) в 77% пыльная мгла длится 6 ч и менее [5]. Максимальная средняя продолжительность (66,6 ч) была отмечена на ст. Митен-Тугай, где был достигнут и абсолютный индивидуаль-

Средняя продолжительность (τ) пыльной мглы
на станциях Памиро-Алая

№	Станция	Средняя продолжительность, ч	Стандарт	Число случаев	Максимальная продолжительность, ч	Дата
1	Термез	33,5	17,8	43	96,8	30 IX 1955
2	Шурчи	21,8	17,5	34	78,3	20 IX 1961
3	Денау	44,8	37,3	35	153,5	30 V 1956
4	Шахринау	37,5	31,8	28	136,0	26 IX 1956
5	Шерабад	38,8	30,4	25	109,8	30 V 1956
6	Байсун	13,3	10,5	14	35,3	26 IX 1956
7	Акрабат	13,7	10,7	13	34,5	14 VII 1958
8	Гузар	10,1	9,2	13	27,0	27 VII 1962
9	Айвадж	29,2	23,7	31	102,0	27 V 1956
10	Шаартуз	31,3	18,4	34	71,7	14 VII 1958
11	Исанбай	36,5	34,7	29	133,8	18 X 1959
12	Душанбе	51,6	32,2	27	126,0	20 IX 1961
13	Бустонабад	25,5	20,5	21	72,5	26 IX 1956
14	Анзобский пер.	15,5	19,5	12	68,9	4 VIII 1962
15	Н. Пяндж	38,1	33,6	40	134,0	26 IX 1956
16	Ганджина	32,2	26,7	26	108,0	30 V 1956
17	Курган-Тюбе	60,4	40,9	31	153,2	5 VII 1957
18	Яван	42,5	20,0	26	129,7	26 IX 1956
19	Московская	21,7	12,7	10	40,9	31 V 1963
20	Санглок	29,1	31,4	15	134,3	26 IX 1956
21	Обигарм	41,7	33,7	12	112,0	26 IX 1956
22	Гарм	20,4	30,3	21	128,8	26 IX 1956
23	Тавиль-Дара	27,8	19,0	19	74,1	4 VIII 1962
24	Хабурабад	24,4	20,9	11	60,0	5 VII 1957
25	Сангвор	24,2	12,8	8	54,8	5 VII 1957
26	Джергиталь	4,2	4,0	7	12,2	4 VIII 1962
27	Алтын-Мазар	9,8	8,9	7	27,0	20 IX 1961
28	Дараут-Курган	10,4	10,4	4	28,3	23 X 1956
29	Иркештам	7,1	7,5	6	21,5	28 V 1956
30	Кировабад	44,5	33,7	40	127,0	26 IX 1956
31	Пархар	32,9	28,5	37	136,5	18 X 1959
32	Куляб	31,2	20,7	32	88,8	18 X 1959
33	Ляур	26,9	23,3	19	106,8	26 IX 1956
34	Дангара	35,3	28,0	29	141,5	26 IX 1956
35	Ховалинг	33,9	27,4	25	108,0	26 IX 1956
36	Кангурт	38,8	39,3	26	137,3	4 VIII 1962
37	Митен-Тугай	66,6	64,9	12	249,7	5 VII 1957
38	Иол	46,7	35,6	16	126,7	26 IX 1956
39	Калай-Хумб	23,1	15,2	16	55,5	17 VIII 1956
40	Хумраги	19,9	16,9	10	59,5	5 VII 1957
41	Рушан	19,1	15,9	5	40,5	4 VIII 1962
42	Хорог	24,5	19,1	7	60,0	17 VIII 1955
43	Ишкашим	10,9	10,5	16	35,0	5 VII 1957
44	Джаушангоз	8,8	6,7	8	21,0	5 VII 1957
45	Қаракуль	7,3	7,2	19	30,8	30 V 1956

ный максимум — 249,75 ч (10 сут 9 ч 45 мин). На среднюю длительность пыльной мглы также достаточно сильно влияет орография. Для нормализованных величин уравнение регрессии имеет вид

$$D = 0,40 H_{\text{ст}} + 0,25 \frac{H_s}{H'_s} - 0,25 \frac{\Delta H}{\Delta X}, \quad (4)$$

где $H_{\text{ст}}$ — высота станции над уровнем моря; $\frac{H_s}{H'_s}$ — соотношение средних высот правого и левого бортов долины; ΔH — среднее превышение препятствий над уровнем станции в направлении низовьев долин; ΔX — расстояние до этих препятствий.

Параметр $\frac{H_s}{H'_s}$, связанный прямой зависимостью с увеличением длительности, характеризует защищенность станции с запада и севера по сравнению с ее защищенностью с юга и востока. $\frac{\Delta H}{\Delta X}$ характеризует экранированность станции относительно потоков из низовьев долины — чем более доступна станция для этих потоков (т. е. чем меньше экранирование), тем больше длительность. Сводный коэффициент корреляции — 0,69.

Таблица 7

Средняя скорость ветра V и ее стандарт σ в период развития пыльных бурь с видимостью 1500 м и ниже

	Время от начала бури, ч									
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
V	2,7	3,1	2,9	2,9	3,5	5,9	12,9	15,5	15,6	16,2
σ	2,7	2,5	2,4	2,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	4,1

В заключение приведем некоторые сведения об изменениях метеорологических элементов во время афганцев. Для этого были использованы дневники погоды АМСГ Термез за 1971—1980 гг. Выбранный нами период пыльных бурь — 6 ч до их начала и три первые часа.

Средняя скорость ветра (табл. 7) в начале выбранного периода слабо увеличивается и за час до начала бури составляет 6 м/с. В начале бури ветер скачком увеличивается до 14—16 м/с и слабо увеличивается в течение трех первых часов бури. Абсолютный максимум скорости ветра за рассматриваемый период был достигнут 8 ноября 1972 г., когда порывы доходили до 30 м/с, а средняя за 2 мин скорость ветра до 28 м/с. За 6 ч до начала бури возможны ветры всех направлений, но преобладающими являются юго-западные ветры. В развитой пыльной буре наблюдаются только юго-западные, западно-юго-западные и западные ветры, причем преобладают первые.

Таблица 8

Повторяемость (%) начала наихудшей видимости
в периоды пыльных бурь

Время от начала бури, ч											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
55	11	14	6	3		8					3

Динамика видимости в пыльных бурях достаточно сложна и неоднотипна: в большинстве пыльных бурь видимость редко снижается в начале бури и затем улучшается; в других — основное ухудшение видимости наступает через несколько часов после начала бури (табл. 8).

Наихудшие условия видимости за весь рассмотренный период наблюдались в пыльной буре 4 октября 1976 г. За час до ее начала видимость снизилась с 25 до 10 км, а за 20 мин до начала — до 3 км; в течение первого часа бури видимость стала 400 м, а в течение второго был достигнут минимум — 50 м. В дальнейшем видимость улучшилась до 400 м и сохранялась такой в течение 6 ч. Общая продолжительность этой бури составила 14 ч 15 мин.

Для размывающихся фронтов западных и северо-западных холодных вторжений (градиенты геопотенциала во фронтальной зоне на AT_{700} меньше 12 дам/1000 км) характерно отсутствие связи между видимостью и ветром: при скорости 8—10 м/с видимость может изменяться от 0,25 до 6 км (табл. 9).

Таблица 9

Повторяемость (число случаев) скоростей ветра
при изменении видимости от 0,005 до 6 км в пыльных бурях,
связанных с размывающимися фронтами

Видимость, км	Скорость ветра, м/с					Сумма
	5—7	8—10	11—13	14—16	17—20	
0,005			1			1
0,25		2	1	1	1	5
0,4—0,5		11	1	1	2	15
0,7	2	16	2	5	1	26
1,0—1,1	3	29	3	7	5	47
2,0—2,2	3	55	12	9	3	82
3,0	2	26	11	2	3	44
5,0	2	14	2		1	19
6,0	1	5	15			21
Сумма	13	158	48	25	16	260

В пыльных бурях рассмотренного типа часто встречается даже обратная зависимость между видимостью и ветром — при увеличении скорости ветра видимость улучшается. Таким образом, для прогноза пыльных бурь в Термезе, а тем более прогноза их интенсивности, недостаточно прогноза скорости ветра и состоя-

ния подстилающей поверхности в районе станции [8]. Очевидно в данном случае большую роль играет и адвекция пыли в Термез с запада и юго-запада. Очень своеобразен суточный ход начала пыльных бурь, связанных с размывающими фронтами (табл. 10).

Таблица 10

Повторяемость в течение суток начала пыльных бурь с видимостью 1 км и меньше, связанных с размывающими фронтами

	Интервал времени, ч								Сумма
	0—2	3—5	6—8	9—11	12—14	15—17	18—20	21—23	
Число случаев	9	19	11	8	12	6	3	1	69
%	13,0	27,6	15,9	11,6	17,5	8,7	4,3	1,4	100

Из табл. 10 следует, что имеется два максимума: первый, главный, относится к 3—5 ч мск, второй — к 13—15 ч. Дневной максимум является обычным, а ранний утренний, по-видимому, связан с адвективной пыльной мглой. В ночные часы в связи с формированием ночных инверсий пылевое облако переносится, мало рассеиваясь. Кроме того, возможно еще и оседание пыли из вышележащих слоев атмосферы.

Для того чтобы выявить влияние пыли на температуру и связанную с ней относительную влажность, все пыльные бури были условно разбиты на две группы: дневные и ночные. Дневными условились считать пыльные бури, которые начинаются через 3 ч после восхода солнца, а ночные — через 3 ч после захода.

Для характеристики режима температуры и влажности была выбрана величина их межсуточного изменения, полученная путем сопоставления с предыдущими сутками (табл. 11).

Таблица 11

Средние значения межсуточных изменений температуры Δt , относительной влажности Δf (%) и их стандарты σ_t , σ_f в периоды пыльных бурь с видимостью 1500 м и ниже в Термезе

		Время от начала бури, ч									
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
Дневные	Δt	1,6	1,6	1,1	0,8	0,3	-0,4	-1,7	-3,6	-4,5	-4,6
	σ_t	3,5	3,6	4,0	3,9	4,0	3,6	3,5	3,4	3,7	4,3
Ночные	Δt	1,9	2,2	1,9	2,6	2,5	3,2	3,7	2,8	1,8	0,4
	σ_t	2,4	2,4	2,6	2,7	3,0	2,6	2,7	3,0	3,6	3,9
Дневные	Δf	-5,6	-7,4	-5,5	-5,5	-4,2	-1,6	0,2	8,3	12,5	12,8
	σ_f	15,8	17,5	18,9	16,3	16,0	14,1	13,8	15,0	14,6	17,2
Ночные	Δf	-7,7	-7,7	-7,0	-7,8	-8,7	-11,7	-13,0	-11,3	-6,5	-2,1
	σ_f	13,6	14,1	16,0	15,9	14,7	15,2	13,3	13,3	13,7	15,1

Перед началом пыльных бурь наблюдалось предфронтальное повышение температуры и снижение относительной влажности. После того как буря началась, межсуточные изменения температуры и влажности существенно стали различаться для дневных и ночных пыльных бурь — в дневных температура понижается, в ночных — она выше, чем накануне. Относительная влажность испытывает соответственно обратные изменения.

По-видимому, понижение температуры в дневных пыльных бурях, связанное с вторжением холодной воздушной массы, усугубляется присутствием в атмосфере больших количеств пыли, которая существенно уменьшает приходящую прямую солнечную радиацию [6]. В ночных же пыльных бурях уменьшение эффективного излучения, связанное с повышенным содержанием в атмосфере пыли, часто перекрывает адвективное похолодание. Абсолютные значения температуры и влажности могут изменяться в очень широких пределах; некоторые пыльные бури развивались при отрицательных температурах и при относительной влажности 80%.

По данным специальных исследований известно, что резкие изменения давления могут неблагоприятно сказываться на здоровье людей, подверженных влияниям изменений погоды [2, 10]. За исследуемое десятилетие лишь в 8 случаях изменение давления в пыльных бурях превосходило критическую величину (± 8 гПа/сут). Так, зарегистрированы случаи падения на 10 гПа за 9 ч и рост — на 8 гПа за 5 ч.

Перед началом пыльных бурь наблюдается увеличение верхней и средней облачности до 8—10 баллов, которая обычно сохраняется и в развитой буре. Преобладают Cs, Ci, As и Ac. К. А. Каретникова [4] полагает, что часто наблюдаются не обычные облака, состоящие из капелек воды, а поднятые вверх слои пыли, которые воспринимаются наземным наблюдателем как Cs и As. Если рассматривать пыльные бури с видимостью 1500 м и ниже, то в 33—39% случаев из-за пыли, заполняющей нижние слои воздуха, количество и форму облаков определить невозможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 360 с.
2. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. — Л.: Гидрометеиздат, 1966, с. 22—30.
3. Каретникова К. А. Синоптические условия возникновения «афганца» и некоторые особенности этого явления. — Журн. геофизики, 1935, т. V, вып. 4, с. 292—296.
4. Каретникова К. А. Суховей, гармсилы и «афганцы» Средней Азии. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1946. — 39 с.
5. Ляпина О. А. Климатические особенности пыльной мглы в Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 69(150), с. 3—14.

6. Ляпина О. А., Романов Н. Н. Влияние пыльной мглы на коротковолновую радиацию и температуру у земной поверхности. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 57(138), с. 22—25.
7. Романов Н. Н. Пыльные бури Средней Азии. — Ташкент: Изд-во ТашГУ, 1961. — 196 с.
8. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч. I. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 539 с.
9. Суханов И. Л. Исследование ветровых нагрузок в зоне развития «афганца». — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1985, вып. 114(195), с. 107—109.
10. Темникова Н. С. Влияние атмосферного давления на сердечно-сосудистые заболевания. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 55 с.
11. Чанышева С. Г., Субботина О. И. О количественной оценке климатообразующего влияния рельефа. — Метеорология и гидрология, 1983, № 3, с. 32—40.
12. Чанышева С. Г. Местные ветры Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 87 с.

*Е. И. СОФИЕВ, Н. В. РЯЗАНОВА,
О. А. ЛЯПИНА, Е. В. ЗОЛотова*

СДВИГИ МОДУЛЯ ВЕТРА В АЭРОПОРТАХ ТАШКЕНТ И КРАСНОВОДСК

Исследованиям сдвигов ветра в последнее время уделяется большое внимание. Исследование сдвигов затруднено, так как сильные сдвиги встречаются очень редко и имеют малую продолжительность. Методы измерения, используемые в обычной практике, не позволяют уверенно их обнаружить, поскольку измерения проводятся редко (обычно не чаще одного раза в час) и продолжаются недолго (несколько минут). В настоящее время в аэропортах используются два основных источника информации о сдвигах ветра — однопунктные шаропилотные наблюдения и сообщения экипажей воздушных судов. Существенный недостаток первого — низкая точность, второго — субъективизм и неполнота получаемых сведений. Экипаж воздушного судна на посадке обращает внимание лишь на экстремальные явления, оставляя без внимания сдвиги ветра; информация о них, как правило, пропадает. Радиозондовые данные о сдвигах были также забракованы из-за низкой точности пеленга в слое до 300 м. К тому же радиозондирование проводится в лучшем случае четыре раза в сутки, что явно недостаточно из-за существенной временной изменчивости сдвигов. Совершенно ясно, что для исследования сдвигов необходима их непрерывная регистрация, так как сильные сдвиги крайне редки и непродолжительны. Поскольку авиацию интересуют сильные сдвиги, для сбора представительной выборки необходимо увеличить вероятность их обнаружения. Из сравнительно богатого, но, как правило, технически сложного и дорогого арсе-

нала существующих методов (I) приемлемыми оказались лишь измерения на мачте. Наряду с очевидным недостатком (ограниченной высотой наблюдений) метод обладает несомненным преимуществом — возможностью организации непрерывных наблюдений. Ограниченность технических средств позволила разработать аппаратуру лишь для регистрации сдвигов модулей, а не векторов ветра. Сдвиги модулей являются нижней оценкой реальных (векторных) сдвигов. Исследование сдвигов модулей ветра оправдано тем, что обычно направления ветра на двух уровнях ($\Delta H \approx 30$ м) различаются не более чем на $20-30^\circ$, т. е. сдвиги модуля ветра лишь на $10-20\%$ меньше векторных сдвигов.

Мачта оборудовалась самописцами М-47, установленными на двух уровнях. В Ташкенте эти уровни составляли 5 м. (с мая 1985 г. — 6,5 м) и 24 м, в Красноводске — 2 и 14 м. Первые же опыты непрерывной регистрации сдвигов модулей ветра в аэропортах Ташкент и Красноводск обнаружили колебания значительной амплитуды с периодом $30-60$ с. Это привело к необходимости сглаживания регистрируемых сдвигов с помощью соответствующих фильтров, поскольку авиацию интересуют сдвиги, сглаженные за двухминутные интервалы. Разработанный комплекс позволил не только регистрировать сдвиги модулей ветра, но также производить простейший анализ их в реальном режиме времени — выделять экстремумы и сигнализировать метеонаблюдателю о сильных сдвигах, превышающих 4 м/с/30 м. Соответствующая аппаратура в настоящее время установлена в аэропорте Ташкент и впервые в отечественной практике используется в оперативной работе ТЗАМЦ.

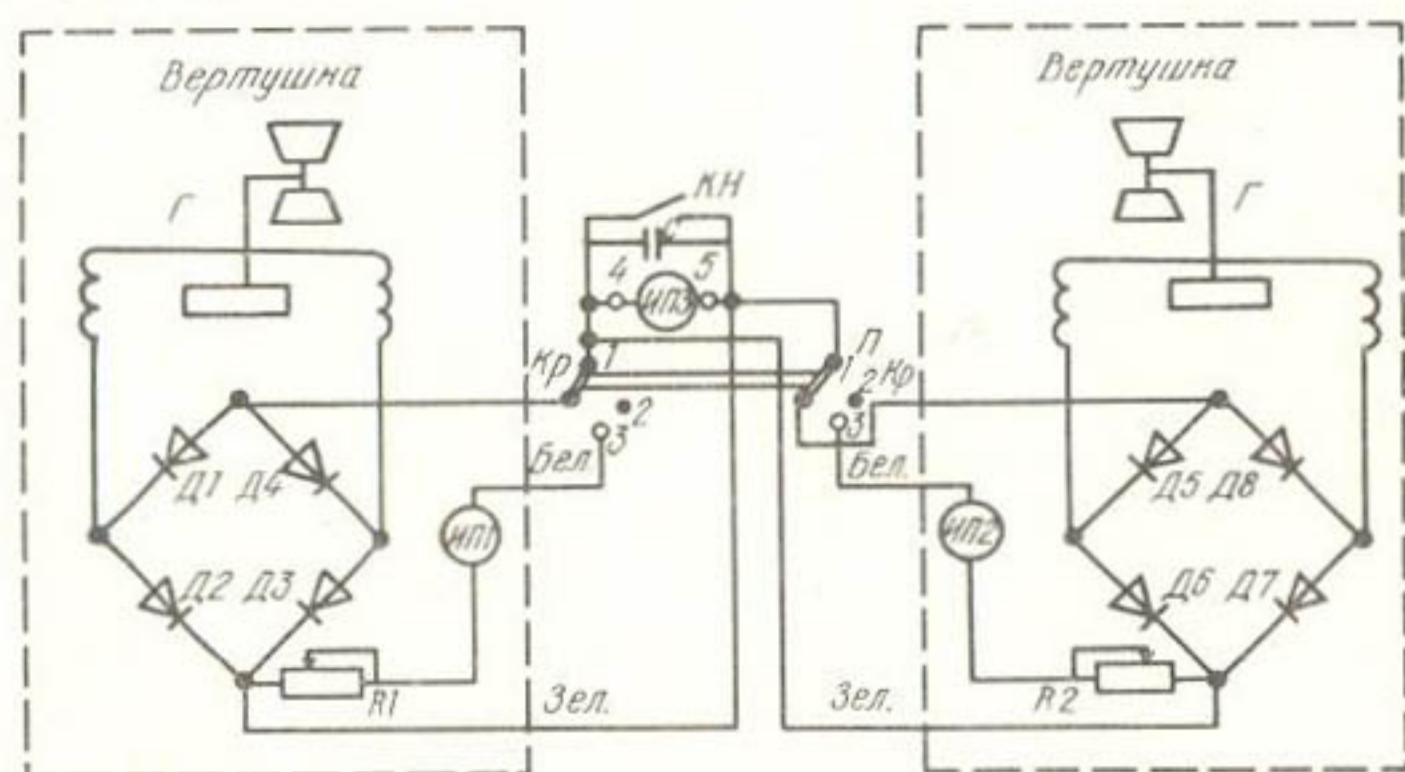


Схема подключения датчиков для регистрации модулей ветра

На рисунке приведена принципиальная схема измерителя сдвигов модулей ветра двумя датчиками М-47 (Г). Переменные напряжения на выходе датчиков (вертушек) выпрямляются двухполупериодными выпрямителями, собранными по мостовой схеме. Между разноименными полюсами мостов подключены сопротивления $R1$ и $R2$; напряжение, снятое с одного из них, и является

разностью напряжений на каждом из мостов, т. е. величиной сдвига ветра (в определенном масштабе). Эта величина может регистрироваться самописцем в непрерывном режиме. Трехпозиционный переключатель Π служит для поочередной индикации индикаторами $ИП1$ и $ИП2$ показаний датчиков ветра при тарировке, а в среднем положении обеспечивает запись разности модулей ветра регистратором $ИП3$. Кнопка $КН$ при нажатии дает возможность контролировать положение нуля регистратора сдвигов, емкость C служит сглаживающим фильтром. В качестве регистратора использовались самопишущие миллиамперметры Н-370 или Н-332К.

Тарировка аппаратуры заключалась в определении чувствительности регистратора $ИП3$ к сдвигам модулей ветра и проводилась двумя способами — в лабораторных и натурных условиях.

В лабораторных условиях тарировка производилась в аэродинамической трубе следующим образом. Один из датчиков ветра устанавливается в аэродинамической трубе, позволяющей дискретно регулировать задаваемую скорость ветра. Другой устанавливается на некотором расстоянии от трубы так, чтобы на него действовал поток с меньшей скоростью. Таким образом можно было менять скорости вращения каждого датчика независимо друг от друга. При тарировке в установившемся режиме обдува отсчитывались скорости V_1 и V_2 и напряжение U на входе регистратора.

Результаты тарировки использовались при обработке наблюдений.

Для оценки влияния сглаживающего емкостного фильтра ($C=56\,000$ мкФ) была снята амплитудно-частотная характеристика регистрирующей системы с помощью генератора сигналов специальной формы Г-6—15. На вход регистрирующей системы подавался синусоидальный сигнал с частотой 0,001—0,3 Гц. Выяснилось, что частоты 0,01 Гц и ниже пропускаются системой практически без искажений. Для приведения сдвигов к 30-метровым слоям (в соответствии с требованиями ИКАО) считали, что ветер в этом слое изменяется с высотой по логарифмическому закону. Как известно, это условие достаточно хорошо выполняется в приземном слое при нейтральной и устойчивой стратификации [4]. Тогда, если измерена разность модулей между уровнями z_1 и z_2 , легко получить разность модулей ветра между произвольными уровнями z_3 и z_4 :

$$|\vec{V}_4| - |\vec{V}_3| = (|\vec{V}_2| - |\vec{V}_1|) \ln(z_4/z_3) / \ln(z_2/z_1). \quad (1)$$

Следовательно, для определения сдвигов в 30-метровом слое необходимо измеренные нами сдвиги умножить на постоянный коэффициент $K = \ln(z_4/z_3) / \ln(z_2/z_1)$. Отметим, что столь простым этот пересчет оказался потому, что речь идет о сдвигах модулей ветра. Вычисление векторных сдвигов более сложно.

Точность экстраполяции ветра уравнением (1) зависит от надежности логарифмической аппроксимации. Подробные исследования этого вопроса [2, 3] позволяют сделать вывод, что логарифмическая аппроксимация даже при нейтральной стратификации надежна лишь до высот около 10 м. Судя по этим данным, ошибки экстраполяции для высот от 6 до 36 м могут достигать 0,5—1 м/с. Таким образом, ошибка вычисления сдвигов может достигать при неблагоприятных условиях 0,5—1 м/с/30 м. Среднюю ошибку оценить сложнее, но есть основание полагать, что она заключена в пределах 20—30%.

Для того чтобы оценить повторяемость умеренных и сильных сдвигов модулей ветра, наблюдения разбивались на получасовые интервалы. Если в каком-то интервале умеренные или сильные сдвиги встречались хотя бы один раз (или более), считалось, что наблюдался один случай с умеренным или сильным сдвигом. Всего при анализе в аэропорте Ташкент было рассмотрено 13 859 получасовых интервалов. Слабые сдвиги наблюдались в 58,2%, умеренные — в 36%, сильные — в 5,8%.

Результаты наблюдений в Красноводске позволили определить лишь среднее значение сдвигов за октябрь — 1,8 м/с/30 м. Подсчитано, что продолжительность слабых сдвигов в Красноводске составляет 66%, умеренных — 10%, а сильных и очень сильных — 24%. Обращает на себя внимание повышенная по сравнению с Ташкентом повторяемость сильных и очень сильных сдвигов.

Таблица 1

Повторяемость (%) умеренных и сильных сдвигов модулей ветра в течение суток в а/п Ташкент

Число умеренных и сильных сдвигов											
0	1-3	4-6	7-9	10-13	14-18	19-23	24-28	29-33	34-38	39-43	44-48
3	10	8	8	12	15	13	12	7	7	3	2

Из табл. 1 следует, что умеренные и сильные сдвиги, рассмотренные совместно, наблюдались почти каждые сутки. При этом лишь в 10,4% они повторялись 1—3 раза в сутки, а в 78,4% случаев они регистрировались семь раз и более в сутки. Если же рассматривать сутки только с сильными сдвигами, то они очень редки: всего их было 12, причем только в течение 2 сут сильные сдвиги повторялись 7—9 раз, а в течение остальных 10 — лишь 1—2 раза в сутки.

Продолжительность умеренных и сильных сдвигов модулей ветра может быть восстановлена по отметкам времени на осциллограмме, автоматически проставляемым в момент наступления умеренных и сильных сдвигов. Чаще всего их продолжительность составляет 1 мин, а в среднем близка к 3 мин. В единичных слу-

Повторяемость (%) различных продолжительностей
и промежутков времени (Δt) между сильными или умеренными
сдвигами ветра в а/п Ташкент

Δt	Продолжительность сдвигов			Промежутки времени между сдвигами		
	холодные вторжения	южные циклоны	периферия антици- клона	холодные вторжения	южные циклоны	периферия антици- клона
1	46,5	53,0	48,5	8,5	14,9	8,4
2	10,9	13,5	11,5	14,0	13,8	9,4
3	6,18	6,4	9,2	10,0	15,8	10,9
4	13,9	4,5	6,4	8,4	8,0	9,5
5	2,8	3,3	2,4	6,9	6,4	6,0
6	3,4	8,3	4,9	6,3	4,8	5,7
7	1,7	2,2	0,9	4,0	4,8	3,5
8	2,2	1,2	2,5	3,0	2,3	3,2
9	0,9	0,8	1,2	3,5	3,0	4,6
10	1,0	0,5	1,4	2,7	1,1	2,5
11	0,3	0,2	0,6	3,4	2,5	2,7
12	0,7	0,8	1,5	3,4	2,0	2,9
13	0,5	0,3	0,4	1,4	2,0	1,3
14	0,7	—	0,3	1,0	1,6	1,0
15	0,7	0,8	0,7	1,2	0,5	2,0
16	0,4	0,2	0,5	1,0	0,5	1,5
17	0,1	0,2	0,7	1,6	1,1	1,4
18	0,3	0,3	0,3	0,8	0,7	2,1
19	0,1	0,2	0,5	0,6	0,5	2,1
20	0,5	0,2	0,4	1,0	1,1	1,0
>20	6,22	3,1	5,2	17,3	12,6	18,3

чаях встречаются сдвиги продолжительностью 3 ч и более. Промежутки времени между умеренными и сильными сдвигами чаще всего длятся 2—3 мин. Вероятность того, что после умеренного или сильного сдвига следующий умеренный или сильный сдвиг произойдет через 30 мин, составляет 21%, а через 60 мин — 15%.

Приведенные в табл. 2 данные о продолжительности и промежутках времени между сдвигами удобно использовать для рационального выбора продолжительности оповещения о возможности умеренного или сильного сдвига в случае, если в некоторый момент такие сдвиги были зафиксированы приборами на мачте. По-видимому, наиболее разумно сохранять оповещение не более 30—60 мин. Обнаруженные временные масштабы сильных сдвигов хорошо согласуются с имеющимися в литературе данными о сильных сдвигах, вызванных «микровзрывами» — сильными нисходящими потоками, достигающими земли и переходящими в горизонтальный поток. Встречаются они очень редко (летом 1 случай в сутки), время их жизни 5—15 мин [5—7].

Выяснилось, что в холодное полугодие умеренные и сильные сдвиги встречаются в два раза чаще, чем в теплое. Сильные и умеренные сдвиги в холодное полугодие обладают еще одной при-

мечательной особенностью: они в три раза более вероятны при положительных температурах, чем при отрицательных.

Горно-долинная циркуляция в Ташкенте и бризовая в Красноводске определяют суточные ритмы всех характеристик ветра, и в частности сдвигов модулей ветра. В дневное время сдвиги неустойчивы во времени и обнаруживают колебания с большой частотой (до 0,5 Гц) и амплитудой (до 1—2 м/с/30 м). Знакопеременные сдвиги приводят к болтанке, затрудняют посадку и обычно хорошо идентифицируются экипажами самолетов. Ночью сдвиги устойчивы, что связано с устойчивостью ночных инверсий и малым вертикальным обменом в горно-долинной и бризовой циркуляции. Ночные устойчивые сдвиги, даже сильные, обычно не подтверждались сообщениями пилотов ни в Ташкенте, ни в Красноводске. Это обстоятельство представляется очень важным при оценке влияния сдвигов на полет. По-видимому, влияние устойчивых сдвигов легко преодолевается выбором режима захода на посадку и не представляет опасности. При горном ветре в Ташкенте и ночном бризе в Красноводске на фоне устойчивых слабых или умеренных сдвигов периодически появляются колебания сдвигов с амплитудой 1—2 м/с/30 м и периодом около 1 ч. В Ташкенте это явление связано, по-видимому, с нарушениями горного ветра, описанными Боллом и подробно исследованными Гельмгольцем в Алма-Ате [1, 5]. Неожиданное увеличение сдвигов в ночное время может оказаться опасным для авиации.

Измерения ветра в районе южных возвышенностей аэропорта Красноводск обнаружили одну существенную особенность сдвигов, проявляющуюся только в ночное время, когда при очень слабом ветре в районе ВПП ветер над возвышенностями может достигать ураганной силы (более 20 м/с). Таким образом, сдвиги в 100-метровом слое оказываются умеренными и даже сильными, хотя в 14-метровом слое (по измерениям на мачте) сдвиги очень слабые.

Таблица 3

Повторяемость (ч.с. — 1-я строка, % — 2-я строка) сильных и умеренных сдвигов, зарегистрированных в смежных получасовых интервалах времени

Номер последовательного получасового интервала										Сумма
1	2	3-4	5-6	7-8	9-10	12-14	15-17	18-20	>20	
465	237	178	92	53	44	26	16	14	22	1147
41	21	15	8	5	4	2	1	1	2	100

С прогностической точки зрения интересным является вопрос о вероятности регистрации умеренных и сильных сдвигов модулей ветра в течение одного, двух, трех и т. д. последовательных получасовых интервалов времени. В табл. 3 представлены эти данные, полученные в аэропорте Ташкент.

Из табл. 3 видно, что в подавляющем большинстве случаев ($41+21+15=77\%$) сдвиги наблюдаются не более чем в четырех последовательных получасовых интервалах. Как видно, малая продолжительность явления накладывает принципиальные ограничения на возможную продолжительность прогноза.

Приведенные данные верны в среднем. Попытки отыскать какие-то синоптические ситуации, в которых прогноз сдвигов был бы намного надежнее, к успеху не привели. Исключение составляют периоды с устойчивым стоковым ветром, однако при этом даже сильные сдвиги не опасны для авиации, о чем уже говорилось выше. Неясно, насколько опасны сильные сдвиги, возникающие при упоминавшихся выше внезапных и непродолжительных нарушениях устойчивости стокового ветра — достоверных бортовых данных для анализа недостаточно.

Выводы

1. Умеренные и сильные сдвиги модулей ветра могут наблюдаться во всех синоптических ситуациях с приблизительно одинаковой вероятностью.

2. Прохождение холодных фронтов в 95% случаев сопровождается сильными и умеренными сдвигами.

3. Малая повторяемость и кратковременность умеренных и сильных сдвигов накладывают принципиальные ограничения на заблаговременность прогноза.

4. Устойчивые умеренные и сильные сдвиги при ГДЦ в Ташкенте и бризовой циркуляции в Красноводске не оказывают влияния на полеты самолетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельмгольц Н. Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — 329 с.
2. Глазунов В. Г. Сдвиги ветра в нижних слоях атмосферы, влияющие на взлет и посадку воздушных судов. Обзорная информация. — Обнинск, 1984. — 48 с.
3. Кадер Б. А., Перепелкин В. Г. Профили скорости ветра и температуры в приземном слое атмосферы в условиях нейтральной и неустойчивой стратификации. — Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана, 1984, № 2, с. 151—161.
4. Сеттон О. Г. Микрометеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1958. — 355 с.
5. Ball F. K. The theory of Strong Katabatic Winds. — Austr. J. of Phys., 1956, N 3.
6. Mc. Carthy J., Serabin R. The Mikrobust Hazard to Aircraft. — Weatherwise, 1984, 37, p. 121—127.
7. Wilson W., Roberts R. D., Kessinger C. and Mc. Carthy J. Microburst Wind Structure and Evaluation of Doppler Radar for Airport Wind Shear Detection. — J. Clim. Appl. Meteor., 1984, vol. 23, N 6, p. 898—915.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПЕРИОДОВ ПОВТОРЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСЧЕТОВ СООРУЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

Понятие периода повторения связано с частотой появления вероятных максимальных значений метеофакторов и лежит в основе выбора их расчетных значений при проектировании сооружений на прочность. Под периодом повторения обычно понимают возможный интервал времени между двумя последовательными превышениями заданного значения некоторой случайной величины X_0 , или, иными словами, между авариями. Период повторения обычно определяется выражением [1]:

$$T(X) = \frac{1}{N[1-F(X_0)]}, \quad (1)$$

где $F(X_0) = P(X < X_0) = \int_0^{X_0} f(X) dx$ — есть вероятность того, что заданное критическое значение случайной величины $X = X_0$ не будет превышено; $f(X)$ — плотность распределения вероятностей случайной величины X ; N — число измерений в году.

Период повторения определяется по выборочным данным и сам является случайной величиной, подчиненной некоторому закону распределения $\Phi(T)$. Определим этот закон следующим образом. Найдем оценку вероятности T , при котором выполняется условие $X > X_0$. Для этого рассмотрим три события:

- A — X стало больше X_0 при некотором измерении,
- B — X было меньше X_0 при первых $t-1$ измерениях,
- C — X стало больше X_0 именно при измерении с номером t .

Здесь t — количество произведенных измерений, которое за период T равно $t = NT$.

