

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск

403

КРИТЕРИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЗАСУШЛИВЫХ ЯВЛЕНИЙ
НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Под редакцией
канд. геогр. наук Е. В. ВОРОБЬЕВОЙ
канд. геогр. наук Б. И. САЗОНОВА

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 193196. Малоохтенский пр., 98



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1979

525405

Сборник содержит статьи по исследованию засушливых явлений, условий их формирования и возможных причин. Излагаются результаты сопоставления различных индексов и показателей засушливости. Дается характеристика циркуляции во время засух и в предшествующий им длительный период, а также анализ влияния подстилающей поверхности (океан) и солнечной активности на формирование засушливых явлений. Предлагаются схемы их прогноза.

Сборник рассчитан на специалистов метеорологов, климатологов, гелиогеофизиков, работников в области долгосрочных прогнозов погоды, преподавателей, аспирантов и студентов гидрометеорологических специальностей.

The publication contains papers on the studies of droughts, their formation and possible causes. The results of correlation between different indices and exponents of aridity are set forth. The characteristic of circulation during droughts and in the preceding long period is given as well as analysis of the effect of underlying surface (ocean) and solar activity on drought phenomena formation. Schemes of their forecast are suggested.

The publication is intended for meteorologists, climatologists, heliogeophysicists, workers in the field of long-range weather forecasts, teachers, post-graduates and students of hydrometeorological specialities.

Н. И. Яковлева

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ ЗАСУШЛИВОСТИ

В настоящее время существует много различных индексов засушливости, а поиски новых индексов не прекращаются.

Однако обоснование новых индексов, их сопоставление с уже существующими и с урожаями сельскохозяйственных культур на одном и том же материале производится довольно редко [2, 8]. Сопоставление широко используемых индексов с урожайностью некоторых культур показало, что они в той или иной степени оказывались полезными при оценке агрометеорологических условий произрастания растений. Однако существующие индексы не позволяют достаточно эффективно оценить агрометеорологические условия и потому возникает стремление найти индекс, который позволял бы наиболее полно учесть зависимость урожая от различных факторов. Оценить же значимость каждого индекса можно только путем сопоставления с другими индексами и с урожаем некоторых культур, какие-бы ни были представлены оригинальные теоретические обоснования при его создании.

В данной работе произведен расчет ряда широко известных (главным образом в СССР) индексов на одном и том же материале данных, затем они были сопоставлены между собой и с урожайностью яровой пшеницы. В рассмотрение включены индексы, характеризующие испаряемость и испарение, отношение поступающей влаги (осадки) к испаряемости, сами осадки и даже, где это было возможно, влажность почвы для того, чтобы учесть совокупность индексов, оценивающих как приходные, так и расходные составляющие условий водопотребления растений, или их отношение.

В число рассматриваемых индексов вошли:

1. Испаряемость по Иванову

$$E_{\text{и}} = 0,0018(t + 25)^2 \cdot (100 - f),$$

t — температура и f — относительная влажность воздуха.

2. Индекс Утешева [6], который основывается на двух элементах t^{15} , f^{15} (за 15-часовой срок). Для получения одного показателя использовалось отношение t^{15}/f^{15} . В некоторых статистических

оценках дополнительно использовали отношение t^{15}/e^{15} (e — абсолютная влажность воздуха).

3. Гидротермический индекс Селянинова

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \sum t_{>10}},$$

где r — сумма осадков в миллиметрах.

4. Индекс Торнтвейта

$$r/E_T + 1,65(r/t + 12,2)^{10/9}.$$

5. Отношение осадков к испаряемости по Иванову

$$r/E_{\text{и}}.$$

6. Испарение с поверхности по Константинову (E_K), которое определяется по t и e [5].

7. Дефицит испарения по Константинову ΔE_K , который также определяется по графику с помощью t , e , v (v — скорость ветра) [4].

8. Комплексный индекс a_1 , рассчитанный по 10 агрометеорологическим параметрам на основе метода разложения по эмпирическим ортогональным функциям. Расчет произведен в двух вариантах: по ненормированной $a_1^{\text{нн}}$ и нормированной матрицам $a_1^{\text{н}}$ (см. [7]).

Дополнительно использовались отношение $a_1^{\text{нн}}/r$.

Кроме этих индексов, использовались некоторые агрометеорологические показатели: сумма осадков (r), дефицит влажности воздуха (d^{15}), относительная влажность воздуха (f^{15}), влажность почвы (ω), суточная амплитуда температуры воздуха ($\Delta t_{\text{в}}$) и почвы ($\Delta t_{\text{п}}$) и сумма температур более 10°C ($\sum t_{>10}$). Расчет индексов производился по среднемесячным данным за апрель, май, июнь, июль и октябрь 1963 и 1966—1974 гг. по четырем станциям, расположенным примерно вдоль 50° с. ш., в зоне недостаточного увлажнения: Харьков, Уральск, Целиноград, Семипалатинск. Для исключения нестационарности находились отклонения исходных данных от средних (норм) каждого месяца отдельно.

Значения коэффициентов корреляции между всеми рассматриваемыми индексами и показателями по четырем указанным станциям представлены в табл. 1. Общее число случаев по всем станциям составило 153. Ошибка в определении коэффициента корреляции (σ_R) по четырем станциям составляет 0,01, а в расчете на одну станцию $\sigma_R=0,17$. Из анализа матрицы коэффициентов корреляции (табл. 1) следует, что между почти всеми индексами и показателями существует в большей или меньшей степени корреляционная зависимость (R). Так между $a_1^{\text{нн}}$ и остальными индексами R соответствует 0,61—0,97. Между r/E_T , ГТК и $r/E_{\text{и}}$ корреляция близка к единице, между $E_{\text{и}}$ и индексом Утешева (t^{15}/f^{15}) $R=0,85$ и т. д. Кроме того, можно выделить две группы индексов и показателей, в которых структура корреляционной зависимости

Таблица 1

Средние значения коэффициента корреляции
между индексами по четырем станциям

	a_1^{HH}	a_1^H	E_{II}	r/E_T	r/E_{II}	ГТК	E_K	ΔE_K
a_1^{HH}	1,0	0,92	0,92	-0,67	-0,72	-0,63	-0,61	0,66
a_1^H	0,92	1,0	0,92	-0,62	-0,66	-0,58	-0,47	0,56
E_{II}	0,92	0,92	1,0	-0,54	-0,60	-0,48	-0,54	0,70
r/E_T	-0,67	-0,62	-0,53	1,0	0,96	0,95	0,38	-0,36
r/E_{II}	-0,72	-0,66	-0,60	0,96	1,0	0,93	0,42	-0,41
ГТК	-0,63	-0,58	-0,48	0,96	0,93	1,0	0,32	-0,32
E_K	-0,62	-0,47	-0,54	0,38	0,42	0,32	1,0	-0,53
ΔE_K	0,66	0,56	0,70	-0,36	-0,41	-0,32	-0,53	1,0
t^{15}/f^{15}	0,77	0,77	0,85	-0,44	-0,50	-0,40	-0,42	0,63
f^{15}	-0,97	-0,85	-0,89	0,70	0,75	0,66	0,66	-0,70
w	-0,65	-0,53	-0,54	0,50	0,58	0,50	0,46	-0,42
r	-0,61	-0,53	-0,53	0,81	0,82	0,72	0,55	-0,44
a_1^{HH}/r	0,68	0,64	0,60	-0,39	-0,40	-0,37	-0,44	0,54
Δt_{II}	0,78	0,82	0,65	-0,61	-0,63	-0,55	-0,47	0,42
d^{15}	0,72	0,88	0,94	-0,47	-0,52	-0,41	-0,49	0,70
$\Sigma t_{>10}$	0,71	0,76	0,79	-0,36	-0,40	-0,39	-0,28	0,54

	t^{15}/f^{15}	f^{15}	w	r	a_1^{HH}/r	Δt_{II}	d^{15}	$\Sigma t_{>10}$
a_1^{HH}	0,77	-0,97	-0,65	-0,61	0,68	0,78	0,87	0,71
a_1^H	0,77	-0,85	-0,52	-0,53	0,64	0,82	0,88	0,76
E_{II}	0,85	-0,89	-0,54	-0,53	0,65	0,65	0,94	0,79
r/E_T	-0,44	0,70	0,50	0,81	-0,40	-0,61	-0,47	-0,36
r/E_{II}	-0,50	0,75	0,58	0,82	-0,40	-0,63	-0,52	-0,40
ГТК	-0,40	0,64	0,50	0,73	-0,37	-0,55	-0,41	-0,38
E_K	-0,42	0,66	0,46	0,55	-0,44	-0,46	-0,49	-0,28
ΔE_K	0,64	-0,70	-0,42	-0,44	0,54	0,42	0,70	0,55
t^{15}/f^{15}	1,0	-0,76	-0,33	-0,46	0,50	0,54	0,83	0,70
f^{15}	-0,76	1,0	0,77	0,63	-0,66	-0,70	-0,83	-0,66
w	-0,33	0,67	1,0	0,58	-0,36	-0,38	-0,50	-0,28
r	-0,46	0,63	0,58	1,0	-0,44	-0,59	-0,51	-0,22
a_1^{HH}/r	-0,50	-0,66	-0,36	-0,44	1,0	0,56	0,60	0,52
Δt_{II}	0,54	-0,70	-0,38	-0,58	0,56	1,0	0,60	0,44
d^{15}	0,82	-0,83	-0,50	-0,48	0,60	0,60	1,0	0,78
$\Sigma t_{>10}$	0,70	-0,66	-0,28	-0,22	0,52	0,44	0,78	1,0

Примечание: значения w рассчитаны по двум станциям (Уральск, Целиноград).

однородна, а величины коэффициентов корреляции повышены. В среднем значения R между индексами в каждой из групп более высокие, чем между индексами разных групп.

В одну такую группу вошли индексы с температурно-влажностной ориентацией (E_{II} , ΔE_K , a_1^{HH} , a_1^H , f^{15} , t^{15}/f^{15} , $\Sigma t_{>10}$, d^{15}), в другую — индексы, включающие осадки в явном виде (r , r/E_{II} , ГТК, r/E_T , ω). Промежуточную группу с нечетко выраженными связями по отношению к первым двум группам составили E_K , a_1^{HH}/r , Δt_n .

На рис. 1 показана структура корреляционной зависимости, характерная для индексов I группы на примере корреляционной связи показателя f^{15} со всеми другими индексами и для индексов II группы на примере корреляционной связи r со всеми другими показателями. Как видно из рис. 1, форма зависимости между

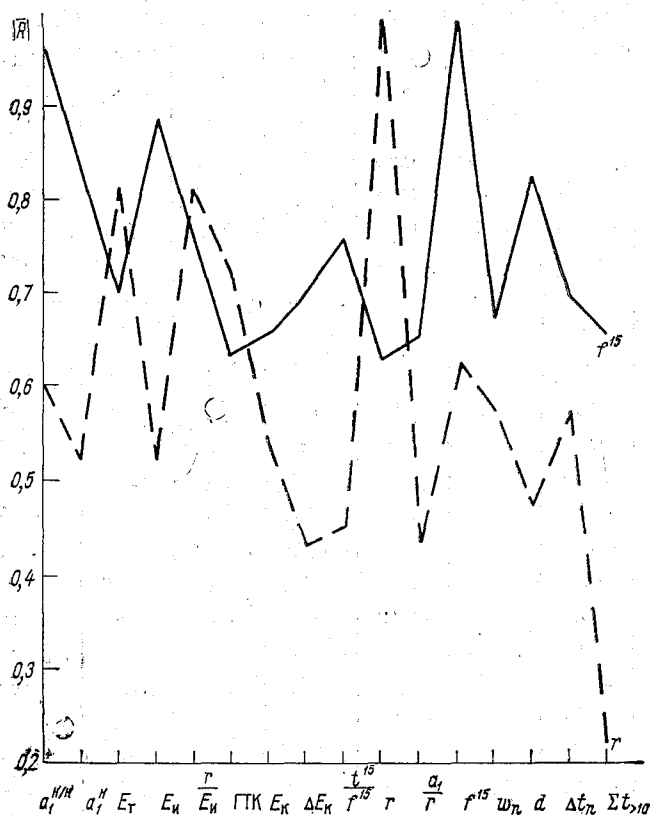


Рис 1. Структура корреляционной зависимости $|R|$ показателя f^{15} со всеми рассматриваемыми индексами (I группа) и показателя r (II группа).

индексами двух групп вообще обратная. В целом идентичность указанных форм связи сохраняется для других индексов из одной и той же группы, хотя величины $|\bar{R}|$ будут, конечно, разными (см. табл. 1). Различие форм связи двух групп индексов определяется наличием обратных связей в приходно-расходных показателях увлажнения.

Таким образом, I группа индексов характеризует по существу прежде всего испаряемость, во II группе — характерным признаком всех индексов является изменчивость осадков, которая и дает высокую корреляционную связь между индексами.

Для того чтобы нагляднее показать различие и какую-то общность двух выделенных групп индексов, в табл. 2 приведены средние абсолютные величины $|\bar{R}|$ каждого индекса с 14 другими ($|\bar{R}_{\text{общ}}|$), а также средние абсолютные величины $|\bar{R}_1|$ по I группе ($|\bar{R}|$ из 7 индексов) и по II группе ($|\bar{R}_2|$ из 4 индексов) для

Таблица 2

Средние абсолютные значения коэффициента корреляции каждого индекса со всеми остальными (по четырем станциям, кроме w)

Индекс	$ \bar{R}_{\text{общ}} $	$ \bar{R}_1 $	$ \bar{R}_2 $	Индекс	$ \bar{R}_{\text{общ}} $	$ \bar{R}_1 $	$ \bar{R}_2 $
a_1^{HH}	0,74	0,83	0,66	t^{15}/f^{15}	0,59	0,76	0,48
a_1^{H}	0,70	0,81	0,58	f^{15}	0,75	0,81	0,70
r/E_T	0,59	0,52	0,83	w	0,49	0,49	0,62
$E_{\text{И}}$	0,70	0,86	0,53	r	0,56	0,49	0,73
$r/E_{\text{И}}$	0,62	0,57	0,84	$\Sigma t_{>10}$	0,52	0,71	0,31
ГТК	0,55	0,48	0,80	a_1^{HH}/r	0,51	0,59	0,40
E_K	0,47	0,50	0,49	d^{15}	0,65	0,81	0,48
ΔE_K	0,53	0,64	0,40	Δt_n	0,58	0,62	0,55

каждого рассматриваемого индекса. По общему коэффициенту корреляции ($|\bar{R}_{\text{общ}}|$) выделяются a_1^{HH} , f^{15} , a_1^{H} , $E_{\text{И}}$, затем d^{15} и $r/E_{\text{И}}$, а ГТК имеет такую же среднюю величину $|\bar{R}|$, как и осадки. По I группе наибольшие $|\bar{R}|$ получились для $E_{\text{И}}$, a_1^{HH} , a_1^{H} , f^{15} , d^{15} , затем t^{15}/f^{15} , ΔE_K и $\Sigma t_{>10}$. По II группе выделяются индексы $r/E_{\text{И}}$ и r/E_T , ГТК, f^{15} , r , затем a_1^{HH} и w . По выделенным группам индексов значения $|\bar{R}|$ действительно оказались выше (до 0,86).

Вместе с тем есть и такие индексы, которые имеют значительные коэффициенты корреляции не только для всей совокупности индексов, но и по отдельным группам. Такими квазиуниверсальными показателями оказались прежде всего a_1^{HH} и f^{15} ($|\bar{R}| > 0,66$), т. е. индексы из I температурно-влажностной группы. Следовательно,

Таблица 3

Средние коэффициенты корреляции различных индексов засушливости с урожаем яровой пшеницы по четырем областям и по всем комбинациям месяцев 1963, 1965—1974 гг.

	a_1^{HH}	a_1^H	r	d^{15}	f^{15}	E_H	r/E_H	E_K	ΔE_K	r/E_T	Γ_{TK}	t^{15}/f^{15}	$a_1^{HH} \frac{r}{f}$	Δt_B
Апрель — июнь														
у	-0,70	-0,67	+0,40	-0,67	+0,69	-0,67	+0,48	+0,48	-0,71	+0,47	+0,47	-0,73	-0,62	-0,69
у'	-0,72	-0,69	+0,37	-0,71	+0,73	-0,69	+0,48	+0,50	-0,70	+0,49	+0,46	-0,74	-0,65	-0,68
Май — июнь														
у'	-0,75	-0,70	+0,45	-0,75	+0,75	-0,68	+0,57	+0,51	-0,63	+0,53	+0,52	-0,80	-0,68	-0,78

Таблица 4

Коэффициент корреляции отдельных параметров и индексов (за май — июнь) с урожаем яровой пшеницы за период 1958—1974 гг.

	t^{15}	e^{15}	f^{15}	t^{15}/f^{15}	t^{15}/e^{15}	Γ_{TK}	r	d^{15}	E_H	r/E_H	r/E_T	Районные	
	Отклонение от теоретической прямой											r	Γ_{TK}
Харьков	-0,42	0,30	0,50	-0,53	-0,43	0,30	0,33	-0,54	-0,53	0,31	0,20	0,35	0,35
Уральск	-0,45	0,49	0,67	-0,64	-0,67	0,65	0,60	-0,75	-0,67	0,66	0,68	0,55	0,63
Целиноград	-0,72	0,45	0,71	-0,77	-0,65	0,39	0,26	-0,77	-0,78	0,44	0,39	0,53	0,60
Семипалатинск	-0,84	0,82	0,88	-0,87	-0,50	0,87	0,87	-0,87	-0,87	0,86	0,70	0,89	0,88
R	-0,60	0,52	0,69	-0,69	-0,66	0,55	0,52	-0,73	-0,71	0,57	0,49	0,58	0,60
Отклонение от параболы													
$\bar{R}$	-0,00	0,46	0,65	-0,68	-0,62	0,53	0,48	-0,72	-0,70	0,54	0,47	0,51	0,51

эти индексы достаточно хорошо могут описать условия испарения с учетом поступающей влаги (в виде осадков и в том числе по влагозапасам в почве w), в рассматриваемых областях недостаточного увлажнения. Из табл. 1 следует, например, что если исключить индексы, в которые входят явно осадки, то наиболее сильные связи осадки имеют действительно с a_1 и f^{15} . То же можно сказать о влагозапасах почвы w .

Однако приведенный сравнительный анализ по индексам еще не дает основания для однозначного заключения об эффективности того или иного индекса в показаниях засухи. Основным критерием значимости индекса является то, насколько индекс связан с урожайностью сельскохозяйственных культур. Поэтому все рассматриваемые индексы и показатели были прокоррелированы с урожайностью яровой пшеницы по областям (Харьковская, Уральская, Целиноградская, Семипалатинская). Индексы предварительно осреднялись по различным сочетаниям месяцев (IV—V, IV—V—VI, IV—V—VI—VII, V—VI, V—VI—VII). Урожайность определялась в отклонениях от теоретической прямой по ряду 1945—1974 гг. (y'), но для сопоставления с индексами в этом эксперименте рассматривался ряд 1963 и 1966—1974 гг.

Как показали расчеты, корреляция индексов по материалам только одного любого месяца с урожайностью, как правило, ниже, чем по совокупности месяцев. Поэтому в табл. 3 приведены результаты расчета средних коэффициентов корреляции по всем комбинациям месяцев (по всем четырем областям) и отдельно за май — июнь как наиболее оптимального варианта. Из табл. 3 видно, что температурно-влажностные показатели (a_1 , f , d , E_i , t/f , ΔE_K и даже Δt_b) более эффективны для оценок урожайности яровой пшеницы ($R \sim 0,70$), чем индексы, содержащие осадки в явном виде (r , r/E_i , r/E_T , ГТК, $R \sim 0,4 \div 0,5$). При этом почти все температурно-влажностные показатели дают примерно одинаковый результат в оценке урожайности ($R \approx 0,70 \div 0,75$).

Однако, может быть, осадки, определенные по целому району, будут более показательными, чем, например, суммы осадков, измеренные на одной станции. Чтобы убедиться в правильности полученных выводов, ряд данных удлин timer до 1958 г. (с 1974 г.) и включили в рассмотрение дополнительно осредненные по территории осадки и соответственно ГТК, рассчитанный по этим данным. Осредненные данные по осадкам были взяты из работы Н. И. Ефремовой [1] по областям: Харьковская (6 станций), Уральская (6 станций), Целиноградская (7 станций), Семипалатинская (4 станции). Полученные в этом случае коэффициенты корреляции различных показателей с урожаем даны в табл. 4. Приведены также параметры e^{15} и t^{15}/e^{15} , но, к сожалению, не рассчитаны комплексные параметры a_1 из-за отсутствия необходимых данных. В этом варианте расчета данные по урожайности (y) были подготовлены в двух вариантах: 1) y_1 — отклонения от теоретической прямой за ряд лет 1945—1974 гг., 2) y_2 — отклонения

от параболического тренда за тот же ряд лет. По первому варианту данные представлены по каждой станции отдельно и средние по 4 станциям, по второму варианту указаны только осредненные значения $\bar{R}$ (по данным одной станции $\sigma_R=0,27$ и различия R мало значимы, но по данным четырех станций $\sigma_R=0,12$ и R различимы в пределах $1,5-2,0 \sigma_R$). Из табл. 4 следует, что ранее полученные выводы для более короткого ряда не изменились: по-прежнему по величине R выделяются в среднем только температурно-влажностные показатели, причем нельзя отдать предпочтение какому-то одному из них. Кроме того, отдельно данные по температуре или влажности воздуха (t , e) все-таки хуже характеризуют урожай. Комбинации, учитывающие t и e , более показательны в этом смысле (f , d , E_w t/f , t/e). В среднем r и ГТК имеют меньшие коэффициенты корреляции с урожаем, однако, например, для Семипалатинска связь урожая с осадками весьма высокая ($R=0,87$), несколько хуже она для Уральского ($0,65$). Это означает, что в отдельные периоды и в отдельных районах осадки могут быть значимым индексом. Одновременно, когда повышается значение осадков, повышается и значение ГТК.

Вместе с тем интересно отметить, что в тех случаях, когда осадки хорошо коррелируют с урожаем, то и все другие температурно-влажностные показатели не снижают своей значимости. Отсюда можно сделать вывод, что эффективность осадков (и основанных на них индексов) только тогда высока, когда их действие достаточно устойчиво проявляется в температурно-влажностных показателях погоды, т. е. когда осадки значительно повысили влажность воздуха, сказались на понижении температуры воздуха и почвы. Один или два дня, например, даже с весьма обильными ливневыми дождями в течение месяца не смогут существенно изменить состояние температурно-влажностного фона погоды за месяц. Это означает также, что в условиях недостаточного увлажнения существует не только тесная связь между приходными и расходными составляющими увлажнения, но и тесная зависимость между характером выпадения осадков (временной структуры) и расходными составляющими увлажнения (испарение). Этот вывод согласуется с аналогичным выводом, полученным из анализа аномалий комплекса основных агрометеорологических показателей [7].

Таким образом, связи осадков с температурно-влажностными показателями (а следовательно, и с урожаем) не являются устойчивыми по времени и пространству (в частности, в зоне недостаточного увлажнения) в силу сложной пространственно-временной структуры самих осадков в весенне-летний период. Обращает на себя внимание факт уменьшения коэффициента корреляции почти всех индексов и показателей от Семипалатинска к Харькову (от восточной части Северного Казахстана к юго-восточной Украине). Это свидетельствует о влиянии климатических условий местности на эффективность метеорологических показателей урожайности [8]. Использование осредненных осадков по области, как видно

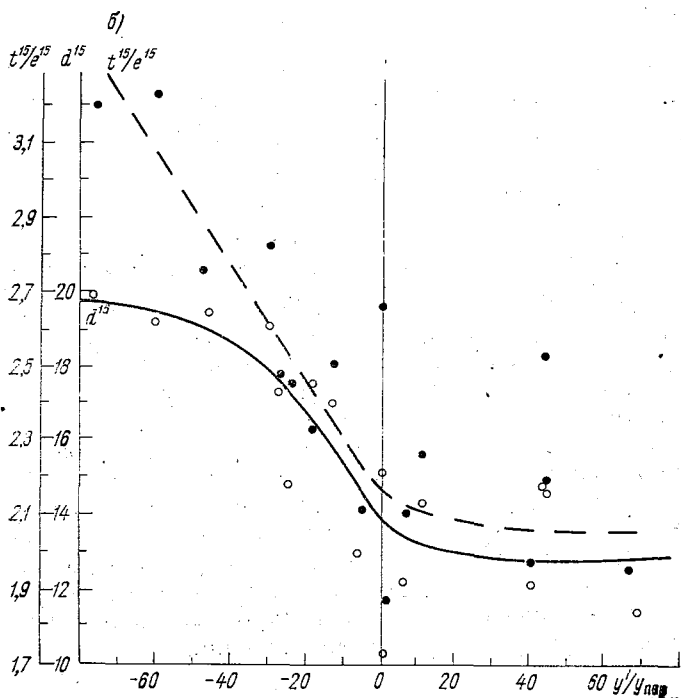
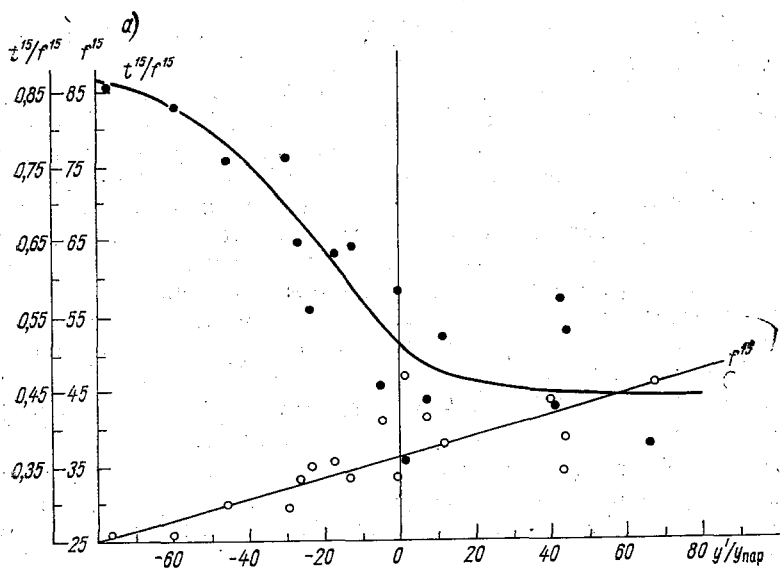


Рис. 2. Пример зависимости метеорологических показателей от $u_i/u_{\text{пар}}$ для Целинограда.

а — зависимость f^{15} и t^{15}/f^{15} от $u_i/u_{\text{пар}}$, б — зависимость d^{15} и t^{15}/e^{15} от $u_i/u_{\text{пар}}$.

из табл. 4, несколько повысило роль ГТК и r , однако в целом сделанные ранее выводы не изменились.

Хотелось бы подчеркнуть, что любые из рассматриваемых метеорологических показателей не обнаруживают функциональной связи с урожаем, даже если учесть уровень агротехники и выделить наиболее эффективные показатели урожая. Метеорологические факторы определяют 50—70% дисперсии урожайности. Следовательно, существуют еще какие-то неучтенные факторы, которые учесть пока не представляется возможным. Во всяком случае учет любых других еще не рассмотренных факторов урожая (агробиологических, почвенных и др.), как нам представляется, дает комплексный индекс a_{je} , возможности которого еще полностью не раскрыты. На рис. 2 для примера показан вид корреляционной зависимости некоторых температурно-влажностных показателей за май—июнь с $y'/y_{\text{пар}}$. Видно, что зависимость между f и $y_i/y_{\text{пар}}$ почти линейная, а между d , t/f , t/e и $y_i/y_{\text{пар}}$ — криволинейная. Средние значения рассмотренных метеорологических показателей за период 1958—1974 гг. (май — июнь) по четырем станциям следующие:

Станция	t^{15}/f^{15}	t^{15}/e^{15}	f^{15}	d^{15} мбар
Харьков	0,47	1,9	45,0	13,8
Уральск	0,62	2,2	37,7	16,9
Целиноград	0,58	2,4	36,0	16,5
Семипалатинск	0,64	2,4	35,0	15,4

Эти значения являются как бы критическими: если t/f , t/e и d в конкретный год выше (а f — ниже) указанных критических значений, то вероятно получение низких урожаев, т. е. $y_i/y_{\text{пар}} < 0$, в других случаях — $y_i/y_{\text{пар}} > 0$. Естественно, что эти критические цифры условны, так как сами средние меняются.

Таким образом, в зоне недостаточного увлажнения температурно-влажностные параметры эффективнее индексов, включающих осадки в явном виде, при оценке урожаев яровой пшеницы. Среди упрощенных показателей, в частности, относительная влажность воздуха имеет более универсальные корреляционные связи с другими агрометеорологическими элементами (см. табл. 2—3). Кроме того, зависимость f от урожайности близка к прямоугольной. Учитывая все это, можно рекомендовать относительную влажность воздуха в качестве одного из простых параметров в оценке урожаев в зоне недостаточного увлажнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Л., Гидрометеиздат, 1976. 111 с.

2. Кельчевская Л. С. Сравнительная проверка агроклиматических показателей по оценке условий увлажнения вегетационного периода сельскохозяйственных культур. — Труды ИЭМ, 1971, вып. 22, М., с. 33—46.
3. Константинов А. Р. Испарение в природе. Л., Гидрометеониздат, 1963. 561 с.
4. Константинов А. Р., Свирина В. В. К вопросу о гидрометеорологической оценке засушливых явлений. — Труды УкрНИГМИ, 1967, вып. 68, с. 3—10.
5. Сазонов Б. И., Яковлева Н. И. Зависимость урожайности яровой пшеницы от средних метеорологических условий вегетационного периода на территории СССР. — См. наст. сб.
6. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, Наука, 1972. 175 с.
7. Яковлева Н. И., Молякентин Е. К. К вопросу о комплексном индексе агрометеорологических условий. — См. наст. сб.
8. WMO-No 392. Techn. Note — No 139, 1975. Drought and agriculture, 128 p.

Э. И. Гирская, Б. И. Сазонов, Е. И. Кроп

ПОКАЗАТЕЛИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАСУХ

До настоящего времени не ослабевает внимание ученых к изучению такого сложного явления, как засуха. Засухи недавних лет в Западной и Восточной Европе, в Соединенных Штатах Америки, в Северной Африке стимулировали широкое развитие исследований этого метеорологического явления. Появляется большое количество работ, посвященных как выявлению природы засухи, так и вычислению всевозможных критериев, позволяющих оценить степень засухи.

Понятие «засуха» весьма сложно. Под этим словом можно подразумевать определенное физиологическое состояние растения или животного, недобор в урожае сельскохозяйственного продукта, дефицит влаги в озере, реке, почве, растении и т. п. Наконец, засухой можно считать сочетание гидрометеорологических параметров или критические значения какого-то одного параметра.

Основные зернопроизводящие районы СССР расположены в зоне критического увлажнения и устойчивого антициклогенеза летом, так что недобор осадков, связанных с усилением антициклона, приводит в то же время к увеличению таких показателей, как прямая солнечная радиация, температура, сухость воздуха.

Синоптические условия, при которых развивается засуха, хорошо исследованы в литературе [5, 9]. Было показано, что засуха связана с нарушением зонального потока, с развитием высотного антициклона или гребня [9].

Развитие высотного антициклона летом в умеренных широтах сопровождается нисходящими движениями во всей толще тропосферы, адиабатическим разогревом воздуха и размыванием облачности. Возрастают потоки коротковолновой и длинноволновой радиации, поступающей к поверхности земли, возрастает температура и сухость воздуха, создаются условия для испарения большого количества воды с поверхности земли и с поверхности листьев. Такое сочетание большой потенциально возможной испаряемости с дефицитом влаги, реально существующим в почве, при антициклонической погоде и создает неблагоприятные условия для развития растений.

Подобная ситуация часто складывается в районе Нижнего По-

волжья и Южного Урала. Изолинии на карте, представленной на рис. 1, заимствованы из работы [8], показывают повторяемость максимального значения геопотенциала на фиксированных широтных кругах по четырем летним месяцам (июнь — сентябрь), снятых с ежедневных карт H_{500} за 13,5 лет. С помощью этой карты можно установить долготное положение района максимальной повторяемости высотных антициклонов летом над ЕТС, усиление которых в этих районах создает предпосылки для возникновения засушливых ситуаций. В отдельные вегетационные периоды этот антициклон развивается особенно сильно и тогда над ЕТС создается угроза засухи. В другие годы, как например в 1976 г., антициклон был не развит, либо развит слабо и над ЕТС наблюдалось

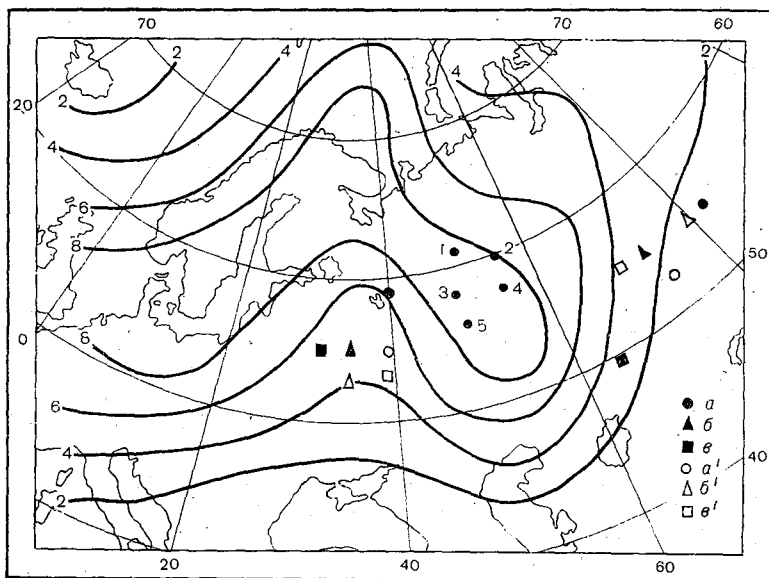


Рис. 1. Положение высотного антициклона на востоке ЕТС в период с июня по сентябрь.

Изолинии — повторяемость (%) десятиградусных долготных интервалов наибольшего значения геопотенциала AT_{500} ; 1 — Сыктывкар, 2 — Чердынь, 3 — Киров, 4 — Пермь, 5 — Казань; центры районов максимальных обратных связей в поле температуры за 1881—1920 гг.: а — июнь, б — июль, в — август и за 1921—1960 гг.: а' — июнь, б' — июль, в' — август.

переувлажнение. Как видно из работ [1, 6], каждый третий год для Юго-Востока ЕТС в той или иной мере является годом засухи. Таким образом, степень развития высотного антициклона над восточной частью ЕТС могла бы служить наилучшим показателем степени засушливости вегетационного периода в зернопроизводящих районах Поволжья, Восточной Украины, Северного Кавказа, Южного Урала, Западного Казахстана, которые находятся под влиянием этого высотного антициклона.

Однако в связи с тем, что аэрологические наблюдения имеются лишь за последние 30 лет, а это недостаточно для разработки статистических методов предсказания степени развития антициклона, естественно было перейти к приземному давлению, как наиболее показательному индексу развития высотного антициклона над Востоком ЕТС.

Просмотренные метеорологические данные по станциям в районе стационарирования высотного антициклона позволили установить, что густой сетью длиннорядных и надежных станций в этом районе мы не располагаем. Единственными более или менее длиннорядными станциями, находящимися под климатическим центром высотного антициклона, являются станции, обозначенные на рис. 1 номерами 1—5:

1 — ст. Сыктывкар, ряд наблюдений по приземному давлению с 1911 г. (отсутствуют данные за 1919 г.);

2 — ст. Киров, ряд наблюдений с 1881 г., но с 1920 по 1922 гг. данные отсутствуют;

3 — ст. Чердынь, ряд наблюдений с 1888 г., но имеются значительные пропуски, так с 1898 по 1904 г. ряд забракован, а с 1947 по 1949 г. — данные по приземному давлению отсутствуют;

4 — ст. Казань, ряд наблюдений с 1881 г., отсутствуют данные за 1890—1891, 1944, 1952 гг.;

5 — ст. Пермь, ряд наблюдений по приземному давлению с 1886 г., отсутствует 1954 г.

В результате ознакомления с данными по приземному давлению и их анализу мы пришли к выводу, что целесообразно использовать осредненные данные по давлению по ряду станций в интересующем нас районе в качестве показателя засушливости вегетационного периода.

Если учесть, как мы уже отмечали выше, что со стационарными высотными антициклонами связан определенный комплекс погодных условий, то исходя из наличия имеющихся метеорологических данных, степень его развития, степень засушливости можно характеризовать по крайней мере тремя показателями: 1) аномалиями приземного давления, осредненными по станциям, находящимся в климатическом центре высотного антициклона (см. рис. 1); 2) недостатком осадков и высокой температурой в районе этого антициклона; 3) перепадом температуры между восточной и западной периферией антициклона.

В работе [3] было показано, что крупные аномалии средней месячной температуры создаются антициклонами, которые продолжительное время стационарируют в том или другом районе и аномалии температуры на краях этого барического образования связаны между собой обратной связью. Степень развития этих антициклонов может характеризоваться не только давлением воздуха, но и величиной перепада температуры между восточными и западными районами антициклона.

В Восточной Европе высотный антициклон также создает аномалии температуры на западной и восточной периферии, которые

связаны между собой устойчивой обратной связью с коэффициентами корреляции — 0,58—0,60 (уровень случайности 0,003).

Коэффициенты корреляции подсчитывались для двух независимых периодов: 1881—1920 и 1921—1960 гг.

Для отдельных станций подобные связи в температуре были обнаружены В. Ю. Визе [2] и Е. С. Рубинштейн [7]. Так, коэффициенты корреляции для мая, июня и июля между Москвой и Барнаулом составляли соответственно —0,55, —0,45, —0,32, а между Ленинградом и станциями Западной Сибири в июне коэффициент корреляции достигал —0,57. В работах [1, 4] отмечалась сопряженность метеорологических ситуаций над ЕТС и Казахстаном: чем более устойчива и интенсивна засуха на ЕТС, тем более вероятно избыточное увлажнение над территорией Восточного Казахстана. Причем проанализированный авторами каталог засух [1] дал возможность установить, что в 89% случаев засуха наблюдается либо над ЕТС и Западным Казахстаном, либо над Восточным Казахстаном и только в 11% случаев засуха охватывает ЕТС и весь Казахстан одновременно.

Именно эту особенность (сопряженность температурных аномалий над ЕТС, Западной Сибирью и Казахстаном) было решено использовать для того, чтобы, опираясь на продолжительные ряды аномалий средней месячной температуры (до 50 лет), получить максимально большую информацию об истории появления летом антициклонов над ЕТС.

Для этой цели в каждом из этих сопряженных в температурном поле районов были выбраны по 7 точек в узлах градусной сетки. В этих точках фиксировались значения аномалий температуры, затем выбиралась максимальная по абсолютной величине температурная аномалия. Если не все семь точек попадали в поле одного знака, то выбиралась аномалия температуры того знака, в поле которой попадало большинство точек. Таким образом, были получены две температурные аномалии, характеризующие температуру восточной и западной окраины антициклона. Разность между этими величинами была принята за показатель развития высотного антициклона над востоком ЕТС и стало быть за показатель метеорологической засухи. Этот индекс (Z_1), осредненный за вегетационный период (май, июнь, июль), приводится в табл. 1.

Второй из упомянутых нами выше показателей степени развития высотного антициклона основан на учете месячных аномалий температуры и осадков. На рис. 2 показаны коэффициенты корреляции между осадками и температурой по зернопроизводящим районам СССР (материалы любезно предоставлены А. В. Мещерской). Как видно из этой карты, район стационарирования высотного антициклона над Юго-Востоком ЕТС совпадает с районом высоких корреляций. Физически эта связь понятна, поскольку только в тех районах, где аномалии температуры и осадков контролируются степенью развития стационарного антициклона, возможно появление таких высоких связей. В районах, где в летний период наблюдается равновероятное появление и циклонов и антицикло-

Индексы засушливости Z_1 и Z_2 за период с 1881 по 1976 гг.

Год	Z_1	Z_2	Год	Z_1	Z_2	Год	Z_1	Z_2	Год	Z_1	Z_2
1881	-8,2		1905	8,0	1	1929	1,5	3	1953	-8,5	0
1882	8,1		1906	16,3	8	1930	-8,0	0	1954	18,9	6
1883	17,1		1907	7,5	0	1931	4,8	8	1955	-15,5	4
1884	-2,3		1908	-6,5	-5	1932	0,0	-2	1956	-3,5	-5
1885	5,2		1909	-12,2	-4	1933	-3,3	0	1957	6,2	9
1886	0,5		1910	8,0	1	1934	4,5	-2	1958	0,2	-4
1887	-1,1		1911	-1,8	4	1935	-8,4	-6	1959	10,5	5
1888	-19,0		1912	-3,8	-7	1936	15,1	8	1960	6,5	-2
1889	11,3		1913	-10,7	-9	1937	2,2	-3	1961	-4,0	1
1890	14,0		1914	15,1	3	1938	9,0	6	1962	-7,4	0
1891	14,5	9	1915	-13,2	-7	1939	2,5	9	1963	1,8	4
1892	1,8	7	1916	-10,3	-6	1940	2,3	1	1964	4,6	-8
1893	-7,2	0	1917	3,0	0	1941	-17,5	-10	1965	-18,0	1
1894	-1,5	-8	1918	-13,7	-8	1942	-8,5	-9	1966	7,2	3
1895	-1,0	-1	1919	3,5	-5	1943	-1,5	-2	1967	4,0	5
1896	-5,7	-9	1920	3,3	6	1944	-9,5	-3	1968	3,0	-1
1897	17,7	9	1921	7,0	10	1945	-13,0	-8	1969	-15,4	-8
1898	17,5	5	1922	2,7	0	1946	3,3	2	1970	4,0	2
1899	-4,2	0	1923	0,8	3	1947	0	-3	1971	-5,3	0
1900	-16,0	-8	1924	6,2	3	1948	5,0	8	1972	16,3	8
1901	4,0	6	1925	8,4	-1	1949	4,0	5	1973	2,4	-5
1902	-3,9	-1	1926	3,5	-7	1950	-10,5	-4	1974	-16,6	-4
1903	13,9	0	1927	-2,2	1	1951	-9,5	5	1975	11,9	8
1904	-16,8	-6	1928	-10,5	-8	1952	-6,5	1	1976	-15,5	-5

нов, связи практически отсутствуют, наиболее характерен в этом отношении район Прибалтики. Аналогичные карты были построены для апреля, мая, июня и августа месяцев. Во все месяцы летнего сезона прослеживается очаг высокой корреляции температуры и осадков над востоком ЕТС. На рис. 3 для примера показана связь летней температуры в Оренбурге (май, июнь, июль) с летними осадками за 85 лет, осредненными по прилегающему району.