Очевидно, что наступление событий A и B означает, что наступило событие C . Обозначая вероятность события C через $W(t)$, по известной теореме [2] о вероятностях независимых событий получим

$$W(t) = P(A)P(B),$$

где вероятность события A , очевидно, есть

$$P(A) = 1 - F(X_0),$$

а вероятность события B

$$P(B) = [F(X_0)]^{t-1}.$$

Таким образом,

$$W(t) = [1 - F(X_0)] [F(X_0)]^{t-1} \quad (2)$$

дает вероятность того, что авария произойдет (т. е. X станет больше X_0) в точности через $T = t/N$ лет, т. е. не раньше и не позже. Указанное условие было бы, конечно, слишком жестким для практического применения. В реальных условиях достаточно, очевидно, ограничиться оценкой вероятности того, что авария случится не раньше, чем через T лет. В этом случае вместо зависимости (2) можно воспользоваться более простым выражением. Действительно, поскольку $F(X_0)$ есть вероятность того, что $X < X_0$ при одном измерении, вероятность того, что $X < X_0$ во всех t измерениях равна

$$W_1(t) = [F(X_0)]^t. \quad (3)$$

Эта формула определяет вероятность того, что авария случится не раньше, чем через $T = t/N$ лет.

Таким образом, для определения расчетных значений X_0 следует задавать не только период повторения T , но и вероятность W_1 этого периода. Из сравнения (1) и (3) можно показать, что эти формулы совпадают при условии, что $W_1 \approx 0,368$.

Действительно, из (1) следует, что $F_1(X_0) = 1 - 1/t$. В то же время из (3) $F_2(X_0) = W_1^{1/t} = e^{1/t \ln W_1}$. Разлагая экспоненту в ряд, получим $F(X_0) = 1 + \ln W_1 \frac{1}{t} + \dots$, что с точностью до членов порядка t^{-2} показывает совпадение F_1 и F_2 при условии $W_1 \approx \frac{1}{e} \approx 0,368$.

Можно указать следующую интерпретацию полученных результатов. Пусть имеется некоторое сооружение, рассчитанное на вес гололеда с десятилетней повторяемостью. Это означает, что за сто лет эксплуатации может случиться порядка 10 аварий. При этом, если расчет сооружения выполняется по формуле (1), то по крайней мере шесть аварий произойдут с промежутками меньше десяти лет и лишь для четырех аварий можно ожидать десятилетнего интервала. В то же время, рассчитав по формуле (3) и задав, например, $W_1 = 0,9$, мы получим девять аварий с интервалом не менее 10 лет и лишь для одной аварии интервал будет более коротким. Ясно, что расчетное значение X_0 , определяемое по формуле (3), в этом случае будет больше.

В общем виде связь между периодом повторения T_w и вероятностью W_1 дается формулой

$$T_w = \frac{1}{N(1 - W_1^{1/NT_0})}, \quad (4)$$

которая зависит от среднего числа измерений в году N и не зависит от вида распределения $F(X_0)$. Здесь T — принимаемый до-

пустимый промежуток времени между авариями. Определяя для конкретных метеофакторов (или связанных с ними нагрузок) периоды повторения T при заданных достоверностях W_1 и соответствующие им расчетные максимальные значения, можно построить зависимости расчетных значений от принятых достоверностей. В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости расчетных значений ряда параметров (толщины стенки эквивалентного гололеда B , скорости ветра V при гололеде, гололедной нагрузки на условный провод γ_1 , ветровой нагрузки на покрытый гололедом провод γ_2) от достоверности W_1 , значения которой отложены по оси абсцисс; по оси ординат отложены отношения рассматриваемого параметра, вычисленного при заданном уровне достоверности W_1 , к его значению, полученному по формуле (1), т. е. при

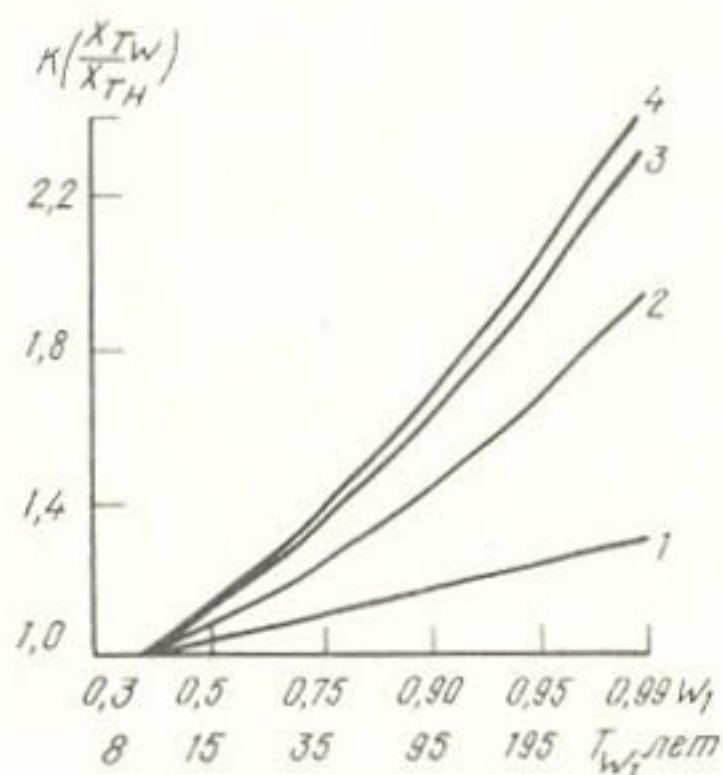


Рис. 1. Зависимость вероятных значений (в долях от значений с периодом повторения 10 лет) ветра при гололеде (1), толщины стенки приведенного гололеда (3), ветровой нагрузки на обледенелый провод (2), гололедной нагрузки (4) от достоверности периода повторения W_1 по данным ст. Мурманск

$W_1=0,368$. Допустимый интервал времени между авариями в расчетах принят за 10 лет. Результаты приведены по данным ст. Мурманск (период наблюдений 12 лет, количество случаев гололедно-изморозевых отложений — 250). На второй шкале по оси абсцисс отложены значения периода повторения, вычисленные по формуле (4) для расчетных значений с соответствующей достоверностью. Для ряда других метеостанций аналогичные данные приведены в таблице с коэффициентами перегрузок, принимаемых, согласно ПУЭ [4] и СНиП [5], при определении расчетных нагрузок. Для рассматриваемых станций коэффициенты перегрузок, определенные как отношение значений 50-летней повторяемости к 10-летней, приведены в правой части таблицы. Из таблицы видно, что коэффициент перегрузки, 2,0, рекомендуемый, согласно проработкам ВНИИЭ [3], для гололедной нагрузки γ_1 , на самом деле соответствует расчетным значениям, период повторения которых на всех рассматриваемых станциях порядка 200 лет (Елецкая, Юкспор, Мурманск, Ура-Губа) и более (Зашеек, Ловозеро, Валдай), а не 30—50 лет как это предполагается. На ст. Валдай 200-летнему периоду повторения, гарантирующему непревышение расчетного максимума гололедной нагрузки в течение 10 лет с достоверностью 0,95, соответствует коэффициент, равный 1,67. Отношение

вероятных значений 50- и 10-летней повторяемости для этой станции равно 1,36. Интересно отметить, что в то время как коэффициент на учет достоверности периода повторения 1,67 для ст. Валдай обеспечивает надежность расчета 0,95, аналогичный по величине коэффициент 1,69 для ст. Елецкая приводит к достоверности расчета лишь 0,90. Очевидно, вообще было бы неправильно назначать всегда один и тот же коэффициент перегрузки без учета специфики местных климатических условий. Не исключено, что для отдельных районов коэффициент перехода от одной повторяемости к другой, равный, например, 2,0, может приводить к достоверности ниже 0,95 и даже ниже 0,90.

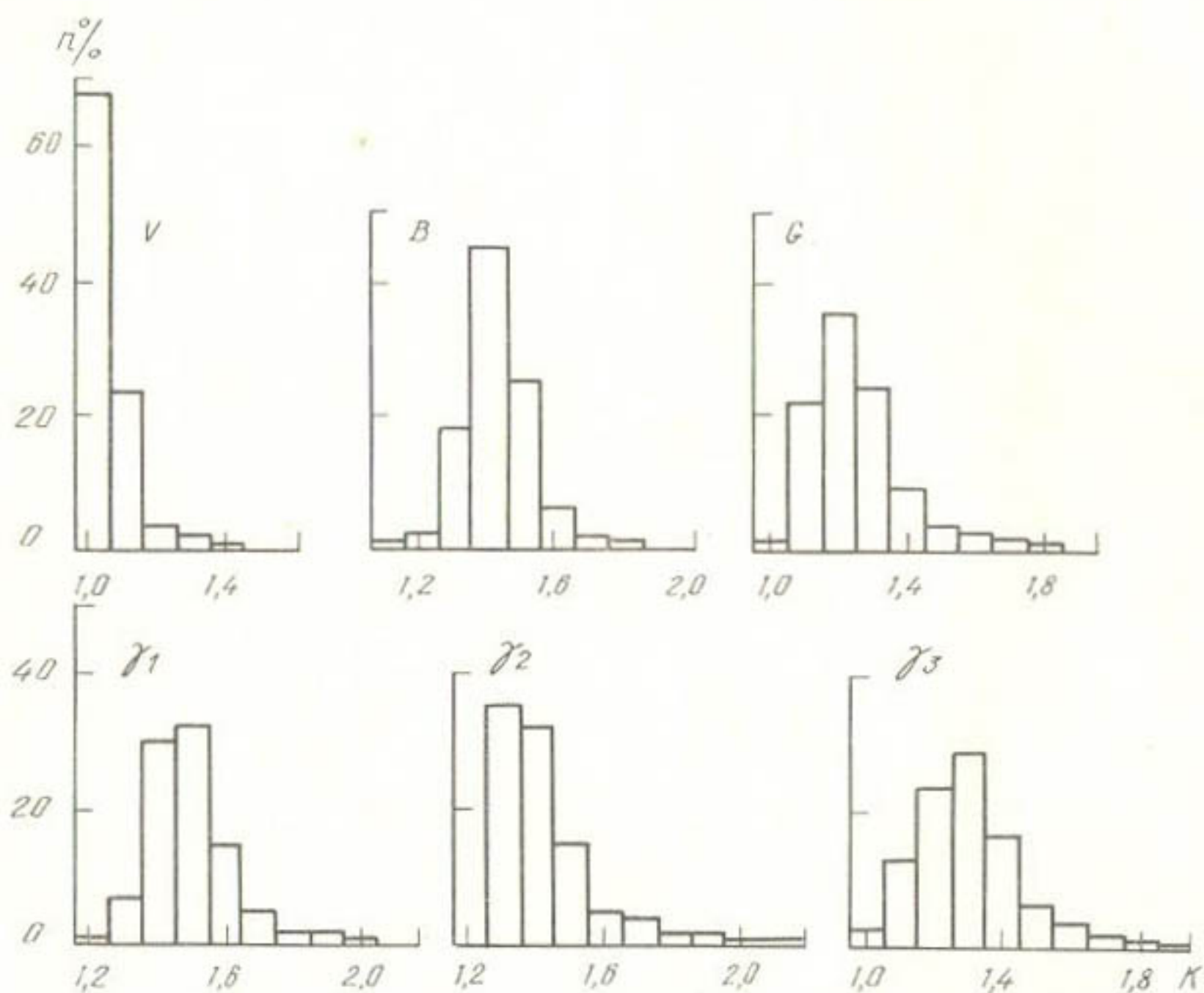


Рис. 2. Повторяемость коэффициентов перехода от нормативных значений 10-летней повторяемости к значениям 50-летней повторяемости для скорости ветра при обледенении (V), толщины стенки приведенного гололеда (B), массе отложений (G); гололедной (γ_1), ветровой (γ_2), результирующей (γ_3) нагрузок

На рис. 2 показаны распределения повторяемостей коэффициентов перехода от повторяемости 1 раз в 10 лет к повторяемости 1 раз в 50 лет, построенные по большому числу метеостанций (более 900) на территории Советского Союза для ряда параметров: гололеда, ветра и связанных с ними нагрузок. Как видно из рис. 2, а также из нижней части таблицы (справа), в отдельных случаях действительно возможны очень большие значения коэффициентов перехода (2,9 для гололедной и 2,3 для ветровой на-

грузки на обледенелый провод). В то же время средние значения этих коэффициентов равны 1,5 и 1,4 соответственно, причем эти значения близки к наиболее часто повторяющимся. Интересно отметить, что средние значения коэффициентов $K = X_{50}/X_{10}$ по всей совокупности метеостанций на территории Советского Союза и средние значения таких же коэффициентов для приведенного выше ограниченного списка станций весьма близки между собой. Эти значения, как этого и следовало ожидать, соответствуют достоверности 10-летнего периода повторения между 0,75 и 0,90. Аналогичные выводы можно сделать из сопоставления соответствующих коэффициентов при анализе максимальных ветровых и других нагрузок. В этом случае также коэффициент перехода от значений ветровой нагрузки с 10-летней повторяемостью к значению 50-летней повторяемости, равный 1,4, приводит к достоверности расчетов между 0,75 и 0,90.

Как следует из сказанного, принятие коэффициентов 2,0 для гололедной нагрузки и 1,4 для ветровой нагрузки на обледенелый провод, приводит к разной достоверности расчетов отдельных элементов даже для одной и той же линии электропередачи, не говоря уже о широком разбросе достоверностей в зависимости от конкретно рассматриваемого района. Вопрос о том, какую достоверность следует принимать в качестве расчетной, должен быть решен проектировщиками с учетом особенностей проектируемого сооружения. При этом необходимо учитывать, что в ряде случаев речь может идти о достоверностях расчета в пределах не только 10-летнего, но и иного периода повторения, учитываемых формулой (4). Именно на этом пути нам представляется возможным определенным образом повысить надежность проектирования линий электропередачи (и иных сооружений), поскольку при определенной преемственности подхода к учету коэффициентов перегрузок в данном случае открывается возможность увязать их с реальной повторяемостью аварий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анапольская Л. Е. Режим скорости ветра на территории СССР. — Л.: Гидрометеониздат, 1961. — 200 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1964. — 576 с.
3. Методика разработки региональных карт нормативных районов по гололеду, используемых при проектировании и эксплуатации линий электропередачи (ВНИИЭ). — М.: СПО ОРГРЭС, 1976. — 16 с.
4. Правила устройства электротехнических установок ПУЭ—76. Раздел 2, гл. 2—5. — М.: Энергия, 1978, с. 34—92.
5. Строительные нормы и правила СНиП—11—6—74, ч. 2. Нормы проектирования, гл. 6. Нагрузки и воздействия. — М.: Госстройиздат, 1976, с. 3—29.

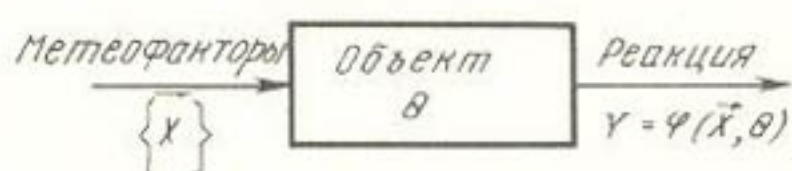
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Одной из важных задач, стоящих перед климатологами, является дальнейшее повышение уровня специализации гидрометеорологического обслуживания всех отраслей народного хозяйства. Наряду с расширением круга решаемых прикладных задач, основные усилия климатологов должны быть направлены на усовершенствование методов климатологической обработки данных, совершенствование методов представления исходных данных и доведения требуемой информации до потребителя. Большую роль при этом играют вопросы максимальной автоматизации не только процесса климатологической обработки метеорологических данных, но и самого процесса обслуживания потребителей. В последнее время ускоренными темпами развиваются новые направления научно-технического прогресса; создание автоматизированных систем управления (АСУ), автоматизированных систем проектирования (САПР) и др. При этом появляются и новые возможности для разработки климатологических подсистем, которые необходимы для более объективного и более полного усвоения климатологической информации уже на стадии проектирования. Такие вопросы возникают, например, при создании систем автоматизированного проектирования высоковольтных линий электропередачи (САПР ЛЭП), крупных солнечно-тепловых электростанций (САПР СТЭС) и др. В данном случае, очевидно, использование традиционных климатологических справочников, карт и т. д. не позволяет в полной мере автоматизировать климатическую часть задачи и поэтому необходимо найти некоторые новые формы как представления, так и учета всей необходимой климатологической информации. Наряду с этим со стороны ряда потребителей все чаще возникает требование расширить климатические оценки не только на метеорологические факторы, но и на связанные с ними воздействия на изучаемые объекты. Например, при проектировании линий электропередачи на прочность проектировщиков в конечном счете интересуют вероятности возможных превышений максимальных гололедно-ветровых нагрузок на провода ЛЭП, механических напряжений в проводе, изгибающих моментов опор и т. д., а не просто вероятности превышений заданных значений гололеда, ветра, температуры и др. При расчетах производительности гелио- и ветроэнергетических установок представляют интерес фактические объемы вырабатываемой энергии, длительности простоев установок и объемы дефицита энергии, которые еще надо суметь рассчитать по данным об изменчивости солнечной радиации и скоростей ветра. Такая постановка вопроса также требует более кри-

тического осмысливания как методов обработки, так и форм представления требуемой климатологической информации.

В общем виде задача изучения воздействий метеорологических факторов на некоторый объект может быть представлена в виде простой схемы (рис. 1). На схеме конечный результат расчета — реакция объекта на внешние воздействия Y — зависит от комплекса метеофакторов на входе $\vec{X}$ и от исходных параметров объекта θ . Эта зависимость представлена функцией $Y = \varphi(\vec{X}, \theta)$. Надо заметить, что на входе обычно рассматриваются не один, а несколько метеорологических факторов. В то же время на выходе, как правило, ограничиваются рассмотрением какого-либо одного (замыкающего) параметра (реакции), зависящего от комплекса воздействующих факторов. Например, при одновременном воздействии на ЛЭП гололеда, ветра и температуры вполне возможно изучать раздельно нагрузки и напряжения.

Рис. 1. Схема метеорологических воздействий на объекты



Изменчивость замыкающего параметра, так же как и входные метеорологические факторы, являются по своим статистическим свойствам случайным стохастическим процессом. Можно выделить два класса основных задач, которые довольно часто встречаются при анализе прикладных характеристик этих процессов: 1) определение вероятностей экстремальных значений для ординат случайного процесса и 2) определение структурных характеристик временных рядов (процессов) с учетом связанности (или группирования) ординат во времени.

Задачи первого класса в общем виде можно сформулировать следующим образом. Обозначим совокупность воздействующих на объект метеофакторов в виде вектора $\vec{X}$. Зависимость параметра реакции (воздействия) Y от этого вектора, как отмечалось выше, $Y = \varphi(\vec{X}, \theta)$. Необходимо определить вероятность $F(Y_0)$ того, что Y будет меньше некоторого заданного критического значения Y_0 . Эта вероятность может быть определена из уравнения

$$F(Y_0) = P(Y < Y_0) = \int_{\varphi(\vec{X}, \theta) < Y_0} f(\vec{X}) d\vec{X}, \quad (1)$$

где $f(\vec{X})$ — функция плотности распределения вероятностей многомерной величины $\vec{X}$, а интегрирование распространено на все те значения вектора $\vec{X}$, для которых выполняется условие $\varphi(\vec{X}, \theta) < Y_0$.

Функция плотности распределения величины Y в этом случае может быть определена так:

$$f(Y) = f[\psi(Y)]\psi'(Y), \quad (2)$$

где ψ — функция, обратная ϕ . Анализ уравнения (1) показывает, что для решения любой конкретной практической задачи такого рода необходимо: 1) знать функцию многомерного распределения вероятностей сочетаний комплекса метеофакторов $f(\vec{X})$, входящую под знак интеграла; 2) знать конкретный вид зависимости реакции объекта от этого комплекса метеофакторов $\phi(\vec{X}, \theta)$; 3) располагать приемлемым методом решения интеграла (1).

В качестве примера подобных исследований ниже приводятся аналитический вид и параметры многомерных и маргинальных распределений комплексов гололед—ветер, гололед—ветер—температура, установленные на основании обработок данных наблюдений по большому числу метеостанций на территории СССР (более 900), а также практические методы их реализации в качестве подынтегральной функции в уравнениях типа (1) применительно к расчетам вероятных значений ряда инженерно-климатологических параметров: гололедно-ветровых нагрузок, механических напряжений проводов, изгибающих моментов опор ЛЭП и др. Функция распределения комплекса гололед—ветер—температура была установлена нами в [1] и имеет вид

$$F(B, V, T) = \frac{kn \left(\frac{V}{M(V)} \right)^{n-1}}{V \sqrt{2\pi D(B) D(T)}} \int_0^B \int_0^V \int_{-\infty}^T \exp \left\{ - \left[k \left(\frac{V}{M(V)} \right)^n + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{B - (M(B) - \sqrt{D(B)})}{\sqrt{D(B)}} + \frac{T - M(T)}{\sqrt{D(T)}} \right] \right\} dB dV dT. \quad (3)$$

Здесь в качестве маргинальных распределений использованы уравнения Вейбулла для скоростей ветра, X — типа Пирсона для эквивалентной толщины стенки гололеда и Гаусса для температуры воздуха при отложениях. В результате исследований были установлены три метода решения поставленной задачи, предполагающие различные способы представления исходной климатологической информации.

1. Эмпирический метод. Этот метод основан на использовании архива метеоданных на магнитных лентах, составленного по типу синоптического архива, т. е. по совокупности значений метеофакторов на каждый момент времени. Тогда соответствующие временные ряды сочетаний метеофакторов (в рассматриваемых случаях это сочетания максимального веса, размеров и плотности отложений с максимальной скоростью ветра и минимальной температурой за период отложения) последовательно пересчитываются согласно нижеприведенным формулам в ряды изучаемых пара-

метров воздействий гололедно-ветровых нагрузок (γ) и напряжений (E):

$$\gamma = \sqrt{[mB(d+B) + \gamma_1]^2 + [aV^2(d+2B)]^2}$$

$$E - \frac{\gamma^2 M l^2}{24 E^2} = E_0 - \frac{\gamma_0^2 M l^2}{24 E_0^2} - \alpha_T M (T - T_0). \quad (4)$$

Полученные ряды нагрузок и напряжений обрабатываются затем известными статистическими методами для получения вероятных максимальных значений с заданными периодами повторения. В одном из вариантов программы, составленном для сложного случая оптимизации расчетов и расстановки опор вместо частных преобразующих формул типа (4), было организовано обращение к подпрограмме расчетов опор заказчика, выход из которой приводил к формированию рядов изгибающих моментов для разных сечений опоры и дальнейшей статистической обработке этих рядов. Эмпирический метод рассматривался нами как эталонный и использовался в массовых расчетах гололедно-ветровых нагрузок по всей территории СССР. Подобная методика привлекает сейчас большое число заказчиков (этим объясняется интерес к созданию собственных банков данных у заказчиков) и уже на данной стадии может явиться основой для включения в САПР.

2. Аналитический метод. Метод соответствует аналитическим решениям интеграла (1) и зависимостей (4). Ниже приведено решение интеграла (1) для расчетов вероятностей результирующих гололедно-ветровых нагрузок для многомерной функции распределения, описываемой уравнением (3):

$$F(\gamma) = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{\gamma \sin \alpha - \gamma_1}{m}} \sqrt{\frac{\gamma \cos \alpha}{a(d+2B)}} \left\{ \frac{nk}{\sqrt{D(B)}} \left(\frac{V}{M(V)} \right)^{n-1} \times \right. \\ \left. \times \exp \left[-\frac{B - (M(B) - \sqrt{D(B)})}{\sqrt{D(B)}} + k \left(\frac{V}{M(V)} \right)^n \right] \right\} dB dV. \quad (5)$$

Решение интеграла дано в полярных координатах, так как $\gamma^2 = \gamma_B^2 + \gamma_V^2$. Для реализации данного метода исходная информация должна содержать сведения о параметрах функции распределения $F(B, V)$ и преобразующей функции $\gamma = \varphi(B, V)$.

3. Метод статистического моделирования Монте-Карло. Основан на моделировании последовательностей сочетаний метеофакторов в соответствии с установленной функцией распределения (3), с последующим пересчетом смоделированных метеорологических рядов во временные ряды изучаемого параметра, как и в рассмотренном выше эмпирическом методе. Для реализации метода исходная метеоинформация может быть задана либо эмпи-

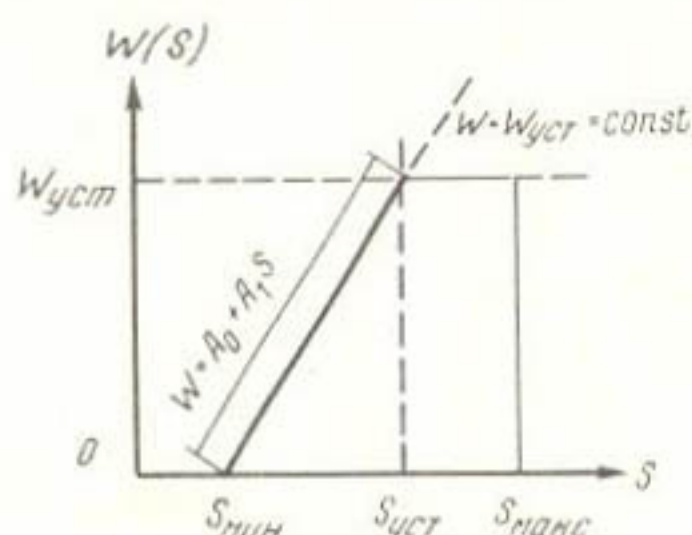
рическими распределениями, либо их статистическими параметрами, либо аналитической аппроксимацией эмпирических распределений. Метод статистических испытаний порождает весьма перспективную для многих практических целей задачу: разработку методов интерполяции и экстраполяции банков данных на базе моделирования статистических свойств метеорологических факторов, метеорологических процессов и полей.

Все три рассмотренных выше метода привели к тождественным результатам. Сопоставление этих методов можно найти в [2].

Задачи второго класса, которые мы называли «структурными», возникают при необходимости учесть такие свойства временной изменчивости изучаемых метеорологических рядов, которые определяются связанностью соседних членов ряда, приводящей к их определенному группированию во времени. Таковы, например, чередования засушливых и многоводных лет в гидрологии, периодов затишья и активных ветров в ветроэнергетике, теплых и холодных периодов в агрометеорологии и т. д. Существует ряд методов изучения структуры временных рядов: с помощью структурных и спектральных функций, «выбросов» за заданный уровень и т. д. В наших исследованиях использовался метод сечений изучаемого процесса одновременно на нескольких уровнях. Этот метод в определенной мере можно считать развитием метода одноуровневого сечения, рассматриваемого в теории выбросов. Используя многоуровневое сечение хронограмм процесса (по аналогии с одноуровневым сечением), можно получить довольно весомый набор различных прикладных характеристик практически любого изучаемого процесса. Нами было введено в рассмотрение четыре уровня, которые условно мы определили так: минимальный, максимальный, стабилизации, рабочий. Прикладные характеристики соответствуют длительностям и площадям превышений («гребешков») и недостижений («провалов») каждого из рассматриваемых уровней, а также площадям, заключенным между различными парами сечений, например между максимальным и минимальным, рабочим и минимальным, рабочим и максимальным и т. д. В ряде случаев представляют практический интерес также разности между площадями гребешков и провалов и их отношения. Рассчитанные по хронограммам последовательности каждой структурной характеристики и их суммы по отдельным реализациям могут быть подвергнуты статистической обработке по совокупности всех реализаций имеющихся хронограмм. Опыт подобного структурного анализа можно привести из области гелиоэнергетических расчетов, выполненных нами по материалам актинометрических наблюдений в Узбекистане. Исходными данными для исследований служит актинометрический архив, представленный на магнитных лентах ЕС ЭВМ. Исходный актинометрический ряд в соответствии с установленной выше общей схемой исследования преобразуется во временной ряд производительности гелиоустановки. Изучение прикладных характеристик этого ряда и является глав-

ным предметом данного исследования. В рассматриваемом случае преобразование осуществлялось с помощью так называемой рабочей характеристики гелиоустановки (рис. 2). Уровни сечений, оче-

Рис. 2. Схема рабочей характеристики гелиоустановок



видно, также целесообразно выбрать в соответствии с указанной рабочей характеристикой ($S_{\min}$, $S_{\max}$, $S_{уст}$). Эти уровни показаны на приведенных хронограммах (рис. 3). Четвертый уровень на хронограмме («рабочий») задан в соответствии с принимаемым уровнем потребления энергии. В соответствии с указанными сечениями определялись ряды следующих прикладных гелиоэнергетических характеристик: длительности непрерывной работы и простоев, объемы произведенной, недоданной, сэкономленной энергии, в том числе в долях от планового производства и потребления.

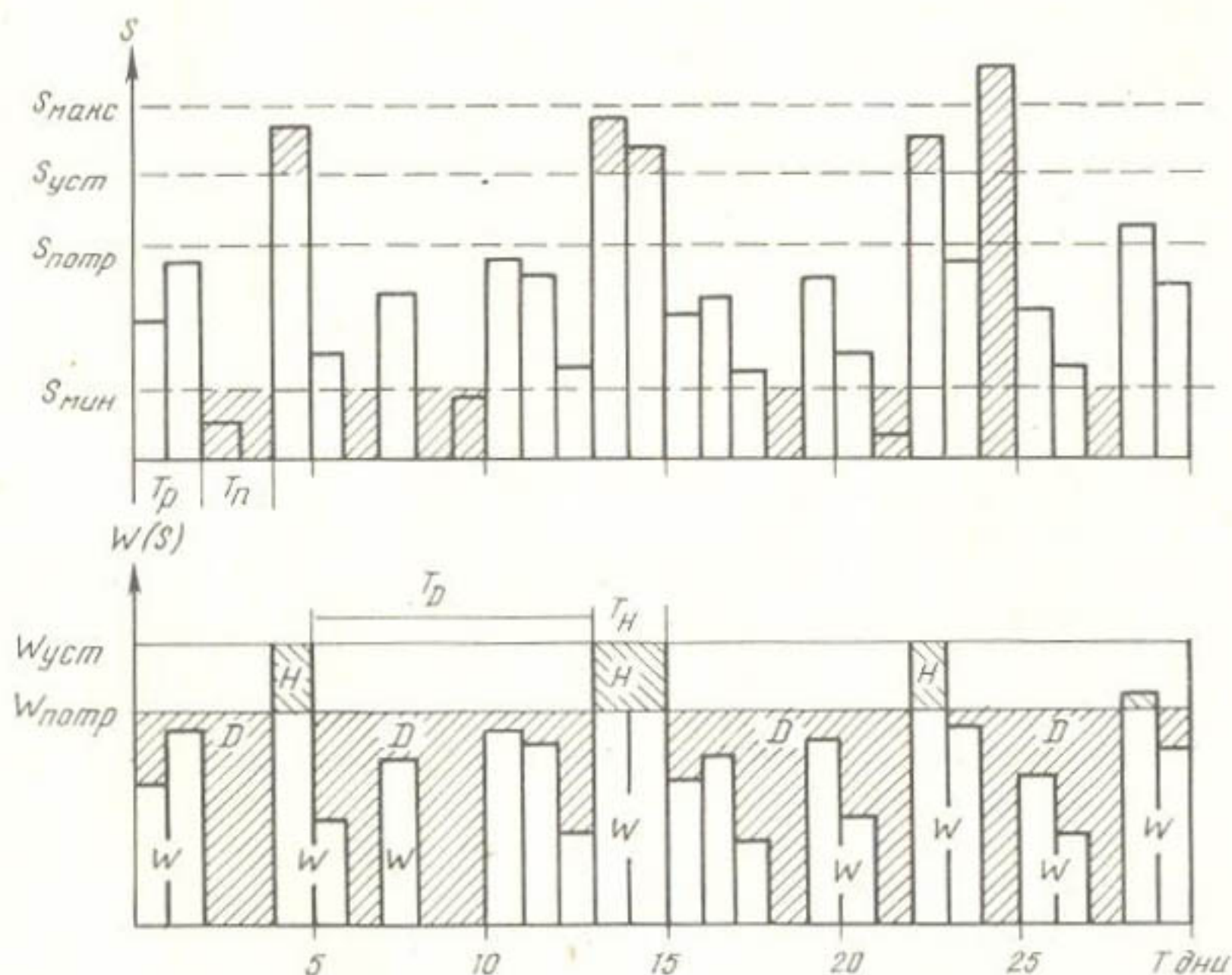


Рис. 3. Схема формирования прикладных гелиоэнергетических характеристик на разных уровнях сечений хронограмм радиации (S) и производительности гелиоустановок ($W(S)$)

Эти ряды подвергались стандартной статистической обработке, включающей построение гистограмм распределений, расчеты статистических моментов и параметров формы распределений (среднего значения, дисперсии, коэффициентов вариации, асимметрии, эксцесса). Необходимо отметить, что рассмотренные прикладные характеристики одновременно связаны как с параметрами радиационного режима, так и с параметрами установки и потребления, что существенно повышает их практическую ценность. Результаты выполненных расчетов были оформлены в виде справочных материалов. На наш взгляд, аналогичный структурный анализ в принципе применим к любым одномерным процессам как метеорологическим, так и к процессам, полученным в результате той или иной трансформации метеорологического процесса.

Рассмотренные методы определения прикладных структурных характеристик совместно с известными методами гармонического и спектрального анализа, позволяют получить достаточно полный комплекс различных характеристик структуры процессов различного вида. Совмещая методы структурного анализа с методами решения экстремальных задач, можно обеспечить потребности в учете климатических данных весьма широкого круга потребителей различных отраслей. Мы усматриваем особую перспективу реализации этих возможностей для создания автоматизированной подсистемы «Прикладная климатология», которая должна стать важным этапом научно-технического прогресса в организации широкопрофильного гидрометеорологического обеспечения всего народного хозяйства. Принципиальная основа для создания такой подсистемы заложена в общей схеме, рассмотренной выше. Такая подсистема в соответствии с запросом автоматически должна осуществлять обращение к требуемым банкам данных (или их моделям), затем к «преобразующей» подпрограмме (заданной потребителем) и подпрограммам статистической и структурной обработки с выдачей результатов на печать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарцман Л. Б. Методы математического моделирования и расчетов распределений вероятностей гололедно-ветровых нагрузок на провода воздушных линий электропередачи. — В кн.: Доклады по прикладной климатологии на ВДНХ СССР. М., Гидрометеониздат, 1972, с. 114—120.
2. Гарцман Л. Б. Применение метода Монте-Карло для расчетов вероятностей механических нагрузок по статистическим характеристикам метеорологических режимов. — В кн.: Развитие и оптимизация режимов энергосистем, вып. 3, Ташкент, Фан, 1970, с. 42—46.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СДВИГИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Вопрос о сдвигах ветра является одним из актуальных в метеорологическом обеспечении авиации [1, 2]. Под термином вертикальный сдвиг подразумевается изменение скорости и направления ветра между двумя уровнями:

$$\beta = |\Delta V| / \Delta H,$$

где

$$|\Delta V| = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos \alpha},$$

$|\Delta V|$ — модуль векторной разности скоростей на границах слоя.

Для изучения характера распределения сдвига ветра на территории Средней Азии были использованы наблюдения пункта аэростатного зондирования (г. Той-Тепе 1950—1960 гг., п. Аранчи 1964—1970 гг.), а также многолетние экспедиционные базисные шаропилотные наблюдения.

Сдвиги ветра рассчитывались в нижнем 1000-метровом слое по-слоино (2—25, 25—50, 50—100, 100—200 м и т. д.), а также интегрально в слоях с нарастающей протяженностью (2—25, 2—50, 2—100 м и т. д.). В обоих случаях произведен пересчет на толщину слоя 30 и 100 м.

Разбивка на градации осуществлялась в соответствии с общепринятой классификацией сдвигов по величине:

а) слабый ($\beta \leq 2 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$), умеренный ($2 < \beta \leq 4 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$), сильный ($4 < \beta \leq 6 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$), очень сильный ($\beta > 6 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$) при пересчете на толщину слоя 30 м;

б) слабый ($\beta \leq 5 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-2}$), умеренный ($5 < \beta \leq 10 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-2}$), сильный ($10 < \beta \leq 15 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-2}$) и очень сильный ($\beta > 15 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-2}$) при пересчете на толщину слоя 100 м.

Итоги экспедиционных наблюдений обобщались по сходным формам рельефа: равнины, предгорья, широкие долины, узкие долины, котловины, склоны, горные проходы, перевалы.

На большей части территории сильные сдвиги — явление достаточно редкое. Если рассматривать распределение сдвигов по градациям интенсивности в каждом слое, можно увидеть, что на долю умеренных сдвигов приходится около 30—40% общего числа случаев, на долю сильных и очень сильных сдвигов — 10—20% (табл. 1).

Если рассматривать изменение повторяемости сдвигов ветра каждой градации с высотой (табл. 1), то можно убедиться в том, что слабые сдвиги распределены с высотой довольно равномерно в слое 25—500 м. Сдвиги более высокой интенсивности сосредоточены в нижних слоях, преимущественно в пределах 2—25 м. Весной и зимой, т. е. в разгар феновых ветров, максимум повторяемости приподнят.

Таблица 1

Повторяемость вертикальных сдвигов ветра различной интенсивности
в пограничном слое атмосферы по данным аэростатного зондирования,
% от числа случаев в слое (1)
и от числа случаев определенной интенсивности (2)

Слой, м	Весна (1)			Весна (2)			Лето (1)			Лето (2)		
	слабый	умерен- ный	сильный	слабый	умерен- ный	сильный	слабый	умерен- ный	сильный	слабый	умерен- ный	сильный
2—25	56	32	12	3	31	50	56	27	17	4	40	67
25—50	78	18	4	10	42	30	87	11	2	15	34	19
50—100	92	7	1	11	14	12	90	6	4	13	10	14
100—150	98	2		10	4		97	2	1	11	8	
150—200	98	1		11	3	8	99	1		11	4	
200—300	99	1		13	3		99	1		13	4	
300—400	100			12	1		100			11		
400—500	100			12	1		100			12		
500—600	100			7	1		100			5		
600—700	100			5			100			3		
700—800	100			3			100			1		
800—900	100			2			100			1		
900—10000	100			1			100					

Таблица 2

Повторяемость вертикальных сдвигов ветра различной интенсивности
в пограничном слое атмосферы в предгорных районах Средней Азии
по данным аэростатных и шаропилотных наблюдений,
% от числа сдвигов в слое

Слой, м	Наблюдение 03 ч						Наблюдение 15 ч					
	аэростатное			шаропилотное			аэростатное			шаропилотное		
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в
2—25	57	34	9	37	26	37	47	35	18	32	27	41
25—50	76	21	3	39	43	18	83	9	8	55	27	18
50—100	89	9	2	87	13		92	6	2	89	10	1
100—150	99	1		97	3		98	2		94	6	
150—200	100			100			96	4		100		
200—300	100			100			100			100		
300—400	100			100			99	1		100		
400—500	100			100			100			100		

Примечание. а — слабый, б — умеренный, в — сильный сдвиг ветра.

При анализе отдельно по срокам выявляется, что максимум повторяемости умеренных сдвигов приподнят зимой и летом в 15 ч весной и осенью — в ночное и утреннее время (табл. 2).

В закрытых формах рельефа в период экспедиций отмечались только слабые сдвиги (Сары-Таш, пос. Шахристан). В широких открытых долинах (Аблык) и районах впадения боковых долин

в основное русло (Урта-Токам, Хорог) повышена повторяемость умеренных сдвигов.

Необходимо отметить роль метода измерения ветра для определения сдвига. Наибольшая повторяемость и максимальные значения сдвига ($24 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$) зафиксированы в г. Той-Тепе, где скорость ветра определялась с помощью аэростатного метеорографа, а направление — с помощью аэрологического теодолита за сносом привязного аэростата при его подъеме. В Ташкенте же при обычных шаропилотных базисных наблюдениях сдвиг не превосходил $4 \text{ с}^{-1} \cdot 30^{-1}$.

Таблица 3

Повторяемость вертикальных сдвигов ветра
в пограничном слое атмосферы по градациям
по данным шаропилотных наблюдений Каунчи (лето),
% от числа сдвигов определенной интенсивности

Слой, м	Слабый	Умеренный	Сильный	Очень сильный
2—25				
25—50		3		
50—100	3	19	50	10
100—150	14	19		10
150—200	6	10	13	10
200—300	20	22	12	20
300—400	19	23	13	10
400—500	20	2	12	40
500—600	15	2		
600—700	3			
700—800				
800—900				
900—1000				

Летом 1979 г. в пригороде Ташкента, Ташкенте и в среднегорной котловине в отрогах Алайского хребта были организованы два специализированных шаропилотных наблюдения с повышенной точностью. Умеренные и сильные сдвиги ветра были обнаружены вплоть до 500—600 м над поверхностью земли на равнине и в горах (табл. 3). Суточный ход величины сдвигов не проявился.

В заключение подчеркнем, что в общих чертах характер повторяемости вертикальных сдвигов ветра, их сезонный и суточный ход в пограничном слое атмосферы в Средней Азии и на европейской части СССР принципиально не различаются.

Наибольшие вертикальные сдвиги следует ожидать в зонах штормовых ветров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. А., Глазунов В. Г. Сдвиги ветра, турбулентность и вертикальные потоки в нижнем слое атмосферы, влияющие на взлет и посадку воздушных судов. — Временные методические рекомендации для синоптиков АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и МГАМЦ. Л., Гидрометеиздат, 1979.
2. Денисов Ю. М., Софиев Е. И. О новом алгоритме вычисления координат шара-пилота при базисных наблюдениях. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 38(119), с. 5—12.

К ВОПРОСУ О КОЛЕБАНИЯХ КЛИМАТА И РЕЖИМА ВОД В ГОЛОЦЕНЕ В АРАЛО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ (обзор)

В последнее время подтверждается представление о глобальном характере климатических пульсаций в голоцене. Привлечение палеогеографических данных по северной части Евразии позволило выделить три типа климатических колебаний: атлантико-континентальный (Русская равнина), континентальный (Сибирь), океанический, тихоокеанский (Дальний Восток). Сопоставление их дало возможность выявить наличие общих и отличительных тенденций в развитии природной среды различных районов Северной Евразии в голоцене. Общее заключается в повсеместном развитии климата по межледниковому типу и в синхронных климатических переломах, вызвавших резкое, но не всегда однонаправленное изменение природных условий на огромных территориях. Такие переломы, чередовавшиеся с периодами относительно спокойного развития климата, особенно ясно прослеживаются на поздне-последледниковой границе (около 10 300 лет назад), когда началось всеобщее потепление и смягчение континентальности климата Северной Евразии, и на атлантико-суббореальном рубеже (около 4500—5000 лет назад), характеризующемся климатическим переломом в сторону похолодания. Оба рубежа глобальны по своему значению и могут быть привлечены в качестве основных хронологическо-палеогеографических уровней голоцена. Температурные кривые голоцена имеют сложные и неоднородные для районов Северной Евразии конфигурации. Зафиксировано три основных термических максимума голоцена: бореальный (8300—8900 лет назад), атлантический (5000—6000 лет назад), суббореальный (3400—4200 лет назад). Бореальный максимум наиболее четко отмечен в Сибири и на Дальнем Востоке, последующие — на Русской равнине. Но в целом изменения температурного режима на всей Северной Евразии имели в голоцене синхронный, однонаправленный, хотя и разномасштабный характер. Рассмотрение Арало-Каспийского региона с учетом природно-климатических изменений Северной Евразии в голоцене позволило определить его развитие в этот период по варианту континентального типа климата. Для этого типа характерна повышенная увлажненность климата в первой половине последледниковья (бореальный и атлантический периоды), возникшая в результате усиления западного и северо-западного переноса воздушных масс и ослабления азиатского антициклона [12]. О более увлажненном климате в Средней Азии, предшествовавшем современной сухой и жаркой эпохе (ляляканский плювиал) [1], свидетельствуют данные геоморфологических, геологических, археологических и других исследований в

Кызылкумах. В первую очередь, это образование в крупных впадинах Кызылкумов горизонта озерно-плювиальных осадков, затем — опреснение грунтовых и поверхностных вод, на которое указывают карбонатные новообразования в почвах и породах, присутствие в голоценовых осадках комплекса пресноводных диатомовых водорослей.

Имеются данные о большей величине стока пра-Зеравшана.

Кроме того, о более влажном климате говорят разновидности почв, отличающихся от современных (позднеголоценовых) образований большей мощностью, относительно высокой плотностью, значительным содержанием CO_2 , карбонатов и т. д.

И наконец, с более благоприятными климатическими условиями, вероятно, связана массовость заселения ныне пустынных районов, начавшегося 7—8 тыс. лет назад. Расселением человека в это время охвачена огромная площадь Кызылкума [3], Каракумов и Устюрта, в том числе районов, в настоящее время лишенных источников питьевой воды.

Из многочисленных биологических признаков можно указать на широкое распространение в эту эпоху в пустынных районах первобытного тура, обитателя степной и лесостепной зон, и на наличие ряда реликтов в современной флоре Кызылкумов.

Установлено, что льяляканский плювиал (начало его датируется концом позднего плейстоцена или началом голоцена, конец — первой половиной среднего голоцена — около 4 тыс. лет назад) характеризовался климатическими условиями, сходными с условиями современной степной зоны, где осадков выпадает от 250 до 400—450 мм в год, а средняя температура июля составляет 21—23°C. Сравнение этих представлений с палеоклиматическими материалами и радиоуглеродными датировками из Северной Африки, Передней и Юго-Восточной Азии, согласующихся в общих чертах, позволило исследователям прийти к мысли о синхронном и едином направленном изменении климата на территории от Сахары до Гоби [5].

Конец льяляканского плювиала и начало аридизации хронологически совпадает с кризисом земледельческой культуры на широкой территории Средней Азии. Гибель крупных земледельческих поселений, запустение многих культурных оазисов, упадок городской цивилизации долины Инда — таковы исходные процессы, действовавшие в первой половине 2-го тысячелетия до н. э. на территории Южной Туркмении, в Северном Иране, в ряде районов Афганистана и Северо-Западной Индии. С этими процессами связываются заметное усиление роли скотоводческого хозяйства, значительные племенные передвижения, в первую очередь племен скотоводов [6]. Столь характерные синхронные и едином направленные события, происходившие на обширной территории в неодинаковых ландшафтно-экологических условиях и при разных уровнях развития общества, по мнению исследователей, не могли быть вызваны лишь характером внутреннего развития или локальными причинами. Общая картина кризиса была очень

сложной, обусловленной взаимодействием множества факторов, являющихся существенными. Но развивалась она на едином фоне крупномасштабной аридизации климата на рубеже 3-го и 2-го тысячелетия до н. э. [2].

Климатический оптимум завершился некоторым похолоданием, которое привело к современному климату. Но на фоне неуклонного похолодания происходили кратковременные колебания с периодами порядка сотни лет.

По европейским торфяникам выделено семь горизонтов возобновления роста торфа и, следовательно, более влажных и прохладных условий за последние 4 тыс. лет. Начала этих периодов, полученные с помощью радиоуглеродного датирования, приходятся на 80, 680, 1220, 2000, 2600, 3100 и 3680 лет назад [10].

Колебания такого масштаба прослеживаются более четко в исторический период, когда они лучше документировались. Особенно это касается колебаний климата, происходивших в раннем развитии средневековья и в XVI—XIX вв. Первое из них получило название «малого климатического оптимума», второе — «малого ледникового периода». Следует отметить, что на протяжении времени от пика оптимума до наших дней такие потепления и похолодания происходили неоднократно, что отражает реальный характер колебаний климата, придавая этому процессу оттенок «прерывности—непрерывности».

Некоторые данные свидетельствуют о том, что в Азии в раннем развитии средневековья было относительно теплее. Китайские летописи сообщают, что в VII—X вв. в долине р. Хуанхэ росли апельсины и мандарины; сейчас в этом районе растут только яблоки и японская хурма. Обработка летописей показала, что наиболее холодные периоды концентрируются около 1000 г. до н. э., 400, 1200 и 1700 гг. н. э. Эти даты довольно близко совпадают с периодами наступлений альпийских ледников.

В Японии имеются сведения о датах зацветания сакуры, начиная с IX в. Установлено, что в IX—X вв. вишня зацветала в среднем на неделю раньше, чем в XI—XVI вв. В Китае в VII—VIII вв. было минимальное количество суровых зим, тогда как максимума это количество достигло в XII—XIV вв. Последнее подтверждается также тем, что в XII—XIII вв. наблюдались самые поздние весенние снегопады. В этот период было влажно в Кавказе и в Центральной Америке, больше осадков и воды в реках Средиземноморья и Ближнего Востока, влажно было в VIII—X вв. в Восточной Африке, в районе оз. Чад и в Мавритании. Перечисленные сведения согласуются с наблюдениями в эпоху викингов в Европе [10].

Многочисленные исторические и археологические данные, характеризующие и в какой-то степени раскрывающие проблему колебаний климата в Средней Азии [7] за исторический период, собраны в известной работе М. Е. Массона [8]. Отметив большие перспективы применения археологического и исторического методов в решении проблемы, автор вместе с тем совершенно оправ-

данно отмечает, что «...вообще нельзя требовать от историков окончательных выводов и безоговорочных обобщений по всем вопросам, возникающим в аспекте рассматриваемых проблем. Окончательные выводы должны быть и будут со временем сделаны компетентными представителями естественно-исторических дисциплин. Участие же историков и археологов в основном пойдет по линии привлечения косвенных указаний за прошедшие исторические периоды до установления регулярных, точно фиксируемых научных наблюдений о различных явлениях природы биологического или прямо метеорологического порядка, о колебаниях водоносности рек, озер и других феноменах, по которым можно судить об интересующих нас изменениях и колебаниях». Из обзора исторических и археологических сведений, хронологически охватывающих время от второй половины 1-го тысячелетия до н. э. до XIX — начало XX в., вытекает ряд положений, характеризующих климатические колебания.

I. На основании сообщений античных авторов [8, 4, 11], описавших завоевательные походы Александра Македонского, Средняя Азия второй половины 1-го тысячелетия до н. э. характеризовалась наличием обширных пустынных районов с развитыми песчаными барханами (Северный Афганистан — Бактрия на пути к Амударье — Оксу, пустыня Каракум, пески Сундук и др.).

II. Имели место колебания режима вод, зависящие как от природных явлений, так и от деятельности человека. За последнее тысячелетие фиксированы разливы рек типа наводнений. В частности, в результате размыва берега Чирчика почти целиком смыт Шутуркент, один из крупнейших городов Шаша в X в. Такова же судьба столицы правобережного Хорезма — Кята, отчасти снесенного в X в. Амударьей.

Некоторые данные позволяют предположить, что в XVI в. наступила засушливая пора. На мысль об этом наводят многочисленные цистерны-сардобы, построенные в правление Абдулла-хана второго [9]. Недостаток воды отмечен в XVI в. и в Нуратинском районе, что вызвало с середины столетия усиленное сооружение кяризов и крупных плотин «Ханбанди» восточнее Кермине, в горном ущелье Акчоб, а также в горах Писталитау к северу от кишл. Катта-багдан. Уменьшение водных ресурсов за исторический период отмечалось для Ташкентского района, долины Кашкадарьи, в районе Ура-Тюб и в других местах Средней Азии.

Наблюдались отдельные резкие явления погоды — жара и засуха, суровые зимы с обильными снегопадами. Сильная засуха, сменившаяся затем проливными дождями, зафиксирована в XI в. в Самарканде. Весьма засушливыми были 1220 и 1706 гг.

Обратное явление имело место в 30-х годах VIII в. Суровыми были зимы 885—886, 921—922, 1003, 1010—1011 гг., второй половины 60-х годов XII в., 1217—1218 гг., конца первой четверти XIII в., конца 30-х годов XIV в., особенно зимы 1345—1346, 1388—1389 и 1404—1405 гг. Ряд суровых зим отмечался в первое десятилетие

XVI в., а также в 1650 г. 70-е годы XVIII в. отличались теплыми зимами, но затем началась пора похолодания. Холодная погода отмечалась также в 30-е и начале 40-х г. XIX в. Изучение годовых колец в срезе арчи, срубленной в XIV в., позволило Массону установить, что на это столетие приходилось примерно по три влажных и три засушливых периода с интервалом между ними от 20 до 50 лет.

III. Учет данных о распространении отдельных видов растений открывает возможность выявления абсолютных изменений климата. В исторических источниках есть сведения о составе древесных насаждений в средневековых городах. Макдиси (X в.) свидетельствует о широком развитии виноградарства в долине Таласа. Для последующих эпох сведений об этом нет. Ибн Хаукаль при описании области Хутталь, занимавшей пространство между Вахшем и Пянджем, указывает, что здесь произрастала финиковая пальма. Судя по границам распространения теплолюбивых растений, предполагается некоторое потепление климата в Средней Азии на протяжении определенного времени в X в. Явление это связывается с глобальным процессом потепления, охватившем в X в. Гренландию и Америку, когда в северной части Атлантического океана было значительно меньше льдов, чем позднее.

IV. Человек с давних пор оказывал заметное влияние на изменение водного режима, создавая и разрушая сложные ирригационные системы. Нарушение их состояния и режима работы приводило к самым тяжелым последствиям — наступлению песков в одних районах (пески Каттакум в долине Сурхана в IV—V вв. и пески Кызылкум в низовьях Зеравшана в XIX в.) и заболачиванию в других (Фергана и низовья Зеравшана в IV—V вв.).

Показательна обстановка, создавшаяся в результате истребления лесов, особенно в период расцвета горнорудного промысла (IX—XII вв.), когда на выплавку металла широко использовали ардовый уголь. Истребление лесов привело по ряду свидетельств к уменьшению воды, в частности в Ангрене.

На основании привлеченных исторических данных Массон пришел к выводу, что резких изменений климата в Средней Азии за исторический период не было. Однако несомненные циклические колебания, охватывающие отрезки времени порядка столетий. Последствия деятельности человека сказались по-разному в климате различных зон.

В целом режим среднеазиатской погоды является следствием взаимосвязанных климатических процессов планеты.

Заключение

1. Колебания климата в пределах Средней Азии в хронологических рамках голоцена являются составной частью единых планетарных процессов природной среды. Вместе с тем при наличии общих тенденций климатические явления в разных районах имели и отличительные черты.

2. Выделяются резкие синхронные климатические переломы, чередовавшиеся с периодами спокойного развития климата, носящие глобальный характер:

а) на позд-последлениковой границе (около 10300 лет назад) — всеобщее потепление и смягчение континентального климата.

б) на атлантико-суббореальном рубеже (около 4500—500 лет назад) — климатический перелом в сторону похолодания.

3. Начавшийся в 3-м тысячелетии до н. э. период похолодания, приведший к современному климату, характеризуется кратковременными колебаниями с периодами порядка сотен лет и даже более узкими — в пределах столетий — сменами сухого климата более влажным.

4. В исторический период (начиная с середины 1-го тысячелетия до н. э.) колебания климата нередко прослеживаются по письменным источникам и археологическим наблюдениям. В пределах последних 2,5 лет, охватывающих поздний голоцен, особенно выделяются два четких периода климатических колебаний:

а) раннее развитое средневековье — относительно более теплый период концентрируемый вокруг X в.,

б) похолодание после X в., особенно в XVI—XIX в., совпадающее с «малым ледниковым периодом» в истории климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А. В., Мамедов Э. Д., Степанов И. Н. О древних почвах в песках Кызылкумов. — Почвоведение, 1969, № 2, с. 3—5.
2. Виноградов А. В., Мамедов Э. Д. Ландшафтно-климатические условия среднеазиатских пустынь в голоцене. — ИМКУ, 1974, вып. II, с. 32—44.
3. Виноградов А. В., Мамедов Э. Д. Первобытный Лаявлякан. Этапы древнейшего заселения и освоения Внутренних Кызылкумов. — М.: Наука, 1975, с. 234—255.
4. Древние авторы о Средней Азии (VI в. до н. э. — III в. н. э.) — Ташкент: Гос. изд-во науч.-тех. и соц.-эконом. УзССР, Хрестоматия под ред. Х. В. Баженова, 1940. — 77 с.
5. Мамедов Э. Д. Изменение климата среднеазиатских пустынь в голоцене. — В кн.: Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. — М., 1980 с. 170—171.
6. Массон В. М. Древнеземледельческая культура Маргианы. МИА. № 73. — М.; Л., Изд-во АН СССР, 1959, с. 109—110.
7. Массон В. М. Средняя Азия и Дальний Восток. — М.; Л., Наука, 1964, с. 295—297.
8. Массон В. М. О колебаниях климата Средней Азии в связи с вопросом об изменении режима вод за исторический период. — Труды УзГО, 1948, т. II (XXI), с. 3—23.
9. Массон М. Е. Проблема изучения цистерн-сардоба. — Ташкент: Материалы Узкомстариса, 1935, вып. 8.
10. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. — Л.: Гидрометеониздат, 1979. — 339 с.
11. Страбон. География в 17 книгах. Перевод, статьи и комментарии Г. А. Стратановского. — Л.: Наука, 1964. — 487 с.
12. Хотинский Н. А. Три типа изменения климата Северной Евразии в голоцене. — В кн.: Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. М., 1980, с. 5—6, 11—12.

ПОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТОКОВ В ВЫСОТНЫХ ЦИКЛОНАХ

В циклонах, прослеживаемых на приземных картах, вертикальные токи, облачность и осадки преимущественно связаны с фронтальными зонами. Значительно сложнее обстоит дело в высотных циклонах, когда у поверхности земли наблюдается антициклональное барическое поле и поле вертикальных токов неизвестно. Погода при высотных циклонах не соответствует приземному полю давления [2]. При повышенном давлении у земли могут выпадать обильные осадки, град. В связи со сказанным нами была осуществлена попытка изучить на конкретных примерах поля вертикальных токов в различных частях и слоях верхних циклонов и выявить особенности этих полей.

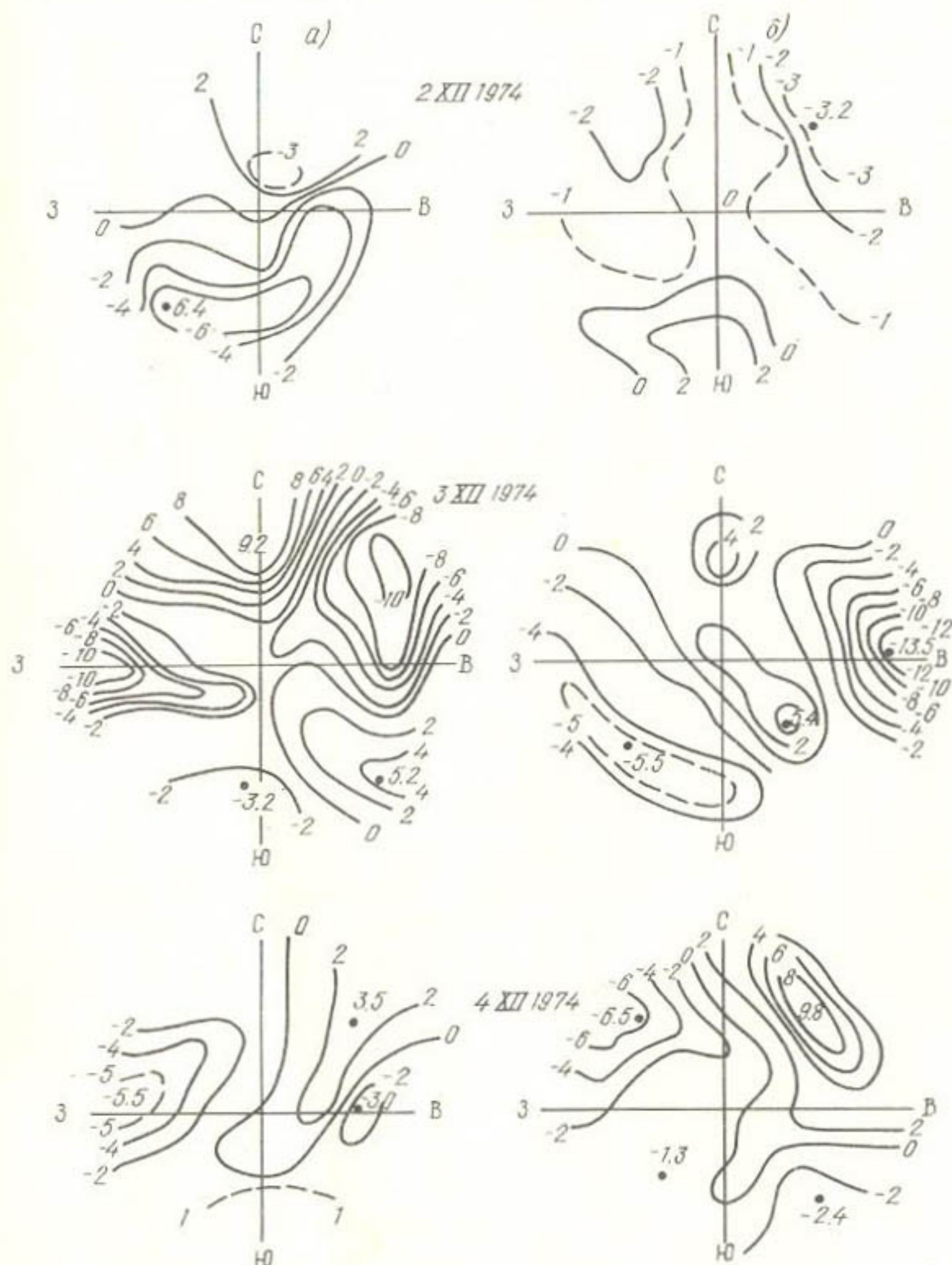
Для достижения поставленной цели в высотных циклонах, существовавших над Средней Азией с 5 по 13 октября и со 2 по 4 декабря 1974 г. и с 7 по 11 марта 1976 г., адиабатическим методом [1] рассчитывались вертикальные скорости в слоях 700—400 гПа и 500—300 гПа за 12-часовой срок в восьми секторах высотных циклонов на расстояниях 300, 500, 700, 900, 1200 км от центра и в самом центре циклона.

В первый период с 5 по 13 октября 1974 г. высотный циклон существовал в слое 700—200 гПа, наиболее четко прослеживался на поверхности 500 гПа, где 5 октября очерчивался тремя замкнутыми изогипсами, 10 октября — четырьмя, а 11 октября в день максимального развития, шестью изогипсами. В последующие дни циклоническая циркуляция ослабевала. Слой 700—400 гПа можно отнести к нижней половине высотного циклона, 500—300 гПа — к верхней. 5 октября, когда высотный циклон начал развиваться, поле вертикальных токов делилось на две части: северную часть с восходящими, южную — с нисходящими, вертикальные движения наиболее сильно развиты в нижней половине высотного циклона, где средним уровнем является поверхность 500 гПа, т. е. где циклоническая циркуляция наиболее сильно развита. 8 октября в нижней части высотного циклона вертикальные скорости больше, чем в верхней, нисходящие движения отмечались на востоке—юго-востоке с максимумом, равным $7,8 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, восходящие движения охватывали всю северо-западную часть, где максимальные скорости составили $5,5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. В верхней половине высотного циклона поле вертикальных токов делилось на три части, одну с восходящими, простиравшуюся в меридиональном направлении с юга на север, и две с нисходящими на востоке и западе.

11 октября в слое 700—400 гПа три очага с восходящими движениями: на юге, северо-востоке и западе—юго-западе, максимальные скорости — на юге ($6,7 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$) и северо-востоке ($6,2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$), нисходящие движения на севере со скоростями до $1,2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. В слое 500—300 гПа скорости опять были меньше,

чем в нижней половине, на востоке и западе движения были нисходящие, на юге и севере — восходящие.

13 октября в нижней части высотного циклона восходящие движения ослабевают, они сильнее в слое 500—300 гПа и имеется тенденция разделения поля вертикальных токов на две части, одну с восходящими, другую с нисходящими.



Вертикальные токи в высотном циклоне в слоях 700—400 (а) и 500—300 (б) гПа

Второй период. Высотный циклон 2—4 декабря 1974 г. прослеживался в слоях 700—200, 850—200 гПа, наиболее сильно был развит 3 декабря, в 00 ч на поверхности 500 гПа очерчивался девятью изогипсами.

2 декабря (рисунок) поле вертикальных токов делилось на две части: одну с восходящими, другую с нисходящими движениями. 3 декабря в слое 700—400 гПа видим усиление восходящих и нисходящих движений и дробление поля вертикальных токов на несколько областей с восходящими движениями на севере и юго-востоке и с нисходящими на северо-востоке и западе, максимальные скорости восходящих движений составили $9,2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ на севере, нисходящих — $10,5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ на северо-востоке. В слое 500—300 гПа скорости нисходящих потоков составляли в максимуме — $13,5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, восходящих — $5,6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$.

4 декабря циклоническая циркуляция ослабевает, вертикальные скорости уменьшаются и поле вертикальных токов имеет тенденцию к разделению на две области. В третьем периоде (7—11 марта 1976 г.) картина развития вертикальных движений в высотном циклоне оказалась идентичной рассмотренным выше.

Анализ рассмотренных случаев показал, что в высотных циклонах поле вертикальных токов при усилении и ослаблении циклонической циркуляции обычно состоит из двух частей: одна — с восходящими, другая — с нисходящими. В период максимального развития высотного циклона оно оказывается сложным — наблюдается дробление областей, и скорости в них достигают экстремальных значений.

Сопоставление полученных величин с вертикальными скоростями в обычных циклонах показало, что величины оказались сравнимыми. В рассмотренных высотных циклонах вертикальные скорости изменялись от $13,5$ до $9,8 \text{ см}$. Согласно теоретическим расчетам [3] в обычных циклонах они могут возрасти до 23 см/с .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е. П., Гуров В. П., Титов С. И. Динамическая метеорология. Ч. II. — Л.: ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, 1960, с. 24—27.
2. Жукова С. В. Погода при верхних циклонах. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 24(105), с. 57—60.
3. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1965. — 436 с.

Т. С. КОНЗАЛАЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛУСУТОЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ В ГИССАРСКОЙ ДОЛИНЕ ТАДЖИКИСТАНА

В условиях Гиссарской долины изучение распределения осадков важно для целей выявления местных осадкообразующих факторов, влияния орографии и циркуляции. Своеобразное положение долины, открытой с запада и юго-запада, способствует зато-

ку воздушных масс с этих направлений. Склоны, обращенные к воздушным потокам, получают большее количество осадков, так как, подходя к горным хребтам, воздушная масса испытывает дополнительное орографическое поднятие. На север от долины широтно располагается Гиссарский хребет (около 5000 м над ур. м. На юге к долине примыкают меридионально расположенные невысокие хребты, играющие роль направляющих для юго-западных и южных воздушных потоков у земли. Общая площадь долины составляет около 3600 км².

Исходными материалами для исследования послужили полу-суточные данные об осадках за 1973—1982 гг. на пяти метеорологических станциях и 21 посту, расположенных в долине.

Среднегодовое количество осадков по наблюдениям всей сети составило 769 мм, что близко к климатической норме для рассматриваемой территории (770 мм) [5]. В разных частях долины среднегодовое количество осадков изменялось от 66 до 134% нормы, а в отдельных затененных местах составило 46—48%. Наибольшее среднегодовое количество осадков (1000—1030 мм) наблюдается на севере долины у южных отрогов хребта. На долю холодного периода (с октября по март) приходится в среднем около 70% среднегодового количества осадков, выпадающих в долине.

Внутригодовое распределение осадков в Гиссарской долине определяется сезонными особенностями циркуляции атмосферы над Средней Азией. Наибольшее среднемесячное количество осадков (113—175 мм) отмечалось в марте, что связано с приближением в пределы Таджикистана планетарной высотной фронтальной зоны с юга. В отдельные годы максимальное месячное количество осадков достигало 190—325 мм. Наименьшее среднемесячное количество осадков (0,4—6,5 мм) наблюдалось в августе, когда вторгающиеся воздушные массы приобретали над пустынями Средней Азии свойства тропического воздуха с высоким уровнем конденсации. В отдельные годы выпадение осадков в долине в августе не отмечалось вообще. Среднее за полусутки количество осадков составило 4—7 мм. Полусуточные максимумы осадков приходятся на май и достигают за рассматриваемые годы 65—93 мм.

Наибольший вклад в общую сумму осадков (47,6%) вносят синоптические процессы, включающие все типы вторжений. На долю южных циклонов приходится 21,7% общей суммы осадков, на долю волновой деятельности — 17,4%. Наибольшее среднее за полусутки количество осадков (7,5 мм) приходится на тип процесса «западный циклон». При северо-западном и западном вторжениях и при выходе мургабского циклона среднее за полусутки количество осадков составляет 5,0—5,6 мм. При остальных типах процессов в Средней Азии [1] среднее за полусутки количество осадков существенно меньше. Средняя длительность осадков при всех типах синоптических процессов составляет от 1,4 до 2,3 полусу-

ток. Наибольшая длительность осадков наблюдается при волновой деятельности и может достигать 8 полусуток.

Рассмотрим вероятность распределения средних полусуточных сумм осадков различных градаций за холодный и теплый периоды по наблюдениям всех станций и постов, расположенных в Гиссарской долине (табл. 1), за ночную и дневную части суток.

Таблица 1

Вероятность (%) распределения по градациям полусуток со средним количеством осадков в холодное и теплое полугодия за 1973—1982 гг.

Полугодие	Без осадков или 0,0 мм	Количество осадков, мм						
		0,1—0,3	0,4—3	3,1—7	7,1—14	14,1—20	20,1—30	30,1 и более
Холодное	64,0	7,4	15,3	7,8	4,3	0,8	0,4	—
	61,0	8,6	14,0	7,6	6,3	1,6	0,8	0,1
Теплое	77,3	7,8	9,8	2,9	1,5	0,4	0,4	—
	79,7	6,3	7,9	2,7	2,3	0,5	0,3	0,2

Примечание. В числителе — день, в знаменателе — ночь.

Как следует из табл. 1, в теплый период вероятность полусуток без осадков на 13—19% больше, чем в холодный период. Распределение вероятностей полусуток с различным количеством осадков для дня и ночи как в холодный период, так и в теплый различаются незначительно, однако в теплый период осадки днем идут несколько чаще. В холодный период осадки чаще идут ночью. Наибольшая вероятность полусуток с осадками приходится на градацию от 0,4 до 3 мм. Среднее количество осадков, превышающее 20 мм, наблюдается с вероятностью 0,4—0,9%. В теплый период вероятность полусуток с осадками составляет около 20—23%. Следует также отметить, что если в холодное полугодие средние полусуточные осадки до 3 мм составляют 60% всех случаев осадков, то в теплое полугодие — 74%.

Представляет также интерес рассмотреть изменение количества осадков с высотой (рис. 1).

В качестве относительной характеристики изменения средней суммы осадков с высотой (на 100 м) взята величина $\frac{1}{\bar{Q}} \frac{\Delta Q}{\Delta z}$, где

ΔQ — разность между количеством осадков в двух пунктах, расположенных на высотах z_1 и z_2 ($\Delta z = z_1 - z_2$), $\bar{Q}$ — среднее количество осадков этих пунктов.