Из анализа каталогов засушливых лет [6, 10] можно установить, что в 30—40% лет в зернопроизводящих районах СССР наблюдается недобор урожая зерна в результате засушливости. Это позволяет все корреляционное поле на рис. 3 поделить на три равные части. Это дает возможность определить годы в которых вегетационный период был засушливым в данном районе или наоборот

хорошо увлажненным (см. рис. 3). Было принято присваивать значения $+1$ году с засухой, нормальному году значение 0 и году с хорошим увлажнением значение -1 . Такое относительное деление лет на засушливые, нормальные и увлажненные позволило не прибегать к использованию фиксированных величин аномалий температуры и осадков, которые обычно применяются для определения засушливых лет. Просмотр фактического материала пока-

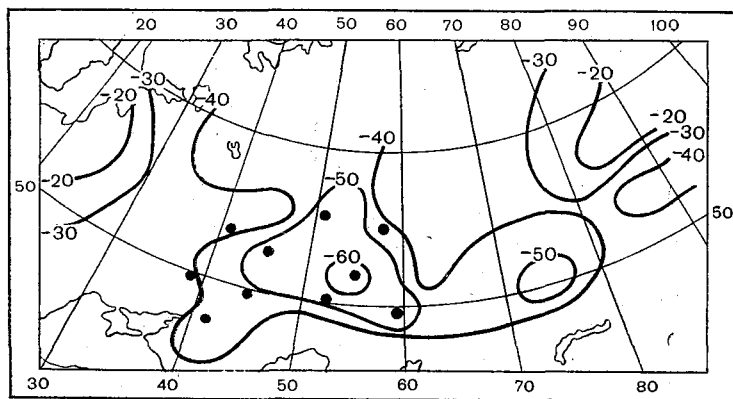


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между средней месячной температурой и средними месячными районными осадками.

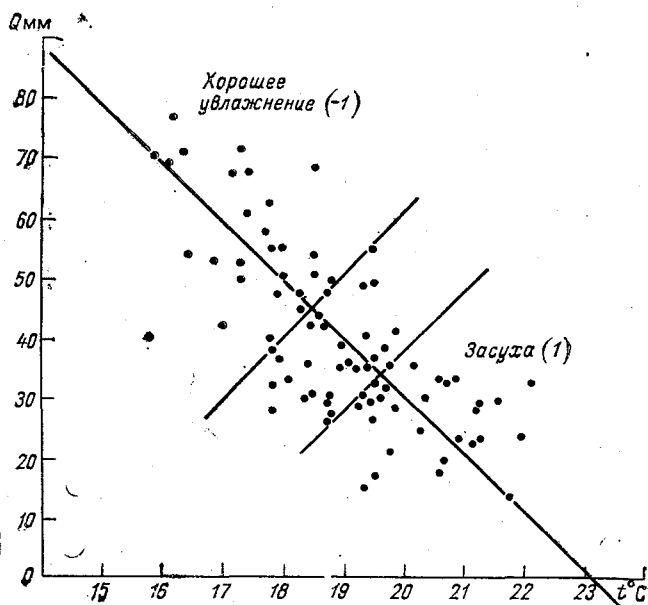


Рис. 3. Связь районных осадков с температурой на ст. Оренбург.

зал, что невозможно подобрать универсальные величины, характеризующие засуху в различных географических районах СССР.

За счет пестроты распределения осадков даже в годы засухи отдельные небольшие районы могут быть хорошо увлажнены и наоборот. В связи с этим на Юго-Востоке ЕТС (районе максимальных связей температуры и осадков) было выбрано 10 районов (см. точки на рис. 2), для которых также были построены аналогичные связи и определены годы хорошего увлажнения и засух. С помощью 10 оценок вегетационного периода по районам определялась метеорологическая характеристика летнего периода конкретного года. В случае, если в тот или иной год во всех 10 районах наблюдался недостаток увлажнения, индекс засушливости принимался равным $+10$, например, 1921 г. А в 1941 г. индекс засушливости был равен -10 , т. е. во всех 10 районах наблюдалось достаточное увлажнение. С помощью этого индекса все годы, по которым имеется метеорологическая информация можно характеризовать конкретными числами от $+10$ до -10 . Значения индекса Z_2 приведены в табл. 1.

Сравнение всех индексов (Δp , Z_1 и Z_2) показывает, что они хорошо коррелируют между собой. Коэффициенты корреляции между ними приведены в табл. 2 при $\sigma=0,11$. Кроме того, в табл. 2 приведена связь урожайности яровой пшеницы с индексами Δp , Z_1 , Z_2 , осредненными по 3 года.

Таблица 2

Коэффициент корреляции
между индексами Δp , Z_1 , Z_2
и урожайностью

	Z_1	Z_2	Δp
Z_1		0,60	0,75
Z_2			0,66
Урожайность	-0,51	-0,11	-0,30

Все три индекса отражают различные стороны одного и того же физического процесса: развитие высотного антициклона летом над Востоком ЕТС, сложность и степень устойчивости которого и определяет появление засух в районах от Восточной Украины до Западного Казахстана и Южного Урала.

Все эти индексы косвенные, они характеризуют только части того физического процесса, который связан с развитием высотного антициклона в этом районе. Можно ставить вопрос о выделении полезной и независимой информации и о получении более полной характеристики процесса, приводящего к засушливости. Использование урожайности, как видно из табл. 2, в качестве критерия засухи является неперспективным для изучения циркуляционных явлений в интересующих нас районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М. Х., Утешев А. С. О сопряженности явлений засух юга Европейской территории СССР и Северной половины Казахской ССР.— Труды КазНИГМИ, 1959, вып. 11, с. 130—144.
2. Визе В. Ю. Материалы для предсказания средних месячных и сезонных со-

- стояний метеорологических элементов. — Ж. геофизики и метеорологии, 1927, т. 4, вып. 2, с. 131—144.
3. Гирская Э. И. Сопряженность температурных аномалий северного полушария. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. географ. наук. Л., ГГО, 1971. 13 с.
 4. Иванов В. К. Влажные годы в Западной Сибири и засухи ЕТС. — Труды ОМСХИ им. С. М. Кирова, 1962, т. 49, с. 55—64.
 5. Климатические и циркуляционные характеристики засух на территории СССР. (Справочное пособие). ВНИИГМИ-МЦД, М., Гидрометеиздат, 1977. 217 с.
 6. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелио-геофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969. 253 с.
 7. Рубинштейн Е. С. Количественные характеристики связи между температурой воздуха разных частей Советского Союза. — В кн.: Труды I научной конференции по общей циркуляции атмосферы. 1960, 1962, с. 165—174.
 8. Сазонов Б. И. Высотные барические образования и солнечная активность. Л., Гидрометеиздат, 1964. 130 с.
 9. Селезнева Е. С. К вопросу аэрологического исследования засух. — Труды ГГО, 1936, вып. 7, с. 23—47.
 10. Сазонов Б. И., Яковлева Н. И. Зависимость урожайности яровой пшеницы от средних метеорологических условий вегетационного периода по территории СССР. — См. наст. сб.

Т. В. Покровская

СВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

С целью сопоставления урожайности с климатическими условиями нами были использованы следующие три однородных, непрерывных и сравнимых ряда по основной зерновой культуре Северного Казахстана — яровой пшенице: 1891—1917, 1920—1940, 1955—1975 гг. Эти данные брались по монографии А. С. Утешева [4], пополнялись за последние годы по статистическим ежегодникам [3] и сопоставлялись с урожайностью зернобобовых культур по всему Казахстану за 1945—1973 гг. [1]. Метеорологические условия учитывались по каталогу аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков за 1891—1975 гг., который составлен А. В. Мещерской и В. Г. Блажевич и предоставлен нам для использования. Ряд этот является непрерывным и однородным, а комплексирование данных по температуре и осадкам позволяет рассматривать их как общий показатель увлажненности.

Вопросам связи урожаев с метеорологическими условиями посвящена обширная литература, главным образом в плане детального сопоставления агрометеорологических данных со значениями урожайности за различные показательные годы. Некоторые авторы используют довольно длинные ряды по урожайности для СССР в целом и крупных районов для сопоставления с рядами осадков, как это сделано Е. К. Федоровым [5] и Ф. Н. Коганом [2] (приведены данные за послевоенный период).

Ф. Н. Коган сами данные по урожайности рассматривает как интегральный показатель, адекватный сложному комплексу метеорологических и агрометеорологических условий за время формирования урожая и в подготовительном периоде. Это, безусловно, так, но необходимо с той или иной степенью точности выяснить, какие именно это условия. В качестве таковых Коган выделяет в первую очередь осадки за апрель — июнь и затем за январь — март. Для районов возделывания озимых учитывается также гибель посевов в результате вымерзания. Различные комбинации указанных величин получают балловую оценку, и ход урожайности за 1945—1971 гг. хорошо сходится с ней.

В нашу задачу входило оценить влияние многолетних изменений климата, с тем чтобы по возможности в тренде урожайности выделить климатическую и агротехническую части.

Использованный для этой цели каталог Мещерской и Блажевич составлен по следующему принципу. Для каждого года по месяцам с мая по июль определялась площадь территории Северного Казахстана по таким признакам: 1) осадки менее 80% нормы, аномалия температуры выше 1°C; 2) осадки более 120%, аномалия температуры ниже -1°C. Одна группа характеризует неблагоприятные условия для урожая — засушливость; другая — благоприятные, т. е. хорошую увлажненность. Оставшиеся годы можно считать нормальными, или средними по условиям увлажненности. Годы расположены в порядке убывания площади. В каждую группу отнесено по одной трети всего ряда наблюдений (85 лет), т. е. по 28—29 лет. В дальнейшем будем считать: I группа — засушливые годы, II группа — нормальные годы и III группа — годы с хорошим увлажнением.

Понятно, что принятая группировка отражает только самые общие, приближенные характеристики увлажненности, не включая такого решающего фактора урожайности, как влажность почвы, и поэтому мы используем ее также для выводов общего, осредненного характера (табл. 1).

Таблица 1

Число лет с характеристиками увлажненности I, II и III группы

Период	Число лет				В процентах от общего числа лет			
	I	II	III	всего	I	II	III	всего
1891—1917	7	12	8	27	26	44	30	100
1920—1940	10	5	6	21	48	23	29	100
1955—1975	9	7	5	21	43	33	24	100
Всего	26	24	19	69	—	—	—	—

Длительность трех рядов одного порядка. Общее число лет в разных группах оказалось неодинаковым за счет отсутствия 16 лет в полном 85-летнем климатологическом ряду.

Как видно из таблицы, самые благоприятные условия были в первом периоде, когда число засушливых лет (I группа) составило только четверть всего ряда вместо трети по норме. В двух же последующих рядах это число приближалось к половине всех лет. По частоте лет с хорошим увлажнением в наименее благоприятных условиях был последний период.

Для анализа влияния метеорологических условий нужно определить ежегодные значения тренда и отношения урожайности к тренду. За первые два периода А. С. Утешевым получены отно-

шения (%) урожайности к 20-летним средним. В те времена влияние агротехники было недостаточно сильным для того, чтобы определять тренд более детально.

Для периода 1955—1975 гг. тренд был определен нами следующим образом по перекрывающимся десятилетиям:

Фактический ряд	Ряд, принятый для тренда	Урожайность, ц/га
1956—1965	1955—1960	7,4
1961—1970	1961—1970	7,9
1966—1975	1971—1975	9,1

Средняя урожайность за весь 21-летний период, рассчитанная по тренду, составляет ту же цифру 8,0 ц/га, что и фактическая.

В табл. 2 представлено распределение урожайности по годам в зависимости от метеорологических условий, т. е. по группам I, II, III. Влияние метеорологических условий оказалось очень существенным — урожай изменялся от 10,1 ц/га в среднем при благоприятных условиях до 5,7 ц/га при неблагоприятных. Разница составляет 4,4 ц/га, или 55% к средней фактической урожайности за 21 год. Эта цифра приближенная и в той или иной степени заниженная по причине неполного отражения агрометеорологических условий в принятой группировке. Так, оптимальные условия могут создаваться не в III, а во II группе лет, поскольку в III группу входят и случаи избыточного увлажнения при недостатке тепла и т. д. Однако при всей приближенности и эта группировка достаточно показательна.

На основании итогов можно перейти от фактического тренда к тренду, зависящему только от агротехники, т. е. рассчитанному для нормальных метеорологических условий. С этой целью мы принимаем число лет каждой группы в 21-летнем периоде одинаковым, т. е. равным 7 годам, что и соответствует многолетней климатологической норме. Для каждой группы берем среднюю урожайность по табл. 2, умножаем на 7, складываем итоги и получаем общую среднюю, которая составит уже 8,4 ц/га вместо фактической 8,0. В первом приближении добавку мы считали постоянной и получили такие значения тренда, приведенные к нормальным климатическим условиям:

1955—1960	1961—1970	1971—1975
7,8 ц/га	8,3 ц/га	9,5 ц/га

По отношению к этим значениям вычислены процентные значения урожайности за каждый год (табл. 2). Можно было бы и сгладить величины тренда по годам, как это сделано в табл. 2 для фактических его значений.

Как видно по табл. 2, из-за указанных выше причин не имеется полного соответствия за каждый год между урожаями и метеорологическими условиями. Однако расхождения заключаются

Таблица 2

Урожайность за 1955—1975 гг. по группам увлажненности I, II, III

Год	Урожай, ц/га.			Урожай в процентах от тренда без учета метеорологических условий			Фактический тренд, ц/га
	I	II	III	I	II	III	
1955	2,6	—	—	33	—	—	7,0
1956	—	10,1	—	—	129	—	7,2
1957	4,3	—	—	55	—	—	7,3
1958	—	—	8,6	—	—	110	7,5
1959	—	9,6	—	—	123	—	7,6
1960	—	—	8,8	—	—	113	7,7
1961	7,5	—	—	90	—	—	7,7
1962	7,0	—	—	84	—	—	7,8
1963	5,0	—	—	60	—	—	7,8
1964	—	—	9,2	—	—	111	7,9
1965	3,7	—	—	45	—	—	7,9
1966	—	—	11,3	—	—	136	8,0
1967	—	5,7	—	—	69	—	8,0
1968	9,8	—	—	116	—	—	8,3
1969	—	9,6	—	—	116	—	8,3
1970	—	10,6	—	—	112	—	8,5
1971	—	9,6	—	—	101	—	8,7
1972	—	—	12,8	—	—	135	9,0
1973	—	10,8	—	—	114	—	9,1
1974	6,1	—	—	64	—	—	9,2
1975	5,3	—	—	56	—	—	9,3
Среднее по группе	5,7	9,4	10,1	67	109	121	
Среднее по трем группам		8,0			95		

в сдвигах на одну градацию, если ориентироваться на средние групповые значения урожайности в процентах. Только в 1968 г. имеется сдвиг на две градации. В среднем же получается очень ясная картина уменьшения или увеличения урожаев в зависимости от группы метеорологических условий. Задавая их тем или иным образом, можно рассчитать средние значения урожайности за 21 год при среднем уровне агротехники за этот период. В табл. 3 приведены результаты для различных вариантов метеорологических условий. За благоприятный вариант принят такой, в котором

число лет I и III групп поменялось бы местами, т. е. их было бы 5 и 9, а не 9 и 5, как в действительности. Оптимальный, но мало реальный вариант задан отсутствием лет I группы.

Таблица 3

Средняя урожайность при различных метеорологических условиях

Условия	Число лет по группам			Урожайность в процентах	
	I	II	III	от фактической	от нормальной
Фактические	9	7	5	100	95
Нормальные	7	7	7	105	100
Благоприятные	5	7	9	110	105
Оптимальные	—	11	10	122	117

Из табл. 2 и 3 видно, что аномальность (засушливость) периода 1955—1975 гг. привела к снижению урожая на 5% по сравнению с той, которая была бы при нормальных климатических условиях. Если бы соотношение благоприятных и неблагоприятных лет было обратным, получилась бы 10%-ная прибавка к фактиче-

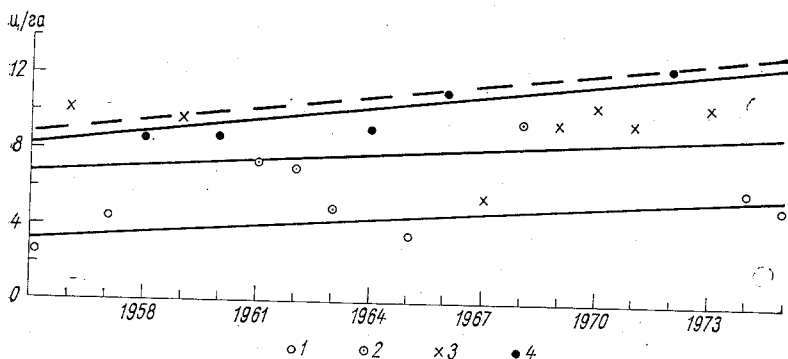


Рис. 1. Урожайность яровой пшеницы в Северном Казахстане в связи с метеорологическими условиями.

1 — I группа лет; 2 — I группа лет, менее засушливые условия; 3 — II группа лет; 4 — III группа лет.

ски собранному урожаю. Для двадцатилетних периодов подобные цифры существенны.

Таблица 3 получена при условии равномерного распределения лет каждой группы внутри периода и одинакового роста урожайности от его начала к концу при разных метеорологических условиях. Итоги были бы несколько иными, если бы, например, все годы I группы сосредоточились бы в начале периода, а все годы

III группы — в конце, и если бы прирост тренда был взят неодинаковым для разных групп. Учесть эти особенности можно только очень приблизительно ввиду очень большой изменчивости урожаев из года в год и их величин внутри каждой группы, что связано с неполнотой соответствия урожаев и выбранной оценки метеорологических условий.

Эта изменчивость показана на рис. 1, где условными значками показана группа метеорологических условий. В данном периоде имеется только 5 лет III группы при 9 годах I группы. Поэтому для сравнимости контрастных условий, взято по 5 лет каждой группы, а оставшиеся 4 года I группы с менее засушливым режимом отмечены особо.

По точкам 5 самых засушливых лет хорошо проводится линия тренда урожайности для особо неблагоприятных условий. Для хорошо увлажненных сезонов расположение точек менее определенное, и линия тренда построена двумя способами: 1) по 5 точкам независимо от группы увлажненности (1956, 1958, 1959, 1966, 1972 гг.) и 2) по 5 точкам III группы лет. Для начального (а) и конечного (б) годов периода получаем такие значения урожайности и ее прироста (ц/га):

Урожайность	а	б	а—б
Высокая (1)	9,0	13,2	4,2
Высокая (2)	8,2	12,8	4,6
Средняя	7,0	9,3	2,3
Низкая	3,0	5,8	2,8

Из этих данных следует что агротехника наиболее эффективна в годы с хорошим увлажнением, но и в засушливые годы, даже самые плохие, она дает прибавку к урожаю не меньше, чем при средних условиях.

При идеальном согласовании урожаев с метеорологическими условиями тренд для нормальных лет легко бы проводился по точкам средней группы.

В заключение приведем данные средней изменчивости урожайности по рассмотренным трем периодам:

1891—1917	1920—1940	1955—1975
26% (1,7 ц/га)	31% (2,3 ц/га)	21% (1,7 ц/га)

Наиболее устойчивая относительная урожайность характерна для последнего периода, но абсолютная не оказалась меньше, чем в первом, в связи с повышением среднего сбора зерна. Большая изменчивость во втором периоде объясняется частыми жестокими засухами 20-х и 30-х годов.

В работе [1] показаны тренды урожайности зернобобовых культур за 1945—1973 гг. по СССР в целом и ряду крупных районов. Из анализа кривых урожайности следует, что тренд для Казахстана был относительно невелик, в других областях он был значительно больше, особенно в Украинской ССР — от 4,5 ц/га в на-

чале периода до 22 ц/га в его конце. Хотя расчет трендов с учетом изменения климатических условий в таких случаях должен быть сложнее, к нему также может применяться описанный выше способ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологические особенности 1973 года и краткие итоги обслуживания народного хозяйства прогнозами погоды, агрометеорологических условий, режима рек, морей и океанов. Гидрометцентр СССР. М., 1974. 32 с.
2. Коган Д. Н. Оценка агроклиматических условий по аномалиям урожайности. — Метеорология и гидрология, 1974, № 2, с. 75—81.
3. Народное хозяйство Казахстана в 1975 г. Статистический ежегодник. Алма-Ата, Казахстан, 1976. 272 с.
4. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные условия. Алма-Ата. Наука, 1972. 176 с.
5. Федоров Е. К. Погода и урожай. Л., Гидрометеиздат, 1973. 57 с.

Т. В. Покровская, А. А. Григорьева

О ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЕВРОПЕЙСКО-КАЗАХСТАНСКИХ ЗАСУХ

Засухи, охватывающие одновременно земледельческие районы Европейской и Азиатской территорий Советского Союза, причиняют особенно большие потери народному хозяйству СССР. Статистические характеристики таких засух приведены в работе Ю. Л. Раунера [10], причем для Азиатской территории рассматривались засухи в Западной Сибири и Северном Казахстане. Нами учитывались засухи, охватывающие Европейскую территорию СССР (ЕТС) и Северный Казахстан. Судя по работе Раунера, Северный Казахстан и Западная Сибирь обычно одновременно поражаются засухами.

При отборе засух для Европейской территории нами учитывались те, которые охватывают особенно большую площадь согласно каталогу Н. Г. Каменьковой [6]. Критерий засух для Казахстана был взят по А. С. Утешеву [11] — уменьшение урожая яровой пшеницы до 74% нормы и ниже. За последние годы каталоги Каменьковой и Утешева пополнялись нами по текущей литературе.

Засухи на ЕТС и в Северном Казахстане за период 1891—1975 гг. имеют повторяемость каждая, независимо друг от друга, 20%, т. е. встречаются раз в пять лет. Совместное наступление засух на той и другой территории — гораздо более редкое явление. Согласно указанным каталогам, оно имело место в следующие годы: 1891, 1920, 1921, 1924, 1951, 1957, 1975, что составляет 7 случаев, или 8%. Это выше вероятности случайного совпадения (4%) двух независимых событий, имеющих каждое вероятность 20%, и указывает на довольно высокую степень их связи между собой.

Указанное небольшое число случаев ограничивает возможности применения статистики при анализе гелиогеофизической и циркуляционной обусловленности засух. С другой стороны, этот анализ требует однородности исходных данных в смысле территориального распределения засух. С целью увеличения материала были добавлены в число засух на ЕТС следующие случаи с их

несколько меньшей площадью распространения по сравнению с отбором Каменьковой: 1911, 1931, 1963, 1965 гг. С другой стороны, были исключены случаи, когда засуха в Казахстане охватывала только западную половину его территории. Такое разделение произведено и в одной из разработок Утешева [11]. К этим случаям относятся 1891 и 1957 гг. (в последнем из них урожайность в восточной части территории составила 91%, что соответствует градации «норма»). В итоге получаем следующие 8 случаев для анализа: 1911, 1920, 1921, 1931, 1951, 1963, 1965, 1975 гг.

Переходим к анализу гелиогеофизических условий засух. В работе [9] показано, что связь засух в СССР лучше выявляется при использовании не чисел Вольфа, а индекса геомагнитной возмущенности K_p , как показателя корпускулярной активности Солнца. Эта связь выражается в преобладании засух на ЕТС в годы восходящей ветви 11-летнего цикла K_p , а засух в Казахстане — в годы нисходящей ветви этого индекса. Годы минимума и максимума K_p при этом следует относить к нисходящей ветви, что для лет минимума безусловно, а для лет максимума исключения могут быть вызваны условиями атмосферной циркуляции.

При такой фазировке все 8 случаев европейско-казахстанских засух пришлось на годы нисходящей ветви (1951 г. — год максимума). Выделение засух на ЕТС и в западной половине Северного Казахстана в особую группу показало столь же четкую их приуроченность к фазе восходящей ветви K_p (из 9 случаев только один с менее сильной засухой пришелся на нисходящую ветвь, остальные 8 — на восходящую).

Исходя из сказанного, для первого приближения к долгосрочному и сверхдолгосрочному прогнозированию засух следует определить на ближайшие годы фазу 11-летнего цикла корпускулярной активности Солнца — восходящая или нисходящая его ветвь. С этой целью учитываются астрономические прогнозы чисел Вольфа и особенности хода самого индекса K_p . В годы восходящей ветви засух на ЕТС и в Казахстане, включая и восточную его часть, за рассмотренный нами период не было. Все 8 таких засух пришлось на 39 лет нисходящей ветви за этот 85-летний период, что дает вероятность 20,5%, в два с лишним раза больше общей (климатологической) вероятности за 85 лет. Для таких существенных и опасных явлений, как засухи столь большого распространения, подобные указания уже заслуживают внимания.

Следующим этапом должен быть учет циркуляционных условий, что и является главной задачей настоящей статьи. Остановимся прежде всего на характеристике циркуляции в период самих засух. С этой целью был использован каталог барико-циркуляционных характеристик Л. А. Вительса [3, 4]. Представляло интерес прежде всего выяснить степень устойчивости антициклонического режима в районах засухи (южная половина территории ЕТС и соответствующие по широте районы Западной Сибири и Казахстана, что соответствует 7 и 8 синоптическим районам по Вительсу). Нами были составлены карты отклонения от нормы

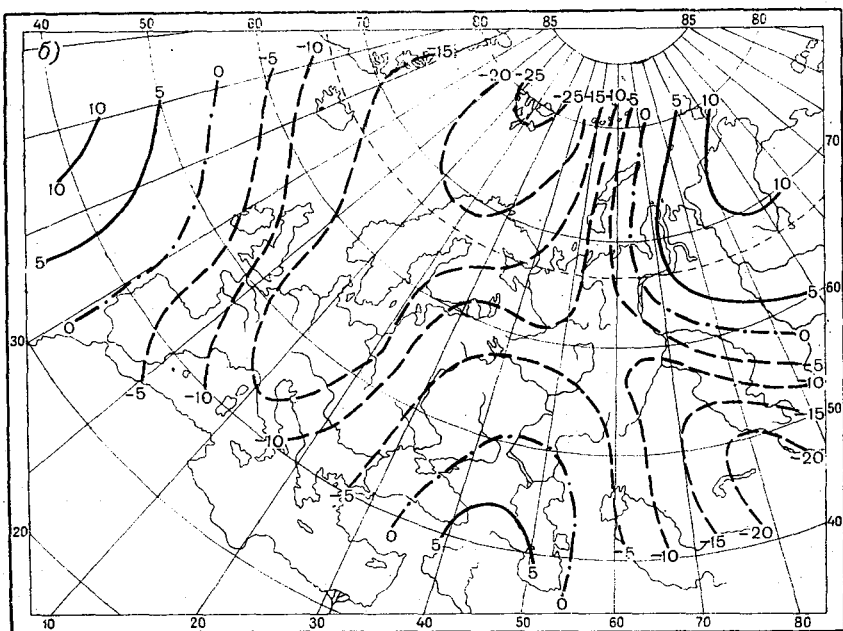
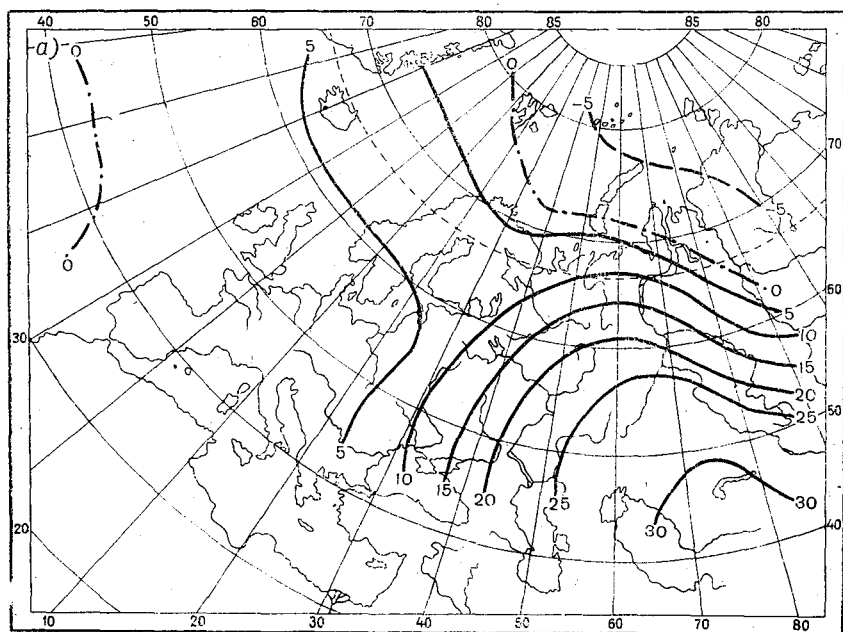


Рис. 1. Барический режим в годы европейско-казахстанских засух (отклонение от нормы числа дней с антициклонической циркуляцией за март — август).

a — первая группа лет, *б* — вторая группа лет.

сезонного числа дней с антициклонической циркуляцией (весна + лето), причем для увеличения материала был включен и 1957 г. Выяснилась целесообразность разделения засух на две группы. Большая часть лет характеризуется преобладанием антициклонической циркуляции весной и летом (с марта по август) в районах засух, как это показано на рис. 1 а, но иногда (1920, 1921, 1957 гг.) преобладает циклонический режим (рис. 1 б). Так как представление о циклоничности при засухах является непривычным, нами были составлены также карты для указанной группы лет за начальный период формирования и протекания засух, т. е. за апрель — июнь. Однако, в среднем и за эти месяцы преобладание антициклонического режима не было выражено. Следовательно, европейско-казахстанские засухи не всегда осуществляются при преобладании антициклонической циркуляции. В одной трети всех случаев они наблюдались в условиях циклонического барического режима, даже при таком большом их распространении по территории, как в 1921 и 1957 гг.

Кроме того, были использованы данные по типизации атмосферных процессов по Г. Я. Вангенгейму и А. Л. Кацу из работ [5 и 7], а за последние годы — по материалам ААНИИ и Гидрометцентра СССР, предоставленным нам. Эти типизации дают возможность устанавливать или наличие маловозмущенного зонального переноса в тропосфере, или развитие длинных волн с различным расположением гребней и ложбин. К мало возмущенному переносу относятся случаи типа W по Вангенгейму и зональные (Зон.) процессы по Кацу. Типы Е и С характеризуются противоположным размещением гребней и ложбин над интересующим нас районом Европа — Западная Сибирь и Казахстан. Типизация Каца является более детальной. Меридиональные процессы дифференцируются по западному (З), центральному (Ц) или восточному (В) положению гребня над указанным районом. Наблюдается и смешанная форма (С), при гребнях на западе и на востоке. Эта типизация выполнена за период наличия карт барической топографии, т. е. с 1936 г. Повторяемость типов циркуляции при засухах дана в табл. 1.

Наиболее ясной особенностью можно считать преобладание типа Е по Вангенгейму, если же это не наблюдается, то преобладает С. Однако, хотя тип W нигде не стоит на первом месте, в двух случаях его повторяемость выше нормы. Что касается типов циркуляции Каца, то по ограниченному числу случаев не видно преобладания ни зональных (Зон.) ни меридиональных (М) процессов. Если же рассматривать дифференцированно формы последних, то выявляется преобладание случаев В, что соответствует ситуации сильных засух во всем Казахстане. Случай формы Ц (1963 г.) характеризуется особо сильным развитием гребня над ЕТС, случай З (1975 г.) менее ясен как в отношении соответствия распространению засухи, так и развитию типа Е в этом году. Карты средних месячных значений AT_{500} и AT_{700} служат хорошей иллюстрацией развития тех или других атмосферных процес-

сов в засушливые сезоны. Так, например, изогипсы направлены близко к кругам широты в июне и июле 1963 и 1965 гг. при развитии зональных процессов по Кацу; в июле 1957 г. очень интенсивно развит гребень над ЕТС и т. д. Однако в целом трудно усмотреть ясное соответствие между приведенными характеристиками циркуляции при европейско-казахстанских засухах по Вангенгейму, Вительсу и Кацу, каждая засуха при этом имеет свои индивидуальные черты, различающиеся и от месяца к месяцу.

Таблица 1

Повторяемость типов циркуляции за апрель — август в годы с европейско-казахстанскими засухами, в процентах от нормы
а) Типизация Г. Я. Вангенгейма

Год	W	E	C	Год	W	E	C
1911	115	53	135	1957	31	150	112
1920	91	157	49	1963	41	183	73
1921	74	92	135	1965	53	123	122
1931	113	123	61	1975	33	183	80
1951	74	130	90				

б) Типизация А. Л. Каца

Год	Зон.	М	Ц	З	С	В
1951	112	94	79	33	67	183
1957	77	111	118	80	98	138
1963	117	91	156	100	42	50
1965	115	92	56	107	109	112
1975	40	130	88	227	123	138

Е. А. Аксарина и В. М. Пасов [1] провели анализ условий циркуляции в тропосфере при высоких и низких урожаях в Казахстане, независимо от засух на ЕТС. Они показали существенное различие атмосферных процессов при той и другой группе лет, причем особенности циркуляции при высоких урожаях в Казахстане оказались значительно более ярко выраженными, чем при низких урожаях, связанных с засухами. Используя типизацию Каца, авторы [1] заключают, что при низких урожаях наиболее часто встречаются формы циркуляции В и С; однако отмечалось и почти одинаковое развитие всех форм меридионального типа процессов [1]. Это не противоречит полученным нами выводам.

Несмотря на все разнообразие синоптических процессов при засухах и даже на противоположность двух основных типов, выявленных с помощью каталога Вительса, притом не только в районе засух, но и по всей карте (рис. 1), нами была произведена попытка построения статистических схем прогноза засух без разде-

ления их на группы. Предполагалось, что не исключена возможность некоторых общих черт в процессах, создающих подготовку засух, при всем различии синоптической картины в период их осуществления.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции r и их отношение к ошибке r/σ_r

№		Год	Месяцы	Тип	r	r/σ_r
по порядку	по значимости					
1	6	—1	I—XII	Е	+0,55	2,5
2	2	—2	IX—X	Е	+0,64	2,8
3	3	—2	VII—X	С	—0,63	2,8
4	1	—2	V	W	—0,77	3,4
5	7	—3	III—IV	W	—0,53	2,3
6	4	—3	II—III	С	+0,59	2,5
7	8	—4	XII	W	—0,51	2,2
8	5	—4	III—IV	W	+0,57	2,5
9	9	—4	III—IV	С	—0,48	2,2
10	10	—5	VII	С	+0,48	2,0

С указанной целью были использованы данные числа дней с типами W, E, C по месяцам за 5 лет, предшествующих году засухи. Годы взяты календарные и обозначаются в дальнейшем как —1 (минус первый), —2 и т. д.; так, например, год —1 включает месяцы с января по декабрь перед годом засухи. Для группы отобранных 8 лет с засухой были подсчитаны средние числа дней с различными типами за каждый месяц лет перед засухой. Выяснилось, что в некоторые из этих лет и месяцев число дней с циркуляцией того или другого типа существенно отклоняется от нормы. Эти случаи и разбирались с целью выяснения их прогностического значения. Перспективность их в этом отношении определялась с помощью двухгруппового (бисериального) коэффициента корреляции между засухами и типами циркуляции [2, 8]. Результаты приведены в табл. 2.

Судя по этой таблице, год, непосредственно предшествующий прогнозируемому, дает очень ограниченную прогностическую информацию, так как имеется только один достаточно значимый коэффициент корреляции. Максимум ее приходится на —2-й год как по величине коэффициентов, так и по их отношению к своей ошибке. Далее идет плавное уменьшение этих показателей, и в среднем по годам получаются такие цифры:

Год	—2	—3	—4	—5
$ r $, сотые доли	68	56	52	48
r/σ_r	3,0	2,4	2,3	2,0

Поясним, что корреляция производится для лет нисходящей ветви K_p , которых насчитывается 39 и в число которых попадают все 8 случаев засух. Это относится к предиктантам. Что же касается предикторов, то годы от -1 до -5 -го брались независимо от фазы K_p .

Вследствие редкости явления европейско-казахстанских засух и значительного разнообразия синоптических процессов при их осуществлении, а также большой заблаговременности предикторов представляется возможным получать лишь вероятностные схемы прогнозов. Они указывают, насколько в прогнозируемом году вероятность явления больше или меньше климатологической. Значения таких вероятностей далеко не всегда достигают 60—70% и даже 50%. Однако уточнение вероятности редкого явления от значения порядка 10% (в среднем) до 20, 30 или 50% заставляет серьезно считаться с возможностью его осуществления, особенно при длительных сроках планирования, где ряд факторов имеет определенность такого же характера. С этой точки зрения и следует рассматривать вырабатываемые прогностические схемы.

Из числа предикторов, показанных в табл. 2, выделяется № 4—1 с коэффициентом корреляции $-0,77$. Весьма трудно высказать предположения, почему именно циркуляция в мае за два года до засухи обуславливает ее столь значительно. Однако статистическое обоснование достаточно определено. Все 8 случаев засух пришлось на годы со значением предиктора менее 6 дней. За весь же период наблюдений таких значений было 16. Согласно формуле Бернулли, вероятность случайного появления такого события не превышает 0,1%. Следовательно, если прогноз при данных значениях предиктора можно дать только с вероятностью 50%, эти 50% хорошо обоснованы.

Имеется также некоторая возможность провести проверку прогностической связи на независимом материале, а именно, установить, чем отличались годы, для которых значение предиктора указывало на повышенную вероятность засух, но засух не было. Если в эти годы тоже отмечались элементы засушливости, менее сильно выраженные (засуха «с допуском»), то реальность связи подтверждается. Приведем для лет, попавших в указанную группу (засуха «с допуском»), их характеристики — наличие засухи на ЕТС по каталогу Алпатьева (А) и Каменьковой (К) и урожайность (%) по Казахстану:

Год	1897	1899	1930	1953	1954	1962	1964	1974
Наличие засухи	АК	К	К	—	АК	—	—	—
Урожайность, %	80	102	84	112	137	87	115	67

Из указанных 8 лет только два, 1953 и 1964, не обнаруживают признаков засушливости. 1897 г. по существу тоже мог бы быть присоединенным к засушливым 8 годам, так как значение урожайности 80% в Казахстане часто входит в критерий засушливости. Таким образом, 6 лет из добавочных 8, т. е. 75%, с тем

или иным допуском могут также считаться засушливыми, и общее число лет с засухой поднимается до 87%. Если же определить засушливые годы с допуском для значений предикторов более 6 дней, таких лет будет меньше (43%).

Для полного использования предикторов следует учитывать их не по одному, а в комплексе. Простейшим средством для этого является построение графиков зависимости осуществления явления от значений двух предикторов. Для примера приведем рис. 2, где по оси x отложены значения предиктора № 6—4, а по оси y — предиктора № 1—6. Первый из них имеет небольшую заблаговременность — осень и предзимье до года засухи. Он интересен,

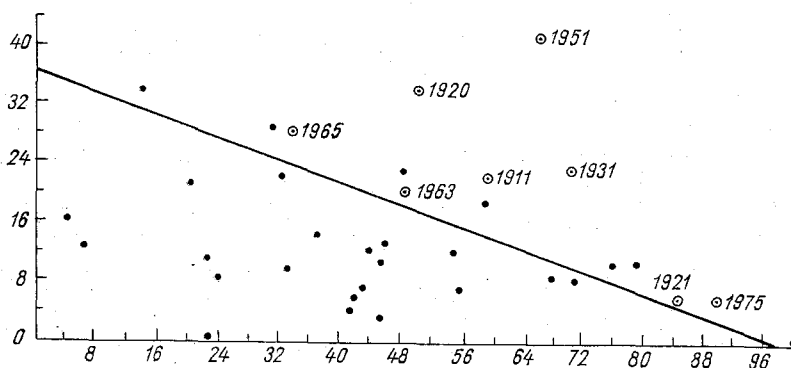


Рис. 2. Корреляционный график зависимости наступления засух от значений двух предикторов. Указаны годы с засухой.

в частности, тем, что одни только его значения до предела 30 дней определяют неосуществление засухи в предстоящем году. Обеспеченность прогностической связи в поле с возможными засухами составляет 53%. Из 7 лет с «неудавшимися» европейско-казахстанскими засухами в этом поле только в одном явно не было признаков засушливости ни на ЕТС, ни в Казахстане и по одному году сведения неопределенные.

Приводим список комплексов прогностических связей, для которых получены поля с обеспеченностью засух не менее 35% при условии, что все 8 засух попадают в эти поля. Номера предикторов обозначены в соответствии со второй графой табл. 2 (значимость), обеспеченность засух дана в процентах.

№ предиктора	15	16	17	18	19	23	37	46	56	59	67	79
Обеспеченность, %	44	53	57	57	57	44	41	53	41	38	35	3

Лучшие результаты, как и следовало ожидать, получены для комплексов, куда входит предиктор № 1 по значимости.

Намеченное применение дискриминантных функций даст возможность комплексирования более чем двух предикторов, притом вполне объективным методом и со статистической оценкой надежности прогностических схем в их полном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксарина Е. А., Пасов В. М. Особенности летней циркуляции атмосферы над Северным полушарием в экстремальные по урожайности яровой пшеницы годы в Казахстане. — Метеорология и гидрология, 1976, № 2, с. 85—91.
2. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1963. 416 с.
3. Вительс Л. А. Месячные, сезонные и годовые характеристики барикоциркуляционного режима Европейского естественного синоптического района 1900—1964 гг. Л., Гидрометеиздат, 1965. 128 с.
4. Вительс Л. А. Избранные труды. Синоптическая метеорология и гелиогеофизика. Л., Гидрометеиздат, 1977. 256 с.
5. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л., Гидрометеиздат, 1971. 280 с.
6. Каменькова Н. Г. К вопросу об изучении весенне-летних засух на Европейской территории СССР. — Труды ГГО, 1964, вып. 164, с. 43—53.
7. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л., Гидрометеиздат, 1960. 268 с.
8. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1972. 210 с.
9. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969. 253 с.
10. Раунер Ю. Л. Приложение стохастической модели первичной продуктивности к анализу колебаний урожайности зерновых. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1976, № 2, с. 13—29.
11. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, Наука, 1972. 175 с.

Б. И. Сазонов, Н. И. Яковлева

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ СРЕДНИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Существующие индексы засушливости, как правило, основываются на соотношениях приходно-расходных составляющих влагопотребления растений, т. е. на соотношениях водных и энергетических ресурсов испарения в деятельном слое подстилающей поверхности. Чаще всего рассматривается отношение таких параметров, как испаряемость E_0 , к водному балансу ($r + w = \text{осадки} + \text{влагозапасы в почве}$). За счет упрощений этих параметров или различных модификаций их возможно создание многочисленных вариантов показателей или индексов метеорологической засушливости.

Оптимальными условиями для некоторого «стандартного» вида растения следует считать такие условия, при которых $J = \frac{E_0}{r + w}$ близко к единице ($J_{\text{опт}}$), т. е. энергетические возможности сбалансированы имеющейся влагой. Исходя из этого, засухой можно назвать такое гидрометеорологическое состояние вегетационного периода, при котором отношение J_i превышает единицу. Соответственно, явления переувлажнения должны отвечать условию $J_i \ll 1$. В зоне недостаточного увлажнения климатическое значение J будет, как правило, несколько больше единицы и потому лучше за показатель засухи принимать, например, соотношение $J_i/J \geq 2$, где J — климатическая норма. Если это отношение равно 3—5, ситуация должна соответствовать жестокой засухе. В зоне избыточного увлажнения, как правило, $J < 1$, а отношение $J_i/J \geq 2$ может быть при $J_i \approx J_{\text{опт}} \approx 1$ (например, если $J_i = 1$, а $J = 0,5$). Следовательно, в зонах достаточного или избыточного увлажнения не всякое увеличение J_i (по сравнению с J) можно рассматривать как засуху, а только то, которое соответствует $J_i > 1$. Таким образом, засухой можно назвать такие условия вегетационного периода, при которых $J_i > 1$ и $J_i/J \geq 2$. Жестокой засухе соответствует $J_i > 1$ и $J_i/J \geq 3—5$. Аналогично условиями переувлажнения можно назвать такие, когда $J_i \ll 1$, а $J_i/J \leq 0,5$.