Как видно из рис. 1, в Гиссарской долине как в холодное, так и в теплое полугодия отмечается в основном увеличение количества осадков с высотой. Максимальные градиенты осадков в холодное полугодие расположены в западной, северо-западной и крайней восточной частях долины. В южной части долины отмеча-

ется даже уменьшение количества осадков с высотой (отрицательные значения градиентов). Очевидно, это связано с влиянием южных хребтов, вызывающих нисходящие движения воздуха при его переваливании. Отрицательные значения градиентов отмечаются также в оконечностях ущелий, что, по-видимому, объясняется наличием осадков «предвосхождения» в этих районах. В теплое полугодие максимальные относительные pluviометрические градиенты осадков располагаются в северо-западной, южной и крайней восточной частях Гиссарской долины. Большие градиенты осадков в южной части долины в теплое полугодие можно объяснить термическим влиянием склонов гор на развитие кучево-дождевых облаков и ливневую деятельность.

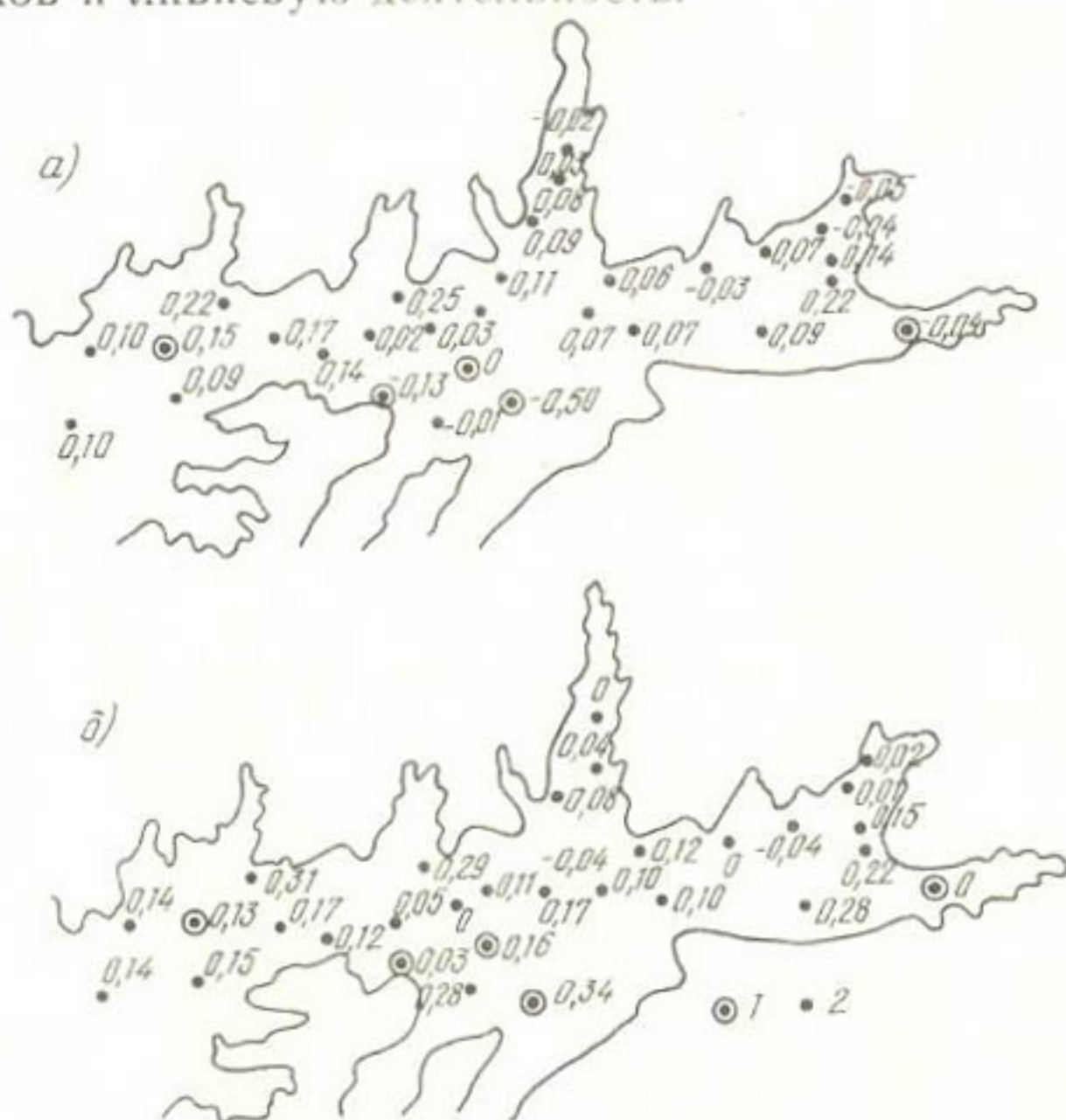


Рис. 1. Изменение средней суммы осадков с высотой $\left(\frac{1}{\bar{Q}} \frac{\Delta Q}{\Delta z} \right)$ на 100 м за холодный (а) и теплый (б) периоды по данным наблюдений гидрометстанций (1) и постов (2)

Представляет также интерес произвести оценку средних по площади полусуточных осадков по наблюдениям станций и постов в Гиссарской долине, так как при разработке, например, методики количественного прогноза осадков использование в качестве предиктанта среднего по площади количества осадков является более устойчивой характеристикой, чем количество осадков в одном пункте. Вследствие того что в синоптической практике оперативная оценка среднего количества осадков по площади может быть проведена по данным наблюдений только станций, возника-

ет также вопрос о надежности средних, определенных по данным станций.

Вначале оценим погрешности в определении среднего по площади полусуточного количества осадков по данным наблюдений станций, расположенных в долине, для чего воспользуемся методикой, приведенной в работе [2]. Методика основана на связи между корреляционной функцией поля осадков и средней квадратической погрешностью определения среднего слоя осадков по площади. Для построения корреляционной функции поля осадков были привлечены данные полусуточных наблюдений на пяти станциях за 1973—1982 гг. При расчетах коэффициентов корреляции рассматривались случаи, когда осадки выпадали на всех станциях. Наибольшее расстояние между станциями составило 95 км, наименьшее — 10 км. Перепад высот в долине достигает 500 м (700—1200 м над ур. м.).

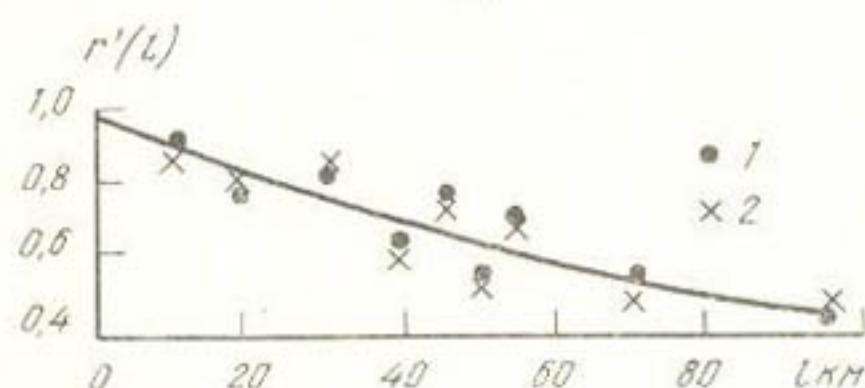


Рис. 2. Пространственная корреляционная функция полусуточных сумм осадков по данным наблюдений на метеорологических станциях:
1 — холодное полугодие, 2 — теплое

Как видно из рис. 2, в Гиссарской долине влияние рельефа и мезоклиматических условий на осадки проявляется одинаково как в холодное, так и в теплое полугодие. Полученную корреляционную функцию можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью

$$r'(l) = r'(0) e^{-\frac{l}{l_0}},$$

где l_0 — радиус корреляции.

Для приближенной оценки погрешности в определении среднего слоя осадков по площади были рассчитаны необходимые характеристики.

Таблица 2

Статистические характеристики определения среднего по площади полусуточного количества осадков

Полугодие	$\bar{Q}$ мм	σ мм	S км ²	l_0 км	$r^1(0)$	$\rho_1^2(S)$	$E(l, S)$
Холодное	6,3	5,31	720	120	0,95	1,4	22
Теплое	5,9	6,52	720	120	0,95	2,1	32

В табл. 2 приводятся выборочные характеристики средних полусуточных сумм осадков для холодного и теплого полугодий $\bar{Q}$; их средние квадратические отклонения σ ; площадь, приходящаяся

на одну станцию S ; радиус корреляции l_0 ; величина $r'(0)$, которая характеризует случайные ошибки измерений и различия за счет микроклиматических особенностей пунктов установки осадкомеров; погрешность за счет естественной изменчивости полусуточных сумм осадков $p_1^2(S)$; относительная среднеквадратическая погрешность определения среднего $E(1, S)$.

Погрешность в определении среднего слоя осадков на площади рассчитывалась по формуле, приведенной в работе [3]:

$$p_1^2(S) = 0,23 \sigma^2 \frac{r'(0)}{l_0} \sqrt{S}.$$

Относительная среднеквадратическая погрешность определения среднего по площади слоя полусуточных сумм осадков определялась из выражения

$$E(1, S) = \frac{p_1^2(S)}{\bar{Q}}.$$

Как видно из табл. 2, погрешность за счет естественной изменчивости полусуточных сумм осадков для холодного полугодия составляет 1,4, а для теплого полугодия в полтора раза больше — 2,1. Относительная среднеквадратическая погрешность оказалась соответственно равной 22 и 32%. Если сделать допущение, что станции и посты распределены в долине равномерно, то относительная среднеквадратическая погрешность определения среднего, согласно формуле, приведенной в [2],

$$E(n, S) = \frac{E(1, S)}{\sqrt{n}}$$

уменьшится до 10—14%, так как количество пунктов наблюдения на площади S будет составлять $n=5$.

Одновременно с приведенными расчетами была произведена оценка средних полусуточных сумм осадков, полученных по данным наблюдений только 5 станций и наблюдениям всех пунктов (26 пунктов) по критерию Стьюдента [4] при неравных дисперсиях $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$:

$$t = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1} \sigma_1^2 + \frac{1}{n_2} \sigma_2^2}}.$$

Оценка средних, рассчитанных по данным только станций $\bar{Q}_1$ и станций с постами $\bar{Q}_2$, показала, что с доверительной вероятностью 95% (уровень значимости 0,05) средние из двух выборок можно считать равными (табл. 3).

Статистические характеристики полусуточных сумм осадков
и критерий Стьюдента

Полугодие	Время суток	Число случаев	$\bar{Q}_1$	$\bar{Q}_2$	σ_1	σ_2	t
Холодное	День	160	5,4	4,9	4,61	4,42	1,00
	Ночь	160	7,3	6,3	6,02	5,83	1,52
Теплое	День	160	5,5	4,1	6,51	6,81	1,89
	Ночь	160	6,2	5,2	6,54	6,21	1,43

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев В. А., Джорджин В. А., Козик Е. М. Синоптические процессы Средней Азии. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. — 477 с.
2. Гущина М. В., Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения среднего слоя осадков на площади. — Труды ГГО, 1967, вып. 208, с. 49—63.
3. Каган Р. Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных. — Труды ГГО, 1966, вып. 191, с. 22—34.
4. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 271 с.
5. Справочник по Климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1969, вып. 31. — 212 с.

Ф. А. МУМИНОВ, Н. И. ОСИПОВА, А. Н. ЮРЕПИНА

МЕТОД АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА
УРОЖАЯ ХЛОПЧАТНИКА В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

Разработки методов прогноза урожая важны для определения ожидаемой урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур по отдельным районам, областям, республикам, краям и оценки влияния на урожай естественных вариаций климата и текущих погодных условий.

Разработка прогноза урожая хлопка-сырца для Азербайджанской ССР осуществлялась в рамках корреляционно-статистического анализа, который был использован ранее нами при разработке метода прогнозирования урожая хлопчатника для Узбекской, Таджикской и Киргизской ССР [3, 4].

Материалами для разработки методики послужили данные опорной сети гидрометстанций Кура-Араксинской, Агдам-Физулинской, Казах-Кировабадской хлопковых зон Азербайджана, ЦСУ и Госагропрома республики за 1965—1985 гг.

Тщательный анализ материалов показал, что тенденция возрастания урожайности хлопчатника в рассматриваемой республике обусловливается технологией возделываемых сортов, а ее из-

менчивость из года в год зависит в основном от условий погоды вегетационного периода, т. е. урожайность является функцией многих природных и производственных факторов.

Предлагаемую схему прогноза урожайности хлопчатника можно записать в следующем виде:

$$Y_n = Y_T \pm U, \quad (1)$$

где Y_n — прогнозируемая средняя урожайность хлопчатника, ц/га; Y_T — урожайность по тренду, ц/га; ΔY — отклонение урожайности от линии тренда, ц/га.

Для прогнозирования средней урожайности необходимо иметь уравнение линии тренда и значения ΔY для конкретного года.

Динамика урожайности хлопчатника в Азербайджанской ССР имеет четко выраженную тенденцию роста. Проведенные графический и статистический анализы временных рядов урожайности X позволили получить уравнения линии тренда урожайности Y_T хлопчатника для Кура-Араксинской, Агдам-Физулинской, Казах-Кировабадской зон и в целом по Азербайджану (табл. 1).

Таблица 1

Уравнение линии тренда урожайности хлопчатника

Территория	Уравнение	Коэффициент корреляции и его ошибка	Год начала отсчета
Азербайджанская ССР	$\lg Y_T = 0,259 \lg X + 1,098$	$0,901 \pm 0,028$	1965
Кура-Араксинская зона	$\lg Y_T = 0,197 \lg X + 1,185$	$0,893 \pm 0,035$	1970
Агдам-Физулинская зона	$\lg Y_T = 0,211 \lg X + 1,287$	$0,741 \pm 0,078$	1970
Казах-Кировабадская зона	$\lg Y_T = 0,096 \lg X + 1,285$	$0,555 \pm 0,120$	1970

Разработка метода долгосрочного прогноза урожайности с различной заблаговременностью требует поэтапной оценки влияния агрометеорологических условий отдельных периодов вегетации растений на урожай хлопка-сырца. Наиболее важными периодами в развитии хлопчатника являются: предпосевной (1 марта — начало сева), посев—появление массовых всходов, посев—цветение, посев—плодоношение, цветение—раскрытие первых коробочек, а также период созревания и уборки хлопка. По выделенным периодам были выбраны основные показатели, характеризующие гидрометеорологические условия развития, формирования урожая хлопка, а также элементы производственной информации, отражающиеся на величине итогового урожая.

В исследования из элементов производственной сферы взяты: площадь посева и пересева, площадь земель, охваченных цветением, густота стояния растений, продуктивность посева. В другую группу предикторов вошли факторы, характеризующие радиационные, термические условия, суховейные явления, а также увлажне-

**Уравнение регрессии для расчета
отклонения урожайности хлопчатника от линии тренда (ΔY)**

Срок прог- ноза	Уравнение связи	Коэффициент корреляции ($-r$) и корреляционное отношение (η)	Предел применения предикторов
Кура-Араксинская зона			
I	$\Delta Y = -3,2653 \cdot 10^{-4} Z_1^2 + 0,130 Z_1 - 11,20$	0,663	95—200 балл
II	$\Delta Y = -7,425 \cdot 10^{-4} Z_3^2 + 0,727 Z_3 - 175,3$	0,707	410—560 балл
	$\Delta Y = -0,0334 \cdot 10^{-4} V_1^2 + 0,0098 V_1 - 5,20$	0,774	460—2580 м ³ /с
III	$\Delta Y = -0,234 D_1 + 3,81$	-0,772	9—25 дней
	$\Delta Y = -0,110 C_1 + 5,05$	-0,648	24—56 дней
Агдам-Физулинская зона			
I	$\Delta Y = -4,6841 \cdot 10^{-4} Z_5^2 + 0,1797 Z_5 - 15,69$	0,833	100—290 балл
II	$\Delta Y = -3,1196 \cdot 10^{-4} Z_4^2 + 0,2008 Z_4 - 29,49$	0,848	180—460 балл
III	$\Delta Y = -0,406 D_1 + 2,16$	-0,790	0—11 дней
	$\Delta Y = -0,257 D_2 + 1,83$	-0,759	0—17 дней
Казах-Кировабадская зона			
I	$\Delta Y = 0,058 T_1 - 18,36$	0,726	270—375°
	$\Delta Y = -5,628 \cdot 10^{-4} Z_2^2 + 0,2368 Z_2 - 22,50$	0,754	125—300 балл
II	$\Delta Y = 0,055 Z_6 - 7,46$	0,684	80—190 балл
	$\Delta Y = -6,161 \cdot 10^{-3} V_1^2 + 0,435 V_1 - 5,77$	0,726	15—56 м ³ /с
III	$\Delta Y = -2,535 \cdot 10^{-3} C_2^2 + 0,173 C_2 - 0,55$	0,764	0—80 дней
	$\Delta Y = -4,38 \cdot 10^{-3} V_2^2 + 0,456 V_2 - 9,50$	0,742	25—80 м ³ /с
В целом по Азербайджанской ССР			
I	$\Delta Y = 0,0397 T_1 - 14,32$	0,776	320—415°
	$\Delta Y = 0,065 U_1 - 4,72$	0,860	40—113 мм
II	$\Delta Y = -1,467 \cdot 10^{-4} T_2^2 + 0,240 T_2 - 97,72$	0,673	650—980°
	$\Delta Y = 0,0526 U_2 - 6,29$	0,819	10—155 мм
	$\Delta Y = -0,1552 \cdot 10^{-4} V_1^2 + 0,0184 V_1 - 3,79$	0,780	220—1000 м ³ /с
III	$\Delta Y = -0,8756 \cdot 10^{-4} T_3^2 + 0,1509 T_3 - 63,30$	0,703	650—1045°
	$\Delta Y = -0,8754 \cdot 10^{-4} D_2^2 + 0,4687 D_2 - 4,47$	0,792	0—25 дней
	$\Delta Y = -0,1186 \cdot 10^{-4} V_2^2 + 0,020 V_2 - 6,56$	0,807	240—1470 м ³ /с

ние и водообеспеченность посевов. При этом во многих случаях, брались не средние значения гидрометеорологических параметров, а их суммарные значения за отдельные периоды развития хлопчатника, учитывающие, таким образом, фактор времени (биологическое время).

В данной работе биологическое время отождествляется суммами эффективных температур, числом дней с высокой температурой выше определенного предела, суммами осадков и дефицита

влажности воздуха и т. д., которые характеризуют различные этапы развития хлопчатника.

Известно, что влияние почти всех факторов внешней среды на основные процессы жизнедеятельности растений (фотосинтез, дыхание, развитие, формирование и созревание элементов продуктивности и т. д.) является нелинейным. Это в полной мере относится и к хлопчатнику. Поэтому на первом этапе работы был определен вид зависимости отклонения средней урожайности хлопчатника от линии тренда с каждым из выбранных показателей. Проведенный поиск статистических связей и расчет показали, что основная часть зависимостей имеет вид логарифмической и параболической кривой (табл. 2).

В табл. 2 приведен материал с учетом динамики роста, развития и формирования элементов продуктивности хлопчатника, начиная с характеристики предпосевного и посевного периодов. Для оценки влияния погодных условий предпосевного периода нами использовались сумма осадков с 1 марта — до начала сева хлопчатника, т. е. до даты устойчивого перехода температуры воздуха через 12°C весной. Выбор этого показателя основан на том, что выпадающие осадки обуславливают степень увлажнения верхнего пахотного слоя почвы и влияют на возможность предпосевных полевых работ. Температурный фактор в этот период определяет срок начала сева.

Оценка благоприятности метеорологических условий последующего периода от начала сева — даты устойчивого перехода температуры воздуха через 12°C весной — до появления массовых всходов нами характеризуется показателями, учитывающими основные факторы жизнедеятельности растений: радиацию, тепло и влагу. Они выражены через сумму среднесуточных значений облачности (общей и нижней) за период от перехода температуры воздуха через 12°C весной до 1 мая, 1 июня и 1 июля, а также за период от второй декады марта до 1 апреля и до 1 июня. Суммы температур воздуха взяты за 30- и 50-дневный весенний периоды от даты устойчивого перехода температуры через 12°C .

Проведенный корреляционный анализ показал, что связи между суммой осадков за период с 1 марта до начала сева и величиной отклонения урожайности от линии тренда оказались слабыми и неустойчивыми. В период от начала сева (переход температуры воздуха через 12°C весной) до появления массовых всходов роль и влияние осадков (U_1) в формировании урожая ощутимые: в целом для республики коэффициент корреляции более 0,80. Связи между суммой осадков и отклонениями урожайности от тренда для трех зон хлопкосеяния Азербайджанской ССР оказались очень слабыми и нечеткими (коэффициенты корреляции менее 0,40). Поэтому эти связи в дальнейшем не использовались как прогностические. В рассматриваемом периоде влияние суммы эффективных температур T_1 как биологическое время, проявлялось очень заметно (коэффициенты корреляции более 0,70) в одной зоне — Казах-Кировабадской и в целом по Азербайджанской

ССР (табл. 2). В двух других зонах хлопкосеяния связи между указанными величинами оказались нечеткими, и они были исключены из дальнейших разработок.

В Азербайджане малые суммы температур имеют отрицательный эффект, а большие их суммы — положительный, т. е. с увеличением сумм температур отрицательное значение ΔU переходит в положительное.

Для всех зон хлопкосеяния Азербайджанской ССР зависимости устанавливались также с суммами общей и нижней облачности. В табл. 2 представлены уравнения, которые характеризуют связи отклонения урожая от тренда с облачностью за периоды: от начала сева до 1 мая (Z_1 — общая, Z_2 — нижняя); 2-я декада марта — май (Z_3 и Z_4 — соответственно общая и нижняя); 2-я декада марта — апрель (Z_5 — нижняя); за май (Z_6 — нижняя). Представленные уравнения характеризуются высокими значениями корреляционного отношения и могут быть использованы как прогностические. Для Кура-Араксинской и Казах-Кировабадской зон хлопкосеяния нами получены уравнения, которые характеризуют связи отклонения урожая с облачностью за период от начала сева до 1 июня или 1 июля (η колеблется от 0,663 до 0,754), т. е. охватывают также второй период развития хлопчатника, а именно от массовых всходов до начала цветения.

В районах хлопкосеяния Советского Союза высокие и стабильные урожаи хлопчатника можно получить только при орошении в сочетании с высокой агротехникой. Считается, что в условиях поливного земледелия теоретически посевы хлопчатника обеспечены влагой. К этому всегда стремятся хлопководы, однако хорошо известно, что в маловодные годы, когда ощущается дефицит поливной воды, потребность хлопчатника во влаге при всем желании не может быть удовлетворена полностью. В результате этого отмечается некоторое уменьшение урожая, что требует внести коррективы в прогнозируемый урожай.

Исследование водообеспеченности посевов хлопчатника было проведено на материалах расходов воды в реках и водохранилищах Азербайджана. Оно позволило провести сопоставление значений расходов воды V с отклонениями урожайности от линии тренда ΔU . Полученные зависимости для Азербайджана имеют вид параболической кривой и их корреляционное отношение изменяется от 0,726 до 0,807 (табл. 2). Для Агдам-Физулинской зоны связи ΔU с водообеспеченностью V не дали положительного результата: коэффициенты корреляции и зависимости незначимы. Для статистической обработки брались расходы воды за периоды апрель—июнь (V_1), апрель—август (V_2), тем самым оценивалось влияние влагообеспеченности на урожай хлопчатника не только начального, но и всего периода вегетации. Поэтому приведенные в табл. 2 уравнения связи могут использоваться и для оценки всего периода — от посева до 1 сентября.

Для периода посев—цветение в качестве предикторов использовались также значения сумм облачности и осадков U_2 за период

начало сева — 1 июня (1 июля), сумма эффективных температур воздуха выше 10°C от даты перехода температуры через 12°C весной до 1 июля (T_2) и до цветения хлопчатника (дата 50% охвата фазой). Коэффициенты корреляции и корреляционные отношения уравнений регрессий, рассчитанных для перечисленных выше предикторов, изменяются в пределах 0,656—0,819.

Нами установлены также корреляционные зависимости, характеризующие основной период вегетации хлопчатника (посев—раскрытие первых коробочек) и отдельно период формирования коробочек, когда закладывается основа урожая хлопка-сырца. Предикторами этих регрессионных зависимостей являются суммы эффективных температур воздуха выше 10°C от посева до 1 сентября ($\eta=0,655$), а также за период от цветения до 1 сентября ($\eta=0,703$) и за июль—август ($\eta=0,659$).

Для хлопкосеющих районов Азербайджана в качестве характеристик неблагоприятных термических и влажностных условий репродуктивного периода хлопчатника взяты сумма дефицита влажности воздуха, число дней с максимальной температурой воздуха $\geq 35^{\circ}\text{C}$, с относительной влажностью воздуха $\leq 25\%$ и число дней с суховеями различной интенсивности. Засухи и суховеи различной интенсивности в большинстве хлопкосеющих районов Азербайджана наблюдаются ежегодно [1, 2]. Дни с суховеями взяты нами по градации Е. Н. Цубербиллер [6].

В результате анализа исследований для районов хлопкосеяния Кура-Араксинской и Казах-Кировабадской зон выявлены обратные и параболические зависимости между величинами отклонения урожайности от тренда и числом дней с суховеями различной интенсивности за июль, август и периоды: июнь—август, июль—август (r от $-0,491$ до $0,813$; η от $0,720$ до $0,791$). В табл. 2 приводятся уравнения, описывающие связи отклонения урожайности от тренда с общим числом дней с суховеями за июль—август (C_1) и июнь—август (C_2), которые могут быть использованы как прогностические.

По всем трем зонам хлопкосеяния и в целом по республике тесные связи проявляются между отклонением урожайности от линии тренда и числом дней с максимальной температурой воздуха $\geq 35^{\circ}\text{C}$ за июль—август (D_1) и июнь—август (D_2). Теснота этих связей характеризуется коэффициентом корреляции от $-0,759$ до $-0,790$ и корреляционным отношением от $0,705$ до $0,792$ (табл. 2).

Значения коэффициентов корреляций связей отклонения урожайности от тренда с суммой дефицита влажности воздуха за июнь—август, июнь—июль, июль, август для Кура-Араксинской зоны и в целом для Азербайджана колеблются от $-0,508$ до $-0,779$, а с числом дней с относительной влажностью воздуха $\leq 25\%$ за июнь—август и июль—август — от $-0,514$ до $-0,619$.

Определенное внимание было уделено и оценке благоприятности агрометеорологических условий осеннего периода — периода созревания и уборки урожая хлопка-сырца. Исследования пока-

зали, что отклонение урожайности от тренда зависит в основном от температуры воздуха осеннего периода. Заметно проявляется прямая связь между отклонением урожайности от линии тренда и суммой среднесуточных температур воздуха за сентябрь—октябрь для Казах-Кировабадской и Агдам-Физулинской зон Азербайджана. Коэффициенты корреляции для этих зон соответственно равны 0,543 и 0,825.

Полученные в процессе разработки регрессионные зависимости отклонений урожайности хлопчатника от линии тренда с производственно-гидрометеорологическими факторами полностью приведены в отчете [5].

Для краткости в табл. 2 представлены только прогностические уравнения связи для расчета урожайности хлопка-сырца в начале мая — I прогноз (после окончания посевной кампании); в начале июля — II прогноз (в период цветения хлопчатника); в начале сентября — III прогноз (в период раскрытия коробочек).

Таким образом, разработанные количественные зависимости, позволяющие рассчитать тренд и оценить влияние гидрометеорологических условий на величину и знак отклонения урожайности от линии тренда, могут быть положены в основу метода долгосрочного (от 3 до 7 мес) агрометеорологического прогноза средней урожайности и валового сбора хлопка-сырца по Азербайджанской ССР и ее хлопковым зонам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Азербайджанской ССР. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 219 с.
2. Агроклиматические условия роста и развития хлопчатника на территории Азербайджана. — Баку: Азерб. УГКС, 1982. — 87 с.
3. Методические указания по составлению прогнозов урожайности и валового сбора хлопка-сырца по областям и республикам Средней Азии. — Ташкент: Узбекское УГКС, 1986. — 28 с.
4. Муминов Ф. А., Осипова Н. И., Рейзвих О. Н. Исследование влияния факторов урожайности хлопчатника для разработки метода прогноза среднеобластного урожая. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 121(202), с. 9—15.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать новые и усовершенствовать существующие методы прогнозов урожайности и валового сбора хлопка-сырца по областям и республикам (Азербайджанская ССР, Казахская ССР)»; заключ. отчет/САНИИ. — № ГР 018400 31319, Инв. № 0286. 0016891, Ташкент, 1985. — 64 с.
6. Цубербиллер Е. А. Агроклиматическая характеристика суховеев. — Л.: Гидрометеониздат, 1959. — 119 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА РОСТ ВОЛОКНА ХЛОПКА-СЫРЦА

Возрастающий рост потребности народного хозяйства в хлопковом волокне ставит вопрос о повышении его качества.

Биологии развития хлопкового волокна в онтогенезе, изменчивости признаков, определяющих технологическую ценность волокна в процессе его роста под влиянием факторов внешней среды уделяется большое внимание, особенно в работах [3, 9, 11]. Многие исследования [4, 6—8] посвящены оценке влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и продуктивность хлопчатника. Однако мало публикаций, отражающих воздействие погодных условий на качественные показатели волокна хлопка-сырца [10, 12].

Термический режим хлопковых полей является важным компонентом природной среды и оказывает существенное влияние на все жизненные процессы хлопчатника, в том числе и на качественные показатели волокна.

Совместные исследования, проведенные сотрудниками САНИИ и Института экспериментальной биологии растений АН УзССР, позволили количественно оценить влияние термического режима на качественные показатели волокна хлопка-сырца. В данной статье обсуждаются некоторые результаты этих исследований.

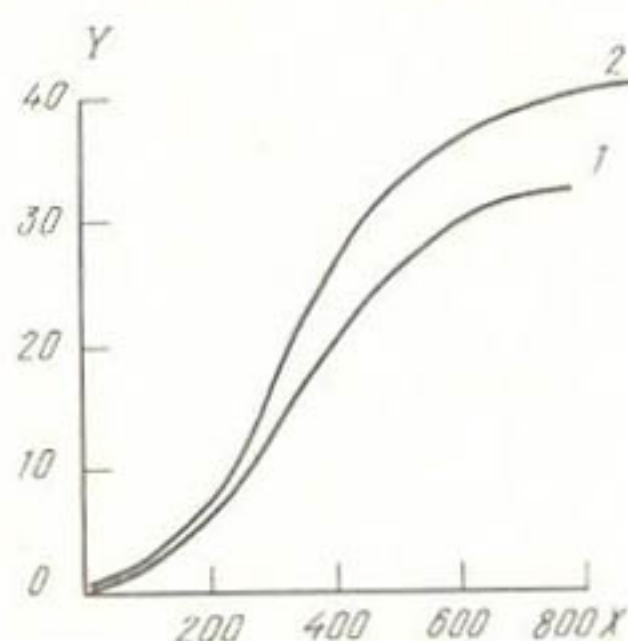
Известно, что основные виды возделываемого хлопчатника резко отличаются по длине волокна. Если у хлопчатника вида *G. hirsutum* L. она составляет 26—38 мм, то у вида *G. barbadense* L. — 40—60 мм, у хлопчатника вида *G. herbaceum* L. — 15—25 мм. Таким образом, длина волокна значительно колеблется как между видами хлопчатника, так и внутри их [1]. Установлено [1—3, 9], что в зависимости от скороспелости сорта рост хлопкового волокна завершается к 30—35 дню с момента начала цветения. В этот период на развитие волокна оказывает влияние температурный режим. Так, при благоприятных погодных условиях (средняя суточная температура воздуха 25—26°C) интенсивный рост волокна в длину происходит в течение 15—20 дней. При неблагоприятных погодных условиях (средняя суточная температура воздуха 21—23°C) интенсивный рост волокна в длину длится от 20 до 23 дней. Рост волокна в длину у скороспелых сортов продолжается 23 дня, у среднеспелых — 23—26 дней, у позднеспелых 30—40 дней.

Обычно при характеристике термических условий периода вегетации хлопчатника в качестве основного показателя используется средняя суточная температура воздуха и ее сумма. Не менее важное значение имеют дневные и ночные температуры и их соотношения, влияющие на процессы фотосинтеза и дыхания [5]. По-

Матрица парных коэффициентов корреляции связи
между агрометеорологическими показателями
и длиной волокна хлопчатника

Предиктор	Предиктант			
	длина волокна, мм	прирост волокна за декаду, мм	прирост волокна за день, мм	длина волокна, % от мак- симальной длины
Сумма средних суточных температур	0,954	0,313	0,501	0,957
Сумма минимальных температур	0,953	0,341	0,514	0,959
Сумма максимальных температур	0,953	0,293	0,489	0,957
Сумма дневных температур	0,946	0,315	0,476	0,949
Сумма ночных температур	—0,945	0,345	0,497	0,949
Сумма эффективных температур выше 10°	0,946	0,400	0,568	0,953
Амплитуда сумм максимальных и минимальных температур	0,948	0,189	0,446	0,944
Средняя температура за период	0,045	0,677	0,456	0,054
Амплитуда максимальных—минимальных температур	0,400	—0,101		0,405

этому нами при выявлении связи между развитием хлопкового волокна и температурными условиями среды было проведено раздельное изучение влияния термического режима в дневные и ночные часы. Сопоставление величин длины волокна с суммами средних суточных максимальных, минимальных температур в возрастной дианмике показало наличие связи.



Зависимость длины волокна хлопчатника (Y) от суммы средних суточных температур воздуха (X):

1 — сорт 108-Ф, 2 — сорт С-6037

Для сорта Ташкент-1 исследовалось влияние различных температурных характеристик как на длину волокна, так и на прирост волокна за день, декаду. На рост длины волокна наибольшее влияние оказывают суммы средних суточных, минимальных, максимальных, дневных, ночных температур воздуха. Эти же предикторы наиболее информативны при оценке влияния термического режима на рост длины волокна в процентах от его максимальной величины (табл.).

Ввиду простоты расчета и удобства при использовании в оперативной практике при установлении регрессионных зависимостей влияния термического режима на рост хлопкового волокна нами используется сумма средних суточных температур воздуха. Характер влияния температурных условий на рост волокна можно представить в виде S-образных биологических кривых (рисунок), которые математически описываются логистическими уравнениями

$$Y = \frac{K}{1 + 10^{a+bx}}, \quad (1)$$

где Y — длина волокна, мм; X — сумма средних суточных температур, °C; a и b — параметры, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба линии регрессии; K — разность между максимальными и минимальными значениями функции.

Таблица 2

Логистические формулы для расчета длины хлопкового волокна
в зависимости от сумм средних суточных температур
в период волокнообразования

Сорт хлопчатника	Логистическая формула	Предел применения формулы
Ташкент-1	$Y = \frac{35,9527}{1 + 10^{1,2297 - 0,003379X}}$	$X = 50 - 750^\circ\text{C}$
108-Ф	$Y = \frac{34,0}{1 + 10^{1,5185 - 0,004328X}}$	$X = 50 - 800^\circ\text{C}$
С-6037	$Y = \frac{40,59734}{1 + 10^{1,4160 - 0,004052X}}$	$X = 50 - 1000^\circ\text{C}$

Для трех сортов хлопчатника (Ташкент-1, 108-Ф, С-6037) найдены значения параметров для логистических формул (табл. 2). Используя полученные формулы, можно найти длину волокна, если известна сумма средних суточных температур за период волокнообразования.

Таким образом, количественно оценено влияние температурного режима на рост длины волокна хлопка-сырца. В дальнейшем будут освещены результаты исследований влияния агрометеорологических условий на ряд других технологических свойств волокна и хозяйственные признаки хлопка-сырца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ищенко Т. Ф., Попова П. Я. Влияние погодных условий на рост волокна в онтогенезе хлопчатника. — Узбекский биолог. журн., 1976, № 5, с. 63—65.
- Ищенко Т. Ф., Попова П. Я. Влияние погодных условий на целлюлозообразование в волокне хлопчатника. — Тезисы докладов. Синтез целлюлозы и его регуляция. Казань, 1980, с. 18—19.

3. К а н а ш М. С. Изменение технологических качеств хлопка-сырца и волокна в процессе роста и развития коробочек хлопчатника. — Изв. АН УзССР, 1950.
4. К а р н а у х о в а В. В. Агрометеорологические условия и продуктивность хлопчатника. — М.: Гидрометеониздат, 1973. — 67 с.
5. М и щ е н к о З. М. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. — М.: Гидрометеониздат, 1952. — 188 с.
6. М у м и н о в Ф. А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — 248 с.
7. М у м и н о в Ф. А., А б д у л л а е в А. К. Агрометеорологическая оценка влагообеспеченности посевов хлопчатника. — Л.: Гидрометеониздат, 1974. — 84 с.
8. М у м и н о в Ф. А., А б д у л л а е в А. К., О с и п о в а Н. И. Агрометеорологическая оценка условий формирования урожая районированных сортов хлопчатника на отдельных полях. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 56(137), с. 3—12.
9. П о п о в а П. Я. Биология развития и технологические свойства хлопкового волокна. — Ташкент: ФАН, 1975. — 175 с.
10. С а ф а р о в Н. А., М а л о в Н. И., А л и е в Я. М. Влияние теплового фактора на длину волокна. — Хлопководство, 1970, № 2, с. 21—22.
11. Хлопчатник. Т. III. — Ташкент: АН УзССР, 1960, с. 364—390.
12. K o h e l R. J., B e n e d i c t C. R. Year effects on partitioning of dry matter into cotton boll components. — Crop Science, 1984, vol. 24, N 2, p. 268—270.

Ф. Ф. РАХМАНОВА

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ СОЗРЕВАНИЯ КОРОБОЧЕК ХЛОПЧАТНИКА В УЗБЕКИСТАНЕ

Увеличение производства хлопка-сырца и повышение качества хлопкового волокна невозможно без полного и всестороннего учета климатических ресурсов районов хлопкосеяния при возделывании хлопчатника.

Урожайность хлопчатника зависит в первую очередь от своевременного проведения целого комплекса агротехнических мероприятий. Вместе с тем существенное влияние на урожайность его и на качество волокна оказывают агрометеорологические условия вегетационного периода и время наступления первых осенних заморозков, прекращающих вегетацию растений и повреждающих несозревшие коробочки. Поэтому при оценке теплообеспеченности хлопчатника за вегетационный период продолжительность периода от раскрытия первых коробочек до осенних заморозков имеет особое значение, так как от продолжительности последнего зависит количество нормально раскрывшихся коробочек. В свою очередь, от числа раскрывшихся коробочек до губительного заморозка зависит количество доморозного высококачественного урожая хлопчатника. В связи с этим оценка агроклиматических ресурсов районов хлопкосеяния в целом за вегетационный период хлопчатника, т. е. за период от посева до созревания сформиро-

вавшихся коробочек, является одним из основных звеньев общей системы мероприятий, направленных на увеличение производства и улучшение качества получаемой продукции этой ценной культуры среднеазиатских республик.

В хлопкосеющих районах Средней Азии для характеристики термических ресурсов территории обычно используют сумму эффективных температур воздуха выше 10°C как более объективно отражающую реальную обстановку жизни растений.

В настоящее время исследованиями ряда ученых установлены показатели потребности в тепле различных по скороспелости сортов хлопчатника [1, 2, 5—7].

Таблица 1

Показатели потребностей растений хлопчатника в тепле за различные периоды вегетации

Сорт хлопчатника	Сумма эффективных температур воздуха выше 10°C				Сумма положительных температур, необходимая для раскрытия всех сформировавшихся коробочек на дату раскрытия первых коробочек
	посев—всходы	всходы—цветение	цветение—раскрытие первых коробочек	посев—раскрытие первых коробочек	
Скороспелый	100	870	760	1730	550
Среднеспелый 108-Ф	100	900	880	1880	750
Группа «Ташкент»	100	900	850	1850	750
Тонковолокнистый	100	930—1000	970—1000	2000—2200	950—1000

Из табл. 1 видно, что потребность хлопчатника в тепле за отдельные периоды вегетации и в целом за период от посева до раскрытия первых коробочек выражена в суммах эффективных

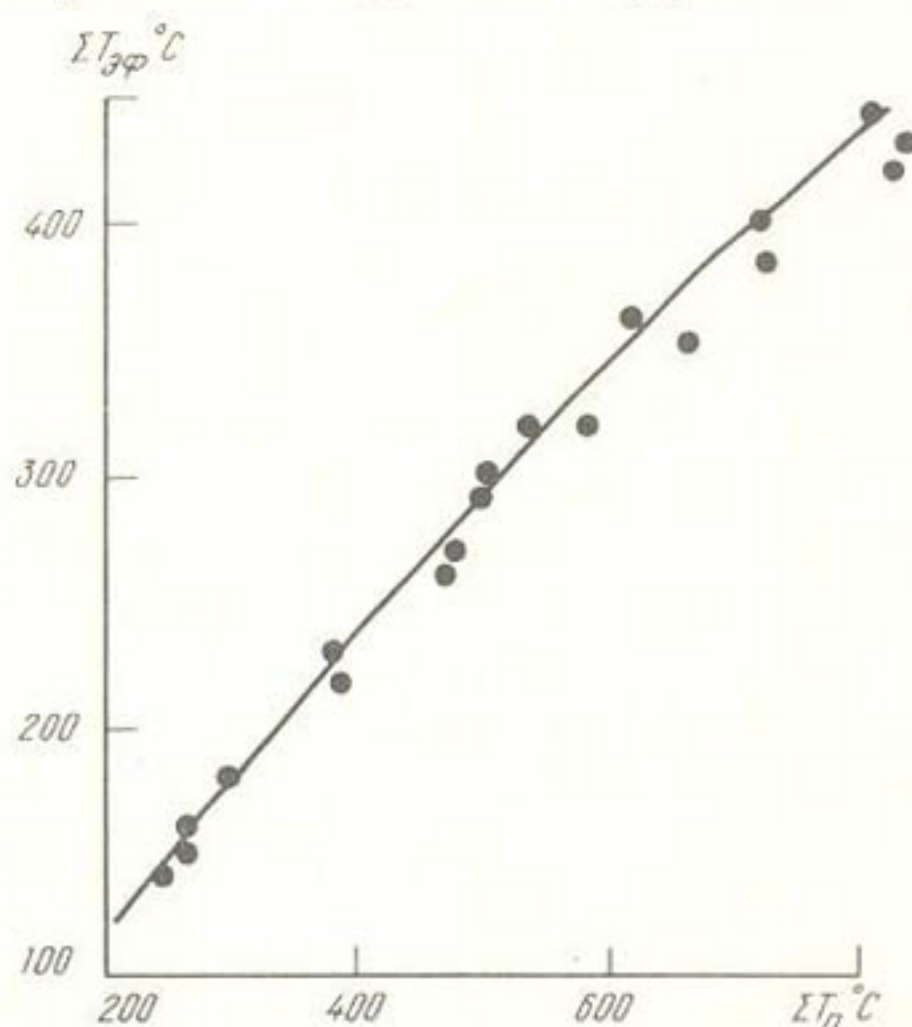


Рис. 1. Связь между суммами эффективных (выше 10°C) и положительных температур за осенний период

температур, а период раскрытия и созревания коробочек — суммами положительных температур (связь между этими суммами показана на рис. 1). Следовательно, для нахождения агрометеорологического (агроклиматического) показателя за период от посева до раскрытия определенного числа коробочек (например, 50, 75, 90 и 100%) прежде всего необходимо найти соотношения между суммой положительных температур (СПТ) и эффективных тем-

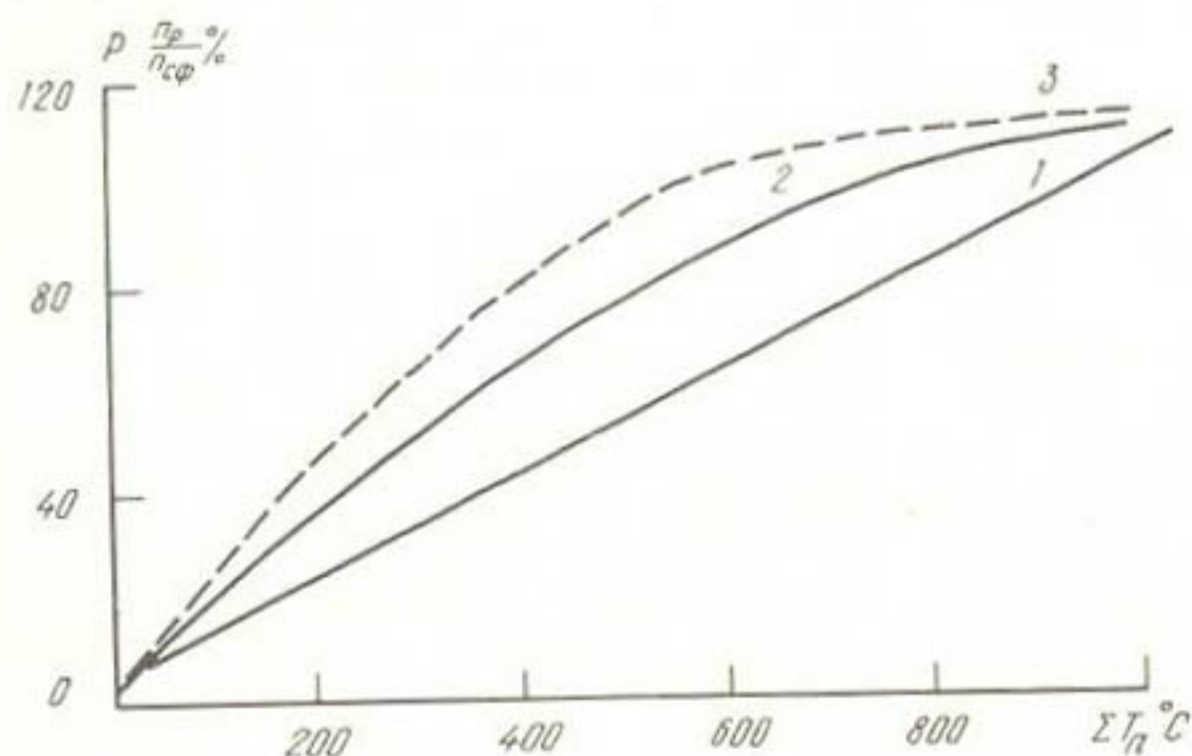


Рис. 2. Зависимость числа раскрывшихся коробочек (% от сформировавшихся) от суммы положительных температур воздуха за осенний период по данным [6, 7]: 1, 2, 3 — соответственно тонковолокнистый, среднеспелый и скороспелый сорта хлопчатника

ператур (СЭТ) воздуха за осенний период с период получения показателя, выраженного в суммах эффективных температур в целом за вегетационный период. На основании двух связей (рис. 2) нами установлены показатели потребностей растений хлопчатника в тепле за период от посева до раскрытия 50, 75 и 90% числа коробочек (табл. 2).

Таблица 2

Потребная сумма эффективных температур воздуха выше 10°C для разных сортов хлопчатника

Количество раскрывшихся коробочек, %	Скороспелый	Среднеспелый	Тонковолокнистый
50	1860	2040—2070	2390—2590
75	1970	2140—2170	2560—2760
90	2030	2250—2280	2680—2880

В условиях Средней Азии средние многолетние суммы эффективных температур воздуха выше 10°C изменяются в районах хлопкосеяния в очень больших пределах: от 2000°C на северных районах до 3400°C на юге.

Для оценки термических ресурсов вегетационного периода нами использована методика Л. Н. Бабушкина. В основе этой методики лежит коэффициент использования термических ресурсов (КИТР) — отношение имеющихся термических ресурсов данной территории (области, района) к термическим ресурсам, потребных для созревания культуры [3]. Для оценки термических ресурсов

Узбекистана для культуры хлопчатника в нашей работе принято отношение наличной (имеющейся) средней суммы эффективных температур за вегетационный период к сумме эффективных температур, необходимой для созревания определенной части коробочек хлопчатника. Формула для определения коэффициента использования термических ресурсов (КИТР) имеет следующий вид:

$$КИТР = \frac{T_{\Phi}}{T_{\text{пот}}}, \quad (1)$$

где T_{Φ} — фактическая (имеющаяся) сумма эффективных температур воздуха выше 10°C за период между датами перехода среднесуточной температуры воздуха через 10°C весной и осенью; $T_{\text{пот}}$ — потребная сумма эффективных температур для созревания коробочек хлопчатника.

Следовательно, для среднеспелых сортов хлопчатника (Ташкент) расчет коэффициента использования термических ресурсов производится по формулам, в которых использована табл. 2.

Для созревания 50% коробочек:

$$КИТР = \frac{T_{\Phi}}{2040}. \quad (2)$$

Для созревания 75% коробочек:

$$КИТР = \frac{T_{\Phi}}{2140}. \quad (3)$$

Для созревания 90% коробочек

$$КИТР = \frac{T_{\Phi}}{2250}. \quad (4)$$

Приведем несколько примеров определения «коэффициента использования термических ресурсов».

В Фергане средняя многолетняя сумма эффективных температур воздуха выше 10°C за вегетационный период составляет 2315°C . В этом случае средние значения КИТРов соответственно равны для раскрытия 50% коробочек —

$$КИТР = \frac{2315}{2040} = 1,13;$$

75% коробочек —

$$КИТР = \frac{2315}{2140} = 1,08;$$

90% коробочек —

$$КИТР = \frac{2315}{2250} = 1,03.$$

Из приведенного примера видно, что в среднем многолетнем в Фергане у хлопчатника среднеспелых (ташкентских) сортов отме-

чается созревание 50, 75 и 90% коробочек из всех сформировавшихся и остаются некоторые ресурсы для раскрытия последующих коробочек (0,13; 0,08; 0,03).

Для более полной оценки возможности получения* доморозного урожая хлопка-сырца, т. е. для получения определенного числа созревших коробочек до первых осенних заморозков, необходимо знать обеспеченность конкретных величин сумм эффективных температур в данной местности. Под обеспеченностью в данном случае подразумевается суммарная повторяемость всех значений рассматриваемого показателя выше или ниже определенного предела.

Методика перехода от средних многолетних сумм активных (эффективных) температур к обеспеченности определенных сумм в отдельные годы разработана в 30-х годах академиком Ф. Ф. Давитая. Для этой цели использована следующая формула [4]:

$$P_i = \frac{m_i}{n+1} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где P_i — обеспеченность, %; m_i — порядковый номер членов статического ряда, расположенных в убывающем порядке; n — число случаев в ряду.

Обеспеченность сумм эффективных температур воздуха за период с температурой воздуха выше 10°C за каждый год определялась за 30-летний ряд по трем станциям Узбекистана (Фергана, Каунчи, Термез). В среднем кривая обеспеченности для трех станций характеризуется небольшим отклонением от средних сумм эффективных температур на $\pm 350^\circ\text{C}$. Следовательно, зная средние многолетние суммы эффективных температур любой станции, можно определить по этим кривым обеспеченность вегетационного периода суммами температур выше любого предела.

В табл. 3 потребная сумма эффективных температур принята как многолетняя сумма эффективных температур воздуха. Поэтому потребные суммы эффективных температур для раскрытия ко-

Таблица 3

Обеспеченность (%) потребных СЭТ и КИТР
для раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек
среднеспелых сортов хлопчатника

Количество раскрывшихся коробочек, %	Показатель	Обеспеченность, %									
		20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
50	СЭТ	1900	1960	2010	2040	2090	2130	2180	2250	2300	2390
	КИТР	0,93	0,96	0,99	1,00	1,02	1,04	1,07	1,10	1,12	1,172
75	СЭТ	2000	2060	2110	2140	2190	2230	2280	2350	2400	2490
	КИТР	0,93	0,96	0,99	1,00	1,02	1,04	1,06	1,10	1,12	1,164
90	СЭТ	2110	2170	2220	2250	2300	2340	2390	2460	2510	2600
	КИТР	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,156

робочек совпадают с вероятностью 50%. Суммы эффективных температур воздуха 2390, 2490 и 2600°C соответствуют 100%-ной теплообеспеченности периода от посева до раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек. Коэффициент использования термических ресурсов для 100%-ной обеспеченности выражается величинами для раскрытия 50% коробочек 1,172, для 75% коробочек — 1,164 и для раскрытия 90% — сформировавшихся коробочек — 1,156.

Используя материалы табл. 3, можно для любого пункта Узбекистана определить обеспеченность хлопчатника среднеспелых сортов теплом, зная значения коэффициентов использования термических ресурсов в этом пункте. Имеющиеся материалы позволяют судить о распределении коэффициента использования термических ресурсов для раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек по территории Узбекской ССР. Значительная часть территории Узбекистана по термическому режиму благоприятна для раскрытия коробочек, в особенности для раскрытия 50% коробочек от всех сформировавшихся коробочек. Наименее обеспечены теплом раскрытие 90% сформировавшихся коробочек. Например, в Ферганской долине обеспеченность раскрытия 90% сформировавшихся коробочек отмечается в 5—8 лет из 10.

Таким образом, впервые для скороспелых, среднеспелых и позднеспелых сортов хлопчатника получены агрометеорологические показатели суммы эффективных температур воздуха выше 10°C за период от посева до раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек хлопчатника. Установлены коэффициенты использования термических ресурсов для раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек. Определены значения средних многолетних сумм эффективных температур, обеспечивающих раскрытие коробочек в 100, 95, 90, 80, 70, 60, 50% лет и т. д. и соответствующие им величины КИТРов.

Разработанная методика оценки термических ресурсов вегетационного периода с учетом условий созревания коробочек хлопчатника для Узбекской ССР и прилегающих к ней районов может быть применена при оценке термических ресурсов и картографирования территории для всей зоны хлопководства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б а б у ш к и н Л. Н. Агроклиматическое районирование хлопковой зоны Средней Азии. — М.: Гидрометеониздат, 1960. — 138 с.
2. Б а б у ш к и н Л. Н. Агроклиматическое описание Средней Азии. — Научные труды. ТашГУ, 1964, вып. 236, с. 5—185.
3. Б а б у ш к и н Л. Н. О коэффициенте использования термических ресурсов. — Труды САРНИГМИ, 1971, вып. 66(81), с. 27—33.
4. Г у л и н о в а Н. В. Методы агроклиматической обработки наблюдений. — Л.: Гидрометеониздат, 1974. — 215 с.
5. К а р н а у х о в а В. В. Агроклиматические условия и продуктивность хлопчатника. — Труды САРНИГМИ, 1973, вып. 13(94). — 88 с.

6. Муминов Ф. А., Абдуллаев А. К., Осипова Н. И. Методические указания по составлению агрометеорологического прогноза фаз развития и темпов раскрытия коробочек хлопчатника районированных сортов. — Ташкент, Изд. УГКС УзССР, 1980. — 27 с.
7. Муминов Ф. А., Осипова Н. И. Методика агроклиматической оценки условий формирования урожая хлопка-сырца. — Ташкент, САНИИ им. В. А. Бугаева, 1982. — 37 с.

Ф. А. МУМИНОВ, О. К. РЫЧКО

МЕТОДЫ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТИ, ФАЗ РАЗВИТИЯ И ОПТИМАЛЬНОГО СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ С ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В КИРГИЗСКОЙ ССР

Получение программируемой урожайности сельскохозяйственных культур в аридных условиях достигается прежде всего путем оптимизации режимов орошения посевов, планирование которых требует прогнозирования определяющих их основных агрометеорологических факторов — теплообеспеченности, фаз развития и суммарного испарения с орошаемых полей. Однако в настоящее время не имеется достаточно совершенных для практического применения в условиях Киргизской ССР методов прогнозов основных агрометеорологических факторов, обуславливающих режимы орошения культур, имеющих необходимую точность и заблаговременность.

В данной работе предлагаются методы долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального (при достаточном увлажнении) суммарного испарения с посевов сельскохозяйственных культур, являющихся главными в агрометеорологическом обеспечении сельского и водного хозяйства. При разработке методов использованы результаты специальных воднотеплобалансовых и фенологических исследований, организованных в 1975—1981 гг. на посевах ведущих орошаемых сельскохозяйственных культур Киргизии (при их оптимальном увлажнении), с использованием стандартных методик и измерительной аппаратуры, применяемой в системе Госкомгидромета СССР [3], а также данные агрометеорологических наблюдений сети метеостанций Киргизского УГКС за 50-летний период.

На основе анализа исходных материалов получена тесная связь между подекадно нарастающими суммами активных температур воздуха выше 5°C , характеризующими теплообеспеченность культур, и датами устойчивого перехода температуры воздуха через 5°C весной. Установлена зависимость между датами наступления фаз развития культур и их оптимальными сроками их массового

посева или возобновления вегетации, близкими к соответствующим (5 или 10°C) температурным пределам. Показано, в том числе с учетом [2, 4], что оценивать и прогнозировать суммарное испарение с посевов орошаемых культур предпочтительнее по температуре воздуха, дающей наилучшие результаты расчета.

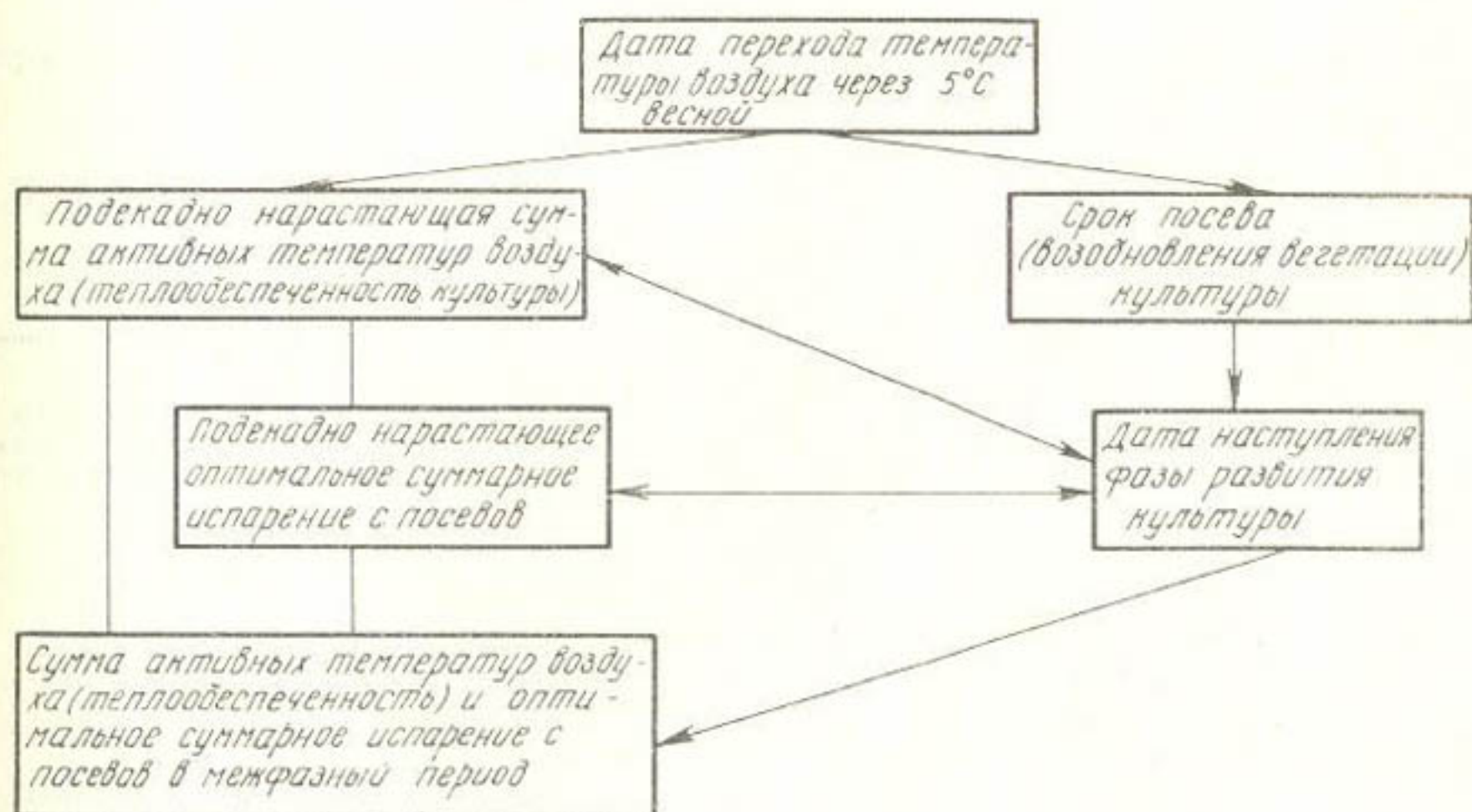
Полученные прогностические зависимости описываются уравнениями вида

$$y = \pm aX^3 \pm bX^2 \pm cX \pm d, \quad (1)$$

$$y = \pm aX^2 \pm bX \pm c, \quad (2)$$

$$y = \pm aX + b. \quad (3)$$

Выявленные предикторы уравнения послужили основой для разработки методов прогнозов, позволяющих с заблаговременностью от 1 до 6 мес прогнозировать теплообеспеченность, фазы развития и оптимальное суммарное испарение озимой пшеницы, сахарной свеклы и кукурузы.



Блок-схема прогнозирования дат наступления фаз развития, теплообеспеченности и оптимального суммарного испарения с орошаемых культур

Последовательность их прогнозирования следующая (рисунок): определяется дата перехода температуры воздуха через 5°C весной D_5 ; по D_5 прогнозируется внутрисезонное подекадно нарастающее распределение суммы активных температур воздуха (теплообеспеченности, ΣT); по оптимальному сроку посева или возобновления вегетации S прогнозируются даты наступления фаз развития сельскохозяйственной культуры; сравнением прогнозируемого внутрисезонного распределения теплообеспеченности с прогнозируемыми датами наступления фаз развития культур определяется теплообеспеченность за рассматриваемые межфазные пе-

риоды; по теплообеспеченности с помощью биоклиматических коэффициентов K прогнозируется оптимальное суммарное испарение за рассматриваемые периоды E .

Дата перехода температуры воздуха через 5°C весной определяется по фактическим данным или прогнозируется по дате перехода через 0°C весной (D_0) по уравнению

$$D_5 = 0,53 D_0 + 45,16, \quad (4)$$

где D_5 и D_0 отсчитываются от 1 января в днях.

$r = 0,76 \pm 0,05$; $\sigma = \pm 5,54$; $n = 50$, пределы применения (4) — от 31 января до 16 марта; здесь и далее r — коэффициент корреляции; σ — ошибка уравнения, дни; n — число членов.

Оптимальные сроки посева (или возобновления вегетации) сельскохозяйственных культур могут предвычисляться по датам перехода температуры воздуха через 5 и 10°C (D_{10}) весной с помощью уравнений связи

Для озимой пшеницы

$$S = 0,99 D_5 + 4,18; \quad (5)$$

$r = 0,86 \pm 0,03$; $\sigma = \pm 5,55$; $n = 36$, пределы применения уравнения от 1 марта до 6 апреля;

Таблица 1

Зависимость между D_5 и подекадно нарастающими суммами активных температур воздуха ($Y^{\circ}\text{C}$)

Число месяцев, декада от D_6	Статистический параметр при $n=50$				Ошибка уравнения регрессии, $^{\circ}\text{C}$
	коэффициент корреляции	среднеквадратическое отклонение, $^{\circ}\text{C}$	коэффициент вариации, %	уравнение регрессии	
1, Y_1	$0,60 \pm 0,07$	20,10	24	$Y_1 = 1,22 D_5 + 2,08$	15,48
2, Y_2	$0,62 \pm 0,07$	35,28	20	$Y_2 = 2,20 D_5 + 13,20$	27,17
3, Y_3	$0,68 \pm 0,07$	62,21	19	$Y_3 = 4,14 D_5 + 18,71$	43,55
4, Y_4	$0,73 \pm 0,06$	79,38	18	$Y_4 = 6,02 D_5 + 32,44$	55,57
5, Y_5	$0,77 \pm 0,06$	99,60	16	$Y_5 = 7,73 D_5 + 12,72$	62,75
6, Y_6	$0,79 \pm 0,06$	117,91	15	$Y_6 = 9,32 D_5 + 32,29$	74,28
7, Y_7	$0,82 \pm 0,05$	134,97	14	$Y_7 = 11,47 D_5 + 57,55$	75,58
8, Y_8	$0,83 \pm 0,05$	146,25	12	$Y_8 = 11,94 D_5 + 219,58$	81,90
9, Y_9	$0,84 \pm 0,05$	148,44	9	$Y_9 = 12,01 D_5 + 422,68$	83,13
10, Y_{10}	$0,84 \pm 0,05$	160,00	9	$Y_{10} = 12,92 D_5 + 563,74$	89,60
11, Y_{11}	$0,83 \pm 0,05$	169,98	8	$Y_{11} = 13,80 D_5 + 723,60$	95,19
12, Y_{12}	$0,81 \pm 0,05$	169,74	7	$Y_{12} = 13,14 D_5 + 1013,44$	95,05
13, Y_{13}	$0,80 \pm 0,06$	179,57	7	$Y_{13} = 13,80 D_5 + 1202,85$	113,13
14, Y_{14}	$0,79 \pm 0,06$	169,28	6	$Y_{14} = 13,41 D_5 + 1474,44$	106,65
15, Y_{15}	$0,77 \pm 0,06$	159,57	5	$Y_{15} = 12,39 D_5 + 1769,40$	100,30
16, Y_{16}	$0,75 \pm 0,06$	147,44	5	$Y_{16} = 11,00 D_5 + 2086,20$	92,89
17, Y_{17}	$0,72 \pm 0,07$	135,97	4	$Y_{17} = 9,88 D_5 + 2350,45$	95,18
18, Y_{18}	$0,69 \pm 0,07$	127,50	4	$Y_{18} = 8,87 D_5 + 2587,56$	89,25
19, Y_{19}	$0,65 \pm 0,07$	128,85	4	$Y_{19} = 8,45 D_5 + 2762,73$	99,21
20, Y_{20}	$0,65 \pm 0,07$	130,07	4	$Y_{20} = 7,92 D_5 + 2911,27$	100,75

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

Межфазный период	Статистический параметр при $n=40$				Ошибка уравнения регрессии, дни
	коэффициент корреляции	среднее квадра- тическое откло- нение дни	коэффициент вариации, %	уравнение регрессии	
Посев — всходы (Y_1)	$-0,84 \pm 0,03$	4,76	34	$Y_1 = -0,53S + 70,01$	2,57
Посев — вторая пара листьев (Y_2)	$-0,73 \pm 0,05$	5,15	17	$Y_2 = -0,55S + 83,32$	3,65
Посев — начало роста корнеплода (Y_3)	$-0,68 \pm 0,06$	6,38	14	$Y_3 = -0,65S + 112,86$	4,78
Посев — смыкание в рядах (Y_4)	$-0,68 \pm 0,06$	7,32	12	$Y_4 = -0,78S + 141,32$	5,39
Посев — закрытие между- рядий (Y_5)	$-0,69 \pm 0,06$	7,67	10	$Y_5 = -0,77S + 158,74$	5,74
Посев — максимальное ис- парение (Y_6)	$-0,70 \pm 0,05$	9,35	9	$Y_6 = -0,92S + 202,37$	6,42
Посев — пожелтение на- ружных листьев (Y_7)	$-0,72 \pm 0,05$	10,70	7	$Y_7 = -1,17S + 268,53$	7,34
Посев — техническая спе- лость (Y_8)	$-0,74 \pm 0,05$	12,09	7	$Y_8 = -1,27S + 300,99$	8,30

для сахарной свеклы

$$S = 0,85 D_5 + 37,61; \quad (6)$$

$r = 0,84 \pm 0,03$; $\sigma = \pm 5,00$; $n = 35$, пределы применения уравнения от 3 марта до 10 апреля;

для кукурузы

$$S = 0,66 D_{10} + 35,95; \quad (7)$$

$r = 0,78 \pm 0,06$; $\sigma = \pm 4,54$; $n = 42$, пределы применения уравнения от 25 марта до 20 апреля. Здесь D_5 и S для озимой пшеницы и сахарной свеклы отсчитываются от 1 января; D_{10} и S для кукурузы — от 1 марта, дни. При этом дата перехода через 10°C весной прогнозируется по D_5 с помощью уравнения

$$D_{10} = 0,69 D_5 - 18,51; \quad (8)$$

$$r = 0,74 \pm 0,06; \sigma = \pm 5,73; n = 50.$$

Здесь D_{10} отсчитывается от 1 марта. Пределы применения (8) — от 1 марта до 8 апреля.

Прогнозирование теплообеспеченности ведется по уравнениям табл. 1, фаз развития — по табл. 2.

Таблица 3

Температурные биоклиматические коэффициенты
оптимального суммарного испарения
основных орошаемых сельхозкультур Северной Киргизии

Сумма температур воздуха от даты по- сева (возобновления вегетации), $^\circ\text{C}$	Люцерна про- шлых лет	Сахарная свекла	Кукуруза на зерно	Яровые колосовые	Озимые колосовые
0—200	0,29	0,17	0,18	0,18	0,25
200—400	0,33	0,19	0,20	0,22	0,31
400—600	0,36	0,21	0,22	0,28	0,34
600—800	0,38	0,23	0,24	0,32	0,37
800—1000	0,25	0,26	0,25	0,35	0,38
1000—1200	0,28	0,28	0,27	0,37	0,36
1200—1400	0,31	0,29	0,29	0,33	0,27
1400—1600	0,35	0,30	0,32	0,24	0,19
1600—1800	0,28	0,32	0,33	0,18	0,13
1800—2000	0,32	0,31	0,31	0,12	—
2000—2200	0,34	0,30	0,30	—	—
2200—2400	0,34	0,28	0,25	—	—
2400—2600	0,25	0,26	0,21	—	—
2600—2800	0,29	0,25	0,18	—	—
2800—3000	0,33	0,23	—	—	—
3000—3200	0,34	0,22	—	—	—
3200—3400	0,24	0,22	—	—	—
3400—3600	0,27	—	—	—	—
3600—3800	0,30	—	—	—	—
Среднее	0,31	0,25	0,25	0,26	0,29

Таблица 4

**Биоклиматические коэффициенты основных орошаемых сельхозкультур
по межфазным периодам**

	Фаза развития						
	вторая пара листьев	начало роста кернапло- да	смыкание в рядках	закрытие междуря- дий	максима- льное испарение	пожелте- ние на- ружных листьев	техничес- кая спе- лость
Сахарная свекла							
От даты сева	0,19	0,20	0,21	0,23	0,26	0,26	0,25
Пофазно	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,26	0,23
	Фаза развития						
	третий лист	тринадцатый лист	выметыва- ние метел- ки	цветение початка	молочная спелость	восковая спелость	
Кукуруза							
От даты сева	0,19	0,22	0,25	0,26	0,26	0,26	
Пофазно	0,20	0,27	0,32	0,33	0,31	0,25	
	Фаза развития						
	выход в трубку		колошение		молочная спелость	восковая спелость	
Озимая пшеница							
От даты возобновления вегетации	0,25		0,32		0,34	0,33	
Пофазно	0,26		0,37		0,36	0,23	

Оптимальное суммарное испарение прогнозируется с помощью биоклиматических коэффициентов (табл. 3, 4) по зависимостям вида

$$E = K \sum t, \quad (9)$$

где K — в мм/°С.