Растения обладают различными биологическими механизмами

приспособления как к условиям недостатка, так и к условиям избытка увлажнения и могут произрастать тогда и там, где отношение $J = \frac{E_0}{r + w}$ заметно отличается от единицы. Это соотношение

как видим, имеет универсальный смысл и может быть использовано как для определения в пространстве оптимальных географических зон, так и для определения в различных зонах оптимальных для сельского хозяйства периодов.

Если использовать формулу Иванова для определения испаряемости E_0 , то можно написать

$$\frac{E_0}{r + w} = \frac{0,0018(t + 25)^2 \cdot (100 - f)}{r + w},$$

где t — температура воздуха в некоторый период, f — относительная влажность воздуха. Поскольку все параметры t , f , r и w в той или иной мере связаны между собой, то показателями метеорологической засухи могут быть как каждый из перечисленных параметров в отдельности, так и различные их комбинации, например комбинация осадков с температурой (r и t), температуры и относительной влажности (t и f) и т. п. История исследования метеорологических засух дает многочисленные подтверждения правильности этого заключения — все удовлетворительно работающие показатели (индексы) метеорологической засухи хорошо коррелируют друг с другом и отражают по существу различие между избытком имеющейся энергии и дефицитом влаги [9].

Предложенный нами критерий засухи, определяемый по двум параметрам: $J_i > 1$ и $J_i/J \geq 2$, по-видимому, снимает все недоразумения, которые возникают при применении зависящих от географической зональности параметров t , f , r и w или их комбинаций. Однако следует отметить, что существуют еще большие трудности, связанные с вычислением J , и предложенный способ определения засух не всегда может быть практически осуществлен.

В настоящей статье исследуется зависимость урожайности для разных климатических зон от средних метеорологических условий вегетационного периода, а также делается попытка уточнить положение зоны с оптимальными климатическими условиями на территории СССР.

В обширной агрометеорологической литературе существуют самые различные оценки роли влияния средних метеорологических условий вегетационного периода на урожай одной и той же культуры [4—6, 8, 9]. Выбрав в качестве показателя средних метеорологических условий вегетационного периода относительную влажность воздуха за май и июнь месяцы — f_{V-VI} , которая достаточно хорошо связана с величиной J_i [9], мы проанализировали связь этого показателя с урожайностью яровой пшеницы по большинству зернопроизводящих районов СССР с 1945 по 1975 г. Анализ этого обширного материала показал, что характер связи урожайности яровой пшеницы от средних метеорологических условий вегетационного периода существенно меняется при переходе от зо-

ны степей и полупустынь к лесной зоне. Причем характер связи практически не зависит от вида метеорологического показателя, характеризующего условия вегетационного периода.

На рис. 1 показана связь отклонений урожайности в центнерах с гектара от параболического тренда (y') с величиной f_{V-VI} по шести областям СССР. Коэффициенты корреляции, вычисленные между y' и f_{V-VI} по этим областям закономерно меняются.

Область	Коэффициент корреляции
Семипалатинская	$+0,87(\pm 0,03)$
Уральская	$+0,66(\pm 0,07)$
Харьковская	$+0,50(\pm 0,1)$
Киевская	$-0,08(\pm 0,18)$
Львовская	$-0,30(\pm 0,14)$
Калининградская	$-0,30(\pm 0,14)$

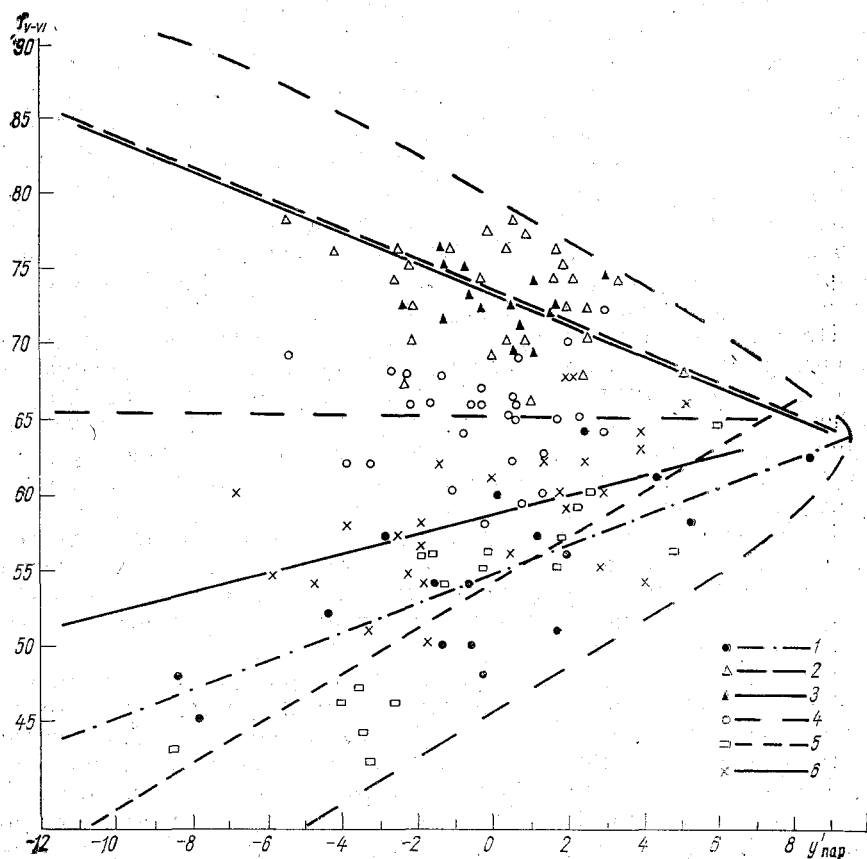


Рис. 1. Зависимость между относительной влажностью f_{V-VI} за май — июнь и отклонением урожая $y'_{пар}$ яровой пшеницы от теоретической параболы для отдельных областей из разных климатических зон.

1 — Уральская область, 2 — Львовская, 3 — Калининградская, 4 — Киевская, 5 — Семипалатинская, 6 — Харьковская область.

При переходе от района полупустыни (Семипалатинская область) к районам Западной Украины, Белоруссии и Прибалтики прямая связь и f_{v-v_1} сначала уменьшается, затем исчезает в районах оптимальных климатических условий ($J_{\text{опт}} \approx 1$), а затем появляется обратная связь y' и f_{v-v_1} в зоне избыточного увлажнения. Зона оптимальных климатических условий вегетационного периода и отсутствия связи между средними метеорологическими характеристиками лета и урожаем проходит примерно через Молдавию, центральные области Украины, Черноземные области. Из сказанного, однако, не следует делать вывод, что в этих областях нет вообще связи между динамикой выпадения осадков и изменениями температуры в течение отдельных фаз вегетационного периода и произрастанием растений. Связи между развитием растений и изменением метеорологических параметров в отдельные фазы вегетационного периода есть практически везде. В данном случае речь идет о связях конечного урожая со средними характеристиками вегетационного периода.

Современное состояние метеорологической науки не позволяет надеяться на то, что в ближайшие годы будут разработаны методы прогноза хода температуры и осадков в течение отдельных фаз вегетационного периода. В лучшем случае можно надеяться, что в ближайшем будущем будут предсказываться с определенной успешностью средние характеристики (температура, осадки, влажность) вегетационного периода. В таком случае связи, показанные на рис. 1 могут оказаться полезными для прогнозирования урожая.

Из рис. 1 следует, что при f_{v-v_1} , близком к 65—67%, отмечаются экстремально высокие урожаи яровых как в Семипалатинской, Киевской, так и в Калининградской областях. Эта величина относительной влажности является вместе с тем типичной для средних климатических условий вегетационного периода в Киевской области, что и обуславливает почти полное отсутствие связи урожайности со средними метеорологическими условиями вегетационного периода в этом районе. Чем больше возможные отклонения от этой величины ($f_{v-v_1} \approx 65 \div 67\%$), тем больше коэффициенты корреляции. Это означает, что любое повышение относительной влажности в районах Северного Казахстана или понижение, например, в Калининградской области, приводит к возрастанию урожая. В Западной Украине, Белоруссии и Прибалтике обратные связи y' и f_{v-v_1} не столь сильны, хотя и статистически значимы. Мелиорация больших площадей и возможность убирать с полей избыток влаги может уменьшить степень зависимости урожая от средних метеорологических условий вегетационного периода.

Еще раз подчеркнем, что указанная закономерность в изменении характера связи между средними метеорологическими условиями и урожаями на территории СССР сохраняется для любого метеорологического показателя. Например, можно взять в качестве метеорологического показателя аномалию температуры воздуха (δt) и осадков (δr). Чем сильнее снижение температуры воз-

духа ($-\delta t$) и больше осадков ($+\delta r$), тем, казалось бы, более благоприятные условия для созревания урожаев. И наоборот, чем больше $+\delta t$ и меньше $-\delta r$, тем более неблагоприятные условия. Но это утверждение не имеет абсолютного значения, так как оно применимо только для условий засушливого климата или засушливых периодов. Для условий избыточного увлажнения эти же утверждения в первом случае ($-\delta t$, $+\delta r$) приведут к снижению урожаев, а во втором случае ($+\delta t$, δr) до определенных значений δt и δr к увеличению урожаев и только после достижения этих значений и по мере удаления от оптимальных условий наступит период угнетения растений в виде засухи. Поэтому-то в условиях избыточного увлажнения корреляционная связь (R) метеорологического показателя с урожаем не имеет очень больших абсолютных величин по сравнению с R в условиях засушливого климата.

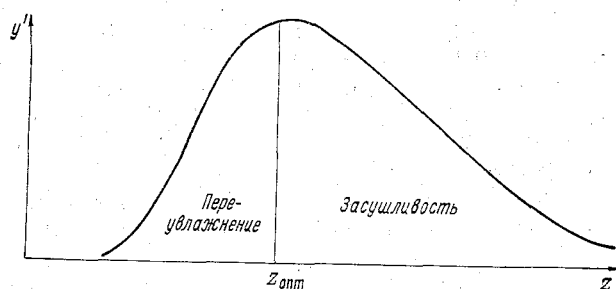


Рис. 2. Обобщенная форма зависимости y' от какого-либо метеорологического показателя z .

Нормирование любого метеорологического индекса на его дисперсию или на норму не может исключить рассматриваемого влияния климатического фона, так как форма зависимости метеорологического показателя от урожаев при этом не изменится (положительная, отрицательная, нулевая).

По-видимому, существует характерная зависимость метеорологического показателя от урожайности, которая получается в виде огибающей точек, представленной, например, на рис. 1. Вершина огибающей соответствует оптимальным условиям с максимальной величиной урожая ($J_{\text{опт}}$). Верхняя и нижняя ветви огибающей отражают разные формы зависимости урожая от метеорологического индекса: при высоких значениях метеорологического показателя (f) огибающая быстрее приближается к оптимальному значению $J_{\text{опт}}$ (отрицательная корреляция), при низких значениях — огибающая положе поднимается к $J_{\text{опт}}$ (положительная и более высокая по абсолютному значению корреляция). Для $J_{\text{опт}}$ величина урожая может быть различной: и экстремально большой

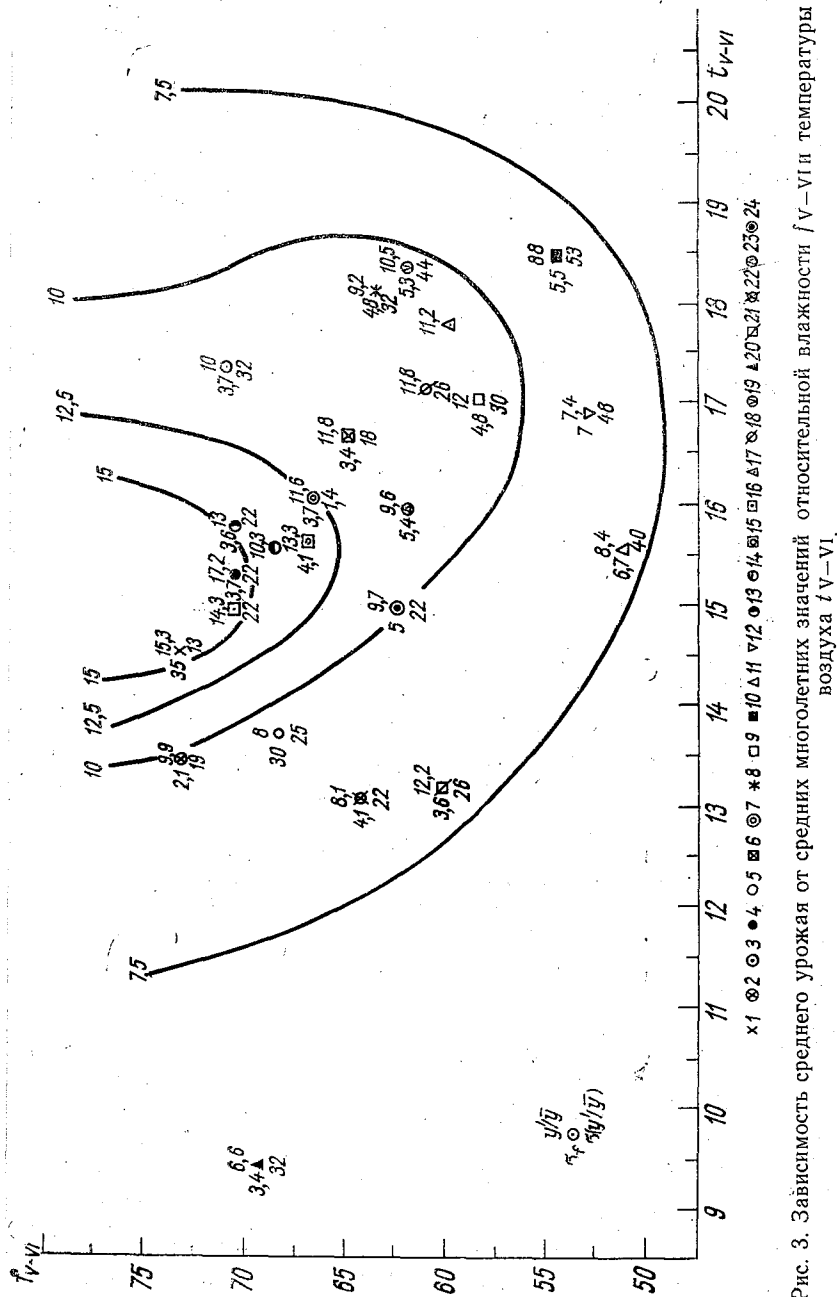


Рис. 3. Зависимость среднего урожая от средних многолетних значений относительной влажности t_{V-VI} температуры воздуха t_{V-VI} .

и низкой, так как здесь влияние метеорологического фактора сведено к минимуму. Эта форма зависимости справедлива как в анализе урожаев разных климатических зон, так и в анализе урожаев для разных вегетационных периодов (засушливых, увлажненных) одной и той же области (рис. 2). Так, для условий Украины аналогичная кривая получена для различных метеорологических показателей и отдельных фаз вегетации [2].

Влияние климатического фона на урожай хорошо видно также из рис. 3, построенного по осредненным за 30 лет данным (по

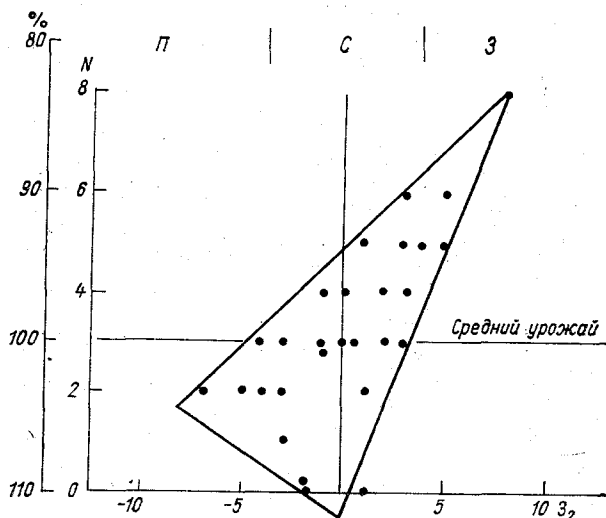


Рис. 4. Связь трехлетних значений урожаев яровой пшеницы на ЕТС (%) и числа районов, пораженных засухой (N) с индексом метеорологической засухи $З_2$. 1890—1892 гг.

П — переувлажнение, С — средние метеорологические условия, З — засухливость.

$\bar{t}_{V-VI}$ и $\bar{t}_{V-VI}$). Изолинии проведены по значениям осредненного урожая $\bar{y}$. На основании этого графика можно сделать заключение о том, какие средние урожаи соответствуют тем или иным климатическим условиям по сочетаниям $\bar{f}$ и $\bar{t}$ за май — июнь. Максимальный средний урожай $\bar{y}$ можно получить в Западной Украине ($\bar{f} > 70\%$, $\bar{t} = 14,5 \div 15,5^\circ\text{C}$, а $\bar{y}$ до 15 ц/га и выше) при среднем уровне агротехники этих 30 лет, в южной части Украины — до 10 ц/га, а в Поволжье — Казахстане ($\bar{f} > 55\%$, $\bar{t} = 15 \div 19^\circ\text{C}$) $\bar{y}$ соответствует 7—10 ц/га в среднем за 30 лет. В северных районах ЕТС (Архангельск), где температура не высока ($9-10^\circ\text{C}$), а $\bar{f} \approx 70\%$ — снова средние урожаи не велики (около 6,5 ц/га).

Учитывая сложность связей урожайности в различных районах СССР со средними метеорологическими характеристиками вегетационного периода можно ожидать, что и связи обобщенных характеристик метеорологической засухи с урожаем по стране имеют достаточно сложный характер. На рис. 4 приведена связь трехлетних значений урожайности (%) яровой пшеницы на ЕТС [3] и числа районов (ЕТС, Поволжья, Северного Казахстана), пораженных засухой (N) [7] с индексом метеорологической засухи Z_a на ЕТС, взятым из [1]. Урожайность яровой пшеницы на ЕТС хорошо связана с числом районов N , пораженных засухой (поэтому точки на рис. 4 нанесены по значениям N , которые по существу отражают величину урожайности на ЕТС. Из рис. 4 видно, что особенно большие отклонения урожайности от средней появляются при частой повторяемости засух в трех указанных выше районах. В трехлетие 1890—1892 гг. число районов, пораженных засухой, достигало 8 из 9 возможных, индекс метеорологической засухи достигал +8. Из рис. 4 можно заключить, что экстремально высокие урожаи на ЕТС возможны при средних метеорологических условиях, но при экстремально высоком уровне увлажнения урожаи не бывают особенно большими. Здесь мы вновь сталкиваемся с тем же эффектом, о котором говорили в начале статьи: имеются метеорологические условия, оптимальные для получения высоких урожаев, а при переувлажнении отмечается небольшое снижение урожайности, при недостатке увлажнения — резкое снижение урожайности (см. рис. 1).

Факт более сильной зависимости урожаев, в частности, зерновых культур от погоды для районов засушливого климата следует также из непосредственного анализа урожайности.

Были проанализированы отклонения ($\Delta y'_i$) от параболического тренда данных по урожаю яровой пшеницы за период с 1945 по 1974 гг. по большинству областей СССР. Предполагается, что параболическая кривая ($\hat{y}_i$) отражает изменение урожайности в зависимости от уровня агротехники, а отклонения от этой кривой можно рассматривать как колебания урожаев за счет изменений погодных условий.

Оценка таких колебаний производилась разными способами. Прежде всего рассчитывалась средняя квадратическая изменчивость $\sigma(y'_i)$ урожаев от параболического тренда. Затем эта величина оценивалась: а) в процентах от среднего урожая за рассматриваемый период ($\sigma(y'/\bar{y})$), б) в процентах от $\hat{y}_i$ за 1974 г. ($\sigma(y'/\hat{y}_{74})$), кроме того, находилось отношение y'_i за данный год к точке на теоретической кривой за этот же год $\hat{y}_i$, в) рассчитывались средние абсолютные величины отношения $|y'_i/\hat{y}_i|$ в процентах, г) оценивалась средняя квадратическая величина σ_1 ряда $y'/\hat{y}_i$, как $\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2} \left| \frac{y'}{\hat{y}_i} \right|}$.

Величины $\sigma(y'_i)$ изменяются по территории СССР от 1,2 до 4,0 ц/га (в среднем 2,65 ц/га), причем малые значения $\sigma y'$ — на

Северо-Западе СССР (< 2 ц/га). Оценки $\sigma(y'/\bar{y})$ и σ_1 оказались близкими между собой, в среднем по 73 областям СССР эти величины равны 31% и 31,2% соответственно. Значения $\sigma(y'/\bar{y}_{74})$ составляют примерно 50% от $\sigma(y'/\bar{y})$ (15 и 31%). Таким образом, для упрощения расчета оценок погодных влияний на урожай можно $\sigma(y')$ находить просто в процентах от $\bar{y}$, так как более корректные оценки по σ_1 дают примерно те же значения. Анализ распределения по территории рассчитанных оценок показал примерно аналогичную картину по всем показателям (а, б, в, г).

Влияние погодных условий на урожай особенно заметно в двух областях: 1) в районе Северного Кавказа, Нижнего Поволжья и Южного Урала, 2) в восточной части Северного Казахстана. В этих областях $\sigma(y'/\bar{y})$ составляет более 50% (50—64%). Минимальное влияние погодных условий на урожай наблюдается в некоторых областях Украины, в Пермской и Тюменской областях и в Прибайкалье ($\sigma(y'/\bar{y}) = 13—18\%$). В остальных районах СССР эта величина составляет 20—30%.

Интересно отметить, что изменчивость относительной влажности воздуха (σ_{fV-V_1}) в какой-то мере изменяется параллельно с величиной вклада, характеризующего влияние погодных условий на урожай $\sigma(y'/\bar{y})$ по территории СССР (см. рис. 3). На рис. 3 значения σ_f увеличиваются так же, как и $\sigma(y'/\bar{y})$ от верхней части графика к нижней (от 2,0—3,5 до 7%). В частности, этот рост значений σ_f , $\sigma(y'/\bar{y})$ и уменьшение $\bar{y}$ происходит в направлении от Украины к Северному Казахстану. Это еще раз является доказательством того, что колебания урожаев от теоретической кривой тесно связаны с колебаниями метеорологических условий в рассматриваемом районе. Следует обратить внимание на то, что, как правило, корреляционные связи урожаев со средними метеорологическими условиями вегетационного периода не являются функциональными. Колебания погодных условий описывают в экстремальном случае 50—60% дисперсии в колебаниях урожайности зерновых культур. Остальная доля дисперсии определяется чередованием благоприятных и неблагоприятных периодов в течение вегетации, ролью агротехники и другими факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гирская Э. И., Сазонов Б. И., Кропп Е. И. Показатели метеорологической засухи. — См. настоящий сборник.
2. Дмитриенко В. П. Об оптимальных значениях и закономерностях влияния осадков и температуры воздуха на урожайность сельскохозяйственных культур. — Труды УкрНИГМИ, 1969, вып. 84, с. 26—46.
3. Дроздов О. А. Временная структура частоты засух и ее связь с урожайностью. — Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 53—73.
4. Маль М. И. Опыт изучения связи урожайности яровой пшеницы с климатическими условиями места возделывания. — Труды НИИАК, 1958, вып. 6, с. 52—54.
5. Михайлова Н. И. О некоторых закономерностях в колебаниях урожаев сахарной свеклы. — Труды УкрНИГМИ, 1967, вып. 68, с. 33—44.

6. Петунин И. М., Караваева А. И. Об использовании гидротермических коэффициентов для характеристики влагообеспеченности и урожайности сельскохозяйственных культур.— Труды ЦИП, 1957, вып. 53, с. 95—104.
7. Раунер Ю. Л. О периодичности засух на территории зерновых районов СССР.— Изв. АН СССР, сер. географ., №. 6, 1976, с. 37—54.
8. Свирин В. В. О связи урожая кукурузы с показателем засушливости.— Труды УкрНИГМИ, 1967, вып. 68, с. 11—21.
9. Яковлева Н. И. Сопоставление различных индексов засушливости.— См. наст. сб.

Н. И. Яковлева, Е. К. Молькентин

К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСНОМ ИНДЕКСЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В настоящее время имеется значительное число различных индексов, характеризующих условия увлажненности и засушливости. Такие индексы включают один, два, реже несколько агрометеорологических параметров. Чаще всего используются комбинации из таких параметров, как температура воздуха, влажность воздуха, осадки, иногда влажность почвы [3—7]. Одни индексы базируются на расходных составляющих условий влагообеспеченности растений (испаряемость), другие — на приходных (осадки, влагозапасы почвы), третьи — на отношении этих составляющих. Известно, что почти все агрометеорологические параметры в большей или меньшей степени взаимосвязаны друг с другом. Однако какие-то параметры, видимо, более универсальны по своим зависимостям с другими, более показательны в описании метеорологических условий. Одни параметры лучше характеризуют биоклиматические зоны, другие — погодные аномалии в данном районе. Кроме того, агрометеорологические условия, характеризующиеся комплексом почвенных, метеорологических и биологических (для конкретных сельскохозяйственных культур) параметров, трудно корректно описать одним или даже двумя-тремя показателями.

Не претендуя на разрешение всех вопросов, мы вместе с тем хотели бы предложить комплексный индекс, позволяющий в принципе учесть любое число разнообразных показателей. Для этого нужны только временные ряды количественных показателей. Пока все ограничивается, к сожалению, недостатком исходной информации.

В данной статье проводится расчет и анализ комплексного индекса на примере тех исходных данных, которые в настоящее время удалось собрать за ряд лет.

В основе расчета указанного индекса используется статистический метод разложения заданного комплекса исходных агрометеорологических элементов по эмпирическим функциям [1, 2]. Данный метод учитывает наличие взаимосвязности между исходными параметрами, выделяет наиболее показательные связи и параметры, отделяет существенную в статистическом смысле информа-

цию от несущественной, что позволяет значительно сократить число расчетных параметров по сравнению с числом исходных параметров.

Нами использовались следующие исходные параметры: t^{15} — температура воздуха в 15 ч, d^{15} — дефицит влажности воздуха (мбар), Δt_v — суточная амплитуда температуры воздуха, f^{15} — относительная влажность воздуха, S — продолжительность солнечного сияния (часы), n — средняя суточная общая облачность (баллы), v^{15} — скорость ветра (м/с), t_{π} — среднесуточная температура поверхности почвы, Δt_{π} — суточная амплитуда температуры поверхности почвы, $t_{0,20}$ — среднесуточная температура почвы на глубине 20 см. Метеорологические параметры брались за 15-часовой срок, чтобы усилить экстремальность условий дня. Величины Δt_v , Δt_{π} характеризуют особенности дня и ночи.

Кроме указанных основных параметров [10] в некоторых статистических экспериментах включались дополнительно данные по абсолютной влажности воздуха (e), сумме осадков, влажности почвы (ω), разности температуры почва — воздух ($\Delta t_{\pi-v}$).

Основной исходный материал данных собирался за каждый день с апреля по июль и за октябрь с 1963 по 1974 г. на четырех станциях, расположенных примерно вдоль 50° с. ш. в диапазоне долгот от 36 до 81° в. д. (Харьков, Уральск, Целиноград, Семипалатинск). Таким образом, указанные станции представляют район недостаточного увлажнения юго-востока Украины, Поволжья и Северного Казахстана.

Расчет эмпирических ортогональных составляющих (э.о.с.), т. е. эмпирических функций X_{ji} и коэффициентов разложения по этим функциям a_{ji} , производился за каждый месяц отдельно. Для исключения нестационарности использовались отклонения от среднедекадных величин. Набор эмпирических ортогональных функций (э.о.ф.) $X_j(k_i)$ характеризует разные по статистической значимости формы связности между исходными параметрами k_i , $a_j(t_i)$ — вклад той или иной э.о.ф. X_j в исходную информацию l -того дня.

Как известно [1, 2], расчет э.о.с. производится на основе ковариационной или корреляционной матрицы, рассчитанной по исходным временным рядам различных параметров k_i . Мы также рассчитывали э.о.с. в двух вариантах (ненормированные и нормированные элементы матрицы).

Анализ элементов корреляционной матрицы показал, что почти все рассматриваемые показатели взаимосвязаны между собою. Исключение составила скорость ветра, которая имеет коэффициенты корреляции с другими параметрами не более 0,20. По числу значимых коэффициентов корреляции с другими характеристиками выделяются f^{15} , d^{15} , Δt_{π} , t_{π} , Δt_v , t^{15} , S . Как раз эта группа элементов и составила форму первой основной э.о.ф. X_1 . Важно подчеркнуть, что данные по термике почвы также оказались значимыми показателями.

Интересно отметить, что независимо от месяца и координат

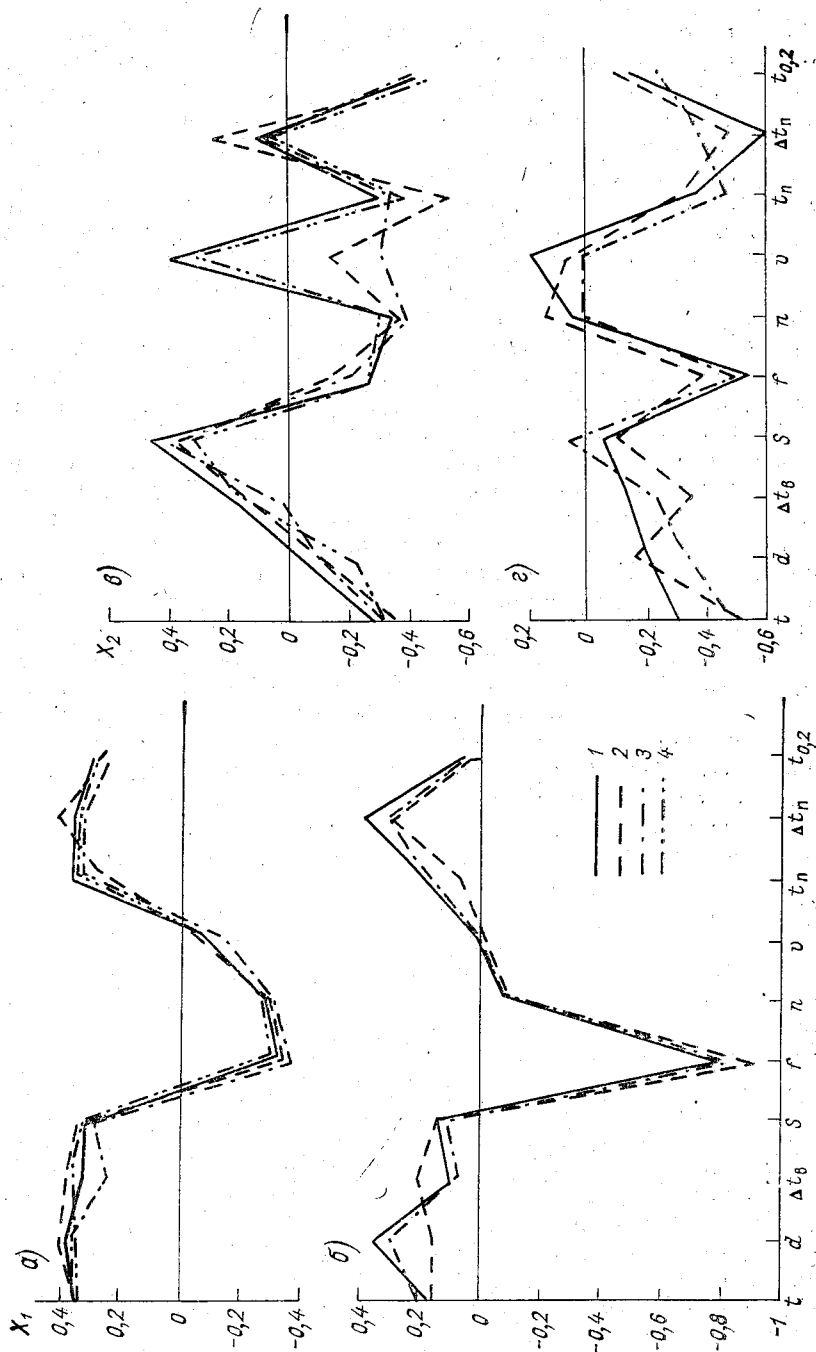


Рис. 1. Эмпирические ортогональные функции X_1 и X_2 , рассчитанные по комплексу из 10 агрометеорологических параметров. а, в — нормированные; б, г — ненормированные; 1 — Харьков, 2 — Семипалатинск; 3 — Целиноград, май, 4 — Уральск (декадные данные за апрель—июль).

Таблица 1

Оценка вкладов э. о. с. в общую дисперсию системы
из 10 агрометеорологических параметров. Целиноград

j	Ненормированная матрица			Нормированная матрица		
	λ_j	$\frac{\lambda_j}{D}$	$\sum_{s=1}^j \lambda_s$	λ_j	$\frac{\lambda_j}{D}$	$\frac{1}{D} \sum_{s=1}^j \lambda_s$
Апрель						
1	480,71	80,60	80,60	5,36	53,6	53,6
2	57,07	9,6	90,2	1,74	17,4	71,0
3	25,62	4,3	94,5	1,05	10,5	81,9
4	9,50	1,6	96,1	0,54	5,4	87,3
		$D=596,32$			$D=10,0$	
Май						
1	581,95	78,9	78,9	5,43	54,3	54,3
2	70,58	9,6	88,5	1,45	14,5	68,8
3	40,10	5,4	93,9	0,95	9,5	78,3
4	11,88	1,6	95,5	0,63	6,3	84,6
		$D=738,80$			$D=10,0$	
Июнь						
1	389,75	70,5	70,5	5,58	55,8	55,8
2	55,17	10,0	80,5	1,40	14,0	69,8
3	35,63	6,4	86,9	1,03	10,3	80,1
4	7,58	1,4	88,3	0,67	6,7	86,8
		$D=553,63$			$D=10,0$	
Июль						
1	434,14	80,2	80,2	5,60	56,0	56,0
2	49,35	9,13	89,33	1,22	12,2	68,2
3	30,66	5,70	95,03	1,06	10,6	78,8
4	7,67	1,42	96,45	0,70	7,0	85,8
		$D=540,28$			$D=10,0$	
Октябрь						
1	511,11	82,9	82,9	5,25	52,5	52,5
2	49,39	8,0	90,9	1,93	19,3	71,8
3	27,06	4,4	95,3	0,97	9,7	81,5
4	8,76	1,4	96,7	0,55	5,5	87,0
		$D=616,72$			$D=10,0$	

Характеристики засушливости

Станция	Месяц	Год	a_1^{nn}		a_1^n		t^{15}	d^{15}	Δt_B
			a_1	$a_1/\sqrt{\lambda_1}$	a_1	$a_1/\sqrt{\lambda_1}$			
а) Примеры аномально засушливых									
Харьков	V	1968	+12,6	2,88	+1,12	2,55	+2,0	+2,6	+1,4
	VI	1968	+13,7	3,52	+1,70	3,80	+1,9	+5,1	+2,2
	V	1971	+6,5	1,49	+0,37	0,84	+1,0	+2,4	+0,1
Уральск	IV	1967	+14,3	3,92	+2,30	5,75	+4,9	+4,6	+4,6
	V	1972	+11,9	3,50	+0,90	2,14	+1,0	+3,8	+1,6
	VII	1972	+19,6	5,41	+2,14	5,00	+2,4	+9,3	+1,1
	X	1974	+18,3	4,16	+2,19	5,21	+6,5	+6,3	+4,4
Целиноград	V	1968	+16,3	3,70	+2,20	5,00	+4,5	+7,4	+2,4
Семипалатинск	V	1968	+16,0	4,00	+1,95	4,65	+3,7	+6,3	+2,2
	X	1971	+14,4	3,90	+1,83	4,47	+2,7	+2,6	+3,2

б) Примеры аномально увлажненных									
Харьков	V	1967	-18,4	4,20	-0,17	0,39	-5,5	-8,2	+1,5
	V	1973	-15,8	3,61	-1,32	3,00	-0,7	-4,5	-2,5
Уральск	VII	1968	-13,2	3,64	-1,71	3,97	-4,3	-8,4	-0,9
	VII	1969	-16,3	4,50	-1,84	4,30	-2,7	-8,3	-2,0
Целиноград	X	1969	-19,1	4,34	-1,72	4,10	3,9	-3,7	-3,1
	V	1966	-13,8	3,14	-1,51	3,43	-3,4	-4,1	-1,5
	IV	1972	-18,8	4,70	-1,47	3,50	-1,2	-1,3	+1,8
	VII	1972	-12,7	3,35	-1,81	4,20	-3,6	-6,9	+0,4
Семипалатинск	X	1969	-19,1	4,64	-1,95	4,35	-3,0	-2,7	-2,7
	VII	1967	-13,5	3,65	-1,32	3,08	-1,3	-5,0	-1,8
	V	1969	-12,6	3,15	-1,44	3,43	-2,3	-4,1	-2,0
	VI	1972	-12,6	3,58	-1,02	2,43	-1,5	-5,4	-1,3

станции форма первых э.о.ф. X_{ji} оказалась одинаковой. На рис. 1 даны для примера X_1 и X_2 .

Особенно четкая идентичность форм отмечается в первой э.о. ф. для любых периодов осреднения (сутки, декада, месяц). Колебания аномалий t , d , Δt_B , S и термические характеристики почвы находятся в одной фазе, а f , n и v — в другой фазе. Эта форма зависимости сохраняется в обоих вариантах счета: в нормированном и ненормированном. В нормированном варианте веса различных параметров в X_1 распределены более равномерно, а в ненормированном — веса их различаются больше (повышается роль параметра f^{15}). В X_2 различие особенностей разных месяцев

Таблица 2

климата по значению α_1

f	n	S	v^{15}	t_{II}	Δt_{II}	$t_{0,2}$	r	r/N_r	Урожай за год		Влаж- ность почвы ω
									y'	$y/\bar{y}$	
месяцев по значению $+a_1$											
-6,8	+1,4	-0,5	-0,5	+2,4	+5,8	+1,7	30,5	0,82	-4,7	0,90	-1,4 -3,7 -5,8 +0,6
-11,2	-0,9	+1,5	+0,7	+3,4	+4,0	+2,2	42,3	0,82	-4,7	0,90	
-6,8	+1,0	-1,1	-0,3	+0,4	+0,8	-0,6	32,0	0,86	-2,5	1,39	
-9,8	-0,3	+1,0	+3,0	+9,1	+2,6	-2,4	3,1	0,16	-8,3	0,15	
-10,1	-0,6	-0,3	+0,2	+1,3	+6,0	+0,5	12,1	0,65	-7,9	0,50	
-14,2	-1,7	+1,3	+0,2	+3,6	+5,7	+3,1	3,8	0,08	-7,9	0,50	
-14,8	-2,6	+2,2	-1,5				16,3	0,57			
-5,2	-1,6	+1,5	-1,1	+5,0	+6,1	+3,9	52,5	1,30	-2,9	0,87	
-12,6	-2,4	+2,2	+0,8	+4,5	+4,6	+2,7	0,6	0,02	-2,6	0,87	
-12,5	-1,6	+1,6	+0,3	+1,5	+5,6	+1,5	13,6	0,58			

месяцев по значению $-\alpha_1$

+19,2	+0,7	+0,2	-2,8	+2,4	+3,8	+2,1	23,3	0,61	-2,2	1,04	
+14,2	-2,2	+0,9	+0,1	-1,6	-6,2	-0,7	69,7	1,82	+210	2,06	
+7,8	+0,3	-0,8	0	-3,4	-4,3	-3,2	67,5	1,52	+8,5	2,76	+2,7
+12,8	+1,6	-1,6	0	-2,4	-6,3	-2,0	126,8	2,85	-4,4	0,85	+4,4
+18,2	+2,1	-1,4	0	-0,6	-4,4	-0,4	54,0	1,88			+3,8
+14,8	+0,4	-1,6	+0,3	-3,0	-4,9	-2,3	24,1	0,60	+0,6	1,27	+1,7
+18,0	+1,5	-2,6	-0,9	-1,2	-6,5	-1,4	53,3	2,52	+4,4	1,95	
+8,9	-0,5	-1,0	+0,2	-4,2	-5,2	-3,1	139,0	2,30	+4,4	1,95	+2,7
+16,6	+2,5	-3,2	+1,3	-1,3	-6,4	-1,1	61,0	2,26			+0,9
+10,8	+0,8	-1,8	-0,4	-1,1	-2,1	-1,0	34,2	2,05	-4,0	0,63	
+9,4	+1,3	-2,0	-0,5	-2,5	-5,4	-1,3	48,2	1,73	-1,8	1,01	
+12,1	+1,9	-1,2	-0,7	-0,5	-0,6	+0,2	37,0	1,50	+4,9	2,07	

и станций сказывается уже в несколько большей степени, однако и здесь общность формы достаточно хорошая. Вклад первой э.о.с. в общую дисперсию рассматриваемого комплекса из 10 параметров составляет 70—85% для ненормированного варианта и 50—65% — для нормированного. В табл. 1 для примера дано распределение вкладов первых четырех э.о.с. для станции Целиноград за апрель—июль и октябрь в обоих вариантах. По другим станциям вклады отличаются от приведенных в табл. 1 не более чем на 10%. Идентичность форм первых э.о.ф. для широкого диапазона условий и существенно большая концентрация доли дисперсии в первой э.о. с. является весьма важным выводом для возмож-

ного конструирования комплексного индекса агрометеорологических условий. Это означает, что только один первый коэффициент разложения по э.о.ф. может выполнять в значительной степени роль показателя аномалий по рассматриваемому комплексу в любой момент времени и использоваться для проведения сравнений комплекса аномалий по разным географическим районам.

Анализ упомянутых статистических расчетов с подключением некоторых других параметров (влажность почвы, абсолютная влажность воздуха, $\Delta t_{п-в}$, осадки) показал, что основные выводы по формам первой э.о.ф. существенно не меняются (особенно X_1). Дело в том, что рассматриваемые дополнительно показатели также имеют корреляционную зависимость от уже рассматриваемых 10 основных показателей. Так, абсолютная влажность воздуха (e^{15}) наиболее тесно связана с f^{15} ($R \approx 0,65$), с $\Delta t_{п}(R = -0,45, -0,35)$ с общей облачностью $n(R = 0,41 \div 0,30)$, с $S(R = 0,38 \div 0,31)$ и т. д. Изменение осадков сказывается на $f^{15}(R = 0,55 \div 0,45)$, на суточной амплитуде температуры почвы $\Delta t_{п}(-0,53, -0,43)$, на продолжительности солнечного сияния $(-0,47, 0,36)$. По данным Уральска и Целинограда влажность почвы (в декадных данных) коррелирует с f^{15} и $\Delta t_{п}(0,37$ и $-0,37)$ так же, как и с осадками $(0,39)$, и т. д. Доля первой (наиболее значимой) э.о.с. в дисперсию при этом, как правило, изменяется весьма слабо, преимущественно в сторону слабого уменьшения, а вклад второй — несколько возрастает. Перераспределение вкладов, приходящееся на дополнительные параметры, более заметно в X_2 . В этом случае для более детального анализа комплекса можно дополнительно учесть a_2 . Если из 10 основных параметров удалим, например, f^{15} , то возрастает роль главным образом $\Delta t_{п}$ и d^{15} и частично t^{15} , $t_{п}$. Более того, э.о.с., рассчитанные всего лишь по 5 параметрам, но наиболее чувствительным к изменениям других параметров и вошедших в X_1 с большим весом (f , $\Delta t_{п}$, $t_{п}$, d , t), дают те же результаты в оценке агрометеорологических условий, что и э.о.с. по 10 рассматриваемым параметрам.