Значения теплообеспеченности или суммарного испарения за любые межфазные или расчетные периоды вычисляются по уравнениям типа

$$E = E_{i+1} - E_i, \quad (10)$$

где E — заданный фактор за искомый период; E_{i+1} — фактор на последующий срок; E_i — то же на предыдущий срок.

Например: прогностическое значение суммарного испарения за период посев—закрытие междурядий (последующий срок) составило 350 мм, за период посев—смыкание в рядках (предыдущий

срок) равняется 250 мм, тогда суммарное испарение в фазу «смыкание в рядках» составит: $350 - 250 = 100$ мм.

Пример составления прогнозов теплообеспеченности фаз развития и оптимального суммарного испарения при D_5 10 марта.

Приводим D_5 к единому арифметическому ряду (отсчетом от 1 января), что дает $D_5 = 69$. По уравнению (6) прогнозируется оптимальный срок посева сахарной свеклы:

$$S = 0,85 \times 69 + 37,61 = 96$$

(что дает срок посева 6 апреля).

По уравнению (4) табл. 2 прогнозируется дата наступления фазы развития «смыкание в рядках»:

$$Y_4 = -0,78 \times 96 + 141,32 = 66,$$

т. е. заданная фаза развития наступит через 66 дней после посева — 11 июня.

Далее, по D_5 , с помощью уравнения (9) табл. 1 определяется сумма температуры воздуха за 9 декад (с 10 марта по 11 июня):

$$Y_9 = 12,01 \times 69 + 422,68 = 1251.$$

Затем определяется сумма температуры воздуха от D_5 до срока посева — уравнение (2) табл. 1:

$$Y_2 = 2,20 \times 69 + 13,20 = 165.$$

Тогда сумма температуры воздуха от посева до фазы «смыкание в рядках» составит: $1251 - 165 = 1086^\circ\text{C}$. Умножив полученную сумму температуры воздуха на соответствующий биоклиматический коэффициент (табл. 4), получим оптимальное суммарное испарение сахарной свеклы за межфазный период «посев—смыкание в рядках»: $1086 \times 0,21 = 228$ мм.

Аналогично прогнозируются фазы развития, сумма температуры воздуха и оптимальное суммарное испарение за любые межфазные периоды других сельскохозяйственных культур.

Применение уравнений типа (1) — (3) для составления прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения сельскохозяйственных культур позволяет предвычислять указанные факторы с достаточной точностью, однако наименьшие погрешности расчетов отмечаются: для прогностических зависимостей теплообеспеченности от D_5 — по уравнениям типа (1); для зависимостей фаз развития от S — по (2); для оптимального суммарного испарения — по (3).

Проверка методов прогнозов на зависимом материале, проведенная согласно [1], показала, что обеспеченность прогнозов в среднем составила для фаз развития 80%, для суммарного испарения — 85%, для теплообеспеченности — 86%.

С помощью предлагаемой методики составлялись прогнозы ука-

занных факторов в оперативных условиях 1983—1985 гг. со следующей средней оправдываемостью: для фаз развития — 78%; для теплообеспеченности — 82%; для суммарного испарения — 80%.

Рассмотренные методы долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения используются в ряде хозяйств и организаций Киргизской ССР для проведения необходимых агротехнических и агромелиоративных мероприятий, планирования рационального использования сельскохозяйственных машин и поливной техники и других водо- и сельскохозяйственных целей со средним экономическим эффектом 18 р./га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению оперативных испытаний новых методов гидрометеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 102 с.
2. Муминов Ф. А., Ибрагимов С. С. Корреляционные зависимости между суммарным испарением с посевов люцерны и метеорологическими факторами. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 40(121), с. 56—68.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. II. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. — Л.: Гидрометеониздат, 1973. — 288 с.
4. Рычко О. К. Прогноз водопотребления орошаемых культур в Чуйской долине Киргизской ССР. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1983, вып. 97(178), с. 73—91.

Ф. А. МУМИНОВ, А. И. КОСТЕНКО

ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА СЕРОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ КИРГИЗИИ

Влагопотребление сельскохозяйственных культур определяется биологическими особенностями растения и почвенно-климатическими условиями выращивания их. Кроме того, оно зависит от объема растительной массы, характера почвы и не может беспрестанно расти.

Потребность растений во влаге в различные периоды их развития неодинакова. В начальные фазы развития растений количество воды, расходуемое ими, сравнительно невелико, затем оно растет и достигает максимума в период наибольшего развития вегетативной массы, в конце вегетации водопотребление вновь снижается. Максимальное водопотребление в течение вегетации растений при оптимальной влажности почвы зависит от энергетических ресурсов среды, если объем растительной массы в данный

период достаточен, чтобы полностью использовать эти ресурсы [3].

Влагообеспеченность посевов сельскохозяйственных культур характеризуется как отношение фактических расходов влаги за определенный период с поля, занятого той или иной культурой, к их возможному расходу, определяемому испаряемостью. Известно, что недостаток влаги в почве так же, как и ее избыток, отрицательно сказывается на качестве и величине урожая сельскохозяйственных культур. Длительный избыток влаги в почве ведет к появлению на корнях растений грибковых заболеваний, что приводит к угнетению растений. Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо постоянное обеспечение их влагой в течение всего периода вегетации.

Располагая необходимыми данными по влажности почвы, с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных растений, влияющих на ход влаги, можно решать вопросы количественной оценки влагообеспеченности посевов с учетом агрономических условий года и установления сроков и норм их полива.

Основной целью настоящей работы является разработка метода расчета норм и сроков полива сельскохозяйственных культур.

Для характеристики влагопотребления растений можно использовать суммарную радиацию, радиационный баланс, дефицит влажности или температуру воздуха [1—3]. Нами в качестве показателя, характеризующего возможный расход влаги, была принята среднесуточная температура воздуха. Оценить влагообеспеченность растений можно путем сопоставления фактических расходов влаги на суммарное испарение (транспирация + испарение с почвы) с необходимыми расходами влаги за данный период.

Необходимый расход влаги можно определить по биологической кривой водопотребления и сумме средних суточных температур воздуха. Биологическая кривая водопотребления выражает зависимость суммарного испарения культуры от растительной массы и изменения ее транспирации вследствие старения.

Для построения этой кривой нами за период появления всходов—прекращение вегетации (за каждую декаду методом теплового баланса) определялось суммарное испарение (E) с каждого поля, занятого конкретной культурой, и подсчитывалась сумма среднесуточных температур воздуха за декаду. Декадные величины отношений наносились на график построения осредненных биологических кривых для кукурузы, люцерны и сахарной свеклы.

Биологические кривые водопотребления получены по материалам наблюдений за суммарным испарением и температурой воздуха за 8 лет на полях учебного хозяйства Киргизского сельхозинститута (Учхоз Кирг СХИ), проведенных воднобалансовой станцией Фрунзе-Западная.

Как видно из данных, снятых с графика осредненных биологических кривых водопотребления сельскохозяйственных культур и приведенных в табл. 1, испарение в целом за вегетационный период, необходимое для создания оптимальных условий развития

растений, можно характеризовать суммой средних суточных температур воздуха с биоклиматическим коэффициентом: для кукурузы — 0,31; для люцерны — 0,29; для сахарной свеклы — 0,22. Следовательно, суммарный расход влаги на испарение с сельскохозяйственных полей в течение вегетации можно найти по формуле:

для кукурузы $E=0,31\Sigma t$;

для люцерны $E=0,29\Sigma t$;

для сахарной свеклы $E=0,22\Sigma t$,

где E — суммарный расход воды на испарение, Σt — сумма средних суточных температур воздуха за вегетационный период.

Таблица 1

Коэффициент биологических кривых водопотребления
основных сельскохозяйственных культур

Месяц	Декада	Сахарная свекла	Кукуруза	Люцерна	Месяц	Декада	Сахарная свекла	Кукуруза	Люцерна
Апрель	1	0,10	0,11	0,28	Июль	1	0,32	0,41	0,31
	2	0,12	0,12	0,29		2	0,31	0,50	0,30
	3	0,13	0,13	0,30		3	0,28	0,50	0,28
Май	1	0,14	0,14	0,36	Август	1	0,26	0,41	0,28
	2	0,16	0,18	0,39		2	0,25	0,39	0,27
	3	0,18	0,32	0,39		3	0,24	0,35	0,26
Июнь	1	0,21	0,34	0,36	Сентябрь	1	0,23	0,34	0,24
	2	0,22	0,37	0,33		2	0,20	0,29	0,20
	3	0,31	0,37	0,31		3	0,17	0,25	0,18

Коэффициенты биологических кривых водопотребления (табл. 1) позволяют ежедекадно оценивать в течение всего вегетационного периода, с учетом агрометеорологических условий конкретного года, влагообеспеченность посевов кукурузы, люцерны, сахарной свеклы и определять сроки и нормы полива. Для этого необходимо иметь сведения о запасах продуктивной влаги в почве, количестве атмосферных осадков и располагать значениями средних суточных температур воздуха [3].

Величина суммарных расходов влаги, необходимая для обеспечения оптимальных условий роста сельскохозяйственных культур в течение декады, есть произведение соответствующих биологических коэффициентов испарения на сумму средних суточных температур воздуха за декаду. Фактические суммарные расходы влаги определяются как разность между запасами продуктивной влаги предыдущей и последующей декад плюс количество осадков за этот период. Сравнивая величины необходимых суммарных расходов, обеспечивающих оптимальные условия роста, с фактическими суммарными расходами, определяют (в процентах), насколько фактические суммарные расходы влаги соответствуют оптимальным условиям влагообеспеченности сельскохозяйственной культуры за рассматриваемый период времени. Оценка суммар-

ной влагообеспеченности культуры за вегетационный период определяется путем сложения оценок за отдельные периоды и деления суммы на их количество.

В табл. 2 приведена влагообеспеченность основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на сероземно-луговых почвах Учхоза КиргСХИ, рассчитанная согласно вышеизложенной методике.

Таблица 2

Влагообеспеченность (%) сельскохозяйственных культур			
Культура	Год		
	1983	1984	1985
Сахарная свекла (семена)	51	86	82
Кукуруза	54	82	72
Люцерна	84	83	84

Как видно из табл. 2, средняя влагообеспеченность за три года составила: у сахарной свеклы (семенной) — 63%, у кукурузы — 69% и люцерны — 79%. Располагая данными о влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, можно прогнозировать их влагопотребление в целом за вегетационный период. Прогнозы водопотребления могут, в свою очередь, служить основой для ежегодной корректировки оросительных норм.

Установление сроков и норм поливов с помощью биологических коэффициентов испарения сельскохозяйственных культур даст возможность своевременно перераспределять поливную воду в хозяйствах и планировать рабочую силу для проведения поливов. Своевременный полив оптимальной нормой повышает урожай, снижает его себестоимость и трудовые затраты при возделывании сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альпатыев А. М. Влагооборот культурных растений. — Л.: Гидрометеиздат, 1954. — 248 с.
2. Мельник Ю. С. Климат и произрастание подсолнечника. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 143 с.
3. Муминов Ф. А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. — М.: Гидрометеиздат, 1970. — 247 с. (Труды САРНИГМИ. Вып. 50(65)).

УТОЧНЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ОСНОВНЫХ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ПОЛИВНЫЕ РЕЖИМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В КИРГИЗИИ

Повышение оправдываемости составленных по методике [3] долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения — основных агрометеофакторов, обуславливающих поливные режимы сельскохозяйственных культур в Киргизии, требует их уточнения по результатам фактических наблюдений.

Для этой цели авторами разработана система уточнения прогнозов указанных агрометеофакторов применительно к озимой пшенице, кукурузе и сахарной свекле, которая здесь излагается на примере последней.

Таблица 1

Корректировочный коэффициент
декадных значений температуры воздуха

Номер декады от D_5						
1	2	3	4	5	6	7
1,40	1,23	1,19	1,14	1,10	1,09	1,07
8	9	10	11	12	13	14
1,05	1,05	1,04	1,04	1,01	0,98	0,96
15	16	17	18	19	20	
0,93	0,90	0,89	0,88	0,86	0,79	

Уточнение прогнозов теплообеспеченности температуры воздуха для смежных декад производится по коэффициентам T (табл. 1). К примеру, известно среднее значение температуры воздуха для третьей декады, начиная от даты перехода через 5°C весной, равное $12,5^\circ\text{C}$. Тогда средняя температура воздуха четвертой декады будет равна: $12,5 \times 1,14 = 14,2^\circ\text{C}$ и т. д.

По наблюдаемым срокам прохождения предыдущих фаз развития сельскохозяйственных культур с помощью уравнений, аналогичных представленным в табл. 2, уточняются прогнозные даты наступления последующих смежных фаз развития. В полученных уравнениях даты наступления фаз развития отсчитываются от срока посева (возобновления вегетации). Например: фаза развития сахарной свеклы «начало роста корнеплода» по данным наблюдений наступила 20 мая; посев был произведен 6 апреля, т. е.

Связь между датами наступления смежных фаз развития сахарной свеклы

Межфазный период	Статистические параметры при $n=42$			Ошибка уравнения регрессии, дни
	коэффициент корреляции	среднее квадратическое отклонение, дни	уравнение регрессии	
Всходы (Y_1) — вторая пара листьев (Y_2)	$0,74 \pm 0,06$	5,15	$Y_2 = 0,80 Y_1 + 18,40$	3,53
Вторая пара листьев (Y_2) — начало роста корнеплода (Y_3)	$0,76 \pm 0,06$	6,38	$Y_3 = 0,94 Y_2 + 18,30$	3,98
Начало роста корнеплода (Y_3) — смыкание в рядках (Y_4)	$0,88 \pm 0,04$	7,32	$Y_4 = 1,01 Y_3 + 14,08$	3,65
Смыкание в рядках (Y_4) — закрытие междурядий (Y_5)	$0,83 \pm 0,05$	7,67	$Y_5 = 0,87 Y_4 + 26,71$	4,31
Закрытие междурядий (Y_5) — максимальное испарение (Y_6)	$0,82 \pm 0,05$	9,35	$Y_6 = 1,00 Y_5 + 28,54$	5,25
Максимальное испарение (Y_6) — пожелтение наружных листьев (Y_7)	$0,84 \pm 0,05$	10,70	$Y_7 = 0,96 Y_6 + 44,33$	6,01
Пожелтение наружных листьев (Y_7) — техническая спелость (Y_8)	$0,90 \pm 0,03$	12,09	$Y_8 = 1,02 Y_7 + 19,95$	6,28

рассматриваемая фаза наступила через 44 дня после посева; подставляя это значение (44) в уравнение (3) табл. 2, получим: $1,01 \times 44 + 14,08 = 58$; т. е. смежная последующая фаза развития сахарной свеклы «смыкание в рядках» наступит через 58 дней после посева, или 3 июня.

Для уточнения прогнозных значений оптимального суммарного испарения сельскохозяйственных культур в периоды после выпадения осадков или проведения поливов используются скорректированные (в зависимости от степени увлажнения, межфазного периода и времени после увлажнения) температурные биоклиматические коэффициенты (табл. 3). К примеру, в течение межфазного периода сахарной свеклы смыкание в рядках — «закрытие междурядий» выпало единовременно 22 мм осадков и известна среднесуточная температура воздуха первого, второго и третьего дня после увлажнения, соответственно 20, 21 и 22°C. Тогда оптимальное суммарное испарение после увлажнения составит: для первого дня — $20^\circ\text{C} \times 0,35 \text{ мм}/^\circ\text{C} = 7,0 \text{ мм}$; для второго — $21 \times 0,34 = 7,1 \text{ мм}$; для третьего — $22 \times 0,33 = 7,7 \text{ мм}$.

Таблица 3

Скорректированные по степени увлажнения температурные биоклиматические коэффициенты оптимального суммарного испарения (мм/°C) сахарной свеклы за различные межфазные периоды при ясной погоде

Увлажнение, мм	Межфазный период					
	посев—вторая пара листьев	вторая пара листьев—начало роста корня	начало роста корня—смыкание в рядках	смыкание в рядках—закрытие междурядий	закрытие междурядий—максимальное испарение	максимальное испарение—пожелтение на ружных листьях
Первый день (после увлажнения)						
10	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36
Третий день						
	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,31
Первый день						
20	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36
Третий день						
	0,29	0,30	0,33	0,33	0,34	0,34
Пятый день						
	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,32
Первый день						
Свыше 30	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36
Третий день						
	0,31	0,32	0,34	0,34	0,35	0,35
Пятый день						
	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,33

Нормы оптимального суммарного испарения (E)
и суммы активных температур воздуха (Σt) по межфазным периодам
основных орошаемых культур

Агрометео- фактор	Межфазный период (от посева)						
	вторая пара листьев	начало роста корне- плода	смыка- ние в рядках	закры- тие меж- дурядий	макси- мальное испаре- ние	пожелте- ние на- ружных листьев	техниче- ская спе- лость
Сахарная свекла							
E мм	72	134	210	340	567	728	780
Σt °C	380	670	1000	1480	2180	2800	3120
Агрометео- фактор	Межфазный период (от посева)						
	третий лист	тринадца- тый лист	выметыва- ние метел- ки	цветение початка	молочная спелость	восковая спелость	
Кукуруза							
E мм	55	224	373	434	512	603	
Σt °C	290	1020	1490	1670	1970	2320	
Агрометео- фактор	Межфазный период (от возобновления вегетации)						
	выход в трубку	колошение		молочная спелость		восковая спелость	
Озимая пшеница							
E мм	48	240		398		479	
Σt °C	190	750		1170		1450	

Значения приведенных в табл. 3 коэффициентов получены для ясной погоды и при наличии облачности продолжительность периодов их действия после увлажнения увеличивается; с учетом исследований [1, 2] при общей облачности 5—6 баллов — в полтора, а при облачности 10 баллов — в два раза (т. е. если при ясной погоде используются коэффициенты для третьего дня после увлажнения, то при постоянной общей облачности в 10 баллов период действия коэффициента увеличивается до шестого дня). Например: в течение межфазного периода сахарной свеклы «начало роста корнеплода—смыкание в рядках» выпало 11 мм осадков, при этом ежедневно наблюдалась облачность 6 баллов, тогда соответствующее этому периоду значение коэффициента для третьего дня после увлажнения (0,28) будет распространяться на четвертый — пятый день.

Прогнозы теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения могут уточняться также по агрометеорологическим показателям влаго- и теплообеспеченности культур, в

виде норм оптимального суммарного испарения и сумм активных температур воздуха, необходимых для наступления конкретных фаз их развития (табл. 4).

Аналогично изложенному производится уточнение долгосрочных прогнозов для озимой пшеницы и кукурузы.

Предлагаемая система уточнения позволяет повысить оправданность прогнозов теплообеспеченности в среднем на 8%, фаз развития — на 13%, оптимального суммарного испарения — на 10% и рекомендуется для использования в идентичных с Киргизией агроклиматических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буров Д. И. Испарение воды парующей почвой и почвой под растительным покровом в условиях Заволжья. — Почвоведение, 1952, № 1, с. 41—52.
2. Козлов М. П. Влияние затенения на суммарное испарение с почвы, покрытой луговой растительностью. — Труды ГГИ, 1964, вып. 46, с. 137—145.
3. Муминов Ф. А., Рычко О. К. Методы долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения с посевов сельскохозяйственных культур в Киргизской ССР (см. настоящий сборник).

Н. С. КОНОВАЛОВА

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ БОГАРНЫХ ЗЕРНОВЫХ В УЗБЕКИСТАНЕ

Продовольственная программа ставит задачу в ближайшие годы обеспечить возрастающие потребности страны в высококачественном продовольственном и фуражном зерне. В Узбекистане в XII пятилетке планируется обеспечить среднегодовое производство зерна в количестве 3,3—3,5 млн. т. При сохранении стабильности посевных площадей зерновых культур основной путь наращивания производства зерна — повсеместное повышение урожайности, в том числе путем наиболее рационального использования почвенно-климатических ресурсов.

Зерновые колосовые культуры в республике возделываются на площади 800 тыс. га. Около 80% этой площади заняты озимыми, а остальные — яровыми зерновыми культурами. Посевы богарных зерновых сосредоточены в Ташкентской, Сырдарьинской, Джизакской, Самаркандской, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областях.

Одним из путей повышения урожайности и увеличения валового сбора зерна является направленное действие агротехнических мероприятий, использование удобрений таким образом, чтобы

наилучшим образом организовать и поддерживать фотосинтетическую деятельность посевов.

Х. Г. Тооминг [7] указывает, что значительное повышение зерновой продуктивности возможно при создании форм растений с повышенной фотосинтетической способностью. Потенциальные возможности земледелия могут быть реализованы только при наличии энергетических ресурсов для повышения уровня агротехники.

Согласно проведенным нами расчетам Узбекская республика имеет значительные энергетические ресурсы фотосинтеза для возделывания зерновых. Так, сумма ФАР за период вегетации зерновых составляет 2100—2900 Мг·Дж.

Целью наших исследований явилось установление потенциальных урожаев зерновых по приходам ФАР. Для всех зерносеющих областей Узбекистана нами были получены коэффициенты хозяйственной эффективности урожая зерновых, возделываемых на богаре ($K_{хоз}$). В нашей работе $K_{хоз}$ рассчитывался как отношение урожая зерна к весу зеленой массы, определенной аэрофотометрическим способом (табл. 1). Как показали расчеты, $K_{хоз}$ изменяется в довольно широких пределах: от 0,09 до 0,46 (в зависимости от сложившихся условий погоды за вегетационный период и уровня агротехники).

Таблица 1

Коэффициент хозяйственной эффективности богарных зерновых

Область	Год									Среднее
	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
Ташкентская	0,22	0,25	0,24	0,09	0,22	0,16	0,17	0,23	0,16	0,19
Самаркандская	0,22	0,21	0,18	0,06	0,15	0,13	0,22	0,24	0,19	0,18
Сырдарьинская	0,26	0,23	0,30	—	0,14	0,12	0,19	0,29	0,16	0,21
Кашкадарьинская	0,26	0,23	0,18	0,10	0,16	0,16	0,26	0,19	0,16	0,19
Сурхандарьинская	—	—	0,46	0,16	0,20	0,34	0,24	0,33	0,32	0,29

Исследованиями Х. Г. Тооминга [6], А. Н. Витченко [1] установлено, что значения $K_{хоз}$ для зерновых находятся в пределах 0,3—0,4. Максимальные значения $K_{хоз}$ для зерновых, как отмечает Тооминг [7], равно 0,55. Нами впервые рассчитаны потенциальные урожаи зерновых при КПД, равном 1 и 2%, значения которых помещены в табл. 2. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что при КПД ФАР, равном 1%, урожайность богарных зерновых может увеличиться до 24—26 ц/га в Ташкентской и Самаркандской областях, а в южных районах — до 38—52 ц/га. По данным ГСУ в отдельных хозяйствах получены такие урожаи при высоком уровне агротехники. Потенциальные урожаи рассчитаны для оптимальных метеорологических условий.

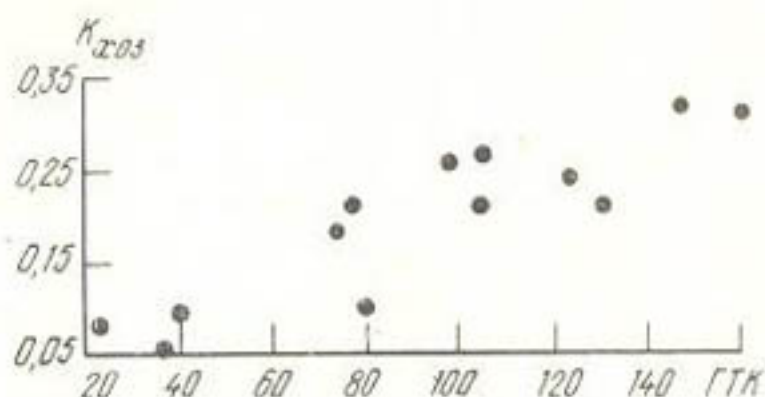
**Потенциально возможные урожаи (ц/га)
богарных зерновых по приходу ФАР**

Область	Потенциально возможный урожай		Фактический, % от потенциального КПД=1 %
	КПД=1 %	КПД=2 %	
Ташкентская	26,0	55,1	34
Самаркандская	24,4	54,9	24
Сырдарьинская	29,7	69,3	24
Қашқадарьинская	38,0	72,2	18
Сурхандарьинская	52,5	101,5	21

Для планирующих организаций важно знать действительно возможные урожаи, т. е. максимально возможный урожай культуры или сорта в реальных метеорологических и почвенных условиях. Разность между потенциально возможным и действительно возможным урожаем показывает на недобор урожая, связанный с тем, что погодные условия не оптимальны.

Формирование урожая — это динамический процесс. Как правило, рост и развитие данной культуры зависят не только от условий данного момента, но в значительной степени определяются предшествующими условиями. В богарном земледелии величину максимально возможного урожая, исходя из реальных метеорологических условий, можно рассчитать по величине влагообеспеченности посевов, являющейся важнейшим фактором урожайности в условиях континентального климата.

Зависимость коэффициента хозяйственной эффективности урожая зерновых от тепловлагообеспеченности



К сожалению, в богарных районах возделывания зерновых культур число станций, ведущих наблюдения за зерновыми, очень невелико и еще меньше станций, определяющих запасы продуктивной влаги в почве. Поэтому нами для установления зависимости $K_{хоз}$ от условий тепло- и влагообеспеченности был использован ГТК, определенный по методу Зубарева, который широко применяется в оперативной практике агрометеобслуживания для характеристики сложившихся условий погоды и оценки их влияния на состояние зерновых культур. Сущность метода сводится к определению ГТК по средним многолетним данным за период активной вегетации зерновых, значения которого принимаются за норму, и ежегодных подекадных отклонений от норм.

Полученная нами зависимость представлена на рисунке. Уравнение связи имеет следующий вид:

$$Y = 0,0016 X + 0,06; \quad (1)$$
$$r = 0,88 \pm 0,0016; S_y = \pm 0,036.$$

где Y — коэффициент хозяйственной эффективности, X — значения ГТК за каждый конкретный вегетационный год.

В засушливые годы значения ГТК очень низки (около 30). В эти же годы соответственно низки и значения $K_{хоз}$ (0,16—0,09). В годы с оптимальными условиями увлажнения значения ГТК составляют 140—150, что соответствует значениям $K_{хоз}$ 0,22—0,33.

Для районов с большой продолжительностью часов солнечного сияния (а к таким относится богарная зона Узбекистана) де Витом [2] установлено, что урожай может быть с достаточной точностью рассчитан по формуле

$$Y = mT/E_0, \quad (2)$$

где Y — урожай сухой биомассы, в кг/га; T — суммарная транспирация за период роста, см; E_0 — среднее испарение с открытой поверхности воды, см/день; m — коэффициент пропорциональности, кг/(га·день).

При оптимальном тепловом режиме коэффициент пропорциональности в этой формуле может быть рассмотрен как потенциальный урожай.

Х. Г. Тооминг, П. Х. Каринг [6] для расчета ДВУ предложили формулу

$$ДВУ = ПУ \cdot E/E_0, \quad (3)$$

где ДВУ — действительно возможный урожай или прирост, E — суммарное испарение, E_0 — испаряемость.

К сожалению, данные по испарению с посевов зерновых на территории республики отсутствуют. Поэтому для показателя E/E_0 нами предложен коэффициент $K_{ГТК}$, определяемый как отношение фактических значений ГТК каждого конкретного года, к ГТК, равного 150, согласно нашим исследованиям характеризующий оптимальные условия увлажнения для зерновых.

Таким образом, приближенно действительно возможный урожай можно определить по формуле

$$ДВУ = K_{ГТК} ПУ. \quad (4)$$

Выполненные нами расчеты (табл. 2) показывают, что разность между потенциальными урожаями и действительно возможными при КПД ФАР, равного 1%, составляют 9—25 ц/га, что соответствует недобору урожая из-за неблагоприятных погодных условий.

Агрометеорологические условия роста, развития и формирования урожайности зерновых колосовых, возделываемых на территории республики, подробно освещены в работах [3—7]. Эти исследования позволили установить, что агроклиматические ресурсы, особенно ресурсы влаги в Узбекской ССР, позволяют получить гарантированные урожаи зерновых колосовых культур на орошаемой территории в узкой полосе среднего пояса гор (1200—1500 м). На остальной территории урожаи низки, неустойчивы по годам, что обусловлено резкой континентальностью климата районов возделывания зерновых культур.

Отношение фактического урожая к действительно возможному — это коэффициент эффективности использования погодных или климатических ресурсов. По определению Тооминга [7], этот коэффициент K_3 показывает, какую долю составляет урожай в производстве от ДВУ. По нашим расчетам, наибольшие коэффициенты (0,60—0,61) отмечаются в Ташкентской и Самаркандской областях, менее всего используются климатические ресурсы в Кашкадарьинской и Джизакской областях (табл. 3).

Таблица 3

Расчетные недоборы урожая богарными зерновыми
из-за неблагоприятных климатических факторов (ПУ—ДВУ),
коэффициенты использования климатических ресурсов (K_3)

Область	$K_{ГТК}$	ДВУ	ПУ	ПУ—ДВУ	K_3
Ташкентская	0,64	15,9	24,9	9,0	0,61
Джизакская	0,72	22,2	30,9	8,7	0,32
Самаркандская	0,61	14,8	24,2	9,4	0,60
Кашкадарьинская	0,54	17,6	32,5	15,9	0,46
Сурхандарьинская	0,70	29,0	42,7	13,7	0,55

В Кашкадарьинской области повысить коэффициент эффективности использования климатических ресурсов возможно путем улучшения плодородия, в Джизакской — путем улучшения культуры земледелия. Для повышения урожайности богарных зерновых в этих областях имеются большие резервы, как природные, так и производственные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В и т ч е н к о А. Н. Агроэкологическая оценка сельскохозяйственной продуктивности ландшафтов Белоруссии. — Автореф. диссертации на соиск. учен. степени канд. геогр. наук. Минск, 1983. — 20 с.
2. Д е В и т С. Заключительное слово председателя IV секции — В кн.: Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. М., Наука, 1972, с. 503—505.
3. З а й н у т д и н о в З. Х., М у м и н о в Ф. А. Зависимость средней областной урожайности озимой пшеницы. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 28(109), с. 52—60.

4. Сабинина И. Г., Сумочкина Т. Е. Методика прогноза среднего областного урожая зерновых колосовых культур на богарных землях Узбекской ССР. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 28(109), с. 61—65.
5. Сумочкина Т. Е. Основные факторы, определяющие перезимовку озимых в Узбекистане. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1983, вып. 88(169), с. 23—30.
6. Тооминг Х. Г., Каринг П. Х. Агроклиматическая оценка потенциального урожая многолетних трав и недобора урожая, обусловленного дефицитом влаги. — Метеорология и гидрология, 1977, № 2, с. 81—85.
7. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 264 с.

А. К. АБДУЛЛАЕВ, О. Л. БАБУШКИН, О. Н. ХРАМОВА

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ В БОГАРНЫХ РАЙОНАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Большое значение в сельском хозяйстве республик Средней Азии имеет зерноводство. Только в Узбекистане зерновые культуры занимают площадь около 1 млн. га, что составляет порядка 25% всей посевной площади республики.

На богарных землях Средней Азии в основном сосредоточены зерновые колосовые культуры: пшеница, ячмень. Их урожайность характеризуется резкими колебаниями от года к году. Один из основных факторов, влияющий на формирование урожая зерновых колосовых в условиях богарного земледелия, — запасы продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы, поэтому изучение некоторых особенностей распределения запасов продуктивной влаги в этих районах представляет определенный практический интерес.

К настоящему времени закономерности формирования влагозапасов в почве достаточно полно освещены для центральных районов СССР, проведено агрогидрологическое районирование, составлен «Атлас запасов продуктивной влаги в почве под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на европейской части СССР» [1, 3—5].

Подобные исследования начаты и для богарных районов среднеазиатских республик, для чего были использованы принципы и методы, предложенные в работах [3—5]. Однако удаленность Средней Азии от основных источников атмосферной влаги, сложность рельефа определяют своеобразие естественного увлажнения территории, а в зависимости от этого и распределение влагозапасов в почве.

Основные площади богарных посевов располагаются от нижней границы светлых сероземов, вне которой посевы оказываются не обеспеченными естественной влагой, до высоты 2000 м над ур. м, которая, согласно [2], является верхней границей возделывания зерновых культур.

Анализ ежегодных материалов наблюдений за влажностью почвы отдельных длиннорядных метеостанций, период наблюдений на которых превосходит 35—40 лет, показал, что отклонения средних многолетних значений за более короткий ряд (продолжительностью не менее 7 лет) от средней за максимально возможный период не превышает 12%. Это дало возможность использовать для обобщения данные по влагозапасам в почве метеостанций, наблюдения на которых проводятся 7 и более лет, что вполне сопоставимо с выводами Л. С. Кельчевской для центральных районов СССР [5]. В результате такого отбора для статистической обработки материалов привлечены данные 17 метеостанций Узбекистана, 14 — Таджикистана, 23 — Киргизии и 7 — Туркмении.

Для характеристики особенностей распределения влагозапасов в почве был проведен расчет основных статистических параметров, что позволило рассмотреть временной ход запасов продуктивной влаги. Для большей части Узбекистана и Таджикистана их временной ход имеет ярко выраженный сезонный характер. Наблюдается резкое возрастание запасов влаги в период с октября по март—апрель, после чего отмечается их резкое уменьшение к июню—июлю, когда влагозапасы даже в метровом слое почвы оказываются ниже 30—40 мм. Типичным представителем такого распределения являются районы ГМС Кушрабад, Богарное, Санзар, Бозсу, Душанбе, Гарм, Шахринау и ряд других.

Для ряда районов Киргизии, характеризующихся метеостанциями Ставрополка, Чон-арык, Жангиджер, Фрунзе и другие, типичен более плавный временной ход влагозапасов с неярко выраженным максимумом и повышенными их величинами, достигающими в метровом слое 170—200 мм и более. Своеобразен ход изменения запасов продуктивной влаги в отдельных районах Туркмении (Иолотань, Геок-Тепе, Бахарден, Каахка, Ашхабад), где с ноября по март их значения изменяются незначительно. Здесь определенное влияние на величину влагозапасов оказывает близкое залегание к поверхности грунтовых вод.

Следует сказать, что в погодиных данных по запасам продуктивной влаги нередко отмечаются пропуски. В результате этого при климатической обработке не все декады оказываются обеспеченными достаточным количеством данных. Это требует восстановления отсутствующих средних значений влагозапасов. При анализе материала установлена тесная зависимость между количеством этих запасов в смежные декады. Коэффициент корреляции колеблется от 0,72 до 0,98. В результате расчетов получены уравнения регрессии для вычисления средних значений запасов продуктивной влаги по данным смежных декад с октября по июнь. Данные уравнения хорошо отражают основные изменения во временном ходе рассматриваемого параметра. В качестве примера в табл. 1 представлены уравнения за период с марта по апрель для разных слоев почвы.

Определенный практический интерес представляют также исследования о запасах продуктивной влаги в почве под ранними

Уравнение связи между значениями запасов продуктивной влаги под озимыми зерновыми культурами
в смежные декады

Декады месяца	Слой почвы, мм	Уравнение регрессии	Ошибка уравнения, мм	Предел применения по X
III ₂ —III ₁	0—20	$Y = 0,971 X + 1,126$	1,95	25—52
	0—50	$Y = 0,951 X + 6,030$	3,70	55—122
	0—100	$Y = 0,968 X + 11,903$	8,32	78—236
III ₃ —III ₂	0—20	$Y = 0,908 X + 2,208$	1,87	26—53
	0—50	$Y = 0,864 X + 9,158$	4,17	60—122
	0—100	$Y = 0,926 X + 12,757$	6,13	92—238
IV ₁ —III ₃	0—20	$Y = 0,835 X + 4,864$	5,22	26—60
	0—50	$Y = 0,951 X + 4,291$	11,36	43—130
	0—100	$Y = 0,913 X + 13,163$	9,06	83—259
IV ₂ —IV ₁	0—20	$Y = 0,626 X + 10,480$	4,96	18—69
	0—50	$Y = 0,756 X + 14,961$	7,68	39—156
	0—100	$Y = 0,936 X + 4,530$	8,98	84—262
IV ₃ —IV ₂	0—20	$Y = 1,057 X - 4,921$	2,76	17—55
	0—50	$Y = 1,063 X - 10,981$	7,68	40—128
	0—100	$Y = 0,950 X - 0,512$	7,92	86—257

яровыми зерновыми культурами. Для характеристики влагозапасов под этими посевами в наличии имеются данные только по трем метеостанциям Узбекистана и восьми Киргизии, что недостаточно для обобщения этих материалов на всю богарную зону Средней Азии.

Несмотря на ограниченность материала, была сделана попытка использовать эти данные. В результате установлена тесная статистическая связь между запасами продуктивной влаги в различных слоях почвы под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами, проведен расчет средних многолетних значений влагозапасов в почве под яровыми по соответствующим данным под озимыми культурами. В табл. 2 представлены материалы для оценки влагозапасов под яровыми культурами в метровом слое почвы.

Таблица 2

Многолетние запасы влаги (мм) в почве
под ранними яровыми зерновыми культурами
в зависимости от средних значений влагозапасов под озимыми

Влагоза- пасы под озимыми культура- ми, мм	Март		Апрель			Май			Июнь		
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
50	53	51	48	50	51	52	53	51	50	50	50
60	63	62	58	60	61	63	64	61	60	60	60
70	73	74	67	70	72	74	75	71	69	70	70
80	83	85	77	80	82	84	85	80	70	80	80
90	93	96	85	90	92	95	96	90	90	90	90
100	103	107	95	100	102	105	106	100	100	100	100
120	124	130	113	120	122	126	128	120	118	121	120
140	144	151	131	140	142	147	149	139	137	142	140
160	166	174	150	160	162	168	170	159	157	162	160
180	186	190	169	180	182	190	190	178	178	182	180
200	207	210	186	200	203	210	210	198	199	203	200

Чтобы не загромождать статью цифровым материалом о распределении запасов продуктивной влаги в богарной зоне республик Средней Азии, мы остановились только на описании их некоторых особенностей.

В заключение отметим, что в дальнейшем будут более подробно отражены результаты наших исследований по вопросам изучения закономерностей формирования влагозапасов, агрогидрологического районирования и прочее в условиях богарной зоны Средней Азии в соответствии с разработанными Гидрометцентром СССР и ВНИИСХМ методиками с учетом региональных особенностей рассматриваемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас запасов продуктивной влаги в почве под озимыми зерновыми культурами на европейской части СССР. — М.: ГУГК, 1983.

2. Бабушкин Л. Н. Агроклиматическое районирование Средней Азии. — Научные труды ТашГУ, 1964, вып. 236, с. 186—272.
3. Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага. — Л.: Гидрометеоздат, 1973. — 328 с.
4. Кельчевская Л. С. Научные основы картирования запасов продуктивной влаги под сельскохозяйственными культурами. — Труды ВНИИСХМ, 1983, вып. 6, с. 136.
5. Кельчевская Л. С. Влажность почв европейской части СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1983. — 189 с.

Т. Е. СУМОЧКИНА, Н. С. КОНОВАЛОВА

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ КОРМОВ ПО СЕЗОНАМ ГОДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ПУСТЫННОЙ ЗОНЫ УЗБЕКСКОЙ ССР

Пастбища пустынной зоны Узбекской ССР используются в течение круглого года. В связи с этим для планирования и проведения различных мероприятий в пастбищном хозяйстве необходимо знать сезонные запасы кормов, что дает возможность наиболее рационально их использовать и создавать страховые запасы в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы. Поэтому разработка методов прогноза запасов кормов по сезонам года имеет важное народнохозяйственное значение.

В ранее выполненных исследованиях [1, 3] была разработана методика прогноза урожая пастбищной растительности для основных типов пастбищ Узбекистана. В данной работе анализируются метеорологические факторы, оказывающие наибольшее влияние не только на формирование максимума урожая, но и на сезонное распределение запасов кормов как в зоне в целом, так и в пределах различных территориальных единиц, природных и административных. Исходной информацией послужили данные по урожайности пастбищной растительности, полученные в результате аэрофотометрических обследований, а также метеорологические данные за десятилетний период (1974—1983).

В качестве прогнозируемых величин принимались максимальные значения урожайности и запасов кормов для каждого сезона. В весенний сезон максимум накопления зеленой массы отмечается в конце апреля — начале мая, т. е. в период прекращения роста эфемеров. В летний сезон максимум совпадает с моментом прекращения роста полыни (конец мая — июнь), в осенний период максимум приходится на начало плодоношения саксаула и сочных солянок (сентябрь). К этим периодам приурочено проведение аэрофотометрических обследований и определение урожая пастбищной растительности в районах расположения метеорологических станций.

Во время накопления растительной массы происходит одновременное стравливание, поэтому возникла необходимость в составлении прогноза не только валовых, но и поедаемых запасов кормов по методике, разработанной в [3].

При анализе факторов, определяющих урожайность пастбищ по областям и природным районам, выявилось, что для пастбищной растительности, произрастающей в центральных и южных районах Навоийской области (саксауловый и полынный тип пастбищ), ведущим фактором являются осадки осенне-зимнего периода. Для северного и западного районов (саксаульники с эфемерами) основную роль играют осадки весеннего периода, для восточного района (кустарниковый тип пастбищ) — условия тепло- и влагообеспеченности осеннего периода, характеризуемые числом влажных и теплых декад (ВТД). Коэффициенты корреляции урожайности и поедаемых запасов кормов с этими факторами находятся в пределах 0,55—0,90.

Для пастбищной растительности, произрастающей в районах, прилегающих к гидрометстанциям Акбайтал, Бузаубай, Аякагитма, Джангельды, определяющими факторами являются осадки весеннего периода, теснота связи выражается коэффициентом корреляции 0,49—0,83. В районе ГМС Машикудук на формирование урожая пастбищной растительности наибольшее влияние оказывают зимние условия, которые характеризуются коэффициентом суровости зимы [1], коэффициент корреляции с этим показателем равен 0,60.

Для растительного покрова в районе гидрометстанции Тамды определяющими являются осадки осенне-зимнего периода, существенна их роль также и для Акбайтала ($r=0,65—0,74$). В целом для пустынной зоны республики общую урожайность и поедаемые запасы кормов определяют осадки осенне-зимнего периода ($r=0,90—0,84$). Ведущим метеорологическим фактором формирования осенних запасов кормов в зоне песчаной пустыни оказываются осадки осенне-зимнего периода ($r=0,89$). Они определяют запасы влаги нижних почвенных горизонтов, за счет которых развиваются кустарники и полукустарники, имеющие весенне-летний цикл вегетации.

Анализ факторов, определяющих запасы кормов по районам Навоийской области, выявил, что осадки осенне-зимнего периода определяют запасы на осень в северном и восточном районах ($r=0,96—0,70$), в южном и центральном районах основным фактором являются осадки мая ($r=0,96—0,77$). В западном районе наблюдается отрицательная зависимость осенних запасов от сумм температур выше 20°C за июнь—август ($r=-0,69$). Этот же показатель, но в несколько большей степени ($r=-0,74$), влияет на осенние запасы в Бухарской области, однако определяющим фактором здесь является весенняя урожайность ($r=0,79$).

Осенние запасы кормов в районах гидрометстанций определяют осадки осени и зимы (Тамды, Аякагитма, Чабанказган), осадки мая (Бузаубай), суммы дефицитов влажности воздуха за май

(Акбайтал, Кулкудук), суммы температур воздуха выше 20°C за летний период (Машикудук), весенняя урожайность (Джангельды). Коэффициенты корреляции колеблются от 0,70 до 0,90.

Установленные зависимости выражаются уравнениями регрессии, представленными в табл. 1—4.

Эти уравнения можно использовать для прогноза урожая пастбищной растительности в весенний период с заблаговременностью 1—2,5 мес, на осенний период — с заблаговременностью от 3 до 6 мес.

Таблица 1

Уравнение связи урожайности трав весной
с метеофакторами по районам расположения гидрометстанций

Станция	Уравнение связи	r	ϵ_y	$\bar{y}$	Средняя ошибка, %	Заблаговременность, мес
Акбайтал	$y = 0,016x_1 + 1,26$	0,74	0,34	2,2	16,3	2
Тамды	$y = 0,013x_1 + 1,14$	0,65	0,44	2,0	18,0	2
Машикудук	$y = 0,37x_2 + 1,78$	0,60	0,77	2,4	18,5	2
Бузаубай	$y = 0,018x_3 + 1,16$	0,83	0,23	1,8	7,4	1*
Аякагитма	$y = 0,012x_3 + 1,63$	0,54	0,61	2,2	26,1	1*
Джангельды	$y = 0,012x_3 + 0,99$	0,49	0,44	1,5	27,3	1*

Примечание. y — весенняя урожайность, ц/га; x_1 — сумма осадков за период октябрь—февраль; x_2 — коэффициент суровости зимы; x_3 — сумма осадков за март—апрель; 1* — уравнения одиночные.

Таблица 2

Уравнение связи осенних запасов кормов
с осадками осенне-зимнего периода
по районам расположения гидрометстанций

Станция	Уравнение связи	r	ϵ_y	$\bar{y}$	Заблаговременность, мес
Акбайтал	$y = 0,018x_1 + 0,16$	0,81	0,30	1,2	6
	$y = -0,035x_3 + 2,98$	-0,90	0,23	1,2	3
Машикудук	$y = 0,01x_1 + 0,59$	0,72	0,31	1,7	6
Тамды	$y = 0,013x_1 + 0,25$	0,75	0,32	1,1	6
Кулкудук	$y = 0,01x_1 + 0,04$	0,64	0,42	1,1	6
Аякагитма	$y = 0,013x_1 + 0,34$	0,74	0,35	1,2	6
Кулкудук	$y = -0,03x_3 + 2,48$	-0,73	0,37	1,1	3
Аякагитма	$y = 0,02x_2 + 0,94$	0,64	0,40	1,2	3
Бузаубай	$y = 0,03x_2 + 1,00$	0,84	0,25	1,3	3
Чабанказган	$y = 0,02x_1 + 0,24$	0,70	0,40	1,0	6
	$y = 0,03x_2 + 0,76$	0,70	0,40	1,0	3

Примечание. y — запасы кормов осенью, ц/га; x_1 — сумма осадков за период октябрь—февраль; x_2 — сумма осадков за май; x_3 — сумма дефицитов влажности воздуха за май.

Таблица 3

**Уравнение связи метеофакторов и урожайности весной
по районам Навоийской и Бухарской области**

Район, станция	Уравнение связи	r	ϵ_y	Средняя относите- льная ошибка, %	$\bar{y}$	Залаго- времен- ность, мес
Навоийская обл.						
Северный, Акбайтал	$y = 0,016x_1 + 1,45$	0,69	0,38	14,7	2,4	2
Центральный, Кул- кудук	$y = 0,016x_1 + 0,54$	0,75	0,34	25,5	1,7	2
Западный, Бузаубай	$y = 0,020x_1 + 0,68$	0,55	0,34	17,8	1,65	2
Южный, Тамды	$y = 0,010x_1 + 1,24$	0,56	0,47	15,1	2,0	2
Восточный, Маши- кудук	$y = 0,28x_2 + 1,59$	0,63	0,50	15,5	2,6	4
Бухарская обл.						
	$y = 0,013x_1 + 0,90$	0,73	0,21	11,1	1,4	2

Примечание. y — урожайность весной, ц/га; x_1 — сумма осадков за период октябрь—февраль; x_2 — число ВТД осенью.

Таблица 4

**Уравнение связи метеофакторов и осенних запасов кормов
по районам Навоийской и Бухарской области**

Район, станция	Уравнение связи	r	ϵ_y	Средняя относите- льная ошибка, %	$\bar{y}$	Залаго- времен- ность, мес
Навоийская обл.						
Северный, Акбайтал	$y = 0,017x_1 + 0,43$	0,95	0,12	7,6	1,4	6
Центральный, Кул- кудук	$y = 0,02x_2 + 0,87$	0,77	0,32	22,8	1,2	3
Южный, Тамды	$y = 0,010x_1 + 0,50$	0,86	0,17	11,7	1,2	6
Восточный, Маши- кудук	$y = 0,08x_1 + 0,74$	0,70	0,21	13,7	1,45	6
Бухарская обл.						
Бухарский, Джан- гельды	$y = 0,60y_1 + 0,13$	0,79	0,15	15,1	1,00	6

Примечание. y — запасы кормов осенью, ц/га; x_1 — сумма осадков за период октябрь—февраль; x_2 — сумма осадков мая; y_1 — урожайность весной, ц/га.

Прогноз запасов кормов на летний период имеет месячную за-
благовременность и составляется по результатам расчета весенних
поедаемых запасов кормов с использованием переходных коэффи-
циентов, полученных на основании многолетней динамики поедае-
мых запасов кормов [2, 3]. Значения коэффициентов приведены в
табл. 5. Аналогично рассчитываются запасы кормов на зиму с уче-
том поедаемых запасов весеннего и осеннего периодов. Коэффи-
циент K_1 -зимний используется весной, K_2 -зимний — осенью.

**Переходный коэффициент от валовых запасов кормов
к поедаемым весенним и от весенних поедаемых к летним, осенним и зимним**

Район	Тип пастбищ	К поедаемый весенн й	Переходный коэффициент от весенних поедаемых запасов			
			К летний	К осенний	К ₁ зимний	К ₂ зимний
Навойская обл.						
Северный	Саксауловый (I)	0,65	0,68	1,02	0,76	0,77
	Кустарниковый (II)	0,53	0,57	0,52	0,48	0,92
Западный	Саксауловый (I)	0,55	0,68	1,02	0,76	0,77
	Полукустарниковый (III)	0,12	0,77	0,69	0,46	0,71
Централь- ный	Джусановый (IV)	0,53	0,84	1,08	0,92	0,81
	Кустарниковый (II)	0,53	0,83	1,03	0,93	0,86
	Боялышево-кейреу- ковый (V)	0,23	0,99	0,89	0,64	0,72
Южный	Саксауловый (I)	0,61	0,73	1,25	0,98	0,72
	Кустарниковый (II)	0,15	0,83	1,03	0,93	0,75
Восточный	Джусановый (IV)	0,60	0,84	1,08	0,92	0,85
	Саксауловый (I)	0,64	0,68	1,02	0,76	0,77
	Кустарниковый (II)	0,52	0,76	0,82	0,43	0,70
	Джусановый (IV)	0,65	0,71	1,07	0,85	0,77
	Полукустарниковый (III)	0,12	0,76	0,72	0,53	0,71
Бухарская обл.						
	Саксауловый (I)	0,67	0,80	1,00	0,72	0,72
	Кустарниковый (II)	0,50	0,66	0,57	0,45	0,80
	Полукустарниковый (III)	0,60	0,76	0,72	0,53	0,73
	Джусановый (IV)	0,30	1,00	1,23	1,02	0,84
	Боялышево-кейреу- ковый (V)	0,27	1,00	0,90	0,64	0,71
ККАССР						
Устюрт: северный	Боялышево-кейреу- ковый (V)	0,23	1,00	0,83	0,64	0,71
южный	Биюргуновы (VII)	0,10	1,00	1,11	1,00	0,90
Пустынный северный	Саксауловый (I)	0,66	0,70	1,37	1,11	0,77
	Джусановый (IV)	0,58	0,87	1,11	0,89	0,81
Пустынный южный	Саксауловый (I)	0,66	0,73	1,25	0,98	0,80
	Кустарниковый (II)	0,53	0,57	0,52	0,48	0,92
	Джусановый (IV)	0,58	0,87	1,11	0,89	0,81

Осенне-зимнее отрастание, наблюдающееся в отдельные годы, не может существенно изменить осенние и зимние запасы кормов в пустынной зоне. Как показали наблюдения за пастбищной растительностью, в этот период эфемеры отрастают на 2—4 см, полынь на 1—3 см, отрастание происходит не по всей площади пастбищного массива, поэтому прибавка к запасам кормов не превышает 0,1—0,2 ц/га, что находится в пределах ошибки расчетов.

Прогноз запасов кормов на весенний период оценивается по результатам весенних аэрофотометрических обследований. При

оценке оправдываемости прогноза на летний период следует учитывать, что запасы кормов складываются на нестравленной части эфемеров, частично стравливаемых побегов полыни и кустарников весенне-летней вегетации.

При аэрофотометрических обследованиях, проводимых в июне, фотометрируемая масса складывается из вегетирующих побегов полыни и кустарников. Нестравленную засохшую часть можно определить с помощью коэффициента стравленности, который, по данным геоботанических исследований [2], составляет 0,3—0,4 максимальной урожайности, или по результатам весенних аэрофотометрических обследований в момент массового выгорания.

Для проверки оправдываемости прогноза запасов кормов на осень используются данные осенних аэрофотометрических обследований пастбищной растительности. При отсутствии осенней вегетации у полыни, пожелтении побегов саксаула данные о запасах кормов, рассчитанные по результатам аэрофотометрических обследований, занижаются вследствие ограничений метода. Поэтому на полынных и саксаульных участках, имеющих ограниченную поедаемость в летний период, целесообразно рассчитывать осенние запасы по данным обследований, проведенных в период формирования максимума их урожая (июнь и август).

Расчетные значения запасов кормов на зиму в настоящее время не могут быть оценены из-за отсутствия фактических данных о запасах подножного корма в этот период.

Уравнения, которые могут быть использованы в качестве прогностических, были получены для пустынной зоны в целом, для отдельных природно-ботанических районов, административных областей, а также для территорий, прилегающих к гидрометстанциям (табл. 1—4).

Прогноз урожайности и запасов кормов в целом по Навоийской области дается как суммарный прогноз по районам с учетом их площади. В Бухарской области районы не выделяются.

В связи с ограниченностью данных по урожайности пастбищной растительности по отдельным районам ККАССР предлагается использовать зависимость между весенней урожайностью по этой республике и урожайностью зоны в целом. Уравнение имеет вид

$$y = 0,28x + 1,17; \epsilon_y = 0,25, \quad (1)$$

где y — урожайность пастбищной растительности весной по ККАССР, x — прогнозируемая урожайность весной по зоне в целом. Ошибка уравнения — 15%.

Для прогноза запасов кормов на осень для ККАССР может быть использовано уравнение связи осенних запасов с весенними:

$$y = 0,71x - 0,01; \epsilon_y = 0,3, \quad (2)$$

где y — запасы кормов осенью, x — урожайность пастбищной растительности весной. Ошибка уравнения — 25%.

При составлении прогнозов в целом для пустынной зоны Узбекистана метеорологические показатели осредняются по всем станциям, урожайность определяется как средневзвешенная величина, с учетом площадей, занятых различными типами пастбищ.

Для прогнозов с двухмесячной заблаговременностью используется уравнение

$$y_1 = 0,02 x_1 + 0,82; r = 0,90; \epsilon_y = 0,15; \bar{y} = 1,9, \quad (3)$$

где y_1 — урожайность, x_1 — осадки за осенне-зимний период. Средняя относительная ошибка уравнений 9—11%.

Для расчета поедаемых запасов кормов на весну в качестве прогностического используется уравнение

$$y_2 = 0,01 x_1 + 0,40; r = 0,84; \epsilon_y = 0,11; \bar{y} = 1,0, \quad (4)$$

где x_1 — осадки за осенне-зимний период, y_2 — поедаемые запасы кормов весной (средние по зоне). Средняя относительная ошибка уравнений 9—12%.

Для определения поедаемых запасов кормов на лето средняя по зоне их величина умножается на средневзвешенный переходный коэффициент. При выведении этого коэффициента каждый коэффициент, определенный для типа пастбищ в пределах ботанико-географического района, умножается на площадь типа, полученные результаты суммируются и делятся на всю площадь. Таким образом, средневзвешенный переходный коэффициент от весенних запасов к летним, определенный для всей пустынной зоны, оказался равен 0,7. Прогностические уравнения на осень, имеющие заблаговременность 3—6 мес, помещены в табл. 6.

Таблица 6

Уравнение для прогноза запасов кормов
на осень для пустынной зоны

Уравнение связи	r	ϵ_y	$\bar{y}$	Ошибка, %	Заблаговременность, мес
$y = 0,02x_1 + 0,14$	0,89	0,16	1,2	7	> 6
$y = 0,02x_2 + 0,95$	0,82	0,20	1,2	11	3
$y = 0,93x_3 - 0,57$	0,90	0,15	1,2	11	3

Примечание. y — осенние запасы кормов, ц/га; x_1 — осадки периода октябрь—февраль; x_2 — осадки мая; x_3 — весенняя урожайность.

Расчет запасов на зиму производится по фактическим осенним данным. Оправдываемость составленных прогнозов на независимом материале составила 81—86% по зоне, 66—78% — по территории, прилегающей к станциям, 69—79% — по районам Навоийской и Бухарской области, что позволяет использовать предложенные уравнения при оперативном обеспечении животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ан П. А., Коновалова Н. С. К методике агрометеорологической оценки и прогноза урожайности основных типов пустынных пастбищ Узбекистана. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1981, вып. 83(164), с. 38—44.
2. Методические указания по геоботаническому обследованию естественных кормовых угодий Узбекистана. — Ташкент: изд. Узгипрозем, 1980, с. 37—50, 150—156.
3. Сумочкина Т. Е., Коновалова Н. С. Расчет запасов кормов на осенне-зимний период по результатам весенних аэрофотометрических обследований и метеорологическим параметрам для территории пустынных пастбищ Узбекской ССР. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1985, вып. 93(174), с. 3—15.

Т. Е. СУМОЧКИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ КОРМОВ ПУСТЫННЫХ ТИПОВ ПАСТБИЩ УЗБЕКИСТАНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНЫХ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И АЭРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Вопросы формирования урожайности и распределения запасов кормов по сезонам года на пастбищах Средней Азии многократно исследовались геоботаниками и пастбищеводами [1—5]. Результаты проведенных работ легли в основу расчетов нагрузки скота на пастбищах и установления норм сезонного использования пастбищ.

Развитие дистанционных методов исследования природных ресурсов поставило новые задачи в изучении сезонной динамики запасов кормов, а именно: ежегодно оценивать состояние пастбищ на крупных массивах, выявлять возможности их наиболее рационального использования в течение года, в зависимости от погодных условий и на основании этого определять ежегодную и посезонную нагрузку на пастбища. В этой связи возникла необходимость более детального исследования структуры урожайности различных типов пастбищ, изучения динамики формирования валовых и поедаемых запасов кормов в зависимости от условий года.

Основными типами пастбищ в равнинной зоне Узбекистана являются саксаулово-эфемеровый и полынно-эфемеровый, меньшую площадь занимают солянковые пастбища, встречающиеся в комплексе с основными типами [3]. Максимум урожая в ассоциациях, образующих эти типы, в зависимости от преобладающих видов, приходится на весну (эфемеры), лето (полынь), осень (саксаул, солянки).

Сезонные запасы кормов определяются не только величиной урожайности, но и ее структурой, различной степенью поедаемос-

ти видов, степенью стравленности, которая зависит от количества выпасаемого поголовья и интенсивности выпаса.

В пределах одного и того же типа пастбищ соотношение между валовыми и поедаемыми запасами кормов изменяется в зависимости от видового состава. Для одной и той же ассоциации соотношение изменяется как из года в год, так и от одного сезона к другому и внутри сезона.

По данным наблюдений гидрометстанций пустынной зоны Узбекской ССР и расчетам [6], проведенным по результатам геоботанических исследований, соотношение между поедаемыми и валовыми запасами кормов в период весеннего максимума на саксауловом типе пастбищ составляет 0,55—0,67, на полынном типе — 0,30—0,65. По расчетам, проведенным на основании материалов стационарных ботанических исследований [3], в течение года это соотношение колеблется следующим образом: весной на саксауловом типе — от 0,55 до 0,24, на полынном типе — от 0,38 до 0,32, летом соответственно — от 0,32 до 0,17 и от 0,21 до 0,20; осенью — от 0,31 до 0,60, от 0,15 до 0,50; зимой — от 0,48 до 0,65, от 0,48 до 0,50.

Данные аэрофотометрических обследований пастбищ позволяют определять валовые запасы кормов и являются интегрирующим показателем роста и стравленности пастбищ. Использование этих данных с целью определения нагрузки на пастбища требует выделения поедаемой части из общей урожайности. Значения соотношений между валовыми и поедаемыми запасами, приведенные выше, в большинстве случаев требуют уточнения в связи с конкретными условиями данного года.

На основе анализа многолетних данных гидрометстанций по структуре урожая выявлено, что в период возобновления вегетации (март) доля прироста основного поедаемого индикатора — осочки — составляет в восточных и центральных пустынных районах (ГМС Машикудук—Тамды) 50% общего прироста, в северных и южных (ГМС Акбайтал, Аякагитма) — 80%, на западе (ГМС Бузаубай) — 60%.

В период колошения и созревания (апрель) для восточных и центральных районов это соотношение сохраняется, для западных увеличивается до 75%, для северных — до 90%. Так как декадный прирост осоки хорошо коррелирует с ее линейным ростом ($r=0,68—0,70$ в период колошения и цветения, $0,64—0,43$ — в период созревания), он может быть определен и расчетным путем.

Достаточно надежные связи, позволяющие делать такой расчет, получены для восточных и западных пустынных районов, характеризующихся ГМС Машикудук, Бузаубай, Акбайтал. Они выражаются уравнением

$$y=0,04 x-0,06; r=0,85\pm 0,02; \epsilon_y=0,14; \quad (1)$$
$$\bar{y}=0,55; n=66,$$

где y — декадный прирост осоки, x — высота осоки.

Результаты анализа динамики прироста полыни, по данным гидрометстанций, показывают, что роль ее в общем урожае становится существенной с момента достижения побегами длины 10—12 см, т. е. с третьей декады апреля в южных районах, с первой декады мая — в северных. В этот период, совпадающий с периодом проведения аэрофотометрических обследований, удельный вес полыни в общем урожае составляет в северных районах от 10 до 25%, в западных и центральных — 25—35%, в южных и восточных — 60%. В годы с сухой ранней весной доля полыни в общем урожае в этот период возрастает на 10—20%, в годы с влажной и прохладной весной — уменьшается.

Май является периодом интенсивного роста полыни в северных, центральных и западных районах пустынной зоны, в южных и восточных районах — во влажные годы. За последние 10 лет наиболее интенсивный линейный рост полыни в мае отмечался в 1978, 1979, 1980 гг. (в среднем — более 60% максимума). Слабый прирост был в засушливые 1975 и 1983 гг. (30—40%).

Наиболее тесная связь между длиной побегов полыни и ее декадным приростом отмечается в начальный период ее развития и в конце периода весенней вегетации. В другие периоды увеличение массы кустов полыни определяется не столько ее линейным приростом, сколько увеличением листовой поверхности, появлением дополнительных боковых побегов.

Для группы станций, характеризующих южную и центральную пустынную зону (Бузаубай, Машикудук, Аякагитма, Кулкудук), связь между длиной побегов полыни и величиной ее декадного прироста выражается уравнением

$$y = 0,06x + 0,10; r = 0,86 \pm 0,03; \epsilon_y = 0,41; \quad (2)$$

$$\bar{y} = 1,2; n = 92.$$

Уравнение может быть использовано для определения доли участия полыни в общем урожае.

Активный рост саксаула начинается во второй—третьей декаде мая, в ранневесенний период роль его в урожае незначительна. Длина побегов достигает максимума в июле—августе. В этот период доля участия саксаула в общем урожае составляет около 50% (ГМС Акбайтал, Бузаубай).

Экспедиционными исследованиями в Тамдынском и Нуратинском районах Навойской области было установлено, что в период максимума роста эфемеров удельный вес их от общего прироста на бугристо-грядовых песках с преобладанием саксаула и джузгуна составил в 1984 г. умеренно влажном — 62%, в 1985 г. более сухом — 56%, на закрепленной песчаной равнине с преобладанием полыни колебания доли эфемеров были от 43 до 32%, на щебнисто-суглинистой равнине — 30—18%, на подгорной щебнистой равнине — 35—27%.

Как видно, наиболее резко реагируют на условия увлажнения эфемеры на щебнисто-суглинистом субстрате, где количество их изменяется в два раза.

Наблюдения Кызылкумской экспедиции 1983 г., проводившиеся одновременно на шести участках, характеризующих различные типы пастбищ Тамдынского района, показали, что в течение весеннего периода на одном и том же участке меняется отношение между массой различных видов.

В начале активной вегетации (первая декада апреля) зеленая масса эфемеров составляла 80—100% общего урожая. К первой декаде мая доля эфемеров уменьшилась до 40—60%, на сильно стравленных участках — до 30%, доля полыни, сингрена, джузгуна соответственно возросла с 20—30 до 50—55%. На участках с преобладанием полыни доля ее в течение апреля возросла с 70 до 100%. На песчаных грядах с отдельно стоящим саксаулом эфемеры в течение весеннего периода постоянно доминировали в урожае.

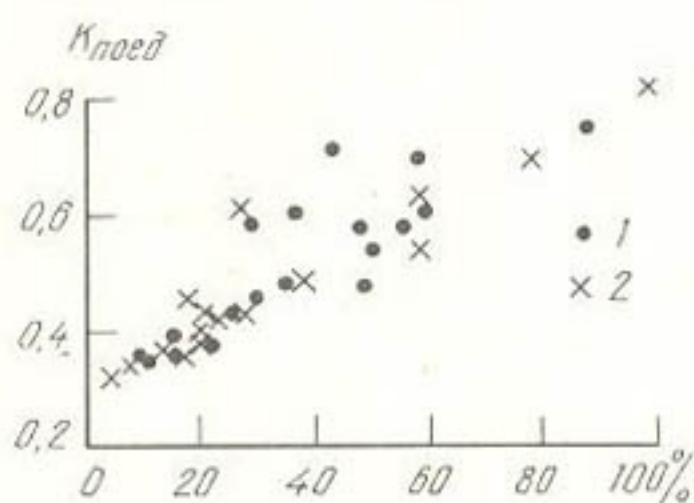


Рис. 1. Зависимость коэффициентов поедаемости от процента эфемеров в общей массе травостоя (Кызылкумская экспедиция):
1 — 1984 г., 2 — 1985 г.

Поедаемые запасы кормов весной определяются в основном урожаем эфемеров, в связи с этим величина отношения поедаемых запасов кормов к валовым (коэффициент поедаемости) находится в прямой зависимости от доли эфемеров в общем урожае (рис. 1).

По данным Кызылкумских экспедиций 1983—1985 гг. осредненные значения коэффициентов поедаемости составили для бугристо-грядовых песков с покровом эфемеров, кустарников и саксаула 0,60—0,65, для песчаной равнины с преобладанием кустарников и полыни — 0,45—0,50, для щебнисто-суглинистых равнин и плато с полыньниками — 0,30—0,40. Фактические коэффициенты, определенные в результате учета урожая по фракциям, отличались от расчетных на саксауловом типе пастбищ на 5—10%, на полынном — на 10—20%, на кустарниковом — на 5—30%. Для небольших по площади ключевых участках расхождения между фактическими и расчетными значениями коэффициентов увеличиваются до 25—50%.

При определении удельного веса полыни и кустарников в общем урожае существенным моментом является подсчет густоты их стояния. По результатам экспедиционных исследований выявилась значительная изменчивость густоты стояния полыни как на разных типах пастбищ в один и тот же период, так и на одном типе от года к году и от сезона к сезону.

Так, на щебнисто-суглинистых подгорных равнинах и плато количество кустов полыни колеблется от 16 до 46 тыс. на гектар (Нурата, Тамды) на закрепленных песках (Тамды, Зеравшан) — от 20 до 30 тыс. га, на разбитых песках и вблизи поселков — от 7 до 10 тыс. га (Учкудук, Кулкудук). Общее количество кустов от сезона к сезону может изменяться в два—шесть раз, при этом особенно резким колебаниям подвержено число мелких кустов. Общее количество кустов имеет коэффициент вариации $C_v=0,65$, коэффициент вариации крупных кустов равен 0,49, а мелких — 0,89. Значительная изменчивость количества кустов полыни требует ее ежегодного учета.

Количество кустов саксаула в районе проведения экспедиционных работ колеблется в пределах 1—5, джузгуна — 4—14, сингрена — 5—40 на 100 м², расчет их количества на 1 га не представляет затруднений.

При определении структуры урожая в период проведения весенних обследований наиболее целесообразно выделять из общего урожая эфемеры, рост которых в этот период завершается. Вторую часть урожая составляют хорошо поедаемые джузгуны, астрагалы и ограниченно поедаемая полынь.

В поздневесенний период полынь составляет основную часть общей массы в южных и центральных районах пустынной зоны, в полупустынной зоне. В северных, восточных и западных районах на саксауловом типе пастбищ до 30% зеленой массы в этот период дает саксаул, практически не поедаемый. В осенний период полынь составляет основу кормовых запасов на типах пастбищ с ее преобладанием. К началу осеннего периода достигает максимума масса саксаула и солянок, которые хорошо поедаются осенью и зимой.

Вследствие того что на пастбищах происходит стравливание травостоя, наблюдаются различия между урожайностью, определенной на нестравленном участке (площадка агрометстанции, стационар) и фактическими запасами кормов на массиве. Анализ совмещенных дистанционных наблюдений по динамике нарастания массы травостоя на пастбищном массиве и наземных на агроплощадке показывает, что в ранневесенний период величина прироста, определенного на площадке, ниже, чем на массиве. Эта разница связана с недоучетом прироста эфемеров, так как в ранневесенний период на станциях определяется в основном прирост осоки, мелкотравье не учитывается. Не учитывается также прирост кустарников, длина веточек которых не достигала 5 см.

В поздневесенний период данные агроплощадок завышают фактические значения запасов, так как на них не производится стравливание. Разница между запасами кормов, определенными в этот период на массиве и на площадке, характеризует величину стравливания.

Учащенные аэрофотометрические наблюдения, проводившиеся в 1984 и 1985 гг., позволили проследить динамику распределения запасов кормов в течение весенне-летнего периода в трех районах

Навоийской области — восточном, южном и северном, а также по отдельным типам пастбищ, характеризующим эти районы. Динамика распределения запасов кормов в южном районе, совмещенная с ходом метеоэлементов и результатами наблюдений по росту основных индикаторов, представлена на рис. 2.