Значение коэффициентов разложения a_1 по э.о.ф. со знаком (+) характеризуют условия засушливости, а со знаком (—) — переувлажнения. Сами величины коэффициентов дают количественную оценку явления. Степень аномальности определяется сравнением величины a_1 с величиной изменчивости a_1 , которая определяется первым собственным числом ковариационной (корреляционной) матрицы $\sqrt{\lambda_1}$. При этом важно иметь в виду, что a_1 характеризует аномалию целого комплекса исходных параметров, каждый в отклонениях от средних (нормы) для данного географического места.

В табл. 2 приведены примеры аномально засушливых и увлажненных месяцев по величинам комплексного параметра a_1 (осредненных за каждый месяц) и соответствующие этому месяцу аномалии отдельных показателей. Аномальность явления по a_1 дается по отношению к $\sqrt{\lambda_1}$. Здесь же представлены суммы осадков

r мм за месяц, их доля от средней месячной нормы r/N_r и показатели урожаев по яровой пшенице. Урожай оценен по отклонению от параболы за ряд лет с 1945 по 1974 г. (y') и по отношению урожая за данный год к средней многолетней урожайности в данной области ($y/\bar{y}$). Из анализа табл. 2 следует, что действительно аномальность месяца характеризуется аномальностью всего комплекса агрометеорологических характеристик. Как правило, засушливые явления (табл. 2) сопровождаются повышением температуры воздуха и почвы (на поверхности и на глубине), понижением влагосодержания в воздухе, повышением суточных амплитуд температуры в воздухе и особенно на почве, увеличением продолжительности солнечного сияния и уменьшением балла облачности. И хотя приходные составляющие влаги не участвовали в расчете a_1 (осадки, влага в почве), но и эти элементы в условиях засушливости были ниже нормы.

Аномально увлажненные месяцы характеризуются (табл. 2б), как правило, обратным знаком аномалий перечисленных элементов. Таким образом, аномалии осадков, влажности почвы и пр. в общем сказываются на состоянии всего агрометеорологического комплекса. Однако осадки в силу своей сложной пространственно-временной структуры не всегда могут являться показательным элементом особенно в зоне недостаточного увлажнения (и в весенне-летний период). Иногда всего лишь за 2—3 дня выпадает осадков больше месячной нормы. Например, в Целинограде за 2 дня в мае 1968 г. выпало 50,3 мм осадков при норме 40,3 мм, в остальные дни осадков почти не было. По этой причине май 1968 г. по коэффициенту a_1 (см. табл. 2) является существенно засушливым ($a_1/\sqrt{\bar{a}_1} = 3,70$ и $5,00$), а по осадкам — увлажненным выше нормы ($r/N_r = 1,30$). Другой пример: в апреле 1966 г. в Уральске за 3 дня выпало 83,7 мм при $N_r = 20,0$, тогда как $a_1 = +2,4$ и $+0,42$ ($a_1/\sqrt{\bar{a}_1} = 0,66$ и $1,23$), т. е. близко к норме.

Аномалии температуры воздуха в экстремальные месяцы могут составлять от ± 1 до $\pm 7^\circ\text{C}$, однако при одних и тех же величинах аномалий t^{15} степень засушливости может быть разной за счет аномалий термических характеристик почвы или увлажнения воздуха (ср., например, строки 1, 2 в табл. 2а). Или при одном увлажнении воздуха разная степень засушливости определяется различием f^{15} и t_n , Δt_n (ср. строки 1, 3 в табл. 2а).

В целом температурно-влажностные параметры вполне отчетливо реагируют на характер выпадения осадков за рассматриваемый период (месяц). Если выпадение осадков резко неоднородно во времени, то такие осадки слабо повлияют на температурно-влажностные аномалии. Более равномерное их выпадение находит и более четкое отражение в изменении температурно-влажностного фона, но в этом случае осадки как раз более эффективны для сельскохозяйственных целей.

Интересно отметить, что несмотря на то, что урожайность зависит от агрометеорологических условий всего весенне-летнего

периода (апрель — июнь), однако экстремальные условия в течение одного из этих месяцев, видимо, могут существенно повлиять на созревание урожая. По этой причине получается неплохое соответствие между приведенными значениями a_1 , аномалиями элементов и оценками урожаев (табл. 2), особенно для засушливых условий.

Для более корректного сопоставления a_1 с урожайностью были определены средние a_1 за два, три и четыре месяца по разным сочетаниям месяцев (апрель — май, май — июнь, апрель — июль, апрель — июль, май — июль), затем рассчитаны коэффициенты корреляции с величинами урожаев яровой пшеницы за 1963—1974 гг. по всем четырем областям. Получились следующие коэффициенты корреляции R :

Период	R	
	$a_1^{\text{нн}}$	$a_1^{\text{н}}$
Май — июнь	—0,75	—0,70
Май — июль	—0,72	—0,72
Все комбинации месяцев	—0,70	—0,67

Если учесть, что расчет произведен по четырем областям, ошибка в определении коэффициента корреляции составит $\pm 0,16$.

В статье показаны принципиально новые возможности получения комплексного индекса агрометеорологической обстановки. Пробный расчет проведен по 10 различным показателям. Может быть, следовало бы включить ряд других показателей, например агробиологических (количество выделяемого растениями CO_2 , условия перезимовки для озимых культур, роль предшественника и т. д.). Последующий анализ э.о.с. поможет лучше понять роль того или иного параметра в рассматриваемом комплексе параметров, его взаимосвязь с другими. Можно также исключить часть параметров, играющих меньшую роль в оценке агрометеорологических условий. Так, в частности, уже упоминалось о том, что без большого ущерба для точности a_1 можно не включать в рассматриваемый комплекс v^{15} , $t_{0,2,n}$, а температурно-влажностные условия являются доминирующими. Таким образом, предложенный способ расчета комплексного индекса имеет большие возможности как для анализа, так и для оценки сложной многопараметрической обстановки. Однако по материалам за прошлые годы рассчитывать такие комплексные индексы затруднительно из-за ограниченности необходимой информации.

Встает вопрос о том, можно ли найти хотя бы весьма грубый упрощенный параметр, но наиболее универсальный по связям с другими параметрами комплекса. По нашему мнению, таким упрощенным (хотя и не всегда точным) показателем может быть величина относительной влажности воздуха. Вопрос же сопостав-

ления комплексного индекса с другими индексами засушливости будет рассмотрен в другой статье настоящего сборника [7].

Следует подчеркнуть, что агрометеорологи уже давно используют в качестве индекса засушливости и f и d . В частности, можно назвать работы Каминского [8], Утешева [5], Цубербиллер [9] и многие другие. Выводы в данной статье вытекают из сравнительного анализа многих показателей и еще раз подтверждают правильность того, что получено другими на основе богатого опыта работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Естественные составляющие метеорологических полей.— Авт.: А. В. Мещерская, Л. В. Руховец, М. И. Юдин и др. Л., Гидрометеиздат, 1970. 199 с.
2. Федорова В. М., Яковлева Н. И., Молькентин Е. К. Исследование комплекса метеорологических элементов над океаном с помощью эмпирических ортогональных функций.— Труды ГГО, 1974, вып. 298, с. 111—117.
3. WMO—No 392, Techn. Note—No 139, 1975 Drought and agriculture. 128 p.
4. Педь Д. А. О показателе засухи и избыточного увлажнения.— Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 156, М., Гидрометеиздат, с. 19—38.
5. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, Наука, 1972. 175 с.
6. Константинов А. Р. Испарение в природе. Л., Гидрометеиздат, 1963. 561 с.
7. Яковлева Н. И. Сопоставление различных индексов засушливости.— См. наст. сб.
8. Каминский А. А. Типы засухи и равнинных суховеев в СССР.— Труды ГГО и ин-та климатологии, 1934, вып. 1, с. 11—21.
9. Цубербиллер Е. А. Суховеи, их агроклиматическая сущность и пути борьбы с ними.— М., Гидрометеиздат, 1966. 119 с.

О ВЛИЯНИИ ОКЕАНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАСУХ

Из океана атмосфера черпает большую долю тепловой энергии для поддержания крупномасштабной циркуляции. Долго сохраняющиеся в океане обширные районы аномально теплых или холодных вод могут вызывать длительные аномалии атмосферной циркуляции и устойчивые аномалии погоды на континенте, в том числе и засухи.

Попытки использовать в прогнозах погоды связи колебаний температурного режима поверхностных вод океана и погодных условий на континенте были предприняты еще в конце XIX в. В. Мейнхардусом и Э. Лесгафтом и продолжены в последнее время [3, 8, 10].

Обнаружено, что в результате постепенного прогрева воздушных масс, проходящих над теплым океаном, на востоке океана возникает гребень высокого давления, а на западе — ложбина. В движении атмосферы появляется меридиональная составляющая, что и обуславливает изменение погоды на континенте [9]. Изменения, происходящие в океане, передаются через циркуляцию атмосферы на континент не сразу, а в течение сезона. Кроме того, термическому режиму Северной Атлантики свойственны крупномасштабные долгопериодные колебания. Это дает возможность использовать океанические характеристики не только в сезонных, но и в сверхдолгосрочных прогнозах погоды.

В данной работе изучались связи некоторых океанических параметров с характеристиками засушливых явлений. Имеется много трудностей при изучении этого сложного вопроса и одной из них является отсутствие единого критерия засух. Это обстоятельство заставило нас рассчитать единый для всех сельскохозяйственных районов СССР количественный показатель засухи, позволяющий учитывать интенсивность засушливого явления и распространения его по территории. Использование единого показателя делает возможным сопоставление результатов исследований и полученных закономерностей для этих районов. Нами были рассчитаны площади охвата положительными аномалиями температуры воздуха ($\Delta T > \sigma$) и дефицита осадков ($\Delta P \leq 50\%$ нормы) для четырех основных сельскохозяйственных районов СССР: ЕТС (центрально-

ные и юго-восточные районы), Украина, Западная Сибирь, Казахстан. Однако, прежде чем использовать эти характеристики для расчета показателя засухи, было проверено, насколько они отражают колебания урожая зерновых. С этой целью использовался шаговый регрессионный метод для построения уравнений множественной регрессии, получения статистических характеристик регрессии и определения их оценок (программа составлена А. П. Насоновым).

В качестве предикторов были использованы полученные площадные характеристики положительных аномалий температуры воздуха (ΔT) и дефицита осадков (ΔP) за вегетационный период (апрель, май, июнь). В качестве предиктантов использовались данные ЦСУ об урожайности зерновых культур за период с 1945

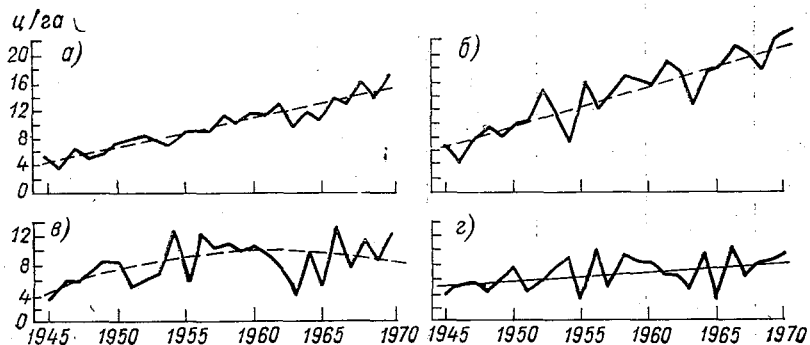


Рис. 1. Временной ход урожая зерновых (ц/га) в центральных и юго-восточных районах ЕТС (а), Украине (б), Западной Сибири (в), Казахстане (г).

по 1970 г. в тех же сельскохозяйственных районах, для которых рассчитаны площадные характеристики аномалий температуры воздуха и дефицита осадков.

Временной ход урожая в этих районах приведен на рис. 1. Известно, что, кроме метеорологических условий, урожай определяется уровнем агротехники, который растет со временем. При этом из рис. 1 видно, что если ход урожая в центральных и юго-восточных районах ЕТС и на Украине можно аппроксимировать прямой линией, то для урожая в Западной Сибири лучше использовать аппроксимацию в виде параболы. Для устранения тренда использовалось два варианта: 1) рассчитывались межгодовые разности урожая ($y_{n+1} - y_n$), 2) вычислялись отклонения урожая от линии тренда ($\Delta y_{\text{ф}}$). Лучшие результаты получились при использовании ΔT и ΔP для прогнозирования ($y_{n+1} - y_n$). Доля вариации (R^2) урожая в районах ЕТС, Украины, Западной Сибири, Казахстане, объясненная этими параметрами, составила 30, 19, 53, 57% соответственно. Оценки, рассчитанные для $\Delta y_{\text{ф}}$ оказались близкими к ним и составили 20, 44, 63, 51% соответственно.

Таблица 1

**Ранжированные ряды комплексного показателя засухи (NT+NP)
в сельскохозяйственных районах СССР**

Украина		ЕТС (Центр и Юго-Восток)		Западная Сибирь		Казахстан	
год	NT+NP	год	NT+NP	год	NT+NP	год	NT+NP
* 1968	5,0	1921	6,6	1955	4,8	1955	4,4
✓ 1934	4,8	1920	5,2	1920	3,3	1917	3,9
• 1920	3,9	1948	4,6	1953	3,2	1951	3,9
* 1946	3,8	1906	4,5	1921	3,1	1893	2,9
1947	3,6	1957	4,3	1915	3,0	1957	2,8
* 1924	3,1	1950	3,0	1951	2,7	1967	2,7
1937	3,1	1951	2,7	1965	2,7	1938	2,6
✓ 1939	2,9	1901	2,4	1901	2,5	1961	2,5
1948	2,3	1924	2,2	1962	2,5	1968	2,1
<u>1950</u>	2,3	1903	1,9	1967	2,2	1939	2,0
✓ 1906	2,2	1897	1,8	1929	2,1	1944	2,0
1918	2,2	1917	1,8	1900	1,9	1940	1,9
1961	2,2	1936	1,8	1963	1,9	1920	1,7
✓ 1957	1,9	1962	1,7	1898	1,7	1927	1,7
✓ 1892	1,4	1946	1,5	1893	1,5	1962	1,7
✓ 1901	1,4	1963	1,4	1904	1,4	1911	1,5
✓ 1951	1,4	1913	0,91	1911	1,4	1932	1,4
✓ 1963	1,3	1934	0,88	1923	1,3	1948	1,4
✓ 1964	1,3	1943	0,75	1927	1,3	1910	1,3
<u>✓ 1954</u>	1,2	1967	0,63	1943	1,3	1935	1,3
1899	1,1	1891	0,56	1931	1,2	1970	1,3
✓ 1907	0,95	1960	0,54	1932	1,2	1915	1,1
✓ 1927	0,82	1930	0,39	1896	1,1	1933	1,0
✓ 1921	0,69	1966	0,31	1952	0,86	1918	0,95
1962	0,68	1905	0,29	1945	0,84	1929	0,88
1935	0,55	1898	0,24	1916	0,79	1943	0,84
1967	0,55	1953	0,11	1934	0,76	1950	0,75
1949	0,37	1949	0,09	1917	0,69	1921	0,60
1952	0,30	1955	0,05	1919	0,36	1899	0,45
1958	0,22	1968	0,04	1957	0,30	1891	0,44
✓ 1897	-0,01	1918	0,02	1936	0,28	1945	0,43
1909	-0,18	1894	-0,01	1940	0,22	1901	0,41

Украина		ЕТС (Центр и Юго-Восток)		Западная Сибирь		Казахстан	
год	NT+NP	год	NT+NP	год	NT+NP	год	NT+NP
1966	-0,21	1959	-0,03	1922	0,17	1900	0,38
1904	-0,21	1911	-0,12	1939	0,09	1936	0,28
1931	-0,21	1892	-0,13	1909	0,05	1906	0,27
1953	-0,25	1956	-0,17	1947	-0,08	1916	0,27
1936	-0,29	1910	-0,23	1961	-0,08	1965	0,25
1923	-0,35	1937	-0,23	1903	-0,13	1963	0,22
1891	-0,36	1939	-0,26	1913	-0,19	1897	0,10
1895	-0,40	1923	-0,29	1954	-0,22	1941	0,07
1913	-0,43	1907	-0,34	1938	-0,35	1930	0,02
1915	-0,56	1940	-0,34	1968	-0,37	1923	-0,04
1914	-0,69	1904	-0,44	1897	-0,44	1953	-0,15
1928	-0,75	1908	-0,44	1908	-0,44	1902	-0,32
1945	-0,76	1961	-0,50	1958	-0,48	1904	-0,33
1959	-0,76	1919	-0,65	1907	-0,64	1903	-0,34
1908	-0,86	1954	-0,69	1918	-0,66	1909	-0,42
1929	-0,94	1964	-0,69	1906	-0,67	1912	-0,48
1940	-0,95	1947	-0,76	1944	-0,67	1966	-0,58
1900	-1,0	1970	-0,77	1956	-0,69	1959	-0,81
1916	-1,0	1912	-0,82	1935	-0,74	1931	-0,83
1919	-1,0	1931	-0,87	1925	-0,75	1969	-0,83
1960	-1,0	1952	-0,87	1948	-0,90	1946	-0,84
1942	-1,1	1938	-0,89	1949	-0,90	1908	-0,99
1969	-1,1	1929	-0,91	1924	-0,96	1952	-1,0
1898	-1,2	1895	-1,0	1959	-1,0	1913	-1,2
1930	-1,2	1914	-1,0	1892	-1,1	1919	-1,2
1944	-1,2	1969	-1,0	1964	-1,1	1922	-1,2
1938	-1,3	1893	-1,1	1930	-1,2	1924	-1,2
1956	-1,3	1935	-1,1	1933	-1,2	1960	-1,4
1902	-1,4	1958	-1,1	1891	-1,3	1898	-1,5
1910	-1,4	1899	-1,2	1899	-1,4	1905	-1,5
1917	-1,4	1916	-1,3	1960	-1,4	1894	-1,6
1903	-1,5	1925	-1,4	1926	-1,5	1907	-1,7
1925	-1,5	1927	-1,4	1937	-1,5	1892	-1,8
1970	-1,5	1896	-1,5	1946	-1,5	1949	-1,8
1905	-1,6	1932	-1,6	1969	-1,5	1896	-1,9
1911	-1,6	1965	-1,6	1905	-1,6	1942	-1,9
1965	-1,6	1902	-1,7	1950	-1,6	1925	-2,1

Украина		ЕТС (Центр и Юго-Восток)		Западная Сибирь		Казахстан	
год	NT+NP	год	NT-NP	год	NT+NP	год	NT+NP
1894	-1,7	1941	-1,9	1894	-1,7	1934	-2,1
1896	-1,7	1942	-2,0	1912	-1,7	1954	-2,1
1926	-1,8	1944	-2,0	1966	-1,7	1947	-2,2
1932	-1,8	1922	-2,1	1970	-1,7	1964	-2,2
1955	-1,8	1926	-2,1	1910	-1,8	1895	-2,4
1922	-2,0	1945	-2,1	1942	-1,8	1928	-2,5
1943	-2,0	1900	-2,2	1902	-1,9	1956	-2,5
1893	-2,1	1928	-2,2	1914	-1,9	1914	-2,6
1912	-2,1	1933	-2,2	1941	-2,0	1937	-2,6
1941	-2,2	1909	-2,3	1928	-2,1	1926	-2,7
1933	-2,6	1915	-2,3	1895	-2,7	1958	-2,7

При постулировании модели вида: $y = ax^b y^c z^d e$ результаты улучшились незначительно. Доля объясненной вариации урожая (Δy_{ϕ}) в Казахстане увеличилась до 61%; на Украине при использовании в качестве предиктанта межгодовых разностей урожая ($y_{n+1} - y_n$) — до 50%.

Таким образом, при использовании площадных характеристик ΔT и ΔP можно объяснить значительную часть вариации урожая в ряде районов. Конечно, для прогноза урожая необходимо привлечение и других данных, но для аспектов, которые нам надлежало исследовать, целесообразно использование осредненных данных по температуре и осадкам по большим районам. Поэтому

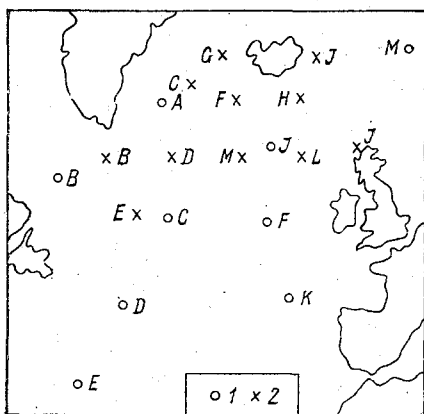


Рис. 2. Схема расположения судов погоды (1) и квадратов Смеда (2).

в дальнейшем мы переходим к использованию площадных характеристик аномалий температуры (ΔT) и дефицита осадков (ΔP) для расчета показателя засух.

По этим характеристикам было рассчитано несколько вариантов сезонных значений ΔT и ΔP :

I. Отдельно для ΔT и ΔP рассчитывалась $1/3$ суммы этих значений за апрель, май, июнь.

II. Отдельно для ΔT и ΔP были рассчитаны сезонные значения этих характеристик с учетом вклада метеорологи-

ческих условий отдельных месяцев в развитие сельскохозяйственных культур из физических соображений по формуле: $\Delta P_{\text{вес}} = a \Delta P_{\text{IV}} + b \Delta P_v + c \Delta P_{\text{VI}}$, где a, b, c — весовые коэффициенты, полученные эмпирическим путем и равные соответственно для апреля, мая, июня на Украине — 0,1; 0,2; 0,7; в центральных и юго-восточных районах ЕТС — 0,1; 0,4; 0,5; в Западной Сибири — 0,1; 0,3; 0,6; в Казахстане — 0,3; 0,4; 0,3. Аналогично — для $\Delta T_{\text{вес}}$.

III. Был рассчитан комплексный сезонный показатель засухи ($NT+NP$), учитывающий нормированные значения площадных характеристик аномалий температуры (NT) и дефицита осадков (NP) (табл. 1), наиболее близкий [7]. За засушливые приняты годы, когда $(NT+NP) \geq \sigma$.

В качестве океанических параметров нами использовались данные о расходах воды в Фарерско-Шетландском проливе (в потоках на север — Q_N , на юг — Q_S , разность этих потоков Q_{N-S}), о напряженности нордкапского течения (F) [6, 11], индексы Максимова (R_P, R_N) [5], характеризующие наклон уровня океана, данные об аномалиях температуры воды (ΔT_w) по судам погоды [4] и квадратам Смеда (рис. 2) и об аномалиях разности температуры воды и воздуха (ΔT_{w-a}) по судам погоды. Рассчитаны средние аномалии температуры воды и разности температуры воды и воздуха в зоне теплого и холодного течений по наиболее информативным судам ($\overline{\Delta T_w}$ АВЖК, ΔT_w АВДД, ΔT_{w-a} АВЖК, ΔT_{w-a} АВДД) и разности аномалий температуры воды в этих течениях ($\overline{\Delta T_w}$, ΔT_{w-a}); значения аномалий разности средней температуры воды и континента Северной Америки (ΔK_T); интегральные изменения аномалий температуры воды (с января по июнь) по судам погоды и квадратам Смеда, осредненные данные об этих характеристиках в западных (квадраты E, D) и восточных (квадраты L, J, K, M) районах Северной Атлантики; ледовитость северных морей [1, 10].

Для полученных осредненных характеристик (ΔT_w , ΔT_{w-a} , $\Delta T_w - \Delta T_K$), в рядах которых известно о существовании тренда, был применен прием модификации исходного ряда с помощью простого цифрового фильтра первых разностей для исключения влияния тренда. В результате вместо переменной X использовалась переменная $dx_i = x_{i+1} - x_i$, где i — номер члена ряда.

Были построены карты коэффициентов корреляции площадных характеристик дефицита осадков для четырех сельскохозяйственных районов СССР с аномалиями температуры воды (ΔT_w) и разности температуры воды и воздуха (ΔT_{w-a}) при $\tau=0$ (рис. 3, 4) и при сдвигах до 30 месяцев. Анализировались графики взаимных корреляционных функций океанических показателей с характеристиками засушливых явлений для сезона в целом (табл. 2). Отобраны также месяцы-предикторы, когда значимые связи были неслучайными (табл. 3). Наиболее информативными месяцами (при оценке χ^2) по океаническим характеристикам для территории ЕТС (в целом) можно считать $\tau=12, 13, 18, 23$; для Казахстана и Западной Сибири $\tau=25, 26$.

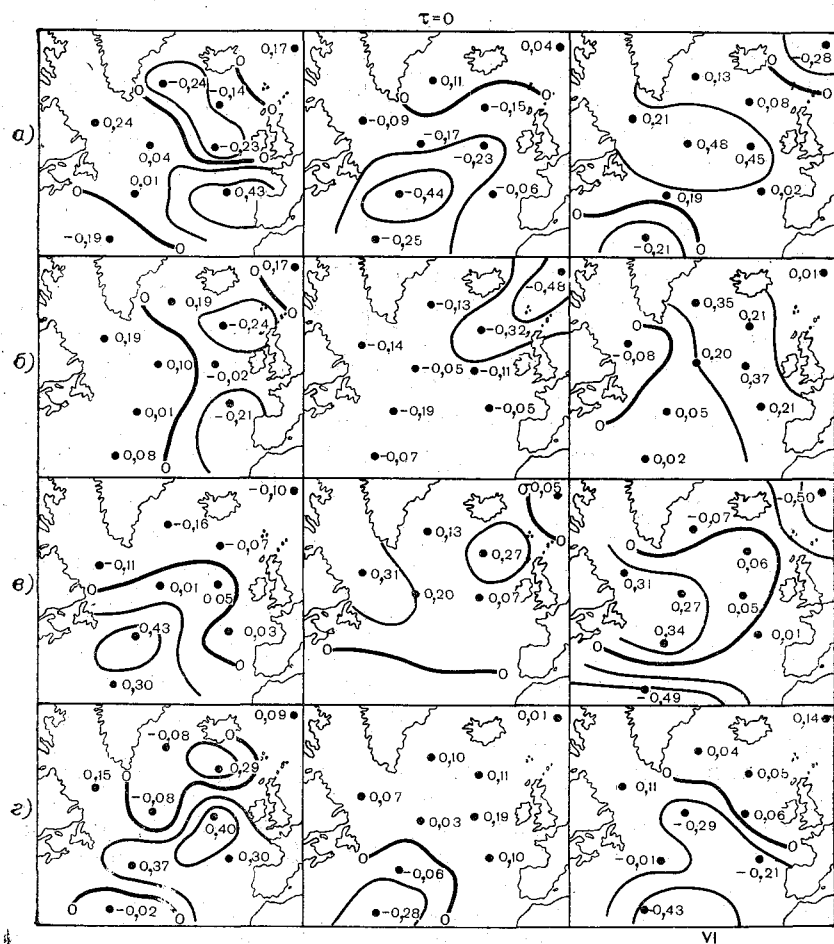


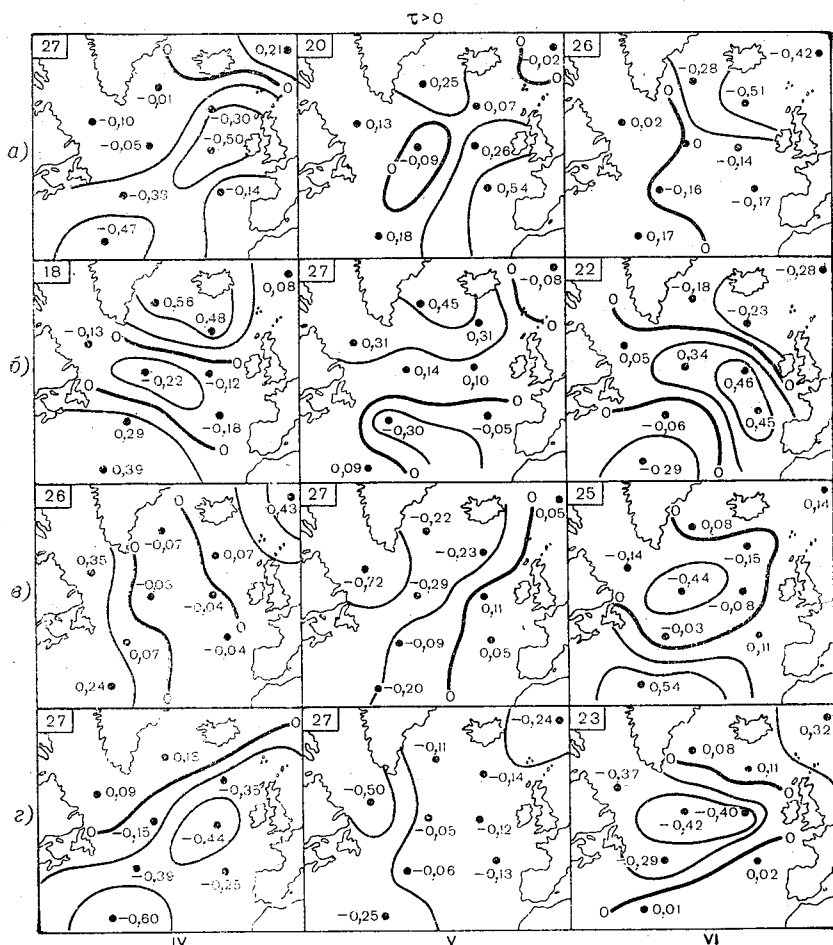
Рис. 3. Коэффициенты корреляции аномалий температуры воды в Север и юго-восточных районах ЕТС (а), Украине (б), Западной

В левом верхнем углу

В табл. 4 представлены месяцы-предикторы по ледовитости для прогноза площадных характеристик осадков.

При анализе взаимных корреляционных функций сезонных характеристик засушливых явлений с океаническими показателями оказалось, что значимые связи проявляются при различных сдвигах.

Рассмотрим интегральные изменения аномалий температуры воды [2] в Северной Атлантике (по судам погоды за 1949—1970 гг. за шесть месяцев (с января по июнь) в связи с экстре-



ной Атлантике с площадными характеристиками осадков в центральных Сибири (в), Казахстане (г) в апреле, мае, июне при $\tau=0$ и $\tau>0$. указан сдвиг (τ).

мально засушливыми и влажными годами. Оказалось, что перед засухами на Украине отмечается накопление отрицательных аномалий температуры воды почти по всем судам погоды (кроме М), особенно значительное для судов В, С, D. Перед влажными годами на Украине характерно накопление аномалий температуры воды противоположного знака в этих же районах.

Такое же распределение этого параметра характерно для экстремальных явлений на ЕТС лишь со сдвигом к востоку океана наиболее значительных аномалий ΔT_w перед засухами.

Противоположный этому характер носят интегральные изменения аномалий температуры воды перед экстремальными месяца-

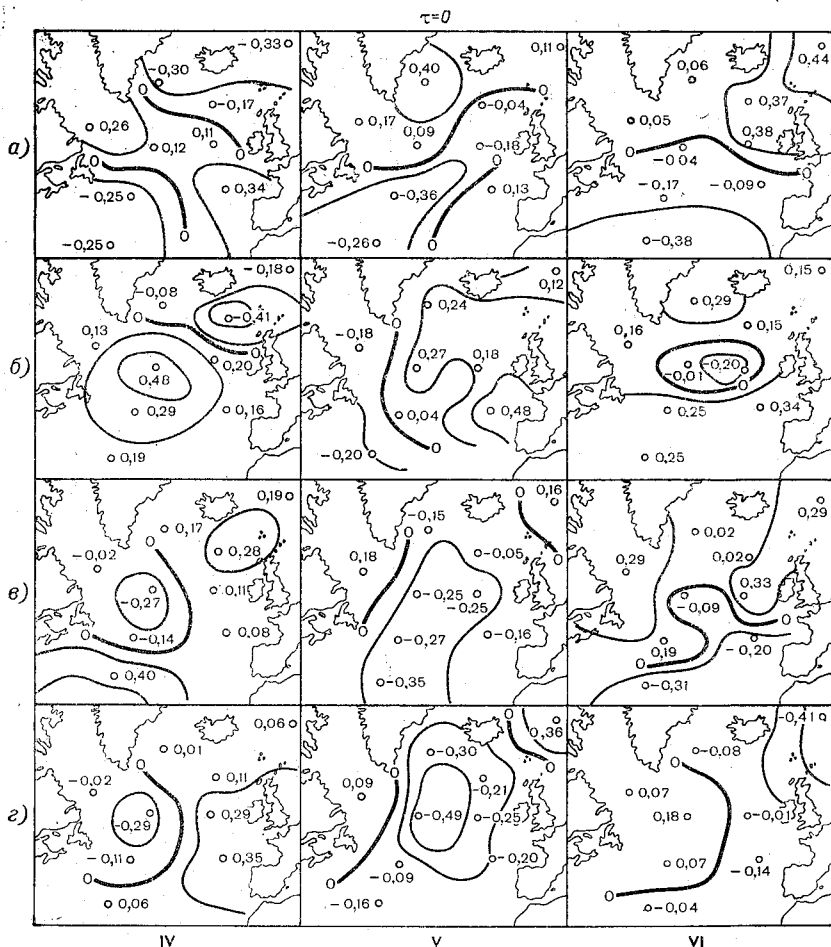
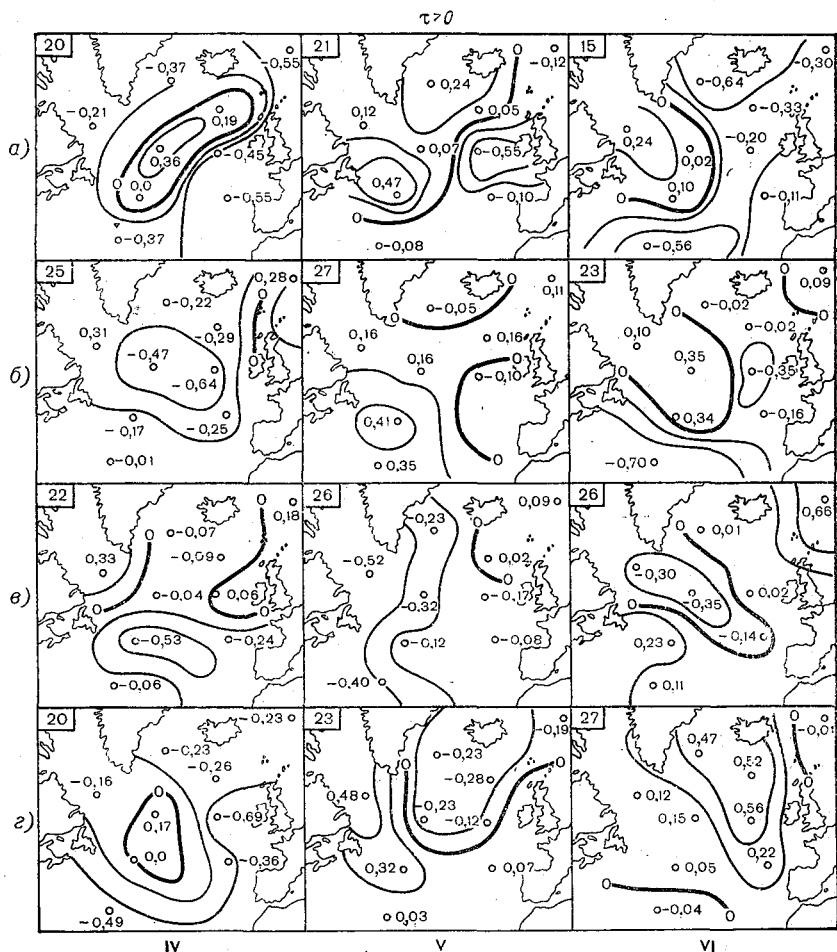


Рис. 4. Коэффициенты корреляции аномалий разности температуры воды ков в центральных и юго-восточных районах ЕТС (а), Украине (б), За В левом верхнем

ми в Западной Сибири и Казахстане. При этом наиболее значительными являются изменения ΔT_w в зоне судна D — положительные перед засухами в Западной Сибири, Казахстане и отрицательные перед засухами на Украине и ЕТС. Повторяемость знака интегральных изменений аномалий температуры воды с января по июнь в годы с засухами и без засух представлена в табл. 5.

Эти выводы в основном были подтверждены аналогичными расчетами, выполненными по квадратам Смита за период с 1891 по 1970 гг. Но при сопоставлении результатов, полученных отдельно для периодов с 1891 по 1923 г. и с 1924 по 1970 г. обнаружилось, что аномалии температуры воды сохраняли свой знак перед экстремальными



и воздуха в Северной Атлантике с площадными характеристиками осад-
падной Сибири (а), Казахстане (б) в апреле, мае, июне при $\tau=0$ и $\tau>0$.
углу указан сдвиг (τ).

ремальными сезонами в течение обоих периодов лишь в квадратах
Е и иногда М и D. В зоне остальных квадратов Смеда (северо-
восток Атлантики) знак аномалий мог меняться для коротких
периодов на противоположный. При этом в течение первого пери-
ода сохранялся отрицательный знак аномалий ΔT_w , в течение вто-
рого периода — положительный.

Таким образом, формирование экстремальных сезонов в основ-
ных сельскохозяйственных районах СССР связано с теплосодер-
жанием Атлантики. Обнаруженные связи указывают на пред-
посылки сверхдолгосрочного прогнозирования засух с учетом оке-
анических предикторов.

Коэффициенты корреляции сезонных характеристик засушливых явлений (ΔT , ΔP) с океаническими параметрами

Предиктор	Число случаев	ΔT_{IV-VI}				ΔP_{IV-VI}			
		ЕТС (Центр и Юго-Восток)	Украина	Западная Сибирь	Казахстан	ЕТС (Центр и Юго-Восток)	Украина	Западная Сибирь	Казахстан
Квадраты Смеда:									
ΔT_{wN}	69	-0,25	-0,23	-0,05	0,06	-0,32	-0,14	0,14	0,09
$\Delta T_{wED_{1-VI}}$	68	-0,17	-0,04	0,14	0,24	-0,25	-0,18	0,04	0,08
$\Delta T_{wZJKM_{IV-VI}}$	62	-0,03	0,21	0,06	0,14	-0,13	0,06	-0,19	-0,13
ΔT_{wZ}	54	-0,03	0,28	0,14	0,18	-0,12	0,10	-0,12	-0,06
ΔT_{wN}	35	0,0	0,20	0,01	0,35	-0,35	0,0	0,10	0,19
Суда погоды:									
$\Delta T_{w(ABJD)} - \Delta T_k$	21	0,13	0,14	-0,08	-0,20	-0,37	-0,56	-0,35	-0,60
$\Delta T_{w(JD-AB)}$	22	0,22	0,49	-0,18	-0,36	-0,07	0,46	-0,45	-0,18
ΔT_{wD}	23	-0,17	0,09	0,28	0,14	-0,16	-0,14	0,43	0,15
ΔT_{wJ}	23	-0,13	0,21	-0,05	-0,23	-0,34	-0,27	0,09	-0,48
ΔT_{wC}	23	0,17	-0,17	-0,31	-0,27	-0,06	0,09	-0,46	-0,26
ΔT_{w-aM}	22	0,26	0,24	0,65	0,53	0,23	0,04	-0,43	0,22
$\Delta T_{w-a}(JK-AB)$	22	0,22	0,44	-0,22	-0,34	-0,12	0,15	-0,39	-0,35
Разн. ΔT_{w-a} (JK-AB)									
Расход воды в Фарерско-Шетландском проливе:									
Q_N	53	-0,12	-0,07	0,29	0,05	-0,07	0,10	0,08	0,0
Q_{N-S}	51	0,03	0,21	0,29	0,25	0,12	0,25	-0,01	-0,09
Колебания уровня Мирового океана	64	0,07	0,30	0,18	0,24	0,07	0,14	-0,13	-0,14
Ледовитость морей (%):									
Балтийского	61	-0,13	-0,35	-0,21	-0,12	-0,20	-0,19	0,03	0,13
Гренландского (юго-зап. часть)	28	-0,14	0,01	-0,07	-0,22	0,04	0,47	-0,06	0,08
Карского	37	0,27	6,43	-0,21	-0,27	0,16	0,21	-0,08	-0,28
Баренцева	65	-0,14	-0,33	-0,24	-0,13	-0,21	-0,17	-0,01	0,10

Примечание. Значимые коэффициенты корреляции набраны полужирным.

Коэффициенты корреляции $R_{xy}(\tau)$ и месяцы предикторы по океаническим характеристикам для площадных характеристик дефицита осадков (ΔP)

Район	Ме- сяц	ΔT_w		Разность ΔT_w		$\Delta T_w - a$		Разность $\Delta T_w - a$		$\Delta T_w - \Delta T_k$	
		ABJD	ABJK	JD-AB	JK-AB	ABJD	ABJK	JD-AB	JK-AB	ABJD	ABJK
ЕТС (Центр и Юго-Во- сток)	IV	0,49(24)		0,55(19)			0,50(23)	-0,61(14)	-0,59(14)	0,46(16)	
		0,47(26)		0,64(28)			0,58(24)			0,63(18)	
Украина	V					0,50(21)		-0,50(23)	-0,46(23)		
	VI		0,61(13)	0,55(13)		0,72(13)	0,78(13)		-0,44(13)		
	IV	0,64(23)				0,70(14)		-0,47(26)		0,69(24)	
Западная Сибирь	V		-0,66(14)				0,60(12)		0,51(12)		-0,48(23)
	VI	0,47(28)							-0,49(22)		
	IV		-0,44(13)	0,48(12)	0,45(12)	0,52(24)					
	V		0,59(23)	0,53(26)	0,54(25)	-0,52(16)		0,51(26)	0,55(25)	0,61(25)	-0,59(18)
Казахстан	VI					0,46(18)	0,52(20)				
	IV		0,57(16)		0,61(20)	0,56(20)		-0,68(22)			
			0,62(17)		0,64(21)						
	V			0,48(12)	0,44(27)	0,66(21)	0,58(13)		-0,54(21)	0,48(13)	-0,59(18)
	VI						-0,55(25)			-0,57(18)	0,54(17)
											0,55(29)

Месяцы-предикторы, отобранные по ледовитости для площадных характеристик дефицита осадков

Район	Месяц	R(°)				Баренцево море	Карское море
		Балтийское море	Гренландское море		в целом		
			северо-восток	юго-запад			
ЕТС (Центр и Юго-Восток)	IV	-0,28(24)			0,54(10)		
	V					-0,41(12)	
	VI					-0,37(13)	
Украина	IV					-0,52(28)	
	V		-0,42(27)				
	VI						
Западная Сибирь	IV					0,27(22)	
	V		0,45(23)	-0,43(13)		0,26(23)	0,44(19)
	VI						
Казахстан	IV						
	V						
	VI			0,44(12)		0,56(27)	0,34(22)

Повторяемость ($P\%$) знака средних $\int \Delta t_w$ в Северной Атлантике для засушливых (—) и увлажненных (+) лет

Судно погоды	Украина						ЕТС (Центр и Юго-Восток)						Казахстан						Западная Сибирь					
	засуха			влажно			засуха			влажно			засуха			влажно			засуха			влажно		
	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак	знак	$P\%$	знак
A	—	60	+	+	67	—	—	60	+	+	50	+	+	43	—	—	60	+	+	57	+	+	75	+
B	—	80	—	—	67	—	—	60	—	—	50	—	—	71	+	—	40	+	+	57	—	—	75	—
C	—	60	+	+	100	—	—	60	+	+	100	—	—	43	+	—	60	+	+	71	—	—	50	—
D	—	60	+	+	100	—	—	60	+	+	100	+	+	86	—	—	40	+	+	100	+	+	50	+
E	—	60	—	—	100	—	—	60	—	—	100	+	+	71	+	—	80	+	+	71	—	—	50	—
M	+	60	—	—	67	+	+	60	—	—	50	—	—	71	—	—	60	—	—	71	—	—	50	—
I	—	40	+	+	100	—	—	80	+	+	100	+	+	71	—	—	40	+	+	57	+	+	75	+
J	—	60	+	+	67	—	—	80	+	+	100	—	—	43	+	—	60	+	+	57	—	—	75	—
K	—	60	2	2	33	—	—	60	+	+	100	+	+	57	—	—	40	+	+	43	—	—	75	—
Число засуш- ливых и влажных лет		5			3			5			2			7			5			7			4	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М. Х. Засухи и солнечная активность. — Труды КазНИГМИ, 1963, вып. 20, с. 87—89.
2. Дружинин И. П., Хамьянова Н. В. Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле. — М., Наука, 1969.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. — В кн.: Статистика. — М., 1973. 392 с.
4. Елекоев Б. Б. Солнечно-обусловленные изменения фазы и амплитуды меридиональных процессов и засухи на ЕТС, Украине и в Казахстане. — В кн.: Труды I Всесоюзного совещания «Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды», 1974, с. 314—326.
5. Каталог индексов солнечной и геомагнитной активности. ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 1976. 203 с.
6. Логинов В. Ф. О связи засух с секторной структурой межпланетного магнитного поля. — Экспресс-информация, 1975, вып. 3(35), ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, с. 3—7.
7. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. — М., Наука, 1971. 576 с.
8. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. — Л., Гидрометеониздат, 1967. 241 с.
9. Покровская Т. В. Синоптико-климатические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. — Л., Гидрометеониздат, 1969, 254 с.
10. Рочева Э. В., Логинов В. Ф. О влиянии океана на формирование засух. — См. наст. сб.
11. Thompson L. M. Cyclical weather patterns in the middle latitudes. — J. Soil and water Conserv, 1973, vol. 28, N 2, p. 87—89.

РОЛЬ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАСУШЛИВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Влияние гелиогеофизических условий на формирование засух исследовалось неоднократно [1, 2, 4, 10]. Получены данные, свидетельствующие о возможности учета гелиогеофизических факторов при прогнозе засух [6, 9]. Указанные работы в какой-то мере стимулировали исследования гелиогеофизических факторов засух, однако фронт исследований в этом направлении остается еще узким.

До сих пор нет четкого представления о факторах, определяющих выход геоэффективной энергии из активных областей Солнца, поэтому на первом этапе пришлось использовать целый ряд общеизвестных индексов солнечной и геомагнитной активности, характеризующих электромагнитную радиацию Солнца: площадь пятен и факелов, плотность потока радиоизлучения Солнца ($S_{10,7}$), индекс $CaII$, относительные числа Вольфа (W), S_b , $\frac{\Delta W}{W}$ и корпускулярную радиацию; индексы геомагнитной возмущенности — M , A_p , $C-9$, S_k , S_z [5].

В дополнение к этим индексам использовались параметры, характеризующие в определенной мере районы вторжения корпускулярных потоков. Одним из них является секторная структура межпланетного магнитного поля (ММП). Для ее характеристик используется число дней с положительной (A) и отрицательной (C) полярностью ММП. Вычислялось также число переходов A к C , показатель асимметрии активности полушарий Солнца ($N = S/N + S$ и др.). Последний показатель позволяет судить об отклонении межпланетного магнитного поля от гелиоэкватора.

Сезонные значения этих индексов за вегетационный период (апрель — июнь) были рассчитаны нами по данным, помещенным в каталоге индексов [5]. Кроме того, использованы производные от индексов солнечной активности:

а) индекс Ксантакиса: $J_a = \frac{1}{2}(\sqrt{A} + \sqrt{f})$, где A и f соответственно обозначают площади районов, занятых солнечными пятнами и факелами, исправленными на ракурс;

б) индекс Кинга: $J_K = \frac{100(N_y - N_w)}{N_x - N_w}$, где N_w — среднегодовое число солнечных пятен для каждого года; N_x и N_y — среднегодовое число пятен в годы максимума и минимума, между которыми находится данный год;

в) индексы Копецкого характеризуют период жизни (T_0) вновь образовавшихся пятен в северном (N), южном (S) полушариях Солнца и в целом (ВС) на его поверхности.

Для изучения синхронных связей засух с перечисленными выше параметрами использовался корреляционный анализ. Поскольку неизвестно, на какие метеорологические параметры и в каком районе больше всего оказывают влияние изменения условий на Солнце и в Космосе, использовано большое число предиктантов. При анализе по месяцам [10] использовались площадные характеристики дефицита осадков (ΔP). В качестве сезонных характеристик кроме $\Delta \bar{P}$ использовался еще ряд метеорологических параметров — площадные характеристики аномалий температуры воздуха ($\Delta \bar{T}$, $\Delta T_{\text{вес}}$), нормированные значения аномалий температуры воздуха ($\frac{\Delta t}{\sigma}$), комплексный показатель засух ($NT + NP$), опубликованный в [10].

В качестве косвенного показателя засух использовались также данные об осадках (в процентах от нормы), рассчитанные для двух естественных синоптических (е. с.) районов и для всей территории СССР по широтным кругам через 10° широты. Чтобы выяснить, как меняется характер связи гелиогеофизических и метеорологических факторов со временем, рассматривалось несколько периодов:

1) 1891—1923 гг. — период низкой солнечной активности в вековом цикле;

2) 1906—1938 гг. — период, включающий годы низкой солнечной активности и годы ее роста в вековом цикле;

3) 1938—1970 гг. — период высокой солнечной активности в вековом цикле;

4) 1891—1970 гг. — период включает весь ряд полностью.

Рассчитаны коэффициенты взаимной корреляции метеорологических параметров и индексов солнечной и геомагнитной активности по четырем сельскохозяйственным районам для всех четырех периодов. Сопоставление результатов показало, что для всех районов, кроме Западной Сибири, в течение первых двух периодов рассматриваемые связи носили случайный характер, т. е. число значимых коэффициентов корреляции не превышало 5%-ный уровень и лишь в период высокой солнечной активности (1938—1970 гг.) число значимых коэффициентов несколько превысило случайный уровень.

При сопоставлении статистически значимых коэффициентов корреляции при $\tau=0$ между среднемесячными значениями площадных характеристик осадков (ΔP) и солнечной активностью (табл. 1) также подтверждается нестабильность солнечно-атмос-

Изменение характера связи между среднемесячными площадными характеристиками осадков (ΔP) и солнечной активностью при переходе от одного периода (1891—1970 гг.) к другому (1924—1970 гг.)

Предиктор	Значимые коэффициенты корреляции		
	сохранились без изменения знака	исчезли	добавились новые
Индекс Кинга			Западная Сибирь, апрель
Индекс Ксаптакиса	ЕТС, май		Украина, май
Число Вольфа	Западная Сибирь, апрель	ЕТС, май	Западная Сибирь, апрель
Площадь факелов		ЕТС, май	Украина, май
Площадь пятен	Западная Сибирь, апрель	Украина, июль	Западная Сибирь, апрель
Индекс геомагнитной активности M	ЕТС, июнь	Западная Сибирь, июнь	ЕТС, апрель

Синхронные связи засушливых явлений с солнечными параметрами (1891—1970 гг.)

Предиктор	Число случаев	ΔT_{IV-VI}				ΔP_{IV-VI}			
		ЕТС	Украина	Западная Сибирь	Казахстан	ЕТС	Украина	Западная Сибирь	Казахстан
ММП(A)	45	-0,31	-0,25	0,13	-0,06	-0,41	-0,11	-0,02	-0,11
$S(T_0)_{IV-VI}$	59	0,10	0,32	0,02	0,21	0,22	0,28	-0,14	0,06
$N(T_0)_{IV-VI}$	59	-0,11	0,10	0,11	-0,05	0,05	0,16	-0,39	-0,16
$BC(T_0)_{IV-VI}$	59	-0,04	0,16	0,04	0,11	0,06	0,16	-0,27	-0,02
$N/N+S_{год}$	80	0,10	0,18	0,10	0,15	-0,07	0,03	0,15	0,28
N/S	80	0,0	0,26	-0,0	0,28	-0,14	0,07	0,02	0,14
$N-S/N+S_{год}$	80	0,05	0,17	0,23	0,25	-0,07	0,04	0,15	0,28
A_p	39	0,02	0,01	0,0	-0,04	0,37	0,11	-0,13	-0,09
M	80	0,03	0,17	0,03	0,14	0,23	0,10	-0,17	0,05
S_k	78	0,15	0,22	0,04	0,11	0,24	0,17	-0,17	-0,07
Числа Вольфа	80	0,10	0,22	-0,04	0,11	0,24	0,26	-0,25	0,0
Индекс Кинга	80	-0,04	0,06	-0,13	0,04	0,15	0,19	-0,26	0,04
Площадь пятен	80	0,12	0,24	-0,02	0,10	0,25	0,26	-0,23	-0,03
Индекс Ксантакиса	70	0,05	0,19	-0,01	0,02	0,26	0,24	-0,25	-0,05
Площадь факелов	70	-0,01	0,15	-0,08	-0,04	0,20	0,21	-0,29	-0,08
Индекс Анталовой	70	0,06	-0,02	0,05	0,09	0,29	0,11	0,10	0,09
Индекс Бауэра	74	-0,19	-0,22	-0,08	-0,13	-0,24	-0,24	0,05	-0,03

ферных связей в различных пространственно-временных интервалах. При переходе от одного периода (1891—1970 гг.) наблюдений к другому (1924—1970 гг.) характер связи оставался без изменений лишь в отдельные месяцы в некоторых районах. К предикторам, сохранившим связь с ΔP без изменения в течение этих двух периодов, можно отнести для территории ЕТС в мае индекс Кинга при $\tau=12$ месяцам; в июне — геомагнитную активность (M) при $\tau=1,2$; для Украины в апреле — площадь пятен и геомагнитную активность при $\tau=11$; для Западной Сибири в апреле — индекс Кинга ($\tau=5$), числа Вольфа ($\tau=2$) и площадь пятен ($\tau=2,3$ месяцам).

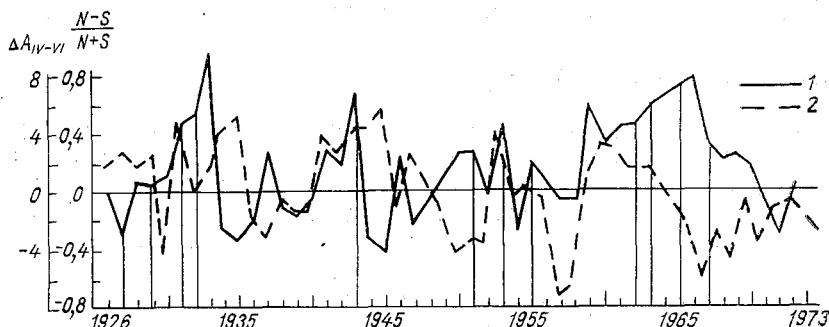


Рис. 1. Засухи в Западной Сибири и изменение условий на Солнце. 1 — показатель асимметрии активности полушарий Солнца, 2 — изменение числа дней, когда межпланетное магнитное поле направлено от Солнца. Вертикальными отрезками прямых обозначены годы с засухой.

В табл. 2 приведены статистически значимые коэффициенты корреляции для периода наблюдений с 1891 по 1970 г. индексов солнечной и геомагнитной активности с сезонными (ΔT , ΔP) характеристиками засушливых явлений.

Наиболее тесную связь с индексами солнечной активности имеют площадные характеристики дефицита осадков на территории ЕТС.

Анализ коэффициентов корреляции показал, что формированию засух на территории Украины и центральных и юго-восточных районов ЕТС способствует увеличение площадей пятен, усиление геомагнитной возмущенности и уменьшение числа дней с положительной полярностью (A) межпланетного магнитного поля.

Тесная отрицательная связь между аномалиями числа дней, когда ММП направлено от Солнца, наблюдается с восточной формой циркуляции (E), по А. А. Гирсу, за эти же месяцы ($R = -0,50$). Известно, что при форме E формируется дефицит осадков на ЕТС.

Ранее было показано [6], что засухи на ЕТС (из каталога Т. В. Покровской) отмечаются при отрицательных аномалиях числа дней, когда ММП направлено от Солнца. Распределение засух

($Nt+NP$) на ЕТС из каталога, опубликованного в [10], также подчиняется этим закономерностям. Засухи в Западной Сибири отмечаются при положительных значениях показателя асимметрии полушарий Солнца (рис. 1).

В ряде работ было показано, что определенное влияние на земные процессы оказывают резкие изменения солнечной активности [2]. При проверке этого положения по χ^2 [8] и использовании в качестве реперов дат значительных приращений чисел Вольфа оказалось, что появление переломов в ходе площадных характеристик осадков ($\Delta P_{\text{вес}}$) в реперные годы случайно. Однако изменение направления хода ряда показателей солнечной активности сказывается на появлении засух в определенных районах СССР.

Так, например, обширные засухи, охватывающие одновременно территорию центральных и юго-восточных районов ЕТС, Западной Сибири и Казахстана, образуются при увеличении показателя $\frac{N}{N+S}$

с вероятностью случайности 4% (по формуле биномиального распределения) [8]. Засухам на территории Западной Сибири и Казахстана способствует уменьшение площади факелов и геомагнитной возмущенности A_p (вероятность случайности $< 2\%$). Обширным засухам на территории Украины, ЕТС и Казахстана благоприятствует уменьшение числа дней с положительной полярностью ММП. Вероятность случайности менее 4%.

Анализ дефицита весенних осадков (в процентах от нормы), рассчитанных по широтным кругам в I е. с. районе, показал, что вблизи максимумов нечетных циклов отмечается дефицит осадков в северных широтах. На нисходящих ветвях нечетных 11-летних циклов дефицит осадков смещается в средние и южные широты. Избыток осадков отмечается в годы максимума четных циклов.

При анализе взаимных корреляционных функций площадных характеристик осадков для месяцев вегетационного периода (апрель — июнь) с солнечными и геомагнитными индексами при сдвиге до 30 месяцев оказалось, что наибольшее число значимых коэффициентов корреляции приходится в основном на май в центральных и юго-восточных районах ЕТС. При этом чаще всего значимые коэффициенты корреляции встречаются при $\tau=10$ и при $\tau=14-15$ месяцам. Эти же выводы сохраняются в целом для всех районов, хотя, если рассматривать районы по отдельности, обнаруживается, что повторяемость значимых коэффициентов в остальных районах близка к случайной.

При отборе месяцев-предикторов кроме корреляционного использовался также «узловой» метод. Эта часть работы была выполнена Л. А. Волокитиной.

Использование узлового метода Вительса позволило учесть в качестве прогностических признаков те предшествующие (из 28) месяцы, для которых особенно велики расхождения между средними значениями предиктора перед экстремально сухими и влажными годами. (Степень расхождения между средними определялась с помощью t -критерия Стьюдента [7].)

Таблица 3

Коэффициенты корреляции ($R_{xy}(\tau)$) и месяцы-предикторы по солнечным показателям для площадных характеристик дефицита осадков

Район	Месяц	Индекс Кинга	Индекс Ксантакиса	Числа Вольфа
ЕТС (центр и юго-восток)	IV	0,29 (13)		
		0,25 (24)		
	V	0,28 (12)	0,30 (0)	0,23 (0)
		0,33 (15)	0,29 (12)	0,26 (12)
			0,34 (14)	0,27 (14)
			0,32 (15)	0,38 (15)
Украина	VI		0,29 (16)	
	IV			
	V			
	VI	—0,26 (21)		
Западная Сибирь	IV			—0,25 (0)
				—0,23 (14)
	V			
Казахстан	VI			
	IV			
	V			
	VI			

В табл. 3 отобраны лишь те месяцы-предикторы, которые были значимыми при отборе корреляционным и узловым методами. Так, для мая на ЕТС предикторами оказались 12, 14, 15, 16-й месяцы (при заблаговременности прогноза >1 года).

Анализ асинхронной связи солнечных индексов с сезонными характеристиками засушливых явлений (табл. 4) показал, что значимые связи появляются при сдвиге в несколько лет. Так, для нормированных значений аномалий температуры на Украине лучшая связь с площадью пятен оказалась при сдвиге 10 лет, для площадных характеристик аномалий температуры воздуха (ΔT) в Западной Сибири — при $\tau=5-6$ годам, т. е. сдвиг равен либо продолжительности 10—11-летнего цикла, либо его половине. Физический смысл такого запаздывания не совсем ясен, можно лишь предполагать, что сдвиг метеорологических параметров на $\tau=10$ лет связан с 22-летним циклом, а 5—6-летний — с особенностями изменения геоэффективного агента в 11-летнем цикле рас-

Оценка взаимной корреляции ($R(\tau)$) сезонных характеристик засушливых явлений с индексами солнечной и геомагнитной активности

Предиктор	ΔT				$\Delta T_{\text{вс}}$			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A_p				0,29 (2)			0,40 (5)	0,27 (2)
C_9			0,25 (5)	0,23 (2)		0,34 (7)		0,23 (2)
M			0,27 (5)				0,29 (4)	
S_k					-0,30 (7)			
$N-S/N+S$	-0,27 (7)							
A								
$A \rightarrow C$		0,25 (7)	0,30 (5)	0,27 (4)		0,35 (7)	0,31 (5)	0,25 (4)
Число Вольфа							0,24 (6)	
Индекс Кинга			0,29 (5)	0,29 (4)		0,32 (7)	0,30 (5)	0,26 (4)
Площадь пятен			0,24 (5)			0,27 (8)	0,30 (5)	
Индекс Ксантакиса						0,27 (8)	0,27 (5)	
Площадь факелов		0,24 (5)						
Индекс Анталовой		-0,31 (3)	-0,33 (3)	-0,31 (4)		-0,40 (7)	-0,29 (6)	-0,32 (4)
Индекс Бауэра	-0,26 (3)		0,27 (3)	0,31 (3)				0,32 (3)
Индекс Колецкого								
$S(T_0)$		0,26 (2)		0,30 (3)				0,36 (3)
$N(T_0)$				0,37 (3)				0,39 (3)
$BC(T_0)$								

Префикторы	$\overline{\Delta P}$				$\overline{\Delta P_{вес}}$			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A_p			0,39 (3)					
C_9					0,23 (9)			
M			0,27 (4)		-0,24 (7)			
S_k								
$N-S/N+S$	-0,26 (7)	0,32 (2)						
A			-0,32 (4)					
$A \rightarrow C$					0,27 (2)			
Число Вольфа						-0,27 (4)		
Индекс Кинга	-0,27 (7)	-0,31 (4)	-0,27 (10)					
Площадь пятен			-0,27 (11)					
Индекс Ксантакиса			-0,26 (10)			0,27 (9)		
Площадь факелов	-0,24 (7)	-0,25 (4)	-0,23 (10)		0,23 (10)	0,30 (9)		
Индекс Анталовой		-0,29 (5)				-0,30 (5)	0,28(2)	
Индекс Бауэра	0,28 (2)							
Индекс Копецкого			-0,29 (1)					
$S(T_0)$								
$N(T_0)$	0,29 (11)			-0,28(5)		-0,29 (4)		-0,28(4)
$BC(T_0)$			-0,34 (1)			-0,28 (2)		

Примечание: 1 — центральные и юго-восточные районы ЕТС, 2 — Украина, 3 — Западная Сибирь, 4 — Казахстан.

смотренных индексов. Не исключено чисто земное происхождение подобных сдвигов. Однако независимо от физического смысла выявленного запаздывания метеорологических характеристик относительно солнечной активности имеет смысл использовать полученные закономерности в сверхдолгосрочном прогнозировании.

Для оценки роли различных космических факторов в изменении характеристик засушливых явлений применен регрессионный анализ [3].

Известно, что для построения уравнений связи необходимо отобрать основные параметры, определяющие разные виды влияния гелиогеофизических факторов на формирование засушливых процессов. Уравнения связи не должны включать данных, взаимные связи которых существенно меняются с течением времени. В связи с этим исследование проводилось по периодам, где связи были устойчивы (1938—1970 гг.). Учитывались наиболее информативные гелиогеофизические параметры, связи между которыми являются менее тесными.

Доля объясненной с помощью уравнения второго порядка вариации площадных характеристик осадков ($\Delta P_{\text{вес}}$) на ЕТС составила 44,8%. С помощью уравнения первого порядка можно объяснить 29,9% ΔP на ЕТС. При использовании независимых предикторов эта оценка существенно уменьшится.

Приведенные предварительные оценки позволяют судить о целесообразности включения данных об условиях на Солнце и в космосе в прогностические схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М. Х. Засухи и солнечная активность. — Труды КазНИГМИ, 1963, вып. 20, с. 87—89.
2. Дружинин И. П., Хамьянова Н. В. Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле. М., 1969.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. — В кн.: Статистика. М., 1973. 392 с.
4. Елекоев Б. Б. Солнечно-обусловленные изменения фазы и амплитуды меридиональных процессов и засухи на ЕТС, Украине и в Казахстане. — Труды I Всесоюзного совещания «Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды», 1974, с. 314—326.
5. Каталог индексов солнечной и геомагнитной активности. — Обнинск, 1976. 203 с.
6. Логинов В. Ф. О связи засух с секторной структурой межпланетного магнитного поля. — Экспресс-информация, 1975, вып. 3(35), — Обнинск, с. 3—7.
7. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971. 576 с.
8. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1967. 241 с.
9. Покровская Т. В. Синоптико-климатические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. — Л., Гидрометеиздат, 1969. 254 с.
10. Рочева Э. В., Логинов В. Ф. О влиянии океана на формирование засух. — См. наст. сб.
11. Thompson L. M. Cyclical weather patterns in the middle latitudes. — J. Soil and water Conserv., 1973, vol. 28, N 2, p. 87—89.

БРИКНЕРОВСКИЙ ЦИКЛ ЗАСУХ

В современных условиях существуют системы защитных мер, которые при их своевременном использовании могут свести к минимуму потери урожая от неблагоприятных погодных условий. Именно поэтому возрастает значение долгосрочного прогноза погоды на вегетационный период, выданного за несколько месяцев до начала полевых работ. Несмотря на то что метеорологический режим (температура и осадки) вегетационного периода лишь наполовину определяет величину собранного урожая зерновых и важными показателями являются режим температуры, осадков и ветров предшествующих зимы и осени, уровень агротехники (обработка почвы, удобрения, севообороты, семена и т. п.), частота особых явлений (градобития, ливни, суховеи, похолодания, вредители и т. п.) — все же центральной проблемой в прогнозе урожая остается прогноз метеорологического режима вегетационного периода. Годы с низким для данного уровня агротехники урожаем всегда связаны с неблагоприятными условиями погоды вегетационного периода. Экстремально низкие урожаи зерновых на больших площадях полностью определяются особо неблагоприятными метеорологическими условиями лета и почти не связаны с другими влияющими на урожай факторами.

Слабая связь средних и хороших урожаев с погодой лета указывает на то, что другие перечисленные выше факторы приобретают больший вес, когда обеспечен некоторый минимум осадков и тепла, необходимый для развития злаков. Прогнозирование урожаев ниже нормы и в особенности прогнозирование засух, когда на больших территориях собираются экстремально низкие урожаи, должно прежде всего основываться на прогнозе метеорологического режима вегетационного периода. Это особенно справедливо применительно к зоне недостаточного или критического увлажнения, в которую попадают зернопроизводящие районы. В последние годы исследованию цикличности засух уделяется особое внимание как наиболее надежному пути к разработке методов предсказания засух [5, 8]. Хорошо известно, что в метеорологических показателях зимой существуют одни циклы, которые летом сменяются другими циклами. Урожайность зерновых несет

на себе отпечаток тех и других циклов, а также следы различных эффектов, проявление которых вообще не имеет циклического характера. Цикличность метеорологических параметров в летний период (недостаток осадков, высокие температуры и радиация) обуславливает цикличность засух, и именно на метеорологических параметрах или на их комбинациях можно основывать исследование цикличности засух.

В настоящей работе проанализированы данные по индексу засушливости (З), приведенные в статье [4]. Осредненный за три летних месяца (май, июнь, июль) по шестилетним периодам индекс З, характеризующий увлажнение и температуру вегетационного периода, обнаруживает четкие 30-летние изменения.

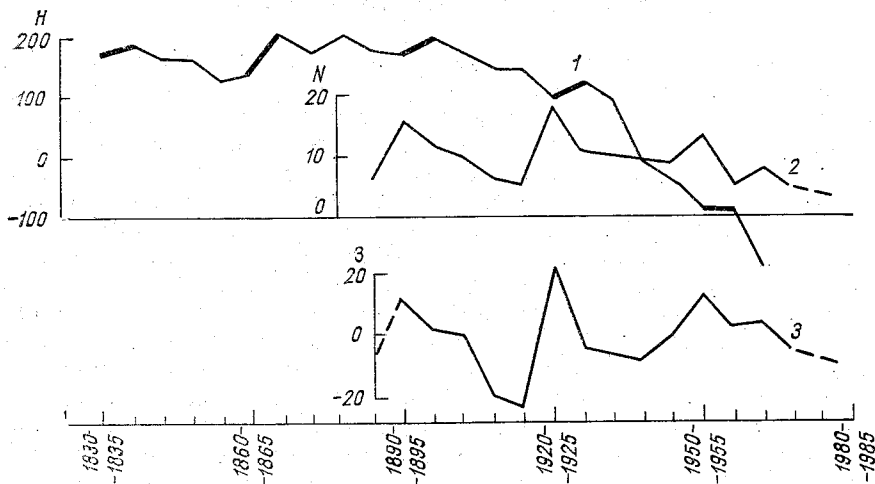


Рис. 1. Проявление 30-летней цикличности в уровне Каспийского моря.
1—уровень Каспийского моря, 2—число засух по четырем зернопроизводящим районам СССР, вычисленное по урожайности, 3—индекс засушливости; жирные отрезки—шестилетние периоды после повышенной засушливости.

На рис. 1 приведен ход шестилетних средних индекса З (нижняя кривая) и ход повторяемости засух по основным зернопроизводящим районам СССР по Раунеру [8]. Индекс З характеризует метеорологические условия вегетационного периода на ЕТС, в Среднем и Нижнем Поволжье, в Западном Казахстане. По этим же районам, с включением данных по Западной Сибири, были подсчитаны годы с засухами. Данные брались из работы [8], где по низким урожаям определены годы с засухой. Индекс З не дает хороших связей с урожаем в небольшом районе, поскольку он характеризует метеорологические условия в целом в основных зернопроизводящих районах СССР. Осреднение данных о засухах по указанным четырем районам СССР и по шестилетним интервалам приводит к тому, что кривая числа лет с очень низкими урожаями

по четырем зернопроизводящим районам СССР становится подобной кривой индекса Z , характеризующего метеорологические условия вегетационного периода. Здесь следует заметить, что урожайность зерновых на ЕТС в целом также обнаруживает 30-летнюю вариацию [5], но в силу большой неоднородности этих данных мы их не используем. Из рис. 1 видно, что в трех шестилетиях 1890—1895, 1920—1925, 1950—1955 гг., отстоящих друг от друга примерно на 30 лет, урожаи были экстремально низкими, а метеорологические условия лета — экстремально засушливыми.

На рис. 1 приводится также кривая уровня Каспийского моря, осредненного по шестилетним интервалам. Выделены периоды, когда засушливое шестилетие сменяется шестилетием влажным.

Таблица 1

Шестилетние средние значения различных показателей засушливости на ЕТС по интервалам 30-летнего цикла и их средние квадратические отклонения (σ)

	Интервалы 30-летнего цикла						σ
	1950—55	1956—61	1962—67	1968—73	1974—79	1980—85	
Число засух по 4 зернопроизводящим районам СССР по Раунеру)	16	9	9	7	7	16	3
Индекс засушливости Z	+15	+1	0	-10	-7	+15	6
Число засух в шестилетиях на Русской равнине (по Костину)	1,32	1,17	0,72	0,77	1,18	1,32	0,11
Разности шестилетних значений уровня Каспия, м	+30	-23	-31	-20	-18	+30	15

Поскольку уровень Каспийского моря определялся в основном осадками, выпадающими над востоком ЕТС, то легко видеть, что до зарегулирования Волги 30-летний цикл засушливости отражался и в уровне Каспия. На существование 31-летнего цикла в уровне Каспийского моря указывалось в работе [1].

Статистическая надежность наличия указанного 30-летнего цикла засушливости над ЕТС весьма велика, что можно видеть по данным, приведенным в табл. 1. Здесь вместе с другими данными приведены средние разности шестилетних значений уровня Каспия, а также число засух за шестилетие по фазам 30-летнего цикла по каталогу Костина [6].

Из табл. 1 видно, что различия в наибольших и наименьших значениях параметров, характеризующих засушливость Русской равнины в 30-летнем цикле, весьма существенны и отличаются на 3—5 средних квадратических отклонений.

М. Боголепов, подчеркивая важность этого периода для предсказания засух, определял его продолжительность в 33,3—35,5 года [2], хотя отмечал, как и Брикнер, что этот период не постоянен

и в отдельных случаях может сокращаться до 25 лет или увеличиваться почти до 50 лет.

М. С. Эйгенсон критиковал последователей Брикнера за определенное стремление объяснить брикнеровский цикл неким тройным 11-летним солнечным циклом, которого в действительности не существует [11]. Сейчас, спустя четверть века, можно с еще большим основанием утверждать, что такой 33-летний цикл в солнечной активности отсутствует и природа брикнеровского цикла должна объясняться другими причинами.

Вопрос о реальной продолжительности цикла засухливости имеет важное практическое и теоретическое значение. Если судить

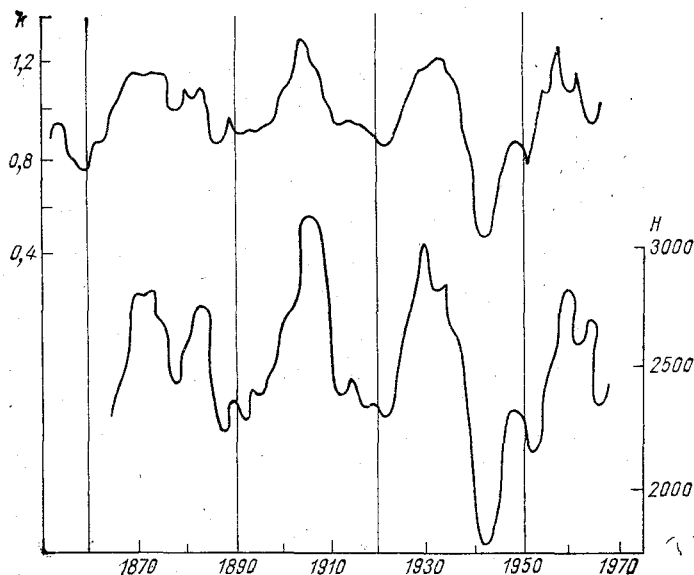


Рис. 2. Тридцатилетние циклы в уровне оз. Сайма (верхняя кривая) и в стоке р. Вуоксы (нижняя кривая).

по инструментальным наблюдениям уровня Каспия, то цикл засухливости составляет продолжительность 30 ± 2 года. Ту же картину дают данные по индексу засухливости Z , который определяется на основе инструментальных наблюдений температуры и осадков [4]. Четкий 30-летний цикл прослеживается в стоке рек центральной России, в уровне озер и в стоке рек Северо-Запада РСФСР. Так, наиболее продолжительные ряды наблюдений над уровнем озер Сайма и Ладожского, над стоком Вуоксы и других рек четко указывают на то, что около 1860, 1890, 1920, 1950 гг. наблюдались периоды засухливости, а около 1875, 1905, 1935, 1965 гг. — периоды повышенной увлажненности (рис. 2).

А. В. Шнитников [9] на основании анализа уровней десятков озер Западной Сибири и Казахстана от Урала до бассейна Оби приводит такие даты начала периодов засухливости: 1710, 1755, 1790, 1825, 1865, 1895, 1915, 1950 гг.

Лунгерсгаузен, анализируя геологические отложения Южного Урала, нашел, что 30—35-летний цикл прослеживался здесь в течение многих миллионов лет [7].

Чтобы выяснить вопрос о длительности брикнеровского цикла, мы рассмотрели все опубликованные по этому вопросу фактические материалы. Наиболее полные данные имеются в статье Клаффа [12], в которой приводятся центральные годы периодов, характеризовавшихся определенными аномалиями погоды. Нами из этой работы использованы только данные по теплым зимам в Европе и даты раннего сбора винограда. Это наиболее продолжительные и достоверные данные о климате Западной Европы за последние 6—8 столетий, хорошо согласующиеся между собой и с инструментальными данными, которые имеются лишь за 150 лет. Зимы, когда во Франции не было снега, и ранние сборы винограда систематически фиксировались в приходских книгах. За теплой зимой обычно следовала ранняя весна, раннее начало вегетации и ранний сбор винограда. С этими данными в свою очередь согласуются даты периодов низкого уровня озер, малого количества осадков, высокой температуры и высокого давления в Западной Европе. Все эти данные были соединены в один ряд лет, обозначающих периоды высокой засухливости, с учетом летописных данных по Руси.

Первый, хорошо документированный засухливый период в Европе, зарегистрированный во многих источниках, относится к 1230 г. Клафф указывает 1235 г. как центральный год периодов очень теплых зим. Предшествующий период Клафф датирует 1195 г., последующий — 1260 г. Точнее было бы выделить, по-видимому, период 1230—1232 гг. Согласно работе [13], годами с засухой летом в Европе считаются 1225, 1232, 1236 гг. В 1225 г. в Западной Европе наблюдалась очень холодная зима. Несколько десятилетий до этого периода и несколько десятилетий после него подобных явлений не отмечалось.

Период с 1224 по 1231 г. отличался большими погодными аномалиями и на Руси. В 1224 г. татары впервые появились в русских землях. Год оказался необычайно засухливым с большими пожарами в лесах и на болотах, о чем свидетельствуют многочисленные летописные данные [2]. Последующие несколько лет то оказывались холодными и дождливыми с заморозками летом, то жаркими и засухливыми. 1231 г. в Западной Европе был жарким, а в России наблюдалось одно из сильнейших из 9 известных по летописным источникам землетрясений, которое было отмечено во всех городах от Киева до Владимира [2]. В Новгородской и Никоновской летописях период 1228—1230 гг. подробно описан как период жестокого голода на Руси.

Начиная с 1230 г. последующие периоды засухливости, ука-

занные Клаффом, и периоды засушливости и больших погодных аномалий на Руси в общем совпадают. Для определенности в табл. 2 приведены лишь годы засушливых периодов по Клаффу.

1372 г. — год необычайных погодных явлений на Руси, когда нежатый хлеб был засыпан снегом, а лето было сухое с пожарами в лесах и на болотах, зима же — бесснежной. Никоновская

Таблица 2

Зависимость длительности брикнеровского цикла
от уровня солнечной активности

30-летний период	Засушливые годы по Клаффу [12]	Δt	$\Delta t'$	Высота 11-летних максимумов чисел Вольфа	Эпохи уровней солнечной активности
1	2	3	4	5	6
1230	1230				
		30	30		
1260	1260				
1290		40	45	75	1280—1350
1320	1300	40	45		
	1340	35	30	125	1350—1390
1350	1375				
1380					
1410		43	45	65	1390—1500
	1418	49	45		
1440					
1470	1467	33	30		
1500	1500	28	30	120	1500—1590
1530	1528	29	30		
1560	1557	40	30		
1590					
	1597	41	45		
1620					
	1638	45	45	60	1590—1710
1650					
1680	1683	45	45		
1710					
	1728	30	30	120	1710—1790
1740	1758	32	30		
1770					
	1790	42	45	55	1790—1830
1800					
1830	1832	31	30		
1860	1863	28	30	115	1830—1970
1890	1891	30	30		
1920	(1921)	30	30		
1950	(1950)	29	30		

летопись подробно описывает события этого необычного года. Центральный год этого засушливого периода по Клаффу — 1375.

Далее следует выделить необычайно засушливый период в Западной и Восточной Европе с 1528 по 1534 г. Этот период напминает 1230 и 1372 гг., когда в результате засух горели леса, Дунай, Вислу и Тибр можно было переходить вброд, сквозь дым пожаров на Солнце были видны крупные пятна. Жестокий голод был во многих странах Европы [2]. Клафф выделяет период 1526—1530 гг., в табл. 2 указан центральный год этого периода — 1528 г.

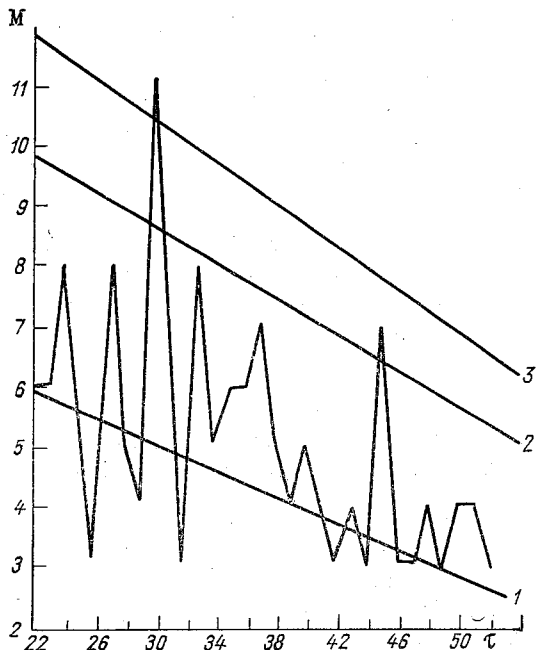


Рис. 3. Число лет совпадений (M) экстремумов заданного цикла (τ) с засушливыми периодами по Клаффу.

1 — случайный уровень совпадений для данного цикла, 2 — уровень доверительного интервала 5%, 3 — уровень доверительного интервала 0,3%.

Приведенные сопоставления показывают, с одной стороны, хорошую сходимость летописных данных по Руси с данными Клаффа по Западной Европе, с другой — близость засушливых периодов в разных частях Европы. Годы 1921 и 1950 включены в табл. 2 по нашим данным. Если допустить, что какие-то периоды не отмечены Клаффом, а какие-то, наоборот, случайно попали в его список, то можно ставить вопрос о поиске такого периода, при котором наибольшее число лет, указанных Клаффом, совпадает с годами экстремумов некоторого цикла. За начало отсчета мож-

но брать 1230 или 1950 г., но эти же годы должны оказаться в свою очередь и конечными годами экстремумов этой искомой цикличности.

Принимая 1230 г. за начало отсчета периодов продолжительностью от 22 до 52 лет, подсчитывалось число совпадений засушливых периодов по Клаффу с годами экстремумов некоторого периодического процесса. Допускалось, что между этими данными может быть неувязка в ± 3 года.

На рис. 3 приведена кривая числа лет, когда засушливые периоды по Клаффу совпадали с экстремумами некоторого периода, а также прямые среднего уровня совпадений и доверительные интервалы. Видно, что засушливые периоды, указанные Клаффом, не распределены случайным образом, а имеют четкую 30-летнюю периодичность и указания на 45-летний период. Существование короткого (28—35 лет) и длинного (40—49 лет) брикнеровского цикла можно предположить, анализируя промежутки времени между годами засушливости по Клаффу (см. графу 3 в табл. 2). Данные на рис. 3, однако, показывают, что существует некоторый физический процесс, способный обеспечить появление 30-летнего периода засух, на протяжении 750 лет без сбоев фазы. Временами 30-летний цикл заменяется 45-летним. При смещении этих двух периодов появляется примерно 35-летний брикнеровский цикл, хорошо известный по литературе.

Годы, выделенные в первой и второй графах табл. 2, обозначают 11 периодов засушливости в одной и той же фазе 30-летнего цикла. Опираясь на эти временные реперы, легко определить, сколько коротких (30 лет) и сколько длинных (45 лет) циклов Брикнера выделялось в разных эпохах. В четвертой графе табл. 2 приведены истинные ($\Delta t'$) промежутки времени между эпохами засух в Европе.

Естественно возникает вопрос о причинах появления коротких и длинных циклов Брикнера. Мы обратили внимание на совпадение эпох коротких циклов Брикнера с высоким уровнем солнечной активности. В последних графах табл. 2 приведены данные о средней высоте максимумов 11-летних циклов активности Солнца в различные эпохи. Видно, что эпохи высокой солнечной активности, когда уровень запятненности Солнца примерно в два раза выше, чем в эпохи низкой активности, хорошо совпадают с короткими брикнеровскими циклами.

Происхождение 30-летнего периода, вероятно, объясняется сближениями Солнца и Сатурна и соответствующей модуляцией межпланетной среды этими планетами. При низком уровне солнечной активности область модуляции должна быть больше, и следующая планета — Уран должна быть вовлечена в сферу модуляции межпланетной среды. Период между сближениями трех планет Земли, Сатурна, Урана как раз равен 45 годам, а Земли и Сатурна — 30 годам.

Важность исследования брикнеровского цикла заключается в том, что с его помощью можно предсказывать наступление дли-

тельных периодов засухливости, когда вероятность появления засух в двух соседних годах возрастает до $P=0,2-0,3$ по сравнению с нормальной вероятностью $P=0,05$. В прошлом наблюдались случаи, когда три (1297, 1298, 1299) и даже четыре года подряд (1889, 1890, 1891, 1892) на Русской равнине были засухливыми [6]. Такие случаи отмечались лишь в засухливые периоды брикнеровского цикла, т. е. около 1300 и 1890 гг. соответственно (см. табл. 2).

Из анализа фактических данных можно заключить, что продолжительные периоды теплой и сухой погоды обычно прерывались продолжительными периодами холодов и обильных осадков как во Франции и Англии, так и в Восточной Европе. 1976 г. во многом напоминает ситуацию с погодными аномалиями в прошлом. Лето 1976 г. было холодным и дождливым на ЕТС, но необычайно засухливым во Франции и Англии. Зимой 1976-77 г. обильные дожди вызвали большие разливы рек в Западной Европе, сильные морозы отмечались в Поволжье.

Периоды большой засухливости характеризуются развитием мощных циклонов и антициклонов над районами Европы, хорошим развитием меридиональных процессов. В одних случаях циклоны стационарируют над центральными районами ЕТС, а антициклоны — над Францией и Англией (ситуация, подобная лету 1976 г.), в других — барические образования как бы меняются местами (лето 1972 г.).

Характерно, что районы центральной Европы не испытывают столь резких изменений погодных условий от одного лета к другому, как районы Западной и Восточной Европы. В Белоруссии, Северной и Западной Украине не наблюдается, например, столь продолжительных периодов засух или ливней, как в Западной и Восточной Европе, нет здесь и характерного 30-летнего цикла засухливости. Только на востоке Украины в степной и лесостепной зонах наблюдается 30-летний цикл в осадках [3]. Так, в Ворошиловграде десятилетиями с минимальными осадками были следующие: 1855—1864, 1883—1892, 1929—1938, 1948—1957 гг. [3], что в общем согласуется с периодами засухливости в Западной Европе.

Данные по температуре и осадкам показывают, что 30-летние колебания распространены на большей части территории СССР от бассейна Дона на Западе до бассейна Оби на Востоке, от Каспийского моря на юге, до озер Карелии на Севере. В Средней Азии этот период засухливости, вероятно, также наблюдается, но он протекает в противофазе с 30-летними колебаниями засухливости в Поволжье. Так, наибольший сток Амударьи и Сырдарьи отмечался в 1923 и 1954 гг., а засухи в Поволжье в 1920—1921 гг. сопровождалась хорошими урожаями в Средней Азии.