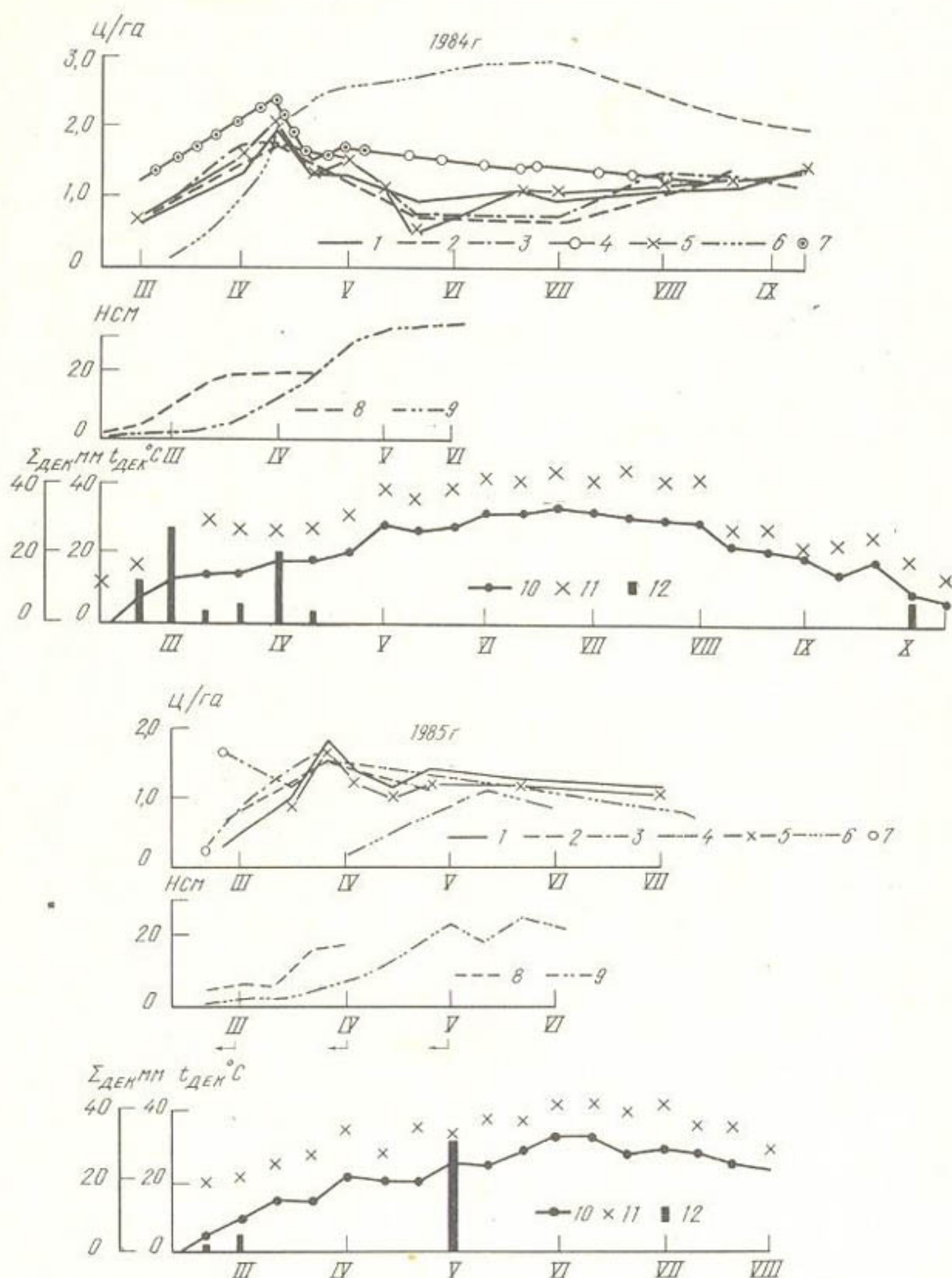


Рис. 2. Динамика запасов кормов. Навоийская область, южный район, Тамды:

1, 2, 3, 4 — соответственно саксауловый, кустарниковый, полынный и черносаксауловый типы пастбищ, 5 — район ГМС, 6 — агроплощадка, 7 — возобновление вегетации весной, 8 — высота осоки, 9 — длина побегов полыни, 10 — среднедекадная температура воздуха, 11 — максимальная температура воздуха, 12 — сумма осадков за декаду

Как видно из рисунка, период интенсивного нарастания запасов кормов при одновременном стравливании приходится на температурный интервал от 5 до 16—18°C. При среднедекадной температуре 20°C и выше и максимальной температуре более 30°C начинается массовое выгорание эфемеров. Сохраняясь в травостое, они желтеют и засыхают, в связи с этим происходит резкий спад динамической кривой.

Разница между максимальными значениями запасов кормов и значениями, полученными в период массового выгорания, характеризует величину остаточного запаса эфемеров, переходящего на лето. Для каждого типа пастбищ величина этого запаса различна. Определяясь условиями увлажнения осенне-зимнего и весеннего периода, она колеблется в пределах от 1,3—0,7 в умеренно увлажненном году (1984) до 0,7—0,4 ц/га в засушливом (1985).

С окончанием выгорания и началом лета кривая запасов выравнивается и очень незначительно изменяется в течение всего летнего периода. Самые низкие значения запасов приходятся на середину и конец лета (0,5—0,7 ц/га). В конце августа и сентябре на саксауловом и полынном типах запасы кормов увеличиваются до 1,0—1,2 ц/га в связи с достижением максимума прироста у саксаула, возобновлением вегетации у полыни. На кустарниковом типе пастбищ запасы продолжают снижаться в результате стравливания.

Запасы кормов, сформировавшиеся и сохранившиеся в сентябре, являются запасами осеннего и зимнего периода.

Совмещенные дистанционные и наземные наблюдения за формированием урожая и динамикой запасов кормов позволили выявить районные особенности динамики запасов, определяемые комплексом ботанических и метеорологических факторов. Так, выявилось, что в восточном районе на кустарниковом типе пастбищ весной выражены два максимума урожайности — в апреле и в мае. Первый определяется максимумом роста эфемеров и ранневегетирующих кустарников, джузгуна, сингрена, астрагала. Второй пик приходится на максимум роста полыни. Снижение запасов в конце апреля связано с интенсивным стравливанием эфемерных пастбищ.

В северном районе, так же, как и в южном, весной наблюдается один максимум урожайности. В северном районе он приходится на первую декаду мая и обусловлен максимумом прироста эфемеров. В южном районе в зависимости от условий года пик урожайности наблюдается в третьей декаде апреля — первой декаде мая и определяется приростом эфемеров и полыни.

По данным дистанционных наблюдений рассчитывались остаточные запасы эфемерного корма как разница между максимальными валовыми запасами и запасами, определенными в период выгорания. Величина остаточных запасов в зависимости от условий увлажнения колебалась в пределах 1,0—1,3 ц/га на саксауловом и кустарниковом типах пастбищ и 0,4—0,7 ц/га — на полынном. Урожай эфемеров, определенный наземным способом

в период максимума, составил на нестравленных участках саксаулового и кустарникового типов пастбищ 1,6—2,5 ц/га, на стравленных и непригодных к использованию, а также на полынном типе — 0,3—0,6 ц/га. В среднем запасы кормов на типе, определенные наземным способом, оказались на 15—20% выше запасов, определенных дистанционными методами, очевидно, в связи с недоучетом стравленности и ошибок при осреднении.

Величина валовых запасов кормов, определенная аэрофотометрическим методом после выгорания эфемеров (конец мая — начало июня), характеризует массу летневегетирующих видов — полыни, саксаула, солянок. Для расчета поедаемых запасов в этот период необходимо знать их соотношение, которое может быть определено по данным наземных наблюдений за приростом.

Таким образом, проводившиеся в течение трех лет исследования сезонной динамики запасов кормов показали необходимость ежегодного определения структуры урожая с целью выявления величины поедаемых запасов кормов для конкретного района и года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика кормовых запасов основных растений пустынных пастбищ Узбекистана. — Ташкент: Изд-во МСХ, 1957. — 139 с.
2. Методические указания по геоботаническому обследованию естественных кормовых угодий Узбекистана. — Ташкент: Изд-во Узгипрозем, 1980, с. 37—40, 150—156.
3. Гаевская Л. С. Каракулеводческие пастбища Средней Азии. — Ташкент, 1971. — 321 с.
4. Николаев В. И., Гладышева Л. Е., Дурдыев Н. Н. Химический состав, питательность и биологическая полноценность пастбищных кормов Каракумов. — Ашхабад; Илым 1980, с. 6—38, 274—295.
5. Морозова О. И. Пастбища в пустыне и предгорной полупустыне. — М.: Гидрометеониздат, 1959. — 98 с.
6. Сумочкина Т. Е., Коновалова Н. С. Расчет запасов кормов на осенне-зимний период по результатам весенних аэрофотометрических обследований и метеорологическим параметрам для территории пустынных пастбищ Узбекской ССР. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1985, вып. 93(174), с. 3—15.

О. Н. РЕЙЗВИХ

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УКОРЕНЕНИЯ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ НА ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩАХ УЗБЕКИСТАНА

Фитомелиорация пустынных пастбищ дает возможность получать за счет искусственно созданных агрофитоценозов высокие и стабильные урожаи кормов.

Основа улучшенных пастбищных массивов закладывается в первый год вегетации фитомелиорантов. Получение дружных всходов, укоренение молодых растений и высокая их приживаемость

определяют в значительной мере успешность фитомелиоративных работ. Поэтому очень важен учет климатических и погодных условий как всего вегетационного цикла, так и отдельных периодов первого года жизни фитомелиорантов. В данной статье будут рассмотрены агрометеорологические условия периода укоренения растений-улучшателей.

С появлением всходов начинается период укоренения растений, который продолжается в течение весны и заканчивается с наступлением лета, что соответствует устойчивому переходу температуры воздуха через 20°C. Известно, что для нормальной жизнедеятельности растений необходимо благоприятное сочетание основных жизненных факторов — тепла, света, влаги и пищи. Характерное для пустынных территорий нарушение соразмерности тепла и влаги несколько смягчается в весенний период. Концентрация осадков, невысокий уровень температуры воздуха и испаряемости способствуют активной вегетации пастбищной растительности. Несмотря на это в большинстве лет решающее значение имеет обеспечение растений влагой. Наиболее полно ресурсы влаги весны можно определить, используя показатель влагообеспеченности (ПВ) А. П. Федосеева [1]:

$$ПВ = \frac{Bв + Oc}{0,5 \Sigma d}. \quad (1)$$

Он учитывает приход влаги, который складывается из аккумулярованных в почве к началу вегетации осенне-зимних осадков ($Bв$) и осадков весеннего периода ($Oс$). Расход влаги растениями определяется как полусумма дефицитов влажности воздуха за весну ($0,5 \Sigma d$).

Влагообеспеченность весеннего периода определяет рост и развитие естественной пастбищной растительности и укоренение фитомелиорантов. Для оценки степени благоприятности весеннего периода для укоренения фитомелиорантов было необходимо выбрать биометрический параметр, отражающий реакцию растений на погодные условия.

Известно, что хорошо развитая корневая система, способная использовать влагу не только верхних, быстро иссушающихся горизонтов почвы, но и более глубоких, создает благоприятные условия для роста и развития молодых растений. Определить глубину проникновения корневой системы визуально невозможно. Однако известны установленные И. Ф. Момотовым, А. Г. Алимжановым, В. М. Падуниной [2] для Юго-Западного Кызылкума, З. Ш. Шамсутдиновым [3] для Карнабчуля и других соотношения «вершков» к «корешкам». Высота растений фитомелиорантов в начале лета в три—пять раз меньше их корневой системы. Проведенные нами полевые опыты на участках Джамского и Сарыкульского стационаров Всесоюзного научно-исследовательского института каракулеводства позволили получить аналогичные соотношения вершков к корешкам.

Таблица 1

Уравнение логистической кривой роста фитомелиорантов

Фитомелиорант	Уравнение
Влагонакопительная борозда	
Изень	$Y = \frac{3,75}{1 + 10^{1,0706 - 0,0128 x}}$
Кейреук	$Y = \frac{13,57}{1 + 10^{1,0993 - 0,0288 x}}$
Черный саксаул	$Y = \frac{12,57}{1 + 10^{1,0633 - 0,0244 x}}$
Песконакопительная борозда	
Изень	$Y = \frac{32,57}{1 + 10^{1,1841 - 0,0256 x}}$
Кейреук	$Y = \frac{20,80}{1 + 10^{1,2967 - 0,0224 x}}$
Черный саксаул	$Y = \frac{11,42}{1 + 10^{1,1078 - 0,0406 x}}$

Агрометеорологические условия укоренения кейреука

Район фитомелиоративных работ	Дата наступления периода ускорения		Продолжительность периода укоренения
	начало	окончание	
Подгорная полынно-эфемеровая пустыня (Карнабчуль)	11 III	5 V	55 (33)
Юго-Западный Кызылкум (Аякагитминский стационар)	27 III	6 V	41 (31)
Юго-Западный Кызыл-Кум (Кызылкумская пустынная станция)	26 III	5 V	40 (29)

Таким образом, все зависимости от района проведения фитомелиоративных работ соотношение высоты растений-улучшателей к глубине проникновения корневой системы остается практически постоянным и колеблется от 1 : 3 до 1 : 5. Следовательно, высоту растений можно использовать в качестве биометрического показателя.

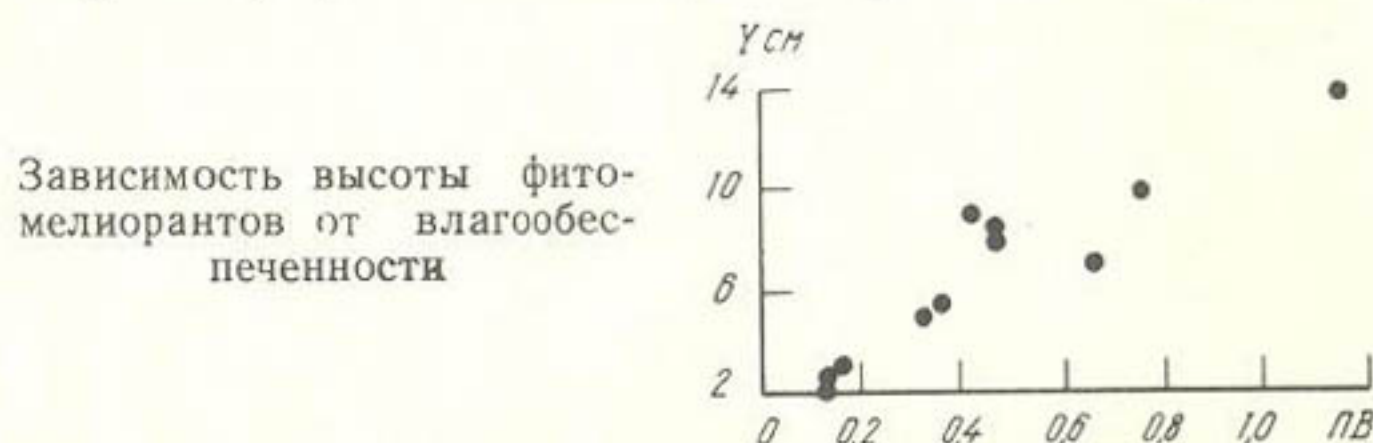
Наглядное представление о влиянии влагообеспеченности на укоренение фитомелиорантов дает рисунок. Связь между высотой растений Y и влагообеспеченностью $ПВ$ довольно тесная и может

быть описана уравнением

$$Y = 11,139 PB + 1,687; \quad (2)$$

$$r = 0,928; S_y = \pm 1,36 \text{ см}, n = 11.$$

При оценке степени благоприятности периода по влагообеспеченности можно использовать критерии, разработанные Федосеевым [1], считая, что при $PB < 0,40$ создаются неблагоприятные условия для роста фитомелиорантов, $PB = 0,40 \div 0,59$ — мало удовлетворительные, $PB = 0,60 \div 0,79$ — удовлетворительные, $0,80 \div 1,0$ — хорошие, $1,0$ — очень хорошие условия.



Все биологические процессы, в том числе и процессы роста фитомелиорантов, отображаются S-образной кривой, которые могут быть описаны логистическими уравнениями. Для основных фитомелиорантов, высеваемых в Юго-Западном Кызылкуме, где применяются различные агротехнические приемы, способствующие

Таблица 2

в районах проведения фитомелиоративных работ

Сумма эффективных температур выше 12 °C за период	PB за весну	Биометрические показатели роста к концу периода укоренения, см	
		высота	длина корней
142(137)	1,27(0,68)	12,2	свыше 40
117(128)	1,14(0,52)	13,7	свыше 40
118(126)	0,24(0,32)	1,5	менее 20

накоплению влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы, рассчитаны параметры уравнения биологической кривой роста. Используя формулы, приведенные в табл. 1, можно определить высоту фитомелиоранта (Y см) по продолжительности периода от появления всходов до данного момента (x дни).

Агрометеорологические условия периода укоренения определяют наряду с лимитирующим фактором и такие показатели, как продолжительность периода укоренения и его теплообеспеченность.

Всходы фитомелиорантов при зимних благоприятных сроках посева обычно появляются в даты, близкие устойчивому переходу температуры воздуха через $10-12^{\circ}\text{C}$ весной. Нами выбрана в качестве отсчета начала периода дата перехода температуры воздуха через 12°C , так как она позволяет учесть несколько большую, чем у полукустарниковых форм, теплолюбивость черного саксаула. Заканчивается период укоренения с наступлением лета, поэтому его продолжительность можно считать ограниченной датами перехода температуры воздуха через 12 и 20°C .

В качестве примера рассмотрим, как складывались агрометеорологические условия укоренения кейреука в районах фитомелиорации пастбищ Узбекистана в 1964 г. (табл. 2). В целом год был благоприятным для укоренения фитомелиорантов. Значения ПВ были выше 1,0, что создавало хорошие условия для развития растений. Теплообеспеченность в пределах климатической нормы, значения которой даны в скобках, и более продолжительный, чем обычно, период укоренения создавали благоприятное сочетание тепла и влаги. Исключение составил район Кызылкумской пустынной станции Института ботаники АН УзССР, где отмечались неблагоприятные условия влагообеспеченности ($\text{ПВ}=0,24$). Это отчетливо проявилось в малой высоте и неглубоко проникшей корневой системе кейреука.

Таким образом, степень благоприятности агрометеорологических условий периода укоренения могут характеризовать влагообеспеченность и высоту растений к концу периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечаева Н. Т., Федосеев А. П. Перспективность фитомелиоративных мероприятий в пустынях Туркменистана в связи с погодными условиями. — Изв. АН ТССР, сер. биол. наук, 1965, № 6, с. 14—22.
2. Теоретические основы и методы фитомелиорации пастбищ Юго-Западного Кызылкума. — Ташкент: Фан, 1973. — 143 с.
3. Шамсутдинов З. Ш. Создание долголетних пастбищ в аридной зоне Средней Азии. — Ташкент: Фан, 1975. — 175 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю. М. Денисов, Б. А. Айзенштат. Метод расчета температуры поверхности оконных стекол	3
Л. П. Лукина. Тепловой режим человека в условиях застройки городов Узбекистана	15
Т. И. Молоснова, О. И. Субботина. Характеристика отдельных элементов климата Голодной степи, Ферганской долины в период орошения и Приаралья в период усыхания моря	20
Т. И. Молоснова, З. Н. Фатхуллаева, Г. С. Хохлов. Результаты спектрального анализа многолетних среднегодовых изменений температуры в Ташкенте и Фергане	25
О. А. Ляпина, О. В. Вторушина, М. М. Саркисянц. Пыльная мгла и пыльные бури на юго-востоке Средней Азии	30
Е. И. Софиев, Н. В. Рязанова, О. А. Ляпина, Е. В. Золотова. Сдвиги модуля ветра в аэропортах Ташкент и Красноводск	43
Л. Б. Гарцман. Вероятностная оценка периодов повторения максимальных значений метеорологических факторов и пути повышения надежности расчетов сооружений на прочность	50
Л. Б. Гарцман. Опыт и перспективы практического использования некоторых нетрадиционных методов решения прикладных климатологических задач	56
Х. Л. Лутфиев. Вертикальные сдвиги ветра на территории Средней Азии	63
<u>Е. Б. Пругер.</u> К вопросу о колебаниях климата и режима вод в голоцене в Арало-Каспийском регионе (обзор)	66
В. А. Володина, Л. М. Приходько, С. Хамраева. Поля вертикальных токов в высотных циклонах	72
Т. С. Конзалаева. Исследование распределения полусуточных сумм осадков в Гиссарской долине Таджикистана	74
Ф. А. Муминов, Н. И. Осипова, А. Н. Юрепина. Метод агрометеорологического прогноза урожая хлопчатника в Азербайджанской ССР	80
А. К. Абдуллаев, Ф. А. Муминов, О. Н. Рейзвих, Т. Ф. Ищенко, Г. Нуридинова. Оценка влияния термического режима на рост волокна хлопка-сырца	87
Ф. Ф. Рахманова. Агроклиматическая оценка термических ресурсов вегетационного периода с учетом условий созревания коробочек хлопчатника в Узбекистане	90
Ф. А. Муминов, О. К. Рычко. Методы долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения с посевов сельскохозяйственных культур в Киргизской ССР	96

Ф. А. Муминов, А. И. Костенко. Влагодобеспеченность основных сельскохозяйственных культур на сероземно-луговых почвах Чуйской долины Киргизии	103
О. К. Рычко, Ф. А. Муминов. Уточнение долгосрочных прогнозов основных агрометеорологических факторов, формирующих поливные режимы сельскохозяйственных культур в Киргизии	107
Н. С. Коновалова. Агроклиматическая оценка потенциальной продуктивности богарных зерновых в Узбекистане	111
А. К. Абдуллаев, О. Л. Бабушкин, О. Н. Храмова. Некоторые особенности распределения запасов продуктивной влаги в богарных районах Средней Азии	116
Т. Е. Сумочкина, Н. С. Коновалова. Методика прогнозирования запасов кормов по сезонам года для различных территориальных уровней пустынной зоны Узбекской ССР	120
Т. Е. Сумочкина. Исследование сезонной динамики запасов кормов пустынных типов пастбищ Узбекистана по результатам наземных агрометеорологических и аэрофотометрических наблюдений	127
О. Н. Рейзвих. Агрометеорологические условия укоренения фитомелиорантов на пустынных пастбищах Узбекистана	134

Сборник научных трудов

Труды САНИГМИ, вып. 130(211)

ВОПРОСЫ МЕТЕОРОЛОГИИ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Редактор *Т. С. Тихонова*
Техн. редактор *В. Н. Силкина*
Корректоры *Р. А. Агафонова, А. М. Меретукова*

Сдано в набор 23.07.1987 г. Подписано к печати 29.03.1988 г. Т—00840
Формат 60×90¹/₁₆ Бумага картогр. Лит. гарн. Печать офсетная Усл. печ. л. 9,25
Усл. кр.-отт. 9,51 Уч.-изд. л. 10,46 Тираж 400 Зак. 919
Индекс М-М-211 Цена 65 к.

Московское отделение Гидрометеоздата 123436 Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 8
Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД
г. Обнинск

УДК 551.584.6+691.6

Метод расчета температуры поверхности оконных стекол. Денисов Ю. М., Айзенштат Б. А. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 3—14.

Рассматриваются методы расчета температуры поверхности инсолируемых оконных стекол. Даны оценки влияния на температуру стекол скорости ветра, коэффициента поглощения радиации стекла, альbedo гардин. Обсуждаются результаты сравнения рассчитанных величин с данными натурных измерений.

Табл. 3. Ил. 2. Библ. 5.

УДК 551.586+502:71

Тепловой режим человека в условиях застройки городов Узбекистана. Лукина Л. П. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 15—20.

Приведены аналитические выражения, позволяющие рассчитать тепловые нагрузки на человека в зоне односторонней и двусторонней застройки. Получены оценки радиационно-теплого влияния застройки в зависимости от ее структуры и геометрических параметров, положения человека относительно строений и границы тени, климатических факторов.

Табл. 1. Ил. 3.

УДК 551.515:551.(524+571)

Характеристика отдельных элементов климата Голодной степи, Ферганской долины в период орошения и Приаралья в период усыхания моря. Молоснова Т. И., Субботина О. И. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 20—25.

Проведено сопоставление происшедших климатических изменений метеорежима, районов различной степени увлажнения с особенностями общей циркуляции атмосферы. Для этого выполнены расчеты линейного тренда, относительного вклада его в общую дисперсию ряда за периоды двух циркуляционных эпох. Выяснено, что на температурный режим решающее влияние оказывает характер общей циркуляции атмосферы.

Табл. 5. Ил. 1. Библ. 4.

УДК 551.519 : 519.2

Результаты спектрального анализа многолетних среднегодовых изменений температуры в Ташкенте и Фергане. Молоснова Т. И., Фатхуллаева З. Н., Хохлов Г. С. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 25—29.

Проведен анализ линейного тренда за различные временные периоды, дана его статистическая оценка для 95%-ного уровня значимости по наблюдениям за среднегодовой температурой в Ташкенте (1877—1980 гг.) и Фергане (1919—1980 гг.).

Результатами спектрального анализа служат периодограммы, оценки спектральных плотностей и спектральных функций. Получено, что спектральные плотности температуры устойчивы, оценки спектров, рассчитанных по данным наблюдений на рассматриваемых станциях, близки между собой.

Табл. 1. Ил. 1. Библ. 5.

УДК 551.555.8

✓ **Пыльная мгла и пыльные бури на юго-востоке Средней Азии.** Ляпина О. А., Вторушина О. В., Саркисьянц М. М. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 30—43.

Приводятся данные о распространении пыли из Юго-Восточных Каракумов на Памиро-Алай; рассматривается связь характеристик пыльной мглы на Памиро-Алае с морфометрическими параметрами местности; по данным дневников погоды АМСГ Термез рассматриваются метеорологические условия «афганцев».

Табл. 11. Ил. 2. Библ. 12.

УДК 551.551.2

Сдвиги модуля ветра в аэропортах Ташкент и Красноводск. Софиев Е. И., Рязанова Н. В., Ляпина О. А., Золотова Е. В. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 43—49.

Обосновывается необходимость непрерывного слежения за сдвигами ветра, приводится описание соответствующей аппаратуры. Показано, что встречаемость умеренных и сильных сдвигов приблизительно одинакова во всех синоптических ситуациях. Обнаружено, что устойчивые умеренные и сильные сдвиги при горно-долинной циркуляции в Ташкенте и бризовой циркуляции в Красноводске не влияют на полеты самолетов.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 7.

УДК 621.315.1+551.58

Вероятностная оценка периодов повторения максимальных значений метеорологических факторов и пути повышения надежности расчетов сооружений на прочность. Гарцман Л. Б. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 50—55.

Установлена связь между периодами повторяемости вероятных максимальных значений метеофакторов и заданными надежностями. Выполнено сопоставление расчетных значений ряда метеофакторов, полученных с учетом достоверности периода повторения и с учетом коэффициентов перегрузок, рекомендованных нормативными документами.

Табл. 1. Ил. 2. Библ. 5.

УДК 621.315.1+551.58

Опыт и перспективы практического использования некоторых нетрадиционных методов решения прикладных климатологических задач. Гарцман Л. Б. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 56—62.

Рассматриваются методы расчетов вероятных экстремальных значений и прикладных структурных характеристик ряда метеорологических и инженерно-метеорологических процессов (гололедно-ветровые нагрузки, напряжения проводов, изгибающие моменты опор ЛЭП; производительность, длительность простоев и непрерывная работа гелио- и ветроэнергетических установок и др.). Ставится вопрос о создании климатических подсистем для автоматизированных систем проектирования и для более общих автоматизированных систем обслуживания и доведения климатологической информации до потребителей.

Ил. 3. Библ. 2.

УДК 551.554

Вертикальные сдвиги ветра на территории Средней Азии. Лутфиев Х. Л. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 63—65.

Исследованы вертикальные сдвиги ветра по данным пункта аэростатного зондирования и базисных шаропилотных наблюдений в различных районах Средней Азии. Показано, что основные закономерности пространственного и временного распределения сдвигов ветра в Средней Азии и ЕТ СССР принципиально не различаются.

Наибольшие вертикальные сдвиги ветра следует ожидать в зонах штормовых ветров.

Табл. 3. Библ. 2.

К вопросу о колебаниях климата и режима вод в голоцене в Арало-Каспийском регионе. **Пругер Е. Б.** Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 66—71.

Дается краткий обзор палеографических и исторических работ, вскрывающих основные закономерности изменчивости климата Средней Азии в голоцене. Показано, что колебания климата в этом регионе характеризовались общими планетарными тенденциями с некоторыми различиями в отдельных районах. Современной сухой и жаркой эпохе предшествовал более увлажненный период (лявляканский плювиал).

Малый климатический оптимум и малый ледниковый период прослеживаются в Средней Азии как по палеоданным, так и по историческим документам.

Библ. 12.

УДК 551.511.3

Поля вертикальных токов в высотных циклонах. Володина В. А., Приходько Л. М., Хамраева С. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 72—74.

Рассмотрены поля вертикальных токов в высотных циклонах, существовавших 5—13 октября, 2—4 декабря 1974 г., 7—11 марта 1976 г. Вертикальные скорости рассчитывались адиабатическим методом в слоях 700—400 и 500—300 гПа. Анализ полей вертикальных токов показал, что при усилении и ослаблении циклонической циркуляции поля вертикальных токов делятся на две части: с восходящими и нисходящими движениями. В период максимального развития высотного циклона они оказываются сложными — наблюдается дробление областей и скорости в них достигают экстремальных значений.

Ил. 1. Библ. 3.

УДК 551.509.313

Исследование распределения полусуточных сумм осадков в Гиссарской долине Таджикистана. Конзалаева Т. С. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 74—80.

На основании анализа полной выборки данных за 1973—1982 гг. оценена вероятность выпадения осадков разной величины, распределение их по территории и в течение года, изменение количества осадков с высотой. Приводятся результаты анализа статистической структуры поля полусуточных сумм осадков для задач осреднения.

Табл. 3. Ил. 3. Библ. 5.

УДК 630 : 551.5 : 631

Метод агрометеорологического прогноза урожая хлопчатника в Азербайджанской ССР. Муминов Ф. А., Осипова Н. И., Юрепина А. Н. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 80—86.

Исследуется влияние гидрометеорологических факторов основных периодов вегетации на урожайность хлопчатника.

Приводятся прогностические уравнения связи, составляющие основу метода долгосрочного (от 3 до 7 мес) агрометеорологического прогноза урожайности и валового сбора хлопка-сырца для Кура-Араксинской, Агдам-Физулинской, Казах-Кировабадской хлопкосеющих зон и в целом для Азербайджана.

Табл. 2. Библ. 6.

УДК 630 : 551.5

Оценка влияния термического режима на рост волокна хлопка-сырца. Абдуллаев А. К., Муминов Ф. А., Рейзвих О. Н., Ищенко Т. Ф., Нуридинова Г. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 87—90.

Рассматривается влияние термического режима на рост хлопкового волокна. Предлагаются логистические формулы, позволяющие рассчитать длину волокна, по сумме средних суточных температур за период волокнообразования.

Табл. 2. Ил. 1. Библ. 12.

УДК 630 : 551.5

Агроклиматическая оценка термических ресурсов вегетационного периода с учетом условий созревания коробочек хлопчатника в Узбекистане. Рахманова Ф. Ф. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 90—96.

Получены агроклиматические показатели сумм эффективных температур воздуха за период от посева до раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек различных по скороспелости сортов хлопчатника. Определены коэффициенты использования термических ресурсов для раскрытия 50, 75 и 90% сформировавшихся коробочек. Показана целесообразность использования полученных показателей при оценке термических ресурсов территории Узбекистана и других районов хлопкосеяния.

Табл. 3. Ил. 2. Библ. 7.

Методы долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения с посевов сельскохозяйственных культур в Киргизской ССР. Муминов Ф. А., Рычко О. К. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 96—103.

Рассматривается методика долгосрочного прогнозирования основных агрометеорологических факторов (теплообеспеченность, фазы развития, оптимальное суммарное испарение), характеризующих гидрометеорологические условия произрастания орошаемых сельскохозяйственных культур и являющихся основой для прогнозов поливных режимов озимой пшеницы, кукурузы, сахарной свеклы и других культур в аридной зоне Киргизской ССР.

Табл. 4. Ил. 1. Библ. 4.

Влагообеспеченность основных сельскохозяйственных культур на сероземно-луговых почвах Чуйской долины Киргизии. Муминов Ф. А., Костенко А. И. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 103—106.

Рассматривается зависимость водопотребления сахарной свеклы, кукурузы и люцерны от климатических факторов и биологических особенностей растений. Приводятся коэффициенты биологических кривых водопотребления этих культур.

Проведенными исследованиями установлено, что величину суммарного расхода влаги в целом за вегетационный период, необходимую для создания оптимальных условий роста сахарной свеклы, кукурузы и люцерны, можно характеризовать суммой средних суточных температур воздуха с коэффициентами для сахарной свеклы 0,22, кукурузы 0,31 и люцерны 0,29.

Дана методика определения влагообеспеченности сахарной свеклы, кукурузы и люцерны по периодам вегетации.

Табл. 2. Библ. 3.

Уточнение долгосрочных прогнозов основных агрометеорологических факторов, формирующих поливные режимы сельскохозяйственных культур в Киргизии. Рычко О. К., Муминов Ф. А. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 107—111.

Излагается система уточнения долгосрочных прогнозов теплообеспеченности, фаз развития и оптимального суммарного испарения — основных агрометеорологических факторов, влияющих на поливные режимы посевов сельскохозяйственных культур в условиях орошаемого земледелия Киргизии.

Табл. 4. Библ. 3.

УДК 631.559 : (551.5+574)

Агроклиматическая оценка потенциальной продуктивности богарных зерновых в Узбекистане. Коновалова Н. С. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 111—116.

Оцениваются агроклиматические ресурсы Узбекистана для производства богарных зерновых. Предлагается метод расчета эталонных урожаев зерновых с учетом лимитирующего фактора — увлажнения. Приводятся данные потенциальных урожаев зерновых, рассчитанные по приходам ФАР.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 7.

УДК 551.579

Некоторые особенности распределения запасов продуктивной влаги в богарных районах Средней Азии. Абдуллаев А. К., Бабушкин О. Л., Храмова О. Н. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 116—120.

Рассматриваются некоторые особенности распределения запасов продуктивной влаги в почве в богарных районах Средней Азии. Получены уравнения связи между значениями запасов продуктивной влаги под озимыми зерновыми культурами в смежные декады. Приводится таблица для нахождения средних многолетних значений запасов продуктивной влаги в почве в посевах яровых по соответствующим величинам влагозапасов под озимыми зерновыми культурами.

Табл. 2. Библ. 5.

УДК 636.085.51 : 551.5

Методика прогнозирования запасов кормов по сезонам года для различных территориальных уровней пустынной зоны Узбекской ССР. Сумочкина Т. Е., Коновалова Н. С. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 120—127.

Приводятся результаты анализа влияния метеорологических факторов на формирование максимальной урожайности и сезонное распределение запасов кормов для различных территориальных уровней: зоны в целом, областей и природных районов в пределах области, участков, прилегающих к ГМС.

Предлагается методика прогнозирования урожайности и запасов кормов по сезонам на основании выявленных связей с метеорологическими факторами и инерционности фактора биомассы.

Табл. 6. Библ. 3.

УДК 636.085.51 : 551.5

Исследование сезонной динамики запасов кормов пустынных типов пастбищ Узбекистана по результатам наземных агрометеорологических и аэрофотометрических наблюдений. Сумочкина Т. Е. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 127—134.

Рассматриваются особенности сезонной динамики запасов кормов пустынных типов пастбищ Узбекистана, а также возможности комплексного изучения динамики наземными и аэрофотометрическими методами. Проведенные в 1983—1985 гг. исследования показали необходимость ежегодного определения структуры урожая с целью выявления величины поедаемых запасов кормов для конкретного района и года.

Ил. 2. Библ. 6.

УДК 630 : 551.5.584.3

Агрометеорологические условия укоренения фитомелиорантов на пустынных пастбищах Узбекистана. Рейзвих О. Н. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 130(211), с. 134—138.

Рассматривается влияние основных факторов жизнедеятельности на укоренение фитомелиорантов. Предлагается для оценки степени благоприятности периода укоренения использовать показатель влагообеспеченности и высоту растений. Рассчитаны уравнения логистической кривой роста для основных фитомелиорантов, позволяющие определять высоту растений по продолжительности периода.

Табл. 2. Ил. 1. Библ. 3.