Подводя итоги сказанному, можно констатировать: 1) реально существует 30-летний цикл засухливости в Западной и Восточной Европе; 2) в периоды пониженной активности Солнца он сменяется 45-летним циклом; 3) область проявления этой цикличности на

территории СССР простирается от Восточной Украины до бассейна Оби, от Каспийского моря до Карелии; 4) вероятность появления засух в двух или трех соседних годах в эти засушливые периоды заметно выше, чем в другие фазы брикнеровского цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н. А. О колебаниях уровня бессточных озер. — Метеорология и гидрология, 1963, № 6, с. 41—46.
2. Боголепов М. Наступающие изменения климата. М., Госиздат, 1921. 30 с.
3. Бучинский П. Е. Некоторые особенности колебаний климата на Украине. — Труды УкрНИГМИ, 1971, вып. 23, с. 21—38.
4. Гирская Э. И., Кропп Е. И., Сазонов Б. И. Показатели метеорологической засухи. — См. наст. сб.
5. Дроздов О. А. Временная структура частоты засух и ее связь с урожайностью. — Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 53—72.
6. Костин С. И. Засухи на Русской равнине за последнее тысячелетие. — Труды ГГО, 1975, вып. 330, с. 66—73.
7. Лунгерсгаузен Л. О некоторых особенностях древних свит Западного склона Южного Урала. — ДАН СССР, 1946, т. 3, № 2, с. 159—162.
8. Раунер Ю. Л. О периодичности засух на территории зерновых районов СССР. — Изв. АН СССР, сер. географ., 1976, № 6, с. 37—54.
9. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., Наука, 1969. 244 с.
10. Сазонов Б. И., Спирина Л. П. Влияние планет на межпланетную среду и погоду. — Труды ГГО, 1975, вып. 330, с. 75—81.
11. Эйгенсон М. С. Брикнеровский цикл и солнечная активность. — Бюллетень Комиссии по исследованию Солнца, 1951, № 7 (21), с. 31—37.
12. Clough H. W. Synchronons variations in solar and terrestrial phenomena. — *Astroph. J.*, 1905, vol. 22.
13. Schove D. J. Chronology and historical geography of famine plaque and otther pandemics. Proc. XXIII Congress of the History of Medicine, London, 2—9 Sept. 1972.

ОДИННАДЦАТИЛЕТНИЙ ЦИКЛ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Вопрос о связи колебаний атмосферных осадков с солнечной активностью имеет большое практическое значение, так как установление такой связи может быть использовано при сверхдолгосрочном прогнозе изменений климата с заблаговременностью в несколько лет. С этой точки зрения чрезвычайно важны закономерности, обнаруженные М. Х. Байдалом [1] и Т. В. Покровской [10]. Согласно первому из этих авторов, сильные засухи в Казахстане возникали только в год минимума солнечной активности (по числам Вольфа) и в два предшествующие года. Т. В. Покровская нашла, что сильные засухи на Европейской территории СССР возникают на восходящих ветвях циклической кривой индекса геомагнитной активности ΣK_p , или в точках максимумов этой кривой, а сильные засухи в Казахстане — только на нисходящих ветвях кривой ΣK_p или в точках минимумов.

В работе Ю. Л. Раунера [12] приведены засушливые годы на Европейской территории СССР, на Украине, в Поволжье, Западной Сибири и Алтайском крае, а также Северном и Центральном Казахстане. Распределение этих лет относительно эпох максимумов и минимумов 11-летних циклов солнечной активности, произведенное нами, выявило следующие особенности. Засухи на ЕТС, Украине и Поволжье не обнаружили каких-либо закономерностей, позволяющих связать их с солнечной активностью (по числам Вольфа). Сумма числа засух в Западной Сибири, Алтайском крае, Северном и Центральном Казахстане оказалась распределенной случайно относительно максимумов чисел Вольфа, но не случайно относительно минимумов.

Распределение числа засух в Западной Сибири, Алтайском крае, Северном и Центральном Казахстане относительно минимумов 11-летних циклов (нулевые годы) за 1842—1975 гг. получилось следующим:

—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5
1	5	7	9	17	6	12	2	10	10	4

Это распределение сильно отличается от равномерного, которое можно было бы ожидать при отсутствии связи вероятности возникновения засухи с фазой 11-летнего цикла солнечной активности. Применение критерия χ^2 показало, что вероятность случайного возникновения такого распределения не превышает 0,1%. Можно, таким образом, сделать вывод, что наиболее вероятно возникновение засухи на указанной территории за 1 год до минимума солнечной активности и наименее вероятно — за 5 лет до минимума и через 2 года после него.

Отметим еще несколько аналогичных исследований. И. Е. Бучинский [2] нашел двухвершинное распределение засух на Украине в 11-летнем цикле, причем наибольшее число засух приходится на год максимума и +4-й год. Это распределение несущественно отличается от равномерного. В. Ф. Логинов и Э. В. Рочева [9] пришли к выводу, что засухи в Западной Сибири чаще всего появляются через 4—5 лет после максимума 11-летнего цикла. Вероятность случайности этого результата составляет 1,8%. Р. А. Ягудин и А. Г. Сытин [13, 14] обнаружили в вероятности появления засухи в Западной Сибири не только 11-летнюю цикличность, но и 22-летнюю: вероятность засухи наименьшая в максимуме солнечной активности. Это характерно для всех 11-летних циклов, но в конце ветви спада 11-летнего цикла (+6, +7-е годы) наблюдается резкое различие между четными и нечетными циклами, причем вероятность засухи для нечетного цикла гораздо выше.

Некоторые различия между результатами всех этих исследований объясняются, вероятно, разным подходом к определению засухи. Поэтому нам представлялось целесообразным выяснить, существует ли связь между солнечной активностью и обычной, объективной мерой атмосферных осадков.

Указанием на такую связь может служить наличие 10—11-летней цикличности в рядах атмосферных осадков и в рядах стока рек, тесно связанного с режимом увлажнения. Такие указания существуют. Например, Г. П. Калинин [6] отмечает, что в спектральных функциях, определенных для стока 72 рек, в ряде случаев имеются статистически значимые подъемы в периоды 10—11 лет. А. И. Давыдова [4] указывает, что наибольшие амплитуды циклических колебаний водности рек чаще всего (более чем в 30% всех случаев) приходится на 11-летний цикл. Наблюдается 10—11-летняя цикличность и в атмосферных осадках. В работе [17] исследовались осадки всей Индии за 1901—1960 гг. Спектральным методом был обнаружен 10-летний цикл, значимый на 5%-ном уровне. Л. П. Кузнецова [7] в колебаниях атмосферных осадков материков (Европа и Северная Америка) по данным за 1891—1960 гг. выделила 10—11-летние циклы. В ряде работ отмечается приуроченность 11-летней цикличности в осадках к определенным географическим ареалам. Так, в монографии О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [5] есть указание на существование 10—13-летних циклов осадков в средней части бассейна р. Оби. В ра-

боте [11] отмечено, что годовой сток рек Западной Сибири (Обь, Ануй, Песчаная, Кия, Чулым, Омь) имеет хорошо выраженную 10—12-летнюю циклическую составляющую. Можно еще упомянуть работу [16], в которой найдена 11-летняя циклическость в водности некоторых рек Румынии.

В обзоре В. Ф. Логинова [8] можно найти сведения о нескольких попытках обнаружения связи между солнечной активностью и атмосферными осадками посредством применения метода наложения эпох. В качестве примера приведем вычисленное нами распределение атмосферных осадков в Дакаре (Западная Африка) за 1887—1973 гг., взятых из работы [15], относительно эпох максимумов 11-летних циклов. Максимальные годовые осадки (720 мм) приходятся на +1-й год после максимума, минимальные (430 мм) — на +5-й год. Различие между средними значимо на 1%-ном уровне. Распределение относительно минимумов 11-летних циклов менее закономерно.

Нами было предпринято исследование по методу наложения эпох атмосферных осадков Западной Сибири, а также Северного и Центрального Казахстана. К первому региону относились обла-

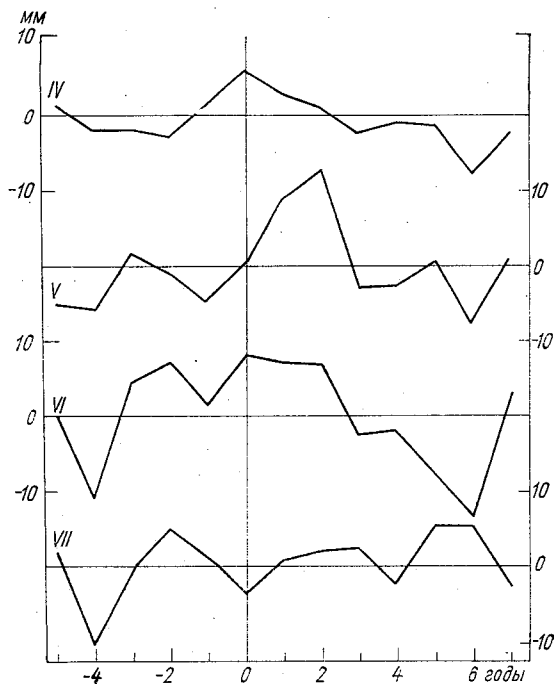


Рис. 1. Средние циклические кривые аномалий осадков (мм) в Западной Сибири для апреля, мая, июня и июля.

Нулевые годы — максимумы чисел Вольфа.

сти Томская (север и юг), Новосибирская (северо-запад и юго-запад), Кемеровская (северо-запад и юго-восток) и Алтайский край (северо-запад, северо-восток и юго-восток), ко второму — области Актюбинская (север), Гурьевская (север), Карагандинская, Кокчетавская, Кустайская, Павлодарская, Северо-Казахстанская, Семипалатинская (север и центр), Целиноградская, Уральская (север и юг). За период 1891—1972 гг. были использованы суммы осадков (мм) за апрель, май, июнь и июль каждого года. Предварительное исследование показало, что распределение осадков в Казахстане относительно фаз 11-летнего цикла не имеет хорошо выраженных особенностей, поэтому все внимание было сосредоточено на осадках Западной Сибири. Прежде всего надо было выяснить, изменяются ли осадки в зависимости от фазы 11-летнего цикла одинаковым образом в каждом из выбранных месяцев, или существуют какие-либо различия. Ответ на этот вопрос дает рис. 1, где показаны средние кривые осадков в 11-летнем цикле отдельно для каждого месяца. Подсчеты производились следующим образом. Для каждого месяца в восьми рядах первого региона (север Томской области был отброшен, так как ход осадков в этом районе сильно отличался от хода в остальных районах) было получено среднее значение и найдены аномалии.

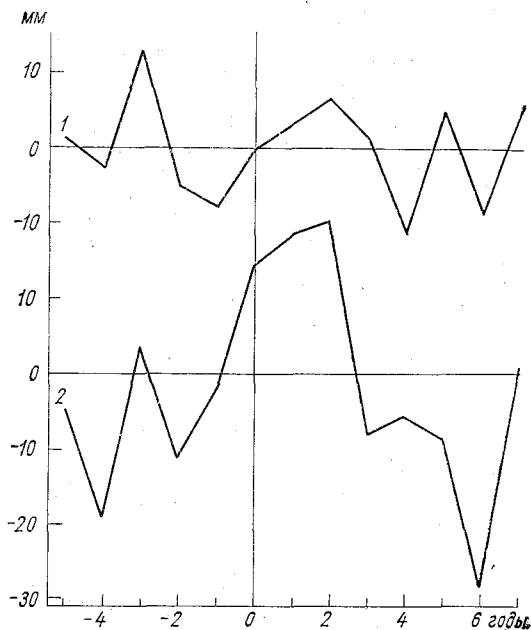


Рис. 2. Средние циклические кривые сумм аномалий осадков (мм) за апрель — июль в Казахстане (1) и Западной Сибири (2).

Нулевые годы — максимумы чисел Вольфа.

Эти восемь аномалий для каждого года осреднялись и средние вносились в таблицы наложения эпох. После осреднения были получены четыре кривые, представленные на рис. 1.

Как видно из этого рисунка, кривые для апреля, мая и июня имеют много общих черт, тогда как кривая для июля (на ветви спада) резко отличается от них. Поэтому было решено объединить кривые для апреля — июня (рис. 2). На рис. 2 показана также средняя циклическая кривая для этих же месяцев по данным, относящимся к Северному и Центральному Казахстану. Сравнение

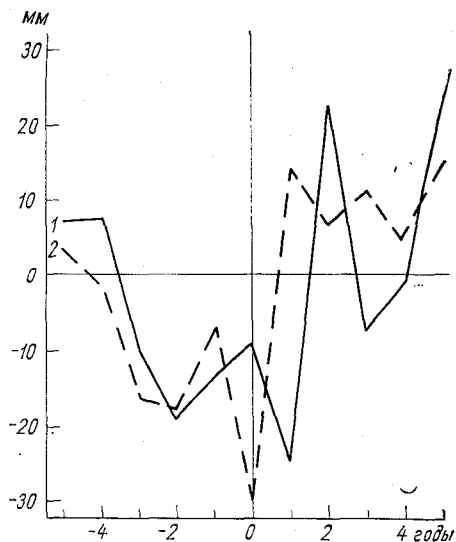


Рис. 3. Средние циклические кривые аномалий сумм осадков (мм) за апрель — июнь в Западной Сибири. Нулевые годы — минимумы чисел Вольфа (1) и минимумы геомагнитной активности (2).

ее с аналогичной кривой для Западной Сибири показывает, насколько слабее выражен 11-летний цикл в атмосферных осадках в казахстанском регионе.

Для атмосферных осадков Западной Сибири за апрель — июнь характерен хорошо выраженный максимум в 0, +1 и +2-е годы (относительно максимума 11-летнего цикла) и резкий минимум, приходящийся на +6-й год, т. е. вблизи эпохи минимума солнечной активности. На рис. 3 представлены результаты подобного анализа, сделанного относительно эпох минимумов солнечной и геомагнитной активности. Резко выраженный минимум осадков возникает через год после минимума солнечной активности и точно в год минимума магнитной активности. Это, по-видимому, сви-

детельствует о более тесной связи засушливых лет в Западной Сибири с минимумом геомагнитной активности, а не с эпохой минимума чисел Вольфа, что в общем согласуется с выводами Т. В. Покровской [10].

Статистическая значимость циклических изменений атмосферных осадков в Западной Сибири (см. рис. 2) была подтверждена двумя способами. Были подсчитаны средние квадратические отклонения для $+2$ и $+6$ -го столбцов в таблице наложения эпох; они оказались равными: $\sigma(+2)=5,65$; $\sigma(+6)=7,5$. Отклонения средних для этих столбцов от общей средней, равной -2 , составили $+23$ и -26 , что превышает соответствующие значения σ в 4,1 и 3,5 раза. Кроме того, применение критерия t показало, что средние для $+2$ и $+6$ -го столбцов различаются между собой с уровнем значимости $<0,1\%$. Можно еще отметить, что в $+6$ -м столбце все аномалии отрицательны.

По мнению Е. В. Воробьевой [3], увеличение осадков в Западной Сибири должно быть связано с усилением меридиональной формы атмосферной циркуляции, когда на территорию Западной Сибири поступают воздушные массы, переносимые юго-западными потоками со Средиземного моря. Это согласуется с нашими результатами, поскольку известно, что интенсивность меридиональной циркуляции в общем возрастает с усилением солнечной активности.

Таким образом, можно утверждать, что атмосферные осадки в ряде областей Западной Сибири распределены неравномерно в 11-летнем цикле солнечной активности. Помимо научного значения этого факта, еще раз свидетельствующего о наличии определенных связей между активностью Солнца и процессами в нижней атмосфере Земли, обнаруженная закономерность может иметь и практическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Л., Гидрометеиздат, 1964.
2. Бучинский И. Е. Засухи на Украине. — Изв. ВГО, 1975, т. 107, № 3, с. 207—213.
3. Воробьева Е. В. Характеристики осадков при основных формах атмосферной циркуляции. — Труды ГГО, 1967, в. 211, с. 81—93.
4. Давыдова А. И. Использование пространственно-временных закономерностей колебаний стока для его экстраполяции. — В кн.: Формирование ресурсов вод суши. М., Наука, 1972, с. 35—43.
5. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971. 158 с.
6. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. — Л., Гидрометеиздат, 1968. 377 с.
7. Кузнецова Л. П. Колебания годовых величин атмосферных осадков и температуры воздуха материков (Европа и Северная Америка). — В кн.: Формирование ресурсов вод суши. М., Наука, 1972. с. 5—20.
8. Логинов В. Ф. Солнечная активность и динамика климата. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1975. 48 с.

9. Логинов В. Ф., Рочева Э. В. Засухи в различных районах земного шара и солнечная активность. Экспресс-информация ВНИИГМИ-МЦД. Метеорология, 1974, в. 9(29), с. 17—23.
10. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеониздат, 1969. 254 с.
11. Природа многолетних колебаний речного стока. Под ред. И. П. Дружина. Новосибирск, Наука, 1976. 336 с.
12. Раунер Ю. Л. О периодичности засух на территории зерновых районов СССР.—Изв. АН СССР, серия географ., 1976, № 6, с. 37—54.
13. Сытин А. Г., Ягудин Р. А. Статистическая связь между засухами и четностью солнечных циклов.—Труды Зап.-Сиб.РНИГМИ, 1976, вып. 25, с. 117—119.
14. Ягудин Р. А., Сытин А. Г. О проявлении солнечной активности в режиме осадков на юге Западной Сибири.—Труды Зап.-Сиб.РНИГМИ, 1971, вып. 21, с. 12—26.
15. Landsberg H. E. Sahel drought: change of climate or part of climate? — Arch. Met., Geoph., Bioklim., B, 1975, vol. 23, № 3, p. 193—200.
16. Pisota I., Moissin C. Periodicity of floods and drying up of Romania's rivers.—Rev. Roum. géol., géoph. et géogr. Géogr., 1976, vol. 20, p. 111—119.
17. Pharthasarathy B., Dhar O. N. A study of trends and periodicities in the seasonal and annual rainfall of India.—Indian Journ. Met., Hydrol., Geoph., 1976, vol. 27, N 1, p. 23—28.

А. А. Григорьева, Г. Е. Комин, Л. Г. Полозова

ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ КАК ИНДИКАТОР ЗАСУХ

Известно, что в Казахстане — одной из крупнейших житниц нашей страны — сравнительно часто наблюдаются засухи, значительно снижающие урожайность сельскохозяйственных культур. Для прогнозирования наступления засух необходимо знать закономерности в их повторяемости. При изучении истории засух в США, ФРГ, Польше и других странах широко используется дендрохронологическая информация, так как засушливость вегетационного периода достаточно четко фиксируется снижением радиального прироста древесных растений. Так, Г. В. Стоктоном и Д. М. Мекко [9] на основе анализа рядов прироста деревьев восстановлены данные о засухах в западной части США за последние 260 лет.

Задачей настоящей работы является установление связи между индексами атмосферной засухи и радиальным приростом деревьев в степной зоне Северного Казахстана и на этом основании — удлинение рядов показателей засух и выявление каких-либо закономерностей их наступления.

Древесная растительность в степной зоне — явление редкое, и если встречаются отдельные ее островки, то возраст деревьев сравнительно невелик, но все же во многих случаях превышает длительность метеорологических наблюдений.

По образцам древесины сосны, собранным в лесничестве «Золотой бор» Кокчетавской области, Г. Е. Коминым [2] рассчитан ряд индексов (модульных коэффициентов) годовичного прироста за период 1825—1964 гг., т. е. за 140 лет.

Сосны произрастали на остепненном участке свежих условий увлажнения, по Л. Н. Грабанову [1], и располагались одиночно (вне древостоя) на расстоянии 40—50 м друг от друга, поэтому фитоценоотические факторы не оказывали влияния на их прирост. В таких условиях динамика прироста деревьев в значительной степени определяется внешними причинами, т. е. годовичными изменениями климатических факторов и отчасти индивидуальными генотипическими особенностями деревьев [3]. Последние были снивелированы тем, что ряд индексов годовичного прироста (см. табли-

цу 1) рассчитан как средние значения для совокупности из 16 деревьев.

Вблизи «Золотого бора» расположена метеостанция Щучинск, где наблюдения ведутся только с 1935 г. Ближайшая метеостанция с длительным рядом наблюдений (с 1874 г. с перерывами) Целиноград (Акмолинск) удалена от места взятия образцов почти на 200 км к югу. Тем не менее наблюдения этой станции использовались нами для исследования связи с годичным приростом деревьев, поскольку колебания основных метеоэлементов — темпе-

Таблица 1

Индексы прироста деревьев сосны (%)

Год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1820						86	101	180	153	138
1830	80	70	35	44	79	130	111	102	132	102
1840	111	78	49	54	96	109	79	92	88	107
1850	107	69	53	81	64	97	130	158	155	150
1860	94	89	130	106	120	91	98	85	100	85
1870	42	53	65	62	72	92	117	128	92	101
1880	127	116	82	58	88	131	199	195	108	155
1890	78	21	56	42	85	132	108	146	108	118
1900	28	88	95	99	61	74	59	94	94	110
1910	135	84	114	104	140	133	75	83	71	74
1920	76	52	129	73	99	95	100	98	161	110
1930	116	68	49	61	64	67	25	36	48	34
1940	53	52	69	86	125	178	198	189	131	87
1950	93	70	41	92	93	60	150	73	116	84
1960	156	185	130	80	153					

ратуры и осадков — за вегетационный период в Щучинске и Целинограде достаточно синхронны (коэффициент корреляции соответственно равен 0,91 и 0,64). Поэтому результаты настоящей работы по меньшей мере можно считать репрезентативными для Целиноградской и Кокчетавской областей. Район исследования расположен в умеренных широтах в континентальной степной области Западной Сибири. Здесь растения вполне обеспечены теплом и влагой осадков, выпадающих преимущественно в теплый период. Однако в засушливые годы при аномальном повышении температуры наблюдается значительный дефицит влаги. Поэтому прирост деревьев зависит от комплексного влияния метеорологических факторов, в основном от режима тепла и влаги. Удачной характеристикой его является гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова [7], представляющий собой отношение месячной суммы

осадков (Σr) к сумме температур (Σt) за тот же месяц с коэффициентом 0,1:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma r}{0,1 \Sigma t}, \quad (1)$$

где член $0,1 \Sigma t$ приближенно оценивает величину испаряемости выпавших осадков за месяцы со средней суточной температурой выше $8-10^\circ\text{C}$. При этом, если $\text{ГТК} > 1,0$ — увлажнение достаточно, $\text{ГТК} < 1,0$ — недостаточное, а при $\text{ГТК} < 0,5$ — возникают засухи. В исследуемом районе, где основное количество осадков выпадает в теплый период, этот коэффициент должен быть особенно эффективен в оценке связи между приростом деревьев и климатом. Действительно, между шириной годовых колец (индексами прироста) сосны и гидротермическим коэффициентом для Целинограда за весенне-летний период (с мая по июль) связь выражается достаточно высоким коэффициентом корреляции $0,71 \pm 0,06$, а при сглаживании коррелируемых величин по трехлетиям корреляция возрастает до $0,80 \pm 0,04$. Такая связь дает основание для построения уравнения регрессии по несглаженным данным:

$$\text{ГТК}_{\text{V-VII}} = 0,005C + 0,25,$$

где C — индекс годовичного прироста сосны. На основании этого уравнения реконструирован ряд значений ГТК за весенне-летний период с 1825 г. На рис. 1 приведен график временного хода реконструированных несглаженных величин ГТК_p (а) и непосредственно вычисленных ГТК_b (б) и сглаженных по трехлетиям. Согласованность в ходе восстановленной по приросту сосны кривой

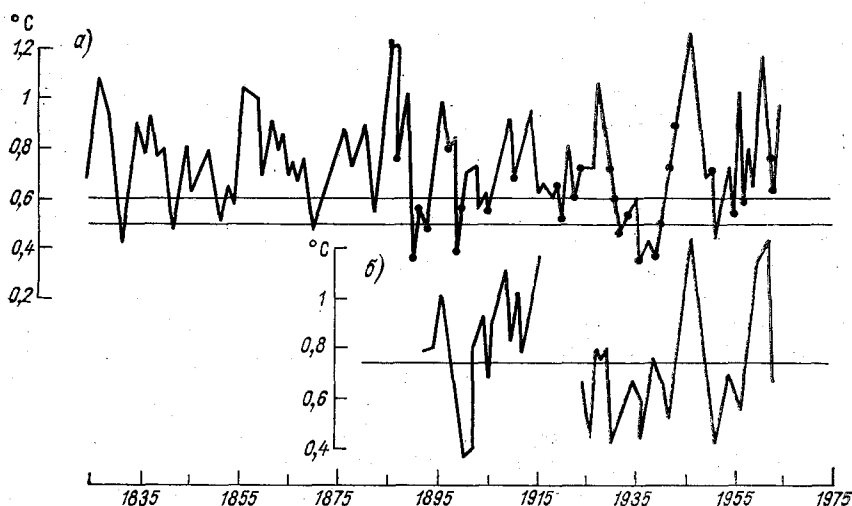


Рис. 1. Временной ход реконструированных несглаженных величин ГТК (а) и сглаженных по трехлетиям вычисленных ГТК (б).

Звездочкой отмечены годы с засухой в северном Казахстане, по Т. В. Покровской.

ГТК и рассчитанной по метеорологическим наблюдениям вполне удовлетворительная. Появление экстремальных величин достаточно синхронно, различия заметны в амплитуде несглаженных колебаний от года к году. Этого и следовало ожидать, поскольку атмосферные процессы обладают большой изменчивостью, а прирост годичных колец деревьев — фактор значительно более инертный, и поэтому наиболее надежно отражает не отдельные засухи, а длительные периоды частого повторения засух. Снимая с несглаженного графика реконструированных величин ГТК (см. рис. 1) даты, когда кривая пересекала линию ГТК-0,5 (ниже которой, по Г. Т. Селянинову [7], возникают засухи), можно выделить в данном районе годы засухи, а именно: 1832—1833, 1842—1843, 1852, 1870—1871, 1891, 1893, 1900, 1932, 1936—1941, 1952. При сравнении этих дат с временным ходом урожайности яровой пшеницы и числа дней с атмосферной засухой в Целинограде, по А. С. Утешеву [7], оказывается, что критерий ГТК-0,5 позволяет выделить только очень сильные засухи. Если критическое значение ГТК повысить до 0,6, то соответствие между периодами засух, выделяемыми по восстановленной кривой ГТК, и урожайностью, а также числом дней с засухой увеличивается.

Как уже отмечалось выше, прирост деревьев минимален в периоды частого повторения засушливых лет. Особенно глубокий минимум прироста приходится на 1931—1943 гг. — период максимального потепления Арктики, когда в рассматриваемом районе был большой недостаток летних и зимних осадков, особенно в 1931, 1932, 1935, 1936, 1937 гг., а уровень температуры часто превышал средний многолетний. Древесные растения в таких условиях не успевали оправиться от одной засухи, как начиналась новая. Этот период выражен частым повторением низких значений ГТК_н (наблюденного), пониженной урожайностью в 1930—1933, 1935—1937, 1939 гг. (далее данных нет до 1950 г.). Число дней с засухой в этот период также превышает норму, но незначительно — на 2—5%. Наилучшее согласование в датах засух и их интенсивности дают все рассмотренные критерии после 1950 г. По-видимому это связано в первую очередь с более качественными данными наблюдений за осадками, относительной влажностью воздуха, более надежными данными об урожайности зерновых. При этом следует еще раз подчеркнуть, что при оперировании гидротермическим коэффициентом, уровень его 0,5, принятый Селяниновым [7] за показатель засушливости для отдельных месяцев, является слишком жестким для оценки сезона и выделяет только сильные засухи. Более подходящим, по-видимому, является уровень ГТК-0,6. Как известно, засухи распространяются на большие географические районы, поэтому естественно, что годы засух, выделенные по ГТК для Целинограда, как правило, совпадают с каталогом засух Т. В. Покровской (1976), составленного для всего Северного Казахстана. Исключение составляет лишь несколько лет. Например: в 1929 г. число дней с засухой в Целинограде и Кокчетаве превышает норму более чем на 26, ГТК_н уменьшился

до 0,4, но урожайность была выше нормы и в каталог засух этот год не вошел. Характерно, что и на приросте деревьев эти засушливые условия не отразились. Причина этого — в запасах почвенной влаги, накопившихся за предыдущий 1928 год, когда количество осадков чуть ли не вдвое превысило норму, что дало возможность растениям хорошо перенести дефицит увлажнения в 1929 г. В качестве другого примера можно привести 1952 г. К сожалению, за этот год нет данных по урожайности зерновых, но по числу дней с засухой (выше нормы почти на 26), $ГТК_{\text{д}} = 0,3$, $ГТК_{\text{р}} = 0,4$ этот год можно считать засушливым на рассматриваемой территории (хотя в каталоге Покровской он не числится). Подтверждением засушливости 1952 г. является дефицит увлажнения в 1951 г., когда в течение всего года количество осадков было значительно ниже нормы, особенно в зимний период 1951-52 г. и в чрезвычайно засушливых мае и июне 1952 г., т. е. в месяцы, решающие для растений.

Эти примеры еще раз свидетельствуют о сложности выбора метеорологических критериев засухи и необходимости учета предыстории (например, условий увлажнения почвы в предшествующие годы) и коррелирования метеорологических условий засухи восприимчивостью к ним биологических показателей. Годичный прирост древесных растений является наиболее подходящим для этой цели показателем по своим аккумулирующим свойствам и надежности фиксации явления засух. Использование его, безусловно, имеет свои недостатки (например, сложность интерпретации данных), но при умелом и грамотном сборе образцов древесины большинство из них может быть исключено.

Урожайность зерновых — основной биологический показатель метеорологических условий вегетационного периода (если не учитывать влияния агротехнических мероприятий) — является менее удобной характеристикой засушливости в силу множества факторов, влияющих на однородность оценки урожайности и трудности получения этих данных об урожае.

В работах Т. В. Покровской [4—6] убедительно продемонстрирована гелиообусловленность засух в 11-летнем цикле геомагнитной возмущенности (индекс K_p — показатель корпускулярного излучения Солнца). Весенне-летние засухи случаются на Европейской территории СССР почти исключительно на восходящей ветви цикла, а в Казахстане — на нисходящей ветви цикла K_p . Засухи, охватывающие одновременно обе территории, могут приходиться как на одну, так и на другую фазы. Использовать это правило для каталога засух, восстановленного по ГТК, не представляется возможным ввиду ограниченности ряда индексов K_p 1884 г. Поэтому пришлось обратиться к единственному длительному ряду, отражающему колебания солнечной активности, — к ряду чисел Вольфа. Если рассматривать все засухи, не разделяя их на казахстанские и европейско-казахстанские, то из 48 засух 28 (58%) приходится на нисходящую фазу, 6 (около 13%) — на фазу минимума, 8 (около 17%) — на восходящую фазу и 6 (около 13%) — на

фазу максимума чисел Вольфа. Иными словами, около 71% засух в Целиноградской и Кокчетавской областях случаются на нисходящей фазе и в годы минимума солнечной активности, что является достаточно убедительным подтверждением вышеприведенного правила, если учесть что рассматривались все засухи подряд и использовались числа Вольфа, с которыми в эксперименте Т. В. Покровской [6] засухи вообще не давали четкой связи. Таким образом, на основании рассчитанного до 1925 г. по индексам прироста ряда ГТК можно ожидать, что на предстоящей ветви роста 21-го цикла солнечной активности, которая продлится согласно большинству прогнозов с 1977 по 1980 г., вероятность засух в Целиноградской и Кокчетавской областях будет вдвое меньше, чем на последующих фазах максимума и минимума в первой половине 80-х годов. Этот вероятностный прогноз мы попытались уточнить путем исследования циклических колебаний в рассматриваемом ряду индексов прироста сосны. При спектральном анализе ряда выделились два основных периода: 10 лет и 16,3 года. Автокорреляционный анализ дал менее четкий результат — набор циклов 11, 13, 16, 18, 20 лет с небольшой амплитудой (около 15%). Это указывает на отсутствие четкой, устойчивой цикличности в данном ряду. Однако наложение циклов различной длительности привело к повторяемости периодов сильных засух через 8—10 и 16—20 лет, отчетливо прослеживающихся на графике временного хода реконструированных величин ГТК (см. рис. 1). Этому в значительной степени способствует уже отмеченное выше запаздывание реакции прироста древесных растений на воздействия метеорологических факторов. Исследуемый ряд индексов прироста сосны ограничен 1964 г. Как видно из рис. 1, в последние 10-летия периоды минимального прироста повторялись примерно через 16 лет. Последний период минимального прироста отмечен в 1951, 1952 и 1955 гг., далее могут появиться полуцикл 8—10 лет или цикл 16—20 лет. Это подтверждается и вычисленными величинами ГТК до 1975 г. (рис. 1), где следующая серия минимальных значений ГТК началась с 1963 г. (затем 1965, 1966 и 1970 гг.). Если вести отсчет от главного минимума 1965 г., то следующая серия засушливых весенне-летних периодов должна начаться около 1980—1981 гг., т. е. в годы предполагаемой нисходящей фазы солнечной активности.

Резюмируя изложенное, нужно подчеркнуть, что при исследовании колебаний климата и, в частности, засух использование любой возможности надежного удлинения исследуемых рядов, особенно дендрохронологических, способствует большей информативности данных и повышению статистической значимости результатов. Давно уже назрела необходимость расширения работ по дендроклиматологии по единой программе с использованием наиболее рациональных методов сбора и обработки данных. Только тогда появится возможность реконструировать по дендрохронологическим материалам историю засух на больших территориях страны и исследовать причины их возникновения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибанов Л. И. Лесорастительное районирование лесов Казахстана и типы леса островных нагорных сосняков Центрально-Казахстанского мелко-сопочника.—Труды КазНИИЛХ, 1966, т. 5, вып. 5, 1966, с. 6—19.
2. Комин Г. Е. К методике дендроклиматических исследований.—Труды Института экологии растений и животных УФАИ СССР, 1970, вып. 67, Свердловск, с. 234—241.
3. Комин Г. Е. Влияние климатических и фитоценологических факторов на прирост деревьев в древостоях.—Экология, 1973, № 1, с. 74—83.
4. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды.—Л., Гидрометеониздат, 1969. 254 с.
5. Покровская Т. В. О связи наступления засух на Европейской территории СССР с корпускулярным излучением Солнца.—Труды ГГО, 1973, вып. 299, с. 126—135.
6. Покровская Т. В. К вопросу о совместном анализе циркуляционных и гелиогеофизических факторов формирования засух.—Труды ГГО, 1976, вып. 354, с. 15—22.
7. Селянинов Г. Т. Происхождение и динамика засух.—В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., 1958.
8. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, Наука, 1972. 176 с.
9. Stockton C. W., Meko D. M. A long-term history of drought occurrence in Western United States as inferred from tree rings. (Labor. of Tree-Ring Research, University of Arisona, Tucson).—Weatherwise, 1975, № 12, p. 245—249.

СВЯЗЬ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ С КОЛЕБАНИЯМИ ЕГО ЗА ПРОШЛОЕ ВРЕМЯ

В последнее время в СССР и за рубежом значительно повысился интерес к изменениям климата. Особое внимание при этом стали уделять влиянию антропогенного фактора на глобальный климат. При определении степени влияния этого фактора, тем более на будущие изменения климата, следует учитывать воздействия и других факторов — астрономического, гелиогеофизического, геолого-географического и др., которые могут усиливать или ослаблять антропогенные влияния. Поэтому необходимы исследования истории климата и его колебаний за прошлые годы. Большое значение имеет изучение климата за период голоцена, т. е. за всю послеледниковую эпоху, которая началась примерно 11 тысяч лет назад. В эпоху голоцена происходило формирование существующих теперь природных условий, в частности климатических. Этот процесс происходил не только на территории, захваченной последним оледенением, но и за ее пределами на огромной площади, так как в голоцене изменялся в глобальном масштабе тепловой баланс Земли. Таким образом, корни климата нашей эпохи глубоко уходят в голоцен, и поэтому современные изменения его имеют преемственную связь с колебаниями прошлого климата. Анализ условий в голоцене может дать, на основе принципа актуализма и с поправкой на антропогенный фактор, более достоверное представление о будущих изменениях климата.

Для таких исследований необходимы результаты систематических метеорологических наблюдений за продолжительное время, однако они отсутствуют. В связи с этим большую ценность приобретают данные об озерных иловых отложениях. Толщина годичных слоев их, подобно записи самописца, достоверно отражает режим температуры, осадков и других явлений за отдельные годы. Они являются, таким образом, как бы летописным материалом для изучения климата за голоцен.

В СССР изучением строения иловых отложений много лет занимался Б. В. Перфильев, разработавший специальную методику их исследования [9]. Эти отложения являются единственным материалом для изучения климата в голоцене. Спорово-пыльце-

вой анализ, дающий возможность по растительным остаткам получить представление о климате прошлого, радиоуглеродный метод, применяемый для определения абсолютного возраста различных органических объектов, и другие виды анализа в данном случае только иллюстрируют и дополняют результаты изучения климата в голоцене по материалам озерных иловых отложений.

В 1929 г. Перфильевым были взяты со дна Габозера (южная часть Карелии) ряды вертикальных серий иловых монолитов. По одной из таких серий удалось выделить слои ила за время почти

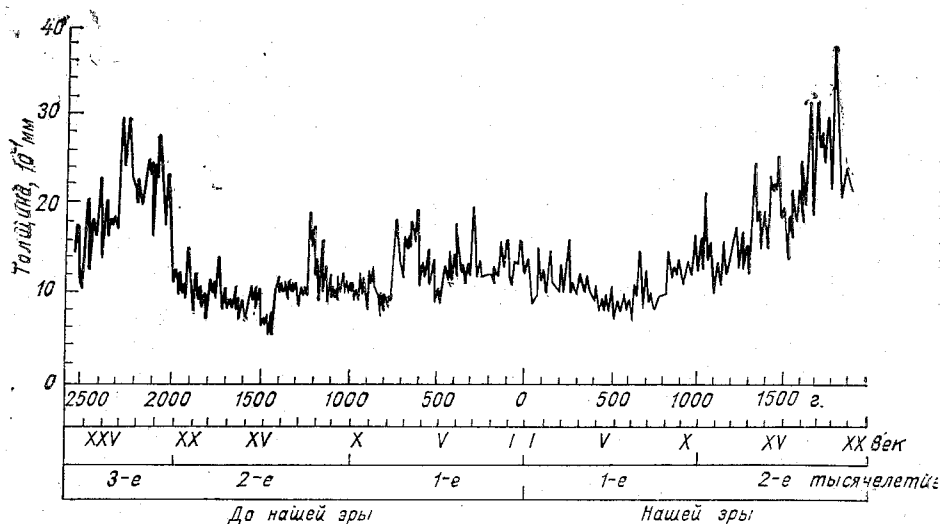


Рис. 1. Кривая изменений толщин иловых отложений Габозера по средним десятилетним величинам.

4,5 тысячи лет. Эта серия оказалась уникальной. Она охватывала слои, отложившиеся за временные отрезки голоцена — поздний голоцен и часть среднего голоцена или за климатические периоды (по Блитту — Сернандеру) — субатлантический (0—2500 лет назад) и суббореальный (2500—4500 лет назад). Кривая изменений толщин иловых отложений в Габозере, составленная по средним десятилетним величинам, приведена на рис. 1. Ранний и средний голоцен этими монолитами не представлен, поэтому необходимо продолжить исследование по методике Перфильева.

Из рис. 1 видно, что за рассматриваемое время наблюдались эпохи с повышенными и пониженными толщинами годовых слоев ила. Значительно повышенные толщины были в 3-м тысячелетии до н. э., во 2-м тысячелетии н. э. и менее повышенные — в 1-м тысячелетии до н. э.; пониженные отложения образовывались во 2-м тысячелетии до н. э. и в 1-м тысячелетии н. э. Эти изменения определялись колебаниями климата. В теплые эпохи, которым со-

путствовала засушливость, годовые отложения ила были тонкими, во влажные и прохладные эпохи — более мощными.

В теплые эпохи в Арктике происходило уменьшение ледовитости, а в прохладные вода консервировалась в виде льда. Эти явления создавали эвстатические колебания уровня Мирового океана: в эпохи потепления — повышение, в эпохи похолодания — понижение уровня. Такие колебания приводили к трансгрессиям и регрессиям морей, в частности Балтийского и Черного. На Каспийском же море, не имеющем контакта с океаном, наблюдалась обратная картина. Таким образом, трансгрессии и регрессии Черного и Каспийского морей могут служить иллюстрацией колебаний климата, зафиксированных озерными иловыми отложениями.

П. В. Федоров полагает [10, 11, 12], что одной из старейших трансгрессий Черного моря была Новочерноморская, образовавшая во 2-м тысячелетии до н. э. террасу на высоте 2—2,5 м от современного уровня моря. На рис. 1 видно, что за время этой трансгрессии ежегодные отложения ила в Габозере были тонкими, что указывает на сухой и очень теплый климат. Этот отрезок времени в среднем голоцене получил название первого ксеротермического периода. В этот период происходило усыхание болот и наступление леса на север, причем большое распространение получили широколиственные породы. С ксеротермическим периодом тесно связана эпоха бронзы в истории древнего человека. Поселения его, относящиеся к этой эпохе, находили в центральных районах Русской равнины на левых берегах рек, ныне затопляемых при весенних разливах, например, на террасе Дона [7]. Это также указывает на сухость климата в эпоху бронзы.

В этот период в торфяных болотах Русской равнины образовались отложения так называемого пограничного горизонта. Абсолютный возраст его по данным радиоуглеродного метода колеблется в пределах 3360—2875 лет [8]. Это соответствует примерно времени резкого повышения толщин иловых отложений, начиная с VIII в. до н. э., что указывает на смену сухого и теплого суббореального климата прохладным и влажным субатлантическим. С увеличением отложений ила в Габозере с VIII в. до н. э. вследствие наступления влажного прохладного климата наблюдалась и регрессия Черного моря в связи с понижением уровня Мирового океана. Уровень Черного моря, по Федорову, достиг в это время минимума. Он был примерно на 9 м ниже современного. Регрессию Черного моря, образовавшуюся в 1-м тысячелетии до н. э. Федоров называет Фанагорийской [10, 11, 12].

С первых веков н. э. толщина слоев ила стала уменьшаться вследствие изменения климата в сторону потепления и засушливости. Уровень Мирового океана повысился, и еще в I в. н. э. началась новая трансгрессия Черного моря — Нимфейская, максимум которой наблюдался в середине первого тысячелетия нашей эры [12]. На Русской равнине за время протекания Нимфейской трансгрессии климат был самым теплым и сухим за все время нашей эры. А. Д. Архангельский [1], изучавший слоистость глы-

боководных осадков северо-западной части Черного моря, в которую поступает основная часть материкового стока Днепра, Днестра, Дуная и других рек, установил, что около 1000 лет тому назад количество обломочных частиц, приносимых в море этими реками было в 3—6 раз меньше, чем в настоящее время. По Бруксу [2], на протяжении примерно от V до X в. н. э. Северный Ледовитый океан, возможно, был свободен от льда. Период с V по VIII в. н. э. называют вторым ксеротермическим периодом за последние 4500 лет.

С конца первого тысячелетия н. э. толщина иловых отложений стала возрастать под влиянием повышения увлажненности и понижения температуры. Однако на ветви роста общего увлажнения за текущее тысячелетие, как видно на рис. 1, были неоднократные случаи понижения увлажненности, сопровождавшиеся повышенными температурами. Особенно значительное потепление было в XI—XIII вв. н. э., когда толщина иловых отложений была меньше средних величин. Это потепление создало благоприятные условия для заселения побережья Гренландии европейцами. В то время там успешно развивалось скотоводство. Наступившее затем похолодание прекратило дальнейшее заселение Гренландии на несколько веков, так как у берегов ее стали возникать тяжелые ледовые условия. Наибольшее увлажнение и наиболее низкие температуры наблюдались в XVII—XVIII вв. Этот период в Европе называют малой ледниковой эпохой [2].

Повышенной увлажненности и пониженной температуре в текущем тысячелетии соответствовала регрессия Черного моря и трансгрессия Каспия. На Русской равнине в XVI—XVIII вв. лесистость в лесостепной зоне была большой, реки полноводными.

С начала прошлого века кривая изменений толщин иловых отложений стала резко снижаться. Этому соответствовало изменение климатических условий на Русской равнине в сторону потепления и уменьшения увлажненности. Такие изменения особенно заметно начали проявляться с 30-х годов прошлого века. С этого времени в дубравах лесостепной зоны Воронежской области пониженные приросты дуба стали преобладать над повышенными. До этого времени наблюдалась обратная картина. Такое явление указывает на учащение засух. Действительно, если в XVIII в. на Русской равнине наблюдалось 19 засух, то в XIX в. их стало уже 28, а в текущем столетии только за 75 лет их было столько же [6].

Последнее потепление вызвало таяние льдов в Арктике и понижение ледовитости полярных морей. Это вызвало эвстатическое повышение уровня Мирового океана, что привело к новой трансгрессии Черного моря. Она началась в конце прошлого века и продолжается до сих пор. Уровень же Каспийского моря, не имеющего связи с Мировым океаном, еще до создания на Волге гидротехнических сооружений, стал снижаться вследствие уменьшения водоносности рек Волжского бассейна. Частые засухи в текущем столетии вызвали на Русской равнине падение уровня грунтовых вод и усыхание бессточных озер. Они были также причиной усы-

хания дубрав, которые занимают большую площадь в лесостепной зоне Русской равнины. Это усыхание началось еще в самом конце прошлого века в лесостепной зоне Украинской ССР, а затем распространилось на многие дубравы лесостепи. Особенно сильное усыхание дубрав отмечалось с 1940 по 1946 г. и вновь возобновилось в 60-х годах.

Таким образом, приведенные выше колебания толщин иловых отложений Габозера за 4500 лет достоверно отражают различные явления, происходившие за это время в атмосфере, гидросфере и биосфере Земли.

Возникает вопрос — имеется ли какая-либо связь между приведенными выше колебаниями климата с изменениями солнечной активности? Для выяснения этого вопроса были использованы

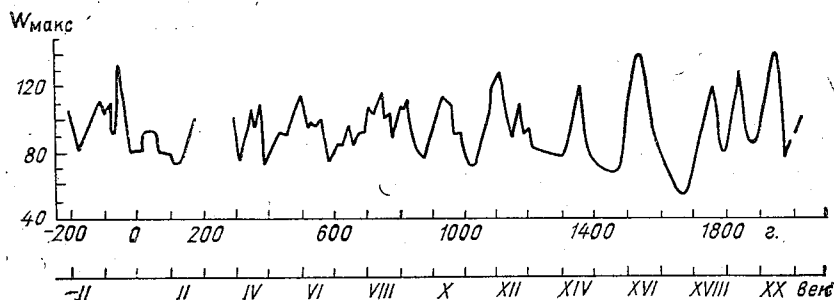


Рис. 2. Кривая изменений максимальных значений чисел Вольфа в 11-летних солнечных циклах по оценкам Шове и цюрихским данным, сглаженным по четырехлетним скользящим средним.

оценки максимумов отдельных 11-летних солнечных циклов, выраженных числами Вольфа, взятых как за время производства регулярных телескопических наблюдений над солнечной активностью (цюрихские данные с XVIII в.), так и за более раннее время по косвенным оценкам Шове. Таблица Шове воспроизведена Ю. И. Витинским [5]. Оценки максимальных значений солнечной активности в 11-летних циклах из таблицы Шове взяты с 290 г. по XVII в., когда они стали непрерывными. С начала XVIII в. по 1975 г. для таких оценок были использованы цюрихские данные, а с 1976 г. по 2050 г. — данные долгосрочного прогноза цюрихского ряда чисел Вольфа, предложенные О. Б. Васильевым и К. А. Кандауровой [3, 4]. Все эти материалы, взятые вместе, были сглажены по четырехлетним скользящим средним (по методу Глайсберга), что позволило получить кривую вековых изменений солнечной активности с 290 по 2050 г. н. э. (рис. 2). Часть кривой, построенная по прогнозированным данным, показана пунктиром.

Сравнение кривых изменений солнечной активности (рис. 2) и толщин иловых отложений Габозера (рис. 1) показывает, что во

второй ксеротермический период, протекавший в первое тысячелетие н. э., наблюдались два сверхвековых цикла солнечной активности (около 200 и 300 лет). На ветвях их роста и спада неясно проявились вековые циклы, причем разности между уровнями максимумов и минимумов в этих циклах были невелики. В конце ксеротермического периода, т. е. в конце первого и в начале второго тысячелетия н. э. проявился отчетливо цикл продолжительностью 160 лет.

В последующее время в ходе изменений солнечной активности стала проявляться аномалия. Она выразилась в отсутствии четко выраженных минимумов. Максимальные значения чисел Вольфа в XIII в. достигали 80, а длительность цикла по максимумам составляла около 250 лет. В XV в. уровни солнечной активности были даже ниже, чем в XIII в. (около 70). Далее наблюдался очень высокий и ясно выраженный по минимуму цикл продолжительностью около 200 лет (с середины XV в. до середины XVII в.), в котором второй минимум был самым низким за всю нашу эру (минимум Маундера).

Такой аномальный характер солнечной активности с XIII по XVII в. вызвал, по-видимому, перестройку циркуляционных процессов в атмосфере, что привело к резкому изменению климатических условий. Если в ксеротермический период, наблюдавшийся в первом тысячелетии н. э., климат был теплым и сухим, то с XIII по XVIII в. он стал влажным и прохладным. Толщина иловых отложений с XIII в. стала возрастать и достигла наибольших величин в XVII—XVIII вв. Это время было самым холодным за всю нашу эру. С XIX в. толщина иловых отложений стала понижаться под влиянием изменения климата в сторону потепления и уменьшения увлажненности. Особенно заметно это проявилось в текущем столетии.

В XVIII—XX столетиях н. э. вековые циклы солнечной активности по своей продолжительности были близки к нормальным, но мощность их постепенно возрастала. Это указывает на то, что вековые циклы за XVIII—XX вв. располагались на восходящей ветви сверхвекового цикла, начавшегося в конце XVII в.

Выше было показано, что после значительного увлажнения в 3-м тысячелетии до н. э. и после повышенного увлажнения в начале 1-го тысячелетия до н. э. наблюдались ксеротермические эпохи — во 2-м тысячелетии (около 1500 г.) до н. э. и в 1-м тысячелетии (около 500 г.) н. э. Промежуток времени между началами этих эпох составляет примерно 2000 лет. Поэтому имеется большая вероятность возобновления засушливого периода примерно с 2000 г., после значительного увлажнения во 2-м тысячелетии н. э. Засушливость стала проявляться еще в XIX в. и возросла в наше время. Однако в текущем столетии наблюдались короткие периоды с повышенной увлажненностью и пониженной температурой. Так, например, в 1939—1942 и 1968—1972 гг. на Русской равнине были холодные зимы, а промежуток времени с 1960 по 1967 г. был влажным. Подобные явления были и в прошлые ксеротерми-

ческие эпохи. На рис. 2 видно, что кривые изменений увлажнения в эти эпохи имели пилообразный характер, вызванный спадами и подъемами увлажнения за время протекания этих эпох. Такие же явления предвидятся и в будущем, но они, как и раньше, будут протекать на фоне пониженной увлажненности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский А. Д. Об осадках Черного моря и их значении в познании осадочных пород.— Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологии, т. 5 (№ 3—4), новая серия, т. 35, 1921, с. 250.
2. Брукс К. Климаты прошлого. М., Изд-во иностр. лит., 1952. 357 с.
3. Васильев О. Б., Кандаурова К. А. Долгосрочный статистический прогноз цюрихского ряда чисел Вольфа.— Солнечные данные, бюлл. № 2, 1970, с. 106—112.
4. Васильев О. Б., Кандаурова К. А. Сверхдолгосрочный прогноз цюрихского ряда чисел Вольфа.— Солнечные данные, бюлл. № 11, 1970, с. 109—112.
5. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л., Наука, 1973. 256 с.
6. Костин С. И. Засухи на Русской равнине за последнее тысячелетие.— Труды ГГО, 1975, вып. 330, с. 69—74.
7. Москаленко А. Н. Из древнейшего прошлого Гремяченского района (по археологическим данным).— В кн.: Природа и хозяйство Гремяченского района Воронежской области. 1953, с. 15—37.
8. Нейштадт М. И. Некоторые итоги изучения отложений голоцена.— В кн.: Палеография и хронология верхнего плейстоцена и голоцена по данным радиоуглеродного метода. М., Наука, 1965, с. 112—132.
9. Пёрфильев Б. В. Микрозональное строение иловых озерных отложений и методы его исследования. Л., Наука, 1972, с. 215.
10. Федоров П. В. О современной эпохе в геологической истории Черного моря.— ДАН СССР, т. 110, 1956, № 5, с. 839—841.
11. Федоров П. В. О колебаниях уровня Черного моря в послеледниковое время.— ДАН СССР, т. 124, 1959, № 5, с. 1127—1129.
12. Федоров П. В. О послеледниковой трансгрессии Черного моря.— Бюлл. Московского общества исп. природы, отдел геологии. 1971, № 2, с. 62—67.

Л. Г. Полозова, С. Г. Шиятов

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ УРАЛА

Длительные дендрохронологические ряды (индексы ширины годовичных колец деревьев) широко используются для реконструкции некоторых важных характеристик климата в прошлом и изучения закономерностей его изменения [3]. Для этих целей наиболее пригодны деревья, произрастающие в пессимальных условиях существования, на верхней, полярной и южной границах леса. В связи со сказанным исключительный интерес представляет Уральский хребет, который пересекает несколько природных зон (от тундры до степей), а его вершины во многих местах поднимаются выше верхней границы леса. Древесная растительность на Полярном Урале поднимается в горах до высоты 200—400 м, а на Южном Урале (г. Ирмель) — до 1300—1400 м. Поскольку в пределах субарктического и умеренного климатических поясов высотное положение верхней границы леса определяется в основном термическим режимом вегетационного периода, то, изучая колебания прироста деревьев, произрастающих на верхнем пределе своего существования, можно проследить за изменением более или менее однородных биоклиматических условий во времени и пространстве.

Уральский хребет не создает резкой климатической границы между Восточной Европой и Западной Сибирью, его влияние сказывается в количественном различии климатических характеристик на западных и восточных макросклонах хребта. На западных склонах Урала существенно увеличивается количество осадков летом и зимой благодаря обострению фронтов в приходящих с запада циклонах. Восточные склоны хребта получают меньшее количество осадков. На этих макросклонах часто создается скачок и в температурном поле: в холодный период Уральский хребет нарушает постепенность перехода, когда более теплый воздух из Европейской части перетекает через хребет и встречается с более холодным сибирским. Теплый воздух в этом случае не может опуститься на равнину и течет поверх холодного далее на восток. Следует отметить, что летом этот эффект отсутствует.

При северных и южных вторжениях Уральский хребет, в силу своего меридионального положения, не оказывает существенного влияния на распространение потоков арктического или тропического воздуха. Отсюда становится понятной значительная синхронность в многолетнем ходе температуры воздуха на всем протяжении Урала (рис. 1). Длительные колебания температуры воздуха существенно связаны с нарушением зональности в атмосферной циркуляции.

Значительная синхронность многолетних колебаний температуры воздуха на всем протяжении Урала может служить основанием для предположения о наличии синхронности в колебаниях прироста деревьев, произрастающих на верхней границе леса, где одним из лимитирующих факторов является температура воздуха летних месяцев.

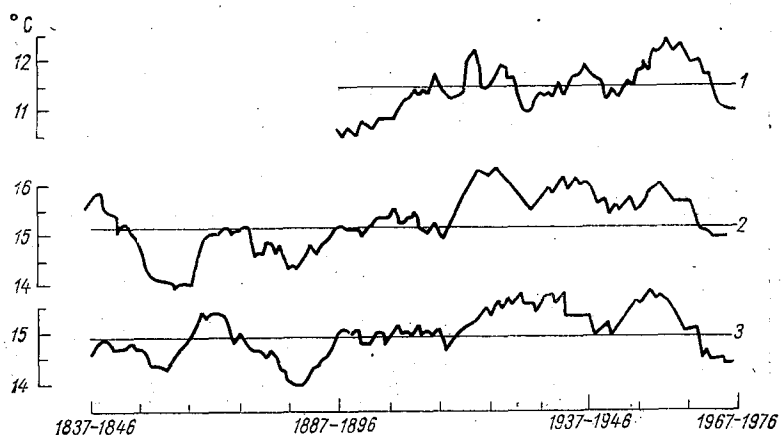


Рис. 1. Средняя температура вегетационного периода (июль — август), сглаженная по скользящим 10-летиям.

1 — Салехард, 2 — Карпинск, 3 — Златоуст.

Для установления связей между приростом деревьев в толщину и важнейшими климатическими факторами (температура, осадки) использовались ряды индексов ширины годичных колец лиственницы сибирской, ели сибирской и сосны обыкновенной, полученные С. Г. Шиятовым по модельным деревьям с Полярного, Приполярного, Северного и Южного Урала. Всего было использовано 30 дендрохронологических рядов по отдельным типам условий местообитания и 7 рядов обобщенных. Последние были получены путем объединения моделей одной древесной породы с разных типов условий местообитания. Для построения этих рядов было использовано 448 живых модельных деревьев (от 4 до 23 шт. на один ряд) и 87407 годичных колец. Расчет индексов прироста проводился по методике, предложенной Шиятовым [2]. Протяженность полученных рядов колебалась от 198 до 505 лет. Краткая их характеристика приведена в табл. 1.

Краткая характеристика дендрохронологических рядов

№ ряда	Район сбора образцов древесины	Вид древесного растения	Тип условий местообитания	Высота над уровнем моря, м	Количество модельных лет, шт.	Количество годовичных колец, шт.	Протяженность ряда		Коэффициент чувствительности
							годы	число лет	
1			4	5	6	7	8	9	10
1	Восточный склон Полярного Урала, бассейна р. Соби (66°45'—66°55' с. ш., 65°15'—66°05' в. д.), Тюменская область	Лиственница	ВГЛ, проточно и обильно увлажненные	150—300	21	4901	1541—1968	428	0,39
2			ВГЛ, заболоченные		8	1548	1694—1939	376	0,42
3			ВГЛ, сухие		9	1683	1648—1964	317	0,32
4			ВГЛ, свежие		10	2120	1648—1964	317	0,37
1—4			ВГЛ, все типы		48	10252	1541—1969	429	0,37
5		Ель	ВГЛ, проточно и обильно увлажненные		11	2089	1637—1969	333	0,29
6	Восточный склон Приполярного Урала, г. Неройка (64°30'—64°55' с. ш., 59°40'—60°15' в. д.), Тюменская область	Лиственница	ВГЛ, свежие	550—700	14	3157	1673—1970	298	0,43
7			ВГЛ, сухие		18	3474	1683—1970	288	0,37
8			ВГЛ, обильно и проточно увлажненные		20	3790	1691—1969	279	0,39
6—8			ВГЛ, все типы		52	10421	1673—1970	298	0,38
9		Ель	ВГЛ, обильно и проточно увлажненные		12	1599	1681—1969	289	0,29
10			ВГЛ, свежие		4	789	1710—1969	260	0,36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	Южный Урал, г. Иремель (54°30' — 54°35' с. ш., 58°45' — 58°55' в. д.), Баш- кирская АССР	Ель	ВГЛ, сухие	1150 — 1300	5	923	1699 — 1973	275	0,21
25			ВГЛ, обильно и про- точно увлажненные		14	2123	1709 — 1972	264	0,20
26			ВГЛ, свежие		15	2544	1720 — 1972	253	0,24
24—26			ВГЛ, все типы		34	5590	1699 — 1973	275	0,18
27			Долинные курумы	900 — 1000	11	2473	1648 — 1973	326	0,23
28		Листоветни- ца	"		8	1503	1670 — 1973	304	0,25
29			ВГЛ, обильно и про- точно увлажненные	1000 — 1100	11	1549	1770 — 1972	203	0,31
30		Сосна	Долинные курумы	900 — 1000	22	6909	1469 — 1973	505	0,18

При мечание. ВГЛ — верхняя граница леса.

Модельные деревья для анализа ширины годовичных колец брались в следующих типах условий местообитания: сухих, свежих, обильно и проточно увлажненных, заболоченных и долинных курумах.

Сухие местообитания приурочены к вершинам повышений и отрогов, а также к перегибам рельефа. Почвы мелкие, щебнистые, их увлажнение происходит в основном за счет атмосферных осадков. В засушливые периоды растения могут испытывать недостаток почвенной влаги. На таких местообитаниях произрастают лишайниково-моховые и кустарничковые редколесья и криволесья.

Свежие местообитания занимают склоны средней крутизны ($10-20^\circ$). Весной и во время обильных дождей грунты бывают переувлажнены, так как здесь проходит поверхностный и внутрипочвенный сток воды с вышерасположенных участков. Почвы сравнительно богатые, подзолистого типа. Растения не испытывают недостатка в почвенной влаге. Здесь произрастают зеленомошные редколесья и криволесья.

Обильно и проточно увлажненные местообитания приурочены к берегам ручьев и долинам стока. Они характеризуются наиболее богатыми аллювиальными и дерново-луговыми почвами, обильным и проточным увлажнением грунтов в течение большей части периода вегетации. На таких местообитаниях произрастают разнотравные парковые леса и редколесья, иногда березовые криволесья.

Заболоченные местообитания вблизи верхней границы леса встречаются на пологих склонах и террасах и в основном на Полярном Урале. Увлажнение грунтов избыточное и застойное. Они заняты осоково-гипновыми болотами, на которых растут одиночные лиственницы и ели.

Долинные курумы, состоящие из хаотического нагромождения голых каменных россыпей, характерны только для гор Южного Урала, которые сложены кварцитами и кварцитовидными песчаниками. В отличие от склоновых курумов, которые приурочены к наиболее крутым склонам, долинные курумы занимают пологие ложбины стока. Стекающая с вышерасположенных участков гор вода не может пробить себе русло среди плаща каменных россыпей и в то же время препятствует формированию здесь почвенного покрова. По периферии долинных курумов произрастают одиночные или в виде небольших куртин очень угнетенные сосны, ели, а иногда и лиственницы. Медленный рост деревьев в таких местообитаниях связан с недостаточным минеральным питанием и резкими колебаниями влажности фрагментарных участков почвы и мелкозема. Для нас растущие здесь деревья представляют значительный интерес в связи с тем, что они достигают большого возраста (до 400—600 лет). Долинные курумы расположены обычно на 100—300 м ниже по склону, чем верхняя граница леса.

Прежде чем выявлять связи между приростом деревьев и климатическими факторами, необходимо рассмотреть наличие сход-

ства между рядами, полученными для разных районов, типов условий местообитания и видов древесных растений. Для оценки степени сходства использовались два показателя — коэффициент синхронности и коэффициент корреляции. Первый показатель вычисляется путем деления количества одинаково направленных годовичных отрезков кривой на количество противоположно направленных. При этом использовалось максимально возможное перекрытие между двумя рассматриваемыми рядами. Степень синхронности оценивалась следующим образом: до 60% — синхронность отсутствует, с 61 до 70% — слабая, с 71 до 80% — хорошая, с 81 до 90% — высокая, с 91 до 100% — очень высокая. На Полярном Урале высокая и очень высокая синхронность наблюдается между рядами лиственницы (81—95%), а между обобщенными рядами лиственницы (№ 1—4) и рядом ели (№ 5) — синхронность хорошая (72%). Примерно такие же показатели синхронности характерны и для рядов прироста деревьев в районе Приполярного Урала (69—92%). Синхронность несколько снижается на Северном Урале (хорошая и высокая), на Южном Урале она самая низкая. Так, на хребте Таганай синхронность между рядами ели, растущей на высоте верхней границы леса, колеблется от 69 до 88%, в то время как между рядами сосны и ели — слабая или совсем отсутствует. Такая же картина и на г. Иремель. В одном случае (ряды 28 и 30) коэффициент синхронности составил всего 36%, т. е. ряды сосны и лиственницы в одинаковых условиях местообитания (долинные курумы) показали почти противоположный ход в колебаниях индексов прироста.

Сопоставление обобщенных рядов для различных районов Урала показало, что по мере удаления районов друг от друга синхронность между их рядами уменьшается. Хорошая синхронность (71—72%) наблюдается только между рядами, полученными с Полярного и Приполярного Урала. Ряды Приполярного Урала имеют слабую синхронность с рядами Северного Урала (61—65%), а ряды Северного Урала с рядами Южного Урала (62—64%). Отсутствует синхронность между рядами Южного Урала, с одной стороны, и рядами Приполярного и Полярного Урала, с другой стороны.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов корреляции между дендрохронологическими рядами для различных районов Урала. Обращает на себя внимание наличие высокой связи между рядами лиственницы в различных условиях местообитания. Наиболее тесные связи (0,80—0,96) отмечены на Полярном, Приполярном и Северном Урале. Но и на Южном Урале ряды лиственницы (№ 28 и № 29) имеют также довольно высокий коэффициент корреляции (0,80). Связь между рядами ели менее тесная (0,65—0,83), а на г. Иремель даже слабая (0,19—0,52).

Интересной особенностью рассматриваемых связей является наличие слабой корреляции между рядами лиственницы и ели: на Полярном и Приполярном Урале коэффициенты корреляции колеблются от 0,38 до 0,54, на Северном Урале — от 0,12 до 0,33, на

Таблица 2

Коэффициент корреляции между дендрохронологическими рядами

№ ряда	Полярный Урал, 1886—1957 гг.					
	лиственница					ель
	1	2	3	4	1—4	5
1	1,00	$0,88 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,04$	$0,84 \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,09$
2		1,00	$0,81 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,04$	$0,90 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,08$
3			1,00	$0,93 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,09$
4				1,00	$0,89 \pm 0,03$	$0,44 \pm 0,09$
1—4					1,00	$0,46 \pm 0,09$
5						1,00

№ ряда	Приполярный Урал, 1886—1969 гг.						
	лиственница				ель		
	6	7	8	6—8	9	10	9—10
6	1,00	$0,90 \pm 0,02$	$0,84 \pm 0,03$	$0,95 \pm 0,01$	$0,43 \pm 0,09$	$0,34 \pm 0,10$	$0,44 \pm 0,09$
7		1,00	$0,86 \pm 0,03$	$0,96 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,09$	$0,43 \pm 0,09$	$0,49 \pm 0,08$
8			1,00	$0,96 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,10$	$0,41 \pm 0,09$	$0,43 \pm 0,09$
6—8				1,00	$0,44 \pm 0,09$	$0,42 \pm 0,09$	$0,48 \pm 0,08$
9					1,00	$0,65 \pm 0,06$	$0,97 \pm 0,01$
10						1,00	$0,76 \pm 0,04$
9—10							1,00

№ ряда	Северный Урал, 1838—1969 гг.					
	лиственница			ель		
	12	13	11—13	14	15	14—16
12	1,00	$0,86 \pm 0,03$	$0,96 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,08$	$0,20 \pm 0,09$	$0,23 \pm 0,09$
13		1,00	$0,93 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,08$	$0,17 \pm 0,09$	$0,30 \pm 0,08$
11—13			1,00	$0,26 \pm 0,08$	$0,12 \pm 0,10$	$0,26 \pm 0,08$
14				1,00	$0,82 \pm 0,03$	$0,94 \pm 0,01$
15					1,00	$0,87 \pm 0,03$
14—16						1,00

Южном Урале (г. Ирмель) — от 0,09 до 0,19. Это свидетельствует о том, что на колебания прироста этих древесных растений оказывают влияние различные климатические факторы, особенно на Южном Урале.

В условиях равнинной лесотундры (низовье р. Таза), как показано в [1, 2], коэффициенты корреляции между индексами приро-

ста ели и лиственницы достигают значительных величин (0,60—0,69), т. е. в тех условиях один и тот же климатический фактор определяет прирост этих древесных растений.

Коэффициенты корреляции между сглаженными по 5-летиям значениями индексов прироста в различных районах Урала показывают, что между рядами лиственницы связь достаточно тесная, в то время как между рядами ели она слабая или отсутствует совсем. Об этом свидетельствуют и графики изменения прироста лиственницы и ели (рис. 2а, б), полученные путем осреднения значений индексов прироста по 50-летним скользящим интервалам. В рядах лиственницы (рис. 2а) хорошо выделяется длительный (сверхвековой) цикл, который прослеживается по всему уральскому профилю. Последний минимум этого цикла был очень глубоким и пришелся на вторую и третью четверти XIX в.; глубина этого минимума уменьшается по мере движения с севера на юг. Это свидетельствует о единстве и крупномасштабности воздействия климатических факторов на прирост лиственницы, которое может быть обусловлено меридиональным типом атмосферной циркуляции, когда холодный арктический воздух беспрепятственно проникает вдоль Уральских гор далеко на юг.

Сходство в реакции ели на такие вторжения воздуха ограничивается лишь районами Полярного и Приполярного Урала (рис. 2б), далее к югу синхронность проявления сверхвекового цикла исчезает.

Количественный анализ дендрохронологических рядов при помощи фильтрации скользящим осреднением, автокорреляционных функций и спектрального анализа показал наличие циклов довольно широкого диапазона длительности и амплитуды. Для получения более полной информации очень длительные ряды разбивались на 2—3 отрезка. Во многих случаях расчеты производились и для всего ряда в целом.

На Полярном и Приполярном Урале в высокочастотном диапазоне наиболее часто проявляется цикл длительностью 16—22 года с амплитудой, достигающей, например, у лиственницы 25—30%. В области низких частот выделяются колебания длительностью 100—130, 160—180 и 200—260 лет, амплитуда их 10—15%. Высокая амплитуда (до 35%) характерна для векового и полuveкового циклов, особенно у рядов лиственницы, произрастающей в сухих и заболоченных местах. Цикл длительностью 250—260 лет четко выделяется после сглаживания индексов прироста лиственницы при помощи 50-летних интервалов (рис. 2а, б).

На Северном Урале длительность циклов остается примерно такой же, как на Приполярном и Полярном Урале, но амплитуда колебаний снижается и обычно не превышает 10%. Класс надежности определения циклов невысок (II или III). В рядах ели амплитуда циклов почти такая, как и на Полярном Урале (не выше 20%).

На Южном Урале (хр. Таганай) в колебаниях индексов прироста ели заметен сдвиг в сторону высокочастотной части спектра:

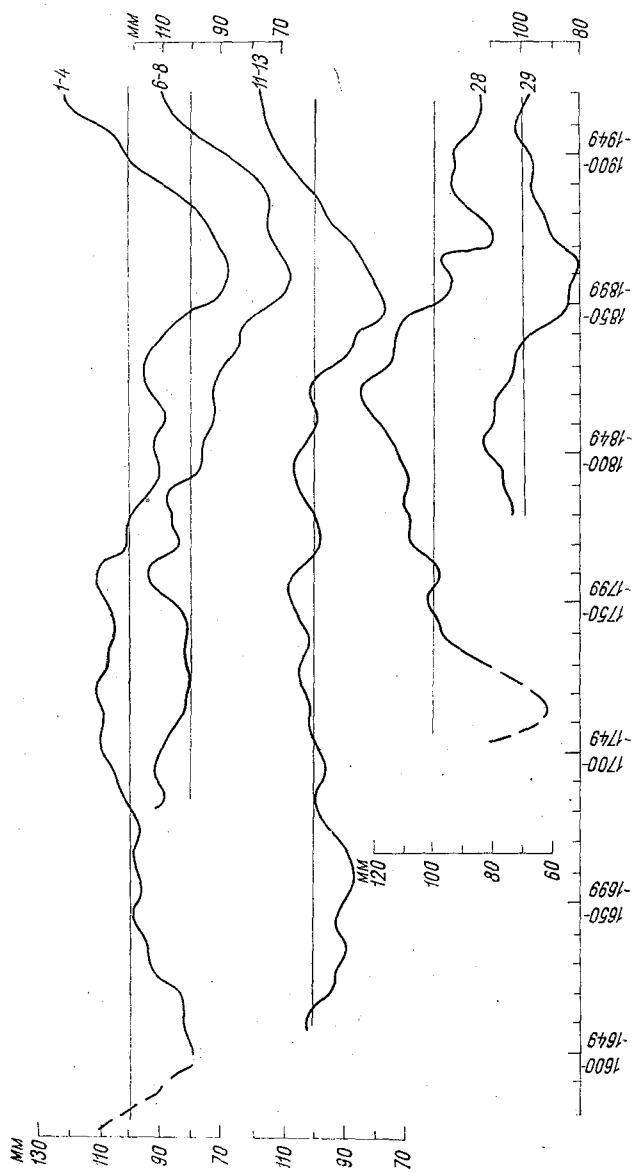


Рис. 2а. Скользящие 50-летние средние значения индексов ширины годовичных колец лиственницы в различных районах Урала.
Кривые обозначены в соответствии с табл. 1.

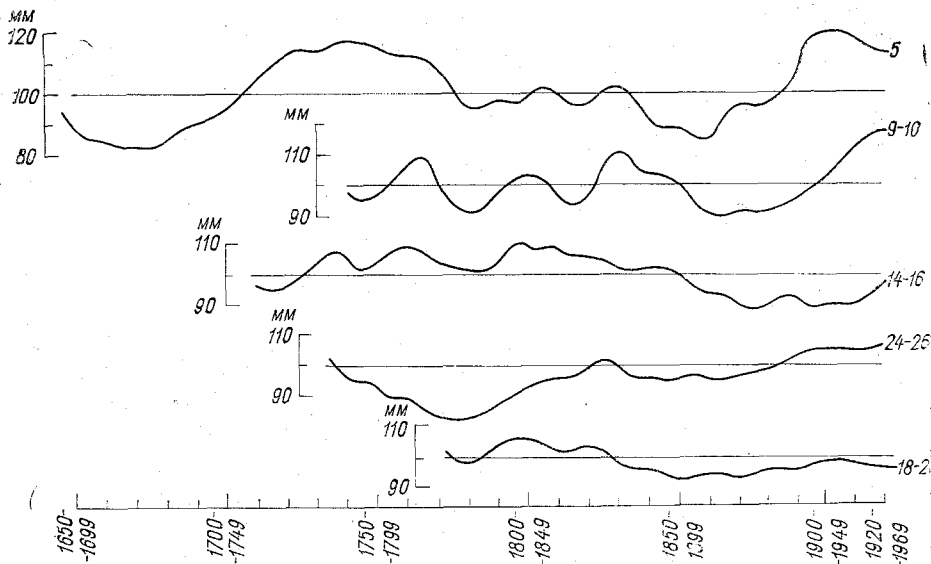


Рис. 26. Скользящие 50-летние средние значения индексов ширины годовых колец ели в различных районах Урала. Кривые обозначены в соответствии с табл. I.

10—14, 20—24, 40—50, 80—90 лет. Амплитуда коротких циклов достигает 25—30%. В рядах ели с г. Ирмель преобладают циклы 20—24 года и 25—30 лет, а также 200—220 лет, но с незначительной амплитудой. В условиях долинных курумов у ели и сосны выделен цикл длительностью 300—350 лет.

Довольно хорошим косвенным показателем, по которому можно судить о реакции деревьев на изменение климатических факторов, является коэффициент чувствительности, характеризующий изменчивость величины прироста от года к году [4]. Ряд считается чувствительным, если коэффициент чувствительности выше 0,30. Значения этих коэффициентов для отдельных рядов, приведенные в табл. I, показывают, что почти все ряды лиственницы имеют высокую чувствительность (до 0,43), в то время как ряды ели и сосны малочувствительны (0,18—0,29). Лишь один ряд ели (№ 10) с Приполярного Урала имеет высокий коэффициент чувствительности (0,36). Чувствительность рядов заметно падает с севера на юг как у лиственницы, так и у ели и сосны. Это говорит о том, что в северной части Уральского хребта деревья более четко реагируют на изменение климатических условий, чем на Южном Урале.

Для выявления дендроклиматических связей использовались данные ближайших к районам сбора образцов древесины метеостанций, располагающих длительными рядами наблюдений: Салехард (Полярный Урал), Березово (Приполярный Урал), Карпинск

(Северный Урал) и Златоуст (Южный Урал). Как видно из приведенного списка, лишь одна метеостанция (Златоуст) расположена близко к району исследований (хр. Таганай). Остальные метеостанции находятся вне пределов Уральского хребта, на удалении от 60 до 250 км от места сбора образцов древесины. Это, естественно, усложняет выявление фактических связей между приростом деревьев, произрастающих на верхней границе леса, и климатическими факторами. Однако другого выхода нет, так как существующие в высокогорной части Урала метеостанции (Рай-Из, Неройка) имеют короткие ряды наблюдений, недостаточные для установления надежных статистических связей.

Поскольку более или менее общепризнано, что на радиальный прирост деревьев на верхней границе леса в первую очередь влияют термические условия вегетационного периода, то сначала были вычислены коэффициенты корреляции между несглаженными индексами прироста и средними температурами летних месяцев (июня—августа). Как видно из табл. 2, на Полярном Урале связь прироста лиственницы с температурой лета достаточно тесная, особенно на обильно и проточно увлажненных и заболоченных местообитаниях (0,60 и 0,62 соответственно). При осреднении индексов прироста и температуры по 5-летиям коэффициент корреляции значительно увеличивается (до 0,84). Правда, число коррелируемых пар при этом сократилось до 18, но реальность связи не подлежит сомнению, так как отношение величины коэффициента к его вероятностному отклонению более чем в два раза превышает допустимый предел.

Уравнение регрессии для корреляционной связи между приростом лиственницы (все типы местообитаний) и температурой лета на Полярном Урале имеет следующий вид:

$$t = 0,017l + 9,4,$$

где t — средняя 5-летняя температура лета (июнь — август), l — средние 5-летние значения индексов прироста лиственницы.

Реконструированный по этому уравнению ряд средней температуры лета в районе Салехарда и Полярном Урале за последние 350 лет представлен на рис. 3. Как видно из этого рисунка, совпадение хода фактической и реконструированной температуры вполне удовлетворительное. Анализируя восстановленную кривую многолетнего хода температуры вегетационного периода, можно отметить три глубоких и длительных периода похолодания: в первой половине XVII в., начале XIX в., в конце XIX в. С 80-х годов XIX в. температура повышалась вплоть до 1960—1964 гг., после чего она начала резко снижаться и в 1970—1974 гг. почти достигла уровня конца прошлого столетия. Наиболее длительный период с преобладанием повышенного уровня температуры летних месяцев наблюдался с 1700 по 1800 г. (около 100 лет). Таким образом, циклические колебания температуры вегетационного периода в текущем столетии и похолодание последнего десятилетия не выходят за рамки ранее происходивших колебаний и нет основа-

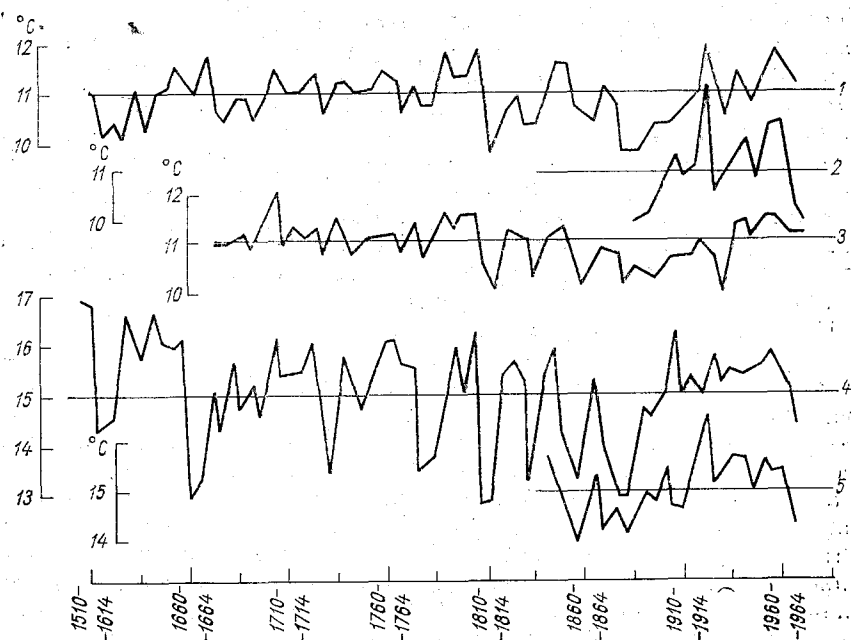


Рис. 3. Средние 5-летние величины температуры вегетационного периода, восстановленные по индексам прироста лиственницы.

1 — Полярный Урал, 2 — Приполярный Урал, 3 — Салехард (наблюдаемые величины), 4 — Северный Урал, 5 — Карпинск (наблюдаемые величины).

ний рассматривать их как нечто исключительное и связывать с антропогенными воздействиями. Данные дендрохронологического анализа свидетельствуют также о том, что так называемый малый ледниковый период (1500—1850 гг.) на Полярном Урале не проявился в температуре вегетационного периода.

На Полярном Урале был получен только один ряд ели с обильно и проточно увлажненных местообитаний. Связь индексов прироста ели с температурой летнего периода оказалась невысокой (0,31). В случае осреднения значений по 5-летиям связь также возрастает (0,53), но не достигает таких значений, как у рядов лиственницы.

Связь между приростом лиственницы на Приполярном Урале с температурой летних месяцев оказалась более слабой; более того, связь с температурой в Березове оказалась несколько ниже, чем с температурой Салехарда, хотя последняя метеостанция удалена от района сбора образцов на 500 км, а первая — на 250 км. По-видимому, это связано с большей континентальностью климата Березова, расположенного в континентальной западно-сибирской области, в то время как Салехард и район взятия образцов древесины — на верхней границе леса в области атлантико-аркти-

ческого влияния. Ряды ели Приполярного Урала имеют большую связь с температурой Березова, чем с температурой Салехарда.

Сглаженные по 5-летиям величины индексов прироста лиственницы на Приполярном Урале и температуры летних месяцев в Салехарде показали достаточно высокую связь (0,75), которая позволила составить следующее уравнение регрессии:

$$t = 0,015л + 9,7.$$

Естественно, что многолетние колебания температуры летних месяцев, восстановленные по этому уравнению (рис. 3, 2), в общем сходны с колебаниями, полученными для Полярного Урала (рис. 3, 1), и свидетельствуют о крупномасштабности атмосферных процессов, оказывающих влияние на приrost лиственницы.

На Северном Урале связь между осредненными по 5-летиям значениями индексов прироста лиственницы и температурой лета в Карпинске еще достаточно высокая (0,54), особенно для сухих местообитаний (0,71). Уравнение регрессии имеет вид

$$t = 0,04л + 11,2.$$

Восстановленная температура летних месяцев (рис. 3, 4) отражает в основном те же крупномасштабные колебания климата, которые наблюдались на Полярном и Приполярном Урале, но с большей амплитудой.

Что касается ели, то уже на этой широте не обнаруживается практически никакой связи индексов прироста с термическими факторами. Отсутствует связь и с такими показателями, как осадки за гидрологический год, осадки за теплый период, гидротермический коэффициент Селянинова за летний период. Это же справедливо и для рядов ели, полученных на Южном Урале.

Ряды лиственницы в условиях Южного Урала имеют слабые положительные связи с термическими факторами, слабые отрицательные связи с гидротермическим коэффициентом Селянинова, связь с осадками за гидрологический год отсутствует совсем. Все попытки найти такие климатические характеристики, которые более или менее тесно были связаны с индексами прироста лиственницы и ели на Южном Урале, не увенчались успехом. Это, видимо, связано с тем, что в этом районе не проявляется действие одного лимитирующего фактора. На приrost деревьев оказывает влияние сложный комплекс факторов, о чем свидетельствуют слабые синхронность и связь между дендрохронологическими рядами (см. табл. 2). Этот вопрос требует дальнейшей, более углубленной разработки.

Связь прироста сосны с изученными климатическими характеристиками на Южном Урале также слабая. Так, для осредненных по 5-летиям значений связь индексов прироста с температурой лета не превышает 0,47. Таким образом, надежные дендроклиматические связи выявлены для индексов радиального прироста лиственницы, обитающей на верхней границе леса на Полярном, Приполярном и Северном Урале. Использование этих связей для

восстановления временного хода средней температуры вегетационного периода в этих районах дало возможность установить, что циклические колебания в ходе летней температуры текущего столетия наблюдались и в предыдущие три века, что современный тренд скорее является восходящей ветвью сверхвековых циклов (160, 250 лет), чем результатом антропогенных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полозова Л. Г., Шиятов С. Г. Влияние термического режима на радиальный прирост деревьев в различных условиях их местообитания. — Экология, 1975, № 6, с. 30—35.
2. Шиятов С. Г. Дендрохронологическое изучение ели сибирской в низовье реки Таза. В кн.: Дендроклиматохронология и радиоуглерод. (Материалы Второго всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии, Каунас, 25—27 сентября 1972 г.). Каунас, 1972, с. 76—81.
3. Fritts H. C. Tree rings and climate. Academic Press, London, 1976. 567 p.
4. Schulman E. Dendroclimatic changes in semiarid America. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1956.

Л. М. Шереметова

ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В СЕВЕРНОЙ АФРИКЕ

Цикличность атмосферных осадков является одной из важнейших особенностей их пространственно-временного распределения.

Циклические колебания осадков в северной части Африки уже рассматривались О. А. Дроздовым и др. [2], в настоящей работе изучаются циклы на значительно большей территории.

В работе [5], посвященной исследованию осадков Судано-Сахельской зоны, отмечалось, что в колебаниях атмосферных осадков на этой территории наблюдаются циклы различной продолжительности, обнаруживаемые по нормированным разностным интегральным кривым.

Исходным материалом для настоящего исследования служили ряды данных 13 станций в основном за период наблюдений 1891—1975 гг.; 9 из них относятся к Судано-Сахельской зоне, станции Аккра, Лагос, Банги и Оран взяты для сравнения как станции, характерные для территорий, не подвергавшихся засухам последних лет.

Анализ цикличности производился по годовым суммам осадков методом скользящего осреднения по трем и пяти годам.

Выявление циклов осуществлялось путем визуального просмотра кривых, построенных на основании скользящего осреднения. Для примера (рис. 1) показаны графики по ст. Вау, имеющей наиболее продолжительный период наблюдений в зоне сахельской засухи.

В табл. 1 приведены длительности циклов, выявленные по двум периодам осреднения для всей исследуемой территории: осреднение по трем годам позволило определить циклы в основном менее 8 лет, а пятилетнее осреднение — более крупные циклы.

На всех станциях, кроме ст. Зиндер, хорошо выражена цикличность в ходе осадков. Эти колебания различны по частоте, средний период длительности составляет от 2,8 до ~40 лет. Однако в каждом пункте наблюдаются свои частоты — не более 2—4 за весь период наблюдений. Некоторые из них обнаруживаются сравнительно часто, другие крайне редко. Так, например, циклы короче

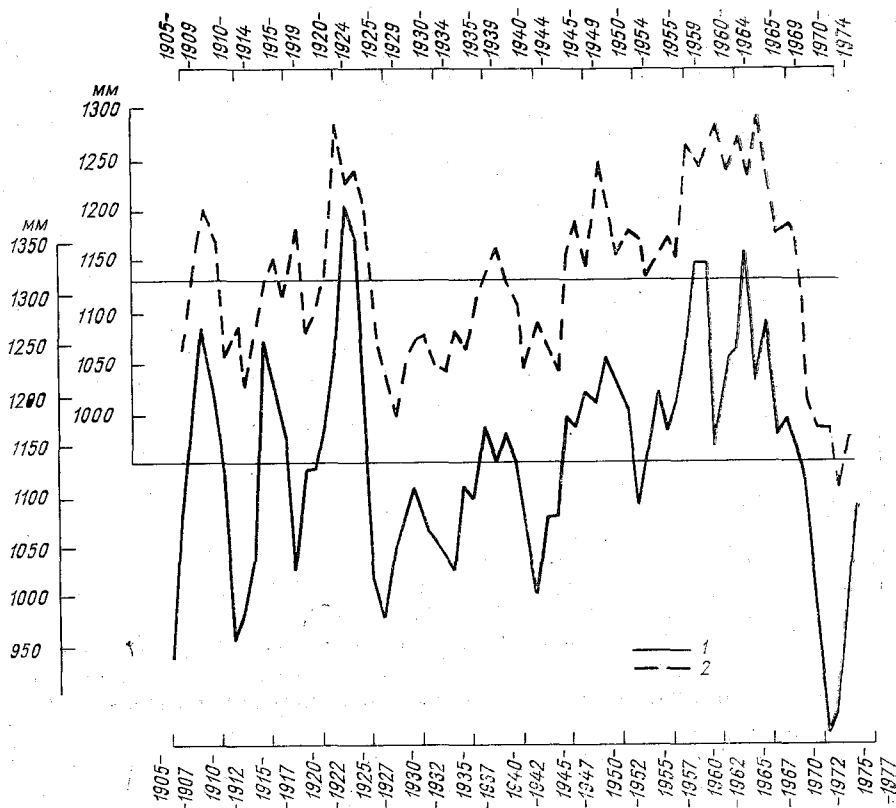


Рис. 1. Скользящие средние осадки за 3-летний (1) и 5-летний период (2).

6-летних встретились только в Дакаре, расположенном на крайнем западе материка. На этой станции ясно видно перекрытие циклов 2,8 и 5,6 года по трехлетнему осреднению.

Почти на всей территории преобладает 7—8-летний цикл, природу которого, вероятно, можно считать солнечной [4]. На всех станциях эта цикличность охватывает более 80% изучаемого периода. 7-летний цикл в ходе осадков на территории Африки отмечал Ландсберг [9].

Циклы длительностью 10—12 лет, которые обычно связывают с солнечной активностью, хорошо выражены на станциях Мопти, Аккра, Вау и Эль-Фашер.

Двойной солнечный цикл, близкий к 22 годам, обнаруженный рядом исследователей в очень многих метеорологических характеристиках, проявляется и в осадках [8]. Этот цикл был обнаружен на крайнем севере (Оран), западе (Дакар) и востоке территории (Хартум).

Таблица 1

Длительность циклов при 3 и 5-летнем скользящем осреднении
(за период 1891—1975 гг.)

Станция	Широта	Долгота	Высо- та, м	Период осред- нения	Годы с цикли- ческими коле- баниями	% этих лет от всего пери- ода	Чи- сло цик- лов	Длитель- ность (число лет)
Оран	35°38' с.	0°37' в.	99	3	1927—1970	82	6	7,0
				5	1897—1972	93	3	23,3
Дакар	14 44	17 30 з.	22	3	1924—1953	44	5	5,6
				3	1954—1971	27	6	2,8
				5	1924—1971	70	11	4,0
				5	1900—1971	94	3	23
Мопти	14 30	4 12 з.	276	3	1935—1973	90	6	6,2
				5	1934—1974	88	3	12,0
Зиндер	13 48	9 00 в.	489	неправильные циклы				
Эль-Фашер	13 38	25 20	730	3	1919—1972	89	7	8,7
				5	1920—1964	72	4	10,2
Хартум	15 36	32 33	385	3	1901—1970	90	10	6,8
				5	1924—1971	58	2	22,0
Бобо-Диу- ласо	11 10	4 18 з.	438	3	1941—1972	88	4	7,5
				5	1941—1972	82	2	14,0
Майдугури	11 51	13 05 в.	354	3	1912—1964	84	7	7,3
				5	1910—1966	80	6	8,2
				5	1910—1966	80	2	24,5
Вау	7 42	28 01	439	3	1905—1971	93	8	8,1
				5	1905—1973	90	6	10,5
				5	1920—1968	58	1	~40
Малакаль	9 33	31 39	389	3	1910—1969	88	7	8,3
				5	1910—1964	77	2	25,5
Аккра	5 36	0 10	65	3	1893—1970	95	10	7,6
				5	1902—1972	83	6	11,3
Лагос	6 35	3 20	40	3	1895—1971	89	10	7,1
				5	1894—1974	93	10	7,6
Банги	4 23	18 34	381	3	1932—1968	88	5	7,2

Циклы длительностью больше 25 лет обычно относятся к брик-
неровским. В [2] указывалось, что эти циклы прослеживаются на
территории Северной Африки, а по нашим данным, они наблю-
даются и в южной части Судана.

Вследствие неравномерности освещения территории трудно

дать общую картину распределения циклов по всему исследуемому пространству.

Простой анализ материалов, полученных методом скользящего осреднения, показал, что над большей частью Северной Африки за период 1891—1975 гг. не было значительного общего тренда в суммах годовых осадков. Такой же вывод следует из работы [6]. Только на ст. Аккра ясно заметен восходящий тренд, начиная с 50-х годов текущего столетия.

Кривая 5-летних скользящих средних для Аккры отчетливо выявила 11-летний солнечный цикл в ходе осадков. По осредненным за цикл значениям чисел Вольфа была построена кривая, которую мы сравнили со средним значением количества осадков в Аккре,

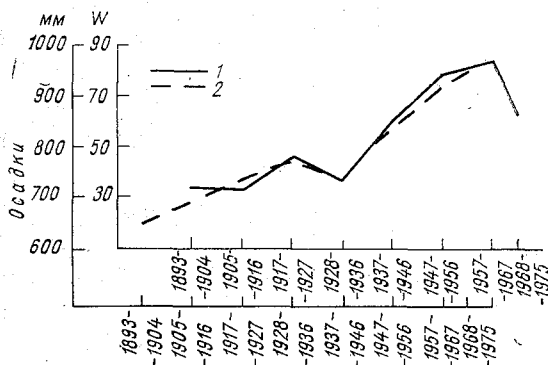


Рис. 2. Тенденция изменения осадков в Аккре и чисел Вольфа.

1 — осадки, 2 — числа Вольфа.

вычисленным для тех же солнечных циклов (рис. 2). Судя по ходу кривых, можно сказать, что изменения осадков в Аккре соответствуют ходу чисел Вольфа (см. также [3, 9]).

По графикам трехлетнего скользящего осреднения можно отметить широкие пределы вариации годовых сумм осадков на всех станциях. Во многих случаях при осреднении по 3 годам наблюдаемые осадки на 30—40% превышают средние многолетние величины, особенно в засушливые годы (в Хартуме на 50%, в Дакаре на 55%).

Почти на всех станциях Судано-Сахельской зоны через 25—30 лет повторяются годы с дефицитом осадков, иногда с засухой. На ст. Мопти годы с недостаточным увлажнением отмечаются чаще, через 11—12 лет. В работе [7] также была обнаружена близкая к 30 годам периодичность наступления засух в этом районе.

График трехлетнего скользящего осреднения осадков в Лагосе характеризует сильную засуху, наблюдавшуюся в Нигерии

в 1944—1946 гг., когда сумма осадков была на 500 мм ниже средней многолетней величины.

Тенденция в ходе осадков, представленная графиками скользящего осреднения по пятилетиям, показывает, что климат суданской зоны в годы перед первой мировой войной (засуха 1913 г.) и в 30-е—40-е годы текущего столетия был засушливее, чем можно было предполагать исходя из средних многолетних сумм осадков за 1891—1960 гг.

Уже отмечалось [1, 5], что 50-е и 60-е годы в Северной Африке в отношении осадков были очень благоприятными. Исследуя тенденцию изменения количества осадков на графиках скользящего осреднения по пятилетиям, можно отметить, что на всем пространстве 50-е годы были более дождливыми, чем 60-е. Только на самом юге изучаемой территории (станции Аккра, Банги и Вау) осадков в 60-е годы было больше.

На всех станциях заметно убывание годовых сумм осадков, начиная с конца 60-х годов. Только в северной части Африки, где не наблюдались катастрофические засухи последних лет, годовые суммы осадков последние годы стали больше, чем в 50-е и 60-е годы.

На всем пространстве, охваченном засухами последних лет, сумма годовых осадков от пятилетия, центрирующегося на 1954 г. (как самого влажного [1]), к пятилетию, центрирующемуся на 1972 г. (как самому засушливому, что видно из графиков и известно из литературных источников), сократилась в некоторых местах более чем на 50% (в Дакаре на 60%).

В данной работе сделаны предварительные выводы о циклах осадков в Северной Африке. В дальнейшем предполагается использовать более совершенные статистические методы — автокорреляционный и спектральный анализы, которые позволят достаточно объективно выявить весь спектр циклов и их параметры на изучаемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гедеонов А. Д. Об африканской засухе последних лет. — Метеорология и гидрология, 1975, № 5, с. 79—85.
2. Дугинов В. И. Особенности режима осадков Западной Африки и их связь с зоной экваториальных западных ветров. — Автореферат дисс. М., 1971. 24 с.
3. Покровская Т. В. О солнечной природе 7—8-летних циклов. — Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 46—52.
4. Шереметова Л. М. О многолетнем ходе осадков в Судано-Сахельской зоне Африки. — Труды ГГО, 1977, вып. 379.
5. Циклические колебания атмосферных осадков на территориях Евразии и северной части Африки. Авт.: О. А. Дроздов, А. С. Григорьева, К. В. Еременко, И. В. Малкова. — Труды ГГО, 1975, вып. 330, с. 3—35.
6. Ayode I. O. Annual Rainfall Trends and Periodicities in Nigeria. — The Nigerian Geograph. J., 1973, vol. 16, № 2, p. 167—176.
7. Dieter K. Periodische und statistische Beziehungen zwischen den jährlichen Häufigkeiten der Grosswetterlagen Europas und der räumlichen Verteilung der jährlichen Niederschlagssummen in Teilen Westafrikas. — Erdkunde, 1975, 29, № 4, s. 248—267.

8. King I. W. Sun-Weather Relationships. Solar — Terrestrial Physics and Meteorology. A Working Document. SCOSTEP, Washington, July 1975, p. 109—125.
9. Landsberg H. E. How is our climate fluctuating? Paper presented at the „Climate and Plant Productivity” Symposium of the American Association for the Advancement of Science on February 20, 1976, p. 1—17.

Т. В. Покровская, Г. Н. Чичасов

ОБ УЧЕТЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В СТАТИСТИЧЕСКИХ СХЕМАХ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ

В целях усовершенствования долгосрочных прогнозов погоды необходимо установить, в какой степени целесообразно использовать в качестве предикторов данные по солнечной активности наряду с другими факторами. Как указано в работе [13], заметного прогресса по сравнению с началом века в установлении физического механизма солнечно-земных связей не достигнуто, и результаты ограничиваются в основном накоплением всевозможных корреляционных связей. Тем не менее статистически обоснованные зависимости могут быть учтены хотя бы в отдельных видах прогнозов и использованы в дальнейшем для принципиальных обобщений.

Как известно, основные затруднения для статистических методов долгосрочных прогнозов погоды заключаются в том, что большая часть предикторов со временем или перестает работать, или меняет знак связи на обратный. К тому же, изменение знака зачастую происходит не постепенно, а скачкообразно. Поэтому одним из важнейших вопросов является учет устойчивости связей во времени. В физико-статистическом методе М. И. Юдина [11, 12] все прогностические зависимости ежегодно подвергаются ревизии, в результате чего многие предикторы исключаются из дальнейшего рассмотрения. Однако установить момент изменения связи практически невозможно, что, по мнению Х. Вада, является одним из важнейших моментов, определяющих малую успешность прогнозов погоды [14].

В настоящей статье на зависимом материале рассматривается целесообразность раздельного установления циркуляционных прогностических зависимостей для различных фаз 11-летнего цикла солнечной активности. Предпосылки к этому можно видеть в работах [1, 5—9 и др.].

Были использованы прогностические схемы, составленные Т. В. Покровской для прогнозирования средней месячной температуры воздуха на Европейской территории СССР (ЕТС) и в Ка-

захстане с использованием в качестве предикторов числа дней с типами циркуляции W, E, C по Г. Я. Вангенгейму [8]. Объектом исследования были выбраны прогностические связи для апреля, как месяца с наилучшей оправдываемостью прогнозов. Расчеты аномалий температуры по уравнениям множественной линейной регрессии показали, что наибольшие ошибки расчетов в длинном ряду наблюдений приходится на годы восходящей ветви 11-летнего цикла индекса планетарной геомагнитной возмущенности K_p . Использование предикторов, связанных с характером подстилающей поверхности (температура и ледовитость северных морей, снежный покров), не привело к исправлению крупных ошибок. Это и дало повод обратиться к возможным эффектам солнечно-земных связей [10]. В настоящей статье авторы останавливаются также на вопросе выбора оптимальной длины ряда для прогностических связей.

Коэффициенты корреляции r рассчитывались для 46 предикторов (числа дней с типами циркуляции за 28 предшествующих ме-

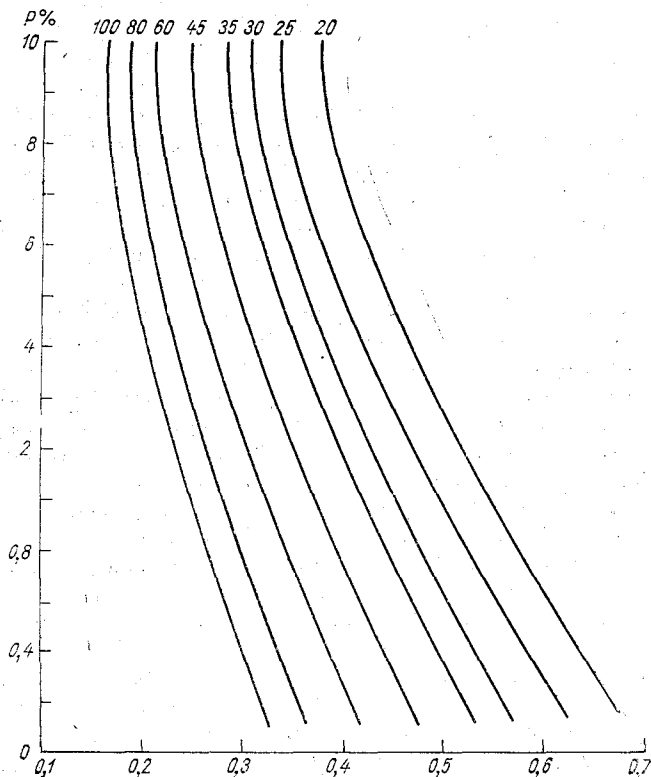


Рис. 1. Номограмма для определения уровня значимости.

По оси абсцисс — значения коэффициентов корреляции, по оси ординат — уровень значимости, изоплеты — число коррелируемых пар.

сяцев) по 80-летнему ряду наблюдений (1894—1973 гг.), 30-летнему ряду (1944—1973 гг.) и по фазам 11-летнего цикла солнечной активности чисел Вольфа W и геомагнитного индекса K_p . Использование первого из этих индексов в прогнозах мотивировано в работах В. Н. Купецкого [5], а второго — Т. В. Покровской [8]. Купецкий рассматривал отдельно нечетные и четные циклы чисел Вольфа, а Покровская — восходящую и нисходящую ветви каждого цикла геомагнитной возмущенности. При расчетах год минимума чисел Вольфа вошел как в нечетный, так и в четный цикл, к восходящей ветви K_p присоединен год максимума, а к нисходящей — год минимума; восходящая ветвь более продолжительна, чем нисходящая.

В применении к методике прогнозов Е. В. Воробьевой учет фазы индекса K_p был произведен в работе [3].

Оценка коэффициентов корреляции предикторов с предиктантами r производилась по уровню их значимости t в зависимости от длины ряда N для условий несвязного ряда с $N-2$ степенями свободы по формуле (1), согласно [2]

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}} \quad (1)$$

Для упрощения вычислений была построена специальная номограмма (рис. 1).

Использованы следующие предельно допустимые значения $|r|$ при 10%-ном уровне значимости и число значимых r в среднем на одну станцию-предиктант (20 станций для ЕТС и 12 для Казахстана — Западной Сибири):

Ряд лет	$ r $ сотые доли	Число значимых r
80 (1894—1973)	19	10
30 (1944—1973)	30	4
45 (нечетный цикл N)	25	10
45 (четный цикл W)	25	7
50 (восходящая ветвь K_p)	24	7
33 (нисходящая ветвь K_p)	29	10

Обращает на себя внимание прежде всего то, что результаты для 30-летнего ряда оказались неудовлетворительными, так как число значимых предикторов даже меньше 10% от их общего числа, равного 46. Казалось бы, что использование последнего ряда с более свежей информацией даст лучшие результаты, но этого не получилось. Следует отметить, что в последних работах по физико-статистическому методу принята установка на использование длинных рядов [12].

Ряды несплошные, составленные из отдельных отрезков 80-летнего ряда по признаку чередования солнечных циклов или их частей, дают лучшие результаты. При этом ряд нечетных циклов W и нисходящих ветвей K_p имеет то же число предикторов, что и основной 80-летний ряд. Предикторы для различных фаз W и K_p различным образом распределены по территории, и для каждой фазы работает своя группа.

Существенно прежде всего отметить распределение значимых r для всего 80-летнего ряда. Наименьшее число их, порядка 5, относится к северной половине ЕТС. Южнее Москвы это число возрастает до 10—15, а в пределах Казахстана до 15—20. Исключением являются крайние южные районы (станции Ростов-на-Дону, Ставрополь, Форт-Шевченко, Туркестан). Такое распределение предикторов хорошо согласуется с результатами оперативных прогнозов за 15-летний ряд.

Если при том же среднем числе предикторов при разных фазах солнечной активности, что и в общем 80-летнем ряду, распределение их по территории было бы аналогичным, то смысла в их использовании не имелось бы. Однако наблюдается иная картина. Так, недостаток предикторов для общего ряда в северной части ЕТС хорошо восполняется в годы нечетных 11-летних циклов. Для всей ЕТС СССР число предикторов возрастает, иногда очень значительно, так в Ростове-на-Дону с 2 до 10; существенно улучшаются возможности прогнозирования для Свердловска, Форта-Шевченко, Туркестана. Для территории Северного Казахстана число значимых связей хотя и не увеличивается, но остается большим, порядка 10—15. Существенно, что имеется достаточное число независимых предикторов с большой заблаговременностью (кончая декабрем предшествующего года). Так, для Казани их 8, для Оренбурга 6, для Целинограда 8.

В годы четных циклов улучшение прогностических связей по сравнению с общим рядом ограничивается северными районами ЕТС (Архангельск, Кола, Кемь) и отдельными точками на юге (например, Оренбург и Ростов-на-Дону в связи с наличием предикторов большой заблаговременности).

Для лет нисходящей ветви K_p среднее число предикторов такое же, как для 80-летнего ряда и нечетных циклов W , но распределение иное. Нечетные циклы характеризуются наиболее равномерным распределением в пределах всей территории, а для лет нисходящей ветви K_p отмечается максимальная их сосредоточенность в южной половине ЕТС, начиная с Москвы. Для этой области прогностические возможности в указанном ряду лет наилучшие по сравнению со всеми другими рядами. Для территории Северного Казахстана они более благоприятны, чем в нечетные циклы солнечных пятен, и лишь немногим уступают возможностям при использовании 80-летнего ряда лет. Отметим наличие независимых предикторов большой заблаговременности для Москвы (4 предиктора), Астрахани (5), Казани, Свердловска, Оренбурга (7). Для западной и северо-западной частей ЕТС число эффек-

тивных связей, наоборот, невелико. Так, для Ленинграда при этой фазе геомагнитной активности выявлено только два предиктора, из них лишь один большой заблаговременности. Сходная картина обнаружена для Вильнюса, Архангельска, Кеми.

В годы восходящей ветви K_p восполняется недостаток предикторов на западе и северо-западе ЕТС по сравнению с годами нисходящей ветви, а для некоторых станций-предиктантов и по сравнению с общим рядом, но не по сравнению с годами нечетных циклов чисел Вольфа. Число предикторов для южной половины

Таблица 1

Показатели связи r и ρ (в сотых долях) между фактическими и рассчитанными аномалиями температуры воздуха в апреле при использовании рядов разной длительности и для разных фаз чисел Вольфа W и геомагнитного индекса K_p

Станция	r				ρ			
	80 лет	30 лет	W	K_p	80 лет	30 лет	W	K_p
Киев	46	40	61	53	40	20	60	47
Москва	40	40	59	46	35	33	48	38
Октябрьский Городок . .	40	36	66	55	28	26	55	60
Ростов-на-Дону	30	35	64	55	38	37	60	48
Астрахань	46	—	60	53	40	—	55	60
Казань	30	40	59	47	25	33	60	42
Оренбург	50	37	41	50	40	10	40	50
Казалинск	46	49	30	42	22	33	40	50
Целиноград	52	20	47	56	40	32	40	50
Барнаул	42	25	37	34	38	27	43	44
Среднее	42	36	52	49	35	27	50	49

ЕТС и особенно для Казахстана понижено в сравнении с другими рядами. Тем не менее, имеются предикторы с достаточной значимостью при большой заблаговременности, до 28 месяцев для Астрахани, Казани, Ростова-на-Дону.

Исходя из сказанного, т. е. полагая, что для каждой фазы солнечной активности действительна своя группа предикторов, мы составили соответствующие уравнения регрессии и по ним рассчитали аномалии для всего ряда лет. Затем были определены коэффициенты связи между фактическими и рассчитанными аномалиями, r и ρ . Результаты приведены в табл. 1. Использованы станции южной половины ЕТС и Казахстана, для которых прогнозирование по зависимостям 80-летнего ряда более обеспечено.

Анализ материалов позволяет сделать выводы, что учет солнечной активности в расчете средних месячных аномалий температуры воздуха вносит свои коррективы. Крупные ошибки прогно-

зов, имевшие место при расчетах по уравнениям регрессии для 80-летнего ряда, уменьшились. Соответствие рассчитанных и фактических аномалий значительно возросло в результате разделения всего хронологического ряда как на четные и нечетные циклы Вольфа, так и на отрезки, относящиеся к восходящим и нисходящим ветвям геомагнитного индекса K_p , и нахождения прогностических связей отдельно для каждой выделенной таким образом совокупности. Для одних станций, таких как Москва, Киев, наиболее эффективным оказалось разделение по циклам чисел Вольфа, а для других, например Казани, Целинограда,—по геомагнитному индексу K_p . Можно заключить, что разбивка всего хронологического ряда на периоды, соответствующие тем или иным фазам солнечной активности, более рациональна, чем использование ограниченных рядов последних лет, и позволяет в какой-то мере учесть устойчивость связей во времени, способствуя тем самым повышению надежности прогностических схем.

Полученные выводы предстоит проверить на более обширном материале, включающем данные и по другим месяцам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотинская М. Ш., Оль А. И. О связи повторяемости меридиональных форм атмосферной циркуляции с корпускулярным излучением Солнца.— Проблемы Арктики и Антарктики, 1969, вып. 31, с. 31—35.
2. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеоздат, 1963. 416 с.
3. Воробьева Е. В., Дмитриева С. Б. Пространственная структура прогностических связей в вековом и 11-летнем циклах геомагнитной возмущенности.— Труды ГГО, 1974, вып. 316, с. 18—34.
4. Гирс А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л., Гидрометеоздат, 1974. 488 с.
5. Купецкий В. Н. О структуре гелиоклиматических связей и возможности их использования в долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозах.— Изв. ВГО, 1969, вып. 4, с. 289—295.
6. Логинов В. Ф. Характер солнечно-земных связей. Л., Гидрометеоздат, 1973. 48 с.
7. Оль А. И. Проявление 22-летнего цикла солнечной активности в климате Земли.— Труды ААНИИ, 1969, т. 289, с. 116—131.
8. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеоздат, 1969. 255 с.
9. Покровская Т. В. Солнечно-тропосферные связи. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1974. 56 с.
10. Покровская Т. В., Чичасов Г. Н. Усовершенствование метода прогноза месячных аномалий температуры воздуха на Европейской территории СССР.— Труды ГМИ, 1974, вып. 155, с. 39—44.
11. Юдин М. И. Физико-статистический метод долгосрочных прогнозов погоды. Л., Гидрометеоздат, 1968. 28 с.
12. Юдин М. И., Мещерская А. В. Комплексный физико-статистический метод прогноза погоды большой заблаговременности.— Метеорология и гидрология, 1977, № 1, с. 3—12.
13. Meadows A. J. A hundred years of controversy over sunspots and weather.— Weather, 1975, vol. 256, p. 95—97.
14. Wada H. Long-range weather forecasting.— Geophys. Surv. 1975, vol. 2, № 1, p. 73—115.

М. А. Нурждина

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ КВАЗИДВУХЛЕТНЕГО ЦИКЛА В ХОДЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНФИГУРАЦИЯ ПЛАНЕТ

Для долгосрочного прогнозирования погоды в том или ином климатологическом районе большое значение имеет выявление циклов различной длительности в ходе климатических характеристик и объяснение их природы.

В ряде работ на большом статистическом материале выявлены циклы различной длительности в ходе метеорологических показателей (температуры, осадков, атмосферного давления, типов циркуляции и т. п.) для различных пунктов страны и всего северного полушария [3—6, 9—14, 19]. Установлено, что в различных синоптических районах цикличность тех или иных климатических характеристик может быть различной в соответствии с особенностями атмосферной циркуляции, характерной для рассматриваемого района и различным преломлением внешнего воздействия в атмосферной циркуляции.

Данное исследование относится к значительной части территории Юго-Запада ЕТС с центром в Киеве, для которого проведен детальный анализ цикличности в ходе температурных аномалий за длительный ряд наблюдений (1879—1975 гг.). В работе [10] проведено исследование вековой тенденции в ходе температуры и осадков по Киеву, выявлена связь аномалий указанных климатических характеристик в вековом ходе с солнечной активностью и геомагнитной возмущенностью.

Влияние эпох 11-летних солнечных циклов на температурные аномалии и количество осадков в указанном пункте прослеживается с помощью метода наложенных эпох.

Для выявления внутривековых циклов проведен автокорреляционный анализ средних значений температуры и количества осадков (за год и для всех месяцев года). Получены циклы различной длительности и с различными уровнями значимости. Было отмечено, что в аномалиях температуры почти всех месяцев года проявляется цикл в 2—3 года. Однако проведенный в [10] анализ не дает возможности с точностью до месяца определить длительность указанного цикла. А именно это было бы полезно для целей

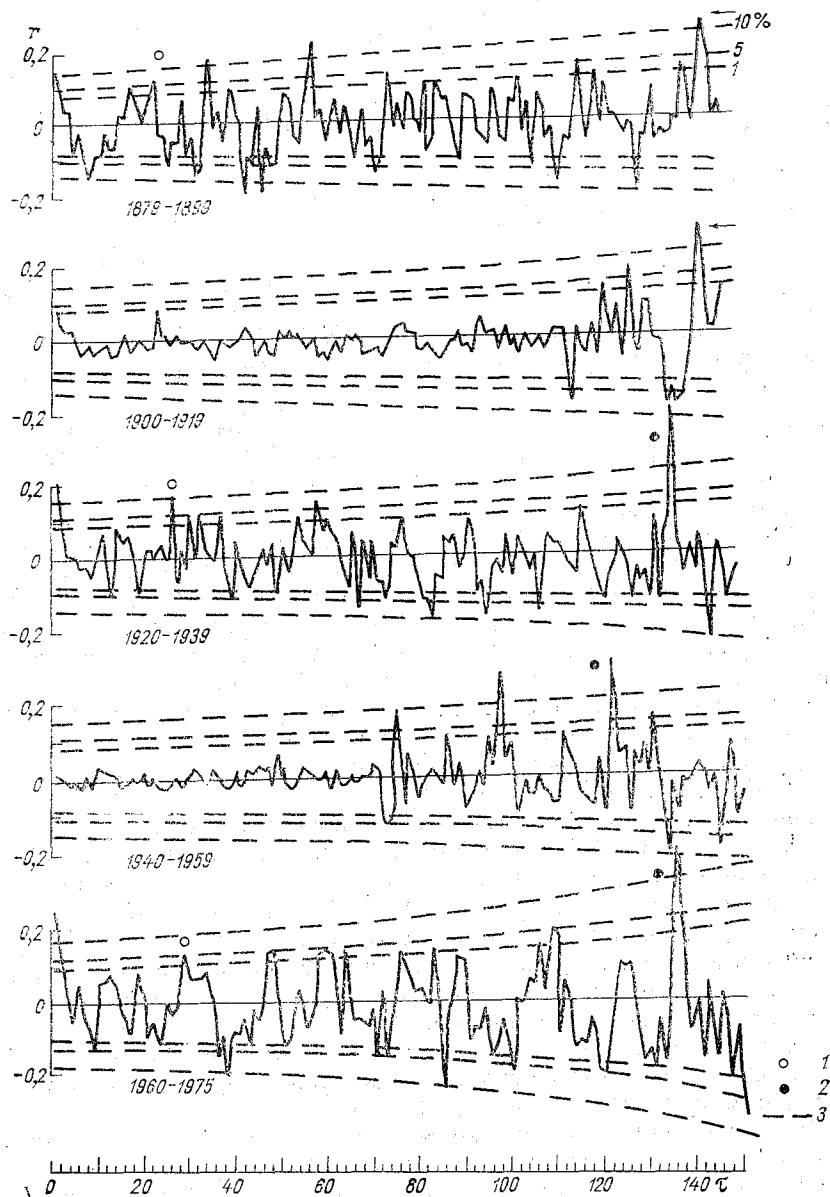


Рис. 1. Автокорреляционный анализ месячных аномалий температуры в Киеве для различных временных интервалов.

1 — солнечнообусловленный цикл, 2 — квазидвухлетний, 3 — уровни значимости (%).

долгосрочного прогнозирования погоды. Кроме того, в указанной работе отсутствуют оценки изменений этого цикла со временем.

В соответствии с вышесказанным проведен автокорреляционный анализ непрерывного ряда месячных аномалий температуры по Киеву с 1879 по 1975 г. (всего 1160 значений). Весь ряд разбит на интервалы продолжительностью около 20 лет:

Январь 1897 г.—декабрь 1899 г. (252 месяца),
 Январь 1900 г.—декабрь 1919 г. (240 месяцев),
 Январь 1920 г.—декабрь 1939 г. (240 месяцев),
 Январь 1940 г.—декабрь 1959 г. (240 месяцев),
 Январь 1960 г.—декабрь 1975 г. (192 месяца).

Результаты автокорреляционного анализа приведены на рис. 1 и в табл. 1. На рисунке по оси абсцисс отложен интервал сдвига ряда τ в месяцах, от 1 до 150; по оси ординат — значения соответствующих данному сдвигу коэффициентов корреляции r ; пунктир-

Таблица 1

**Основные циклы в ходе месячных температурных аномалий
 для Киева за период 1879—1975 гг.**

(в скобках указан уровень значимости цикла в процентах)

Интервал лет	Интервал цикличности, мес.			
	1—20	20—50	50—100	100—150
1879—1899	1 (0,8)	22—23 (2,5—6)*	58 (0,05)	104 (6,8)
	17—19 (5—10)		75 (3,1)	117 (2,9)
				120 (6,4)
				142—144** (7,8—0,2)
1900—1919	—	—	—	122 (6,2)
				128 (2,1)
				142—143—144** (2,8—0,1)
1920—1939	1—2 (0,03)	26 (0,6)*	58—60 (1,6)	116 (5,4)
	14 (8,5)	30—32, 37 (3—5)		136 (1)**
1940—1959	—	—	75 (0,6)	122 (0,01)**
			86 (5,7)	131 (3,2)
			97—98 (0,02—0,6)	
1960—1975	1—2 (0,02)	28—29* (4)	64 (5,8)	106, 108—109 (3,3—8)
		47—48 (4,5—8)	76 (6,3)	136—137** (1—4)*

* Квазидвухлетний цикл.

** Солнечнообусловленный цикл.

ными линиями показаны уровни значимости (1, 5, 10%), в соответствии с критерием Фишера, показывающие вероятность случайного появления цикла данной длительности. Как видно, в различных временных интервалах выявляются циклы различной длительности и с разными уровнями значимости.

Среди выявленных циклов продолжительностью более года выделяется солнечнообусловленный цикл. Длительность его по исследуемым временным интервалам различна.

Среди прочих циклов следует выделить цикл длительностью в 58—60 месяцев (4 года 10 месяцев — 5 лет), проявляющийся в периоды 1879—1899 гг., 1920—1939 гг., и 75—76 месяцев (6 лет 3 месяца — 6 лет 4 месяца), проявляющийся во всем исследуемом временном интервале, за исключением 1900—1939 гг. Вопрос о природе 5—6-летнего цикла в геофизических явлениях пока остается дискуссионным [6, 9, 13].

Для долгосрочного прогнозирования погоды, как было указано, большое значение имеет выявление циклов меньшей длительности. Среди них особое место занимает квазидвухлетний цикл, продолжительность которого варьирует от 22—23 месяцев до 28—29 месяцев со средней длительностью в 26 месяцев.

В исследуемом температурном ряду этот цикл проявляется по-разному в различных временных интервалах:

за 1879—1899 гг. — в виде 22—23-месячного;

за 1920—1939 гг. — в виде 26-месячного;

за 1960—1975 гг. — в виде цикла в 28—29 месяцев;

в интервалах лет 1900—1919 и 1940—1959 этот цикл отсутствует.

Достаточно подробный анализ геофизических проявлений и гипотез о природе квазидвухлетней цикличности приведен в [12].

В последнее время разрабатывается гипотеза о планетной природе квазидвухлетнего цикла: этот цикл возникает вследствие возмущений межпланетного магнитного поля, вызываемых тройным сближением планет (Земли, Марса и Юпитера) [6, 8, 14, 15].

Спектральный анализ средних месячных значений атмосферного давления, проведенный для различных пунктов Атлантики и Европы, показал, что наиболее четко квазидвухлетний цикл проявляется в районах геомагнитных аномалий (Исландии и Ирландии) [14].

В работе [19] показано, что наилучшее проявление квазидвухлетнего цикла в поле давления наблюдается в северной части Евразийского материка и прилегающей к нему части Северного Ледовитого океана, в поле средней месячной температуры — в центральной части Евразийского материка с максимумом в Сибири. Кроме того, обнаружено более отчетливое проявление исследуемого цикла в геомагнитном индексе K_p по сравнению с числами Вольфа.

Вышесказанное может служить подтверждением гипотезы происхождения рассматриваемого цикла вследствие возмущений меж-

планетного магнитного поля, передаваемых геомагнитному полю. Частицы высоких энергий, реагируя на изменения межпланетного поля, вызываемые планетами, способствуют возмущению геомагнитного поля, особенно четко проявляющемуся в местах геомагнитных аномалий [14]. В этом плане квазидвухлетний цикл может быть вызван циклическостью взаимных положений на орбитах трех планет: Земли, Марса и Юпитера.

Каждые 25,6 месяца наблюдаются сближения Марса и Земли, каждые 26,8 месяца — Марса и Юпитера, каждые 13,1 месяца — Земли и Юпитера. Очевидно, интервал времени между последующими одновременными сближениями трех указанных планет равен 26,2 месяца ($\sim 2,2$ года) [6, 14]. Аналогично, если взять некоторую конфигурацию этих планет, то она повторится через 26,2 месяца. Для упрощения задачи можно ограничиться рассмотрением циклическости тройных сближений планет.

Так как планеты движутся по эллиптическим орбитам с переменными и различными по величине скоростями, тройные сближения их не являются строго регулярными — со временем наблюдается «сбой», когда парные сближения планет происходят на разных гелиоцентрических долготах и в разное время; затем через некоторое время все три указанные планеты вновь начинают сближаться и наступает состояние «резонанса», когда разности их гелиоцентрических долгот минимальны.

С этой точки зрения представляет интерес вычислить ход во времени некоторой функции, характеризующей положение трех планет на орбитах относительно их гелиоцентрических долгот, на основе законов движения планет Кеплера.

Для характеристики положений планет на орбитах и элементов их орбит введем необходимые обозначения [7, 17]:

- Ω_i — долгота восходящего узла орбиты планеты с индексом i ;
- i_i — наклонение орбиты к эклиптике;
- ω_i — угловое расстояние перигелия от восходящего узла;
- π_i — долгота перигелия планеты, очевидно, $\pi_i = \Omega_i + \omega_i$;
- a_i — большая полуось орбиты;
- e_i — эксцентриситет орбиты;
- T_i — момент прохождения планеты через перигелий;
- l_i — гелиоцентрическая долгота планеты;
- v_i — истинная аномалия планеты (соответствует угловому расстоянию планеты в данный момент времени от перигелия);
- E_i — эксцентрическая аномалия планеты;
- M_i — средняя аномалия планеты (соответствует движению планеты по орбите с постоянной скоростью);
- μ_i — среднее суточное движение планеты по орбите.

Сближение планет соответствует совпадению (или близости) их гелиоцентрических долгот l .

Гелиоцентрическая долгота планеты с индексом i связана с элементами орбиты следующим соотношением:

$$\operatorname{tg}(l_i - \Omega_i) = \cos i_i \operatorname{tg}(v_i + \omega_i). \quad (1)$$

Так как рассматриваемые планеты (Марс, Юпитер) движутся в плоскостях, несущественно отклоняющихся от плоскости эклиптики, ($i_M = 1,850^\circ$; $i_{Ю} = 1,306^\circ$), с достаточной для данной задачи точностью (1) можно представить в виде:

$$l_i = v_i + \omega_i + \Omega_i,$$

или

$$l_i = v_i + \pi_i. \quad (2)$$

При сближении пары планет с индексами i, j выполняется условие $l_i - l_j \simeq 0$, а следовательно,

$$\sin(l_i - l_j) \simeq 0. \quad (3)$$

С другой стороны, для любых двух планет i, j , удовлетворяющих условию движения в плоскости эклиптики, с использованием (2) и соотношения тригонометрии, имеем

$$\begin{aligned} \sin(l_i - l_j) &= \sin(v_i - v_j) \cos(\pi_i - \pi_j) + \\ &+ \cos(v_i - v_j) \sin(\pi_i - \pi_j). \end{aligned} \quad (3')$$

В соотношении (3') величины $\sin(\pi_i - \pi_j)$ и $\cos(\pi_i - \pi_j)$ являются постоянными для любой пары планет (для определенной эпохи равноденствия); величины $\sin(v_i - v_j)$ и $\cos(v_i - v_j)$ — функции времени.

Для движущейся планеты в каждый момент времени выполняются соотношения:

$$\sin v_i = \frac{\sqrt{1 - e_i^2} \sin E_i}{1 - e_i \cos E_i}; \quad (4)$$

$$\cos v_i = \frac{\cos E_i - e_i}{1 - e_i \cos E_i}. \quad (5)$$

Используя (4), (5), (3') и формулы тригонометрии, для любого момента времени получаем величину $\sin(l_i - l_j)$, характеризующую разность долгот двух планет в плоскости эклиптики, выраженную через постоянные (эксцентриситеты орбит $e_{i,j}$ и долготы перигелиев $\pi_{i,j}$) и переменную величину $E_{i,j}$ (эксцентрическую аномалию).

Значения эксцентрической аномалии E_i для любого момента времени t получаем из уравнения Кеплера

$$E_i - e_i \sin E_i = M_i, \quad (6)$$

где средняя аномалия вычисляется по формуле

$$M_i = n_i(t - T_i). \quad (7)$$

Уравнение Кеплера трансцендентно. Его решение можно найти путем последовательных приближений. Метод итерации [17]

дает возможность получить выражение для эксцентрической аномалии в любой момент времени t :

$$E_i = M_i + e_i \sin E_{i0} + e_i(M_i - E_{i0} + e_i \sin E_{i0}) \times \\ \times \cos \frac{M_i + E_{i0} + e_i \sin E_{i0}}{2} + \\ + \frac{e_i^2(M_i - E_{i0} + e_i \sin E_{i0}) \cos^2 \frac{M_i + E_{i0} + e_i \sin E_{i0}}{2}}{1 - e_i \cos \frac{M_i + E_{i0} + e_i \sin E_{i0}}{2}}. \quad (8)$$

В качестве начального приближения E_{i0} можно взять

$$E_{i0} = M_i.$$

Таким образом, для любого момента времени можно получить значения эксцентрической аномалии планеты и, следовательно, определить положение планеты на орбите.

Для характеристики взаимного долготного положения трех планет на орбитах (в плоскости эклиптики) можно ввести функцию:

$$F(t) = \sin^2(l_3 - l_{\text{Ю}}) + \sin^2(l_{\text{М}} - l_{\text{Ю}}) + \sin^2(l_3 - l_{\text{М}}). \quad (9)$$

Здесь l_3 , $l_{\text{Ю}}$, $l_{\text{М}}$ — гелиоцентрические долготы Земли, Юпитера и Марса соответственно в любой момент времени t .

Из (9) видно что функция $F(t)$ минимальна, когда одновременно значения всех синусов близки к нулю. Но эта ситуация реализуется как в моменты сближений планет ($\Delta l_{ij} = 0^\circ$), так и в моменты, когда разность их гелиоцентрических долгот близка к 180° ($\Delta l_{ij} = 180^\circ$). Следовательно, каждый вычисленный минимум функции $F(t)$ необходимо анализировать для выяснения взаимного положения рассматриваемых планет на их орбитах.

Значения синусов разностей долгот планет для данного момента времени рассчитывались по формулам (3'), (7), (8).

Элементы планетных орбит приведены в монографии Г. А. Чеботарева [18] (Земли и Марса — для эпохи равноденствия 1900.0, Юпитера — для эпохи равноденствия 1850.0) и в *Астрономическом ежегоднике* (для эпохи равноденствия 1950.0) [1].

Все расчеты выполнялись на ЭВМ «Мир-1» Астрономической обсерватории Киевского государственного университета.

Ход функции $F(t)$, характеризующей взаимное долготное положение планет (Земли, Марса и Юпитера) на орбитах, рассчитан с 1900 по 1990 г. с шагом $\Delta t = 20^\circ$.

На рис. 2 приведены результаты расчета. На рисунке хорошо видно изменение со временем взаимного расположения планет: с 1900 по 1919 г. минимальные сближения планет соответствуют их положениям, близким к квадратурам ($\Delta l_{ij} \approx 90^\circ$); с конца 1919 г. начинается более тесное сближение планет — каждые 2,2 года наблюдается уменьшение численных значений функции $F(t)$; в на-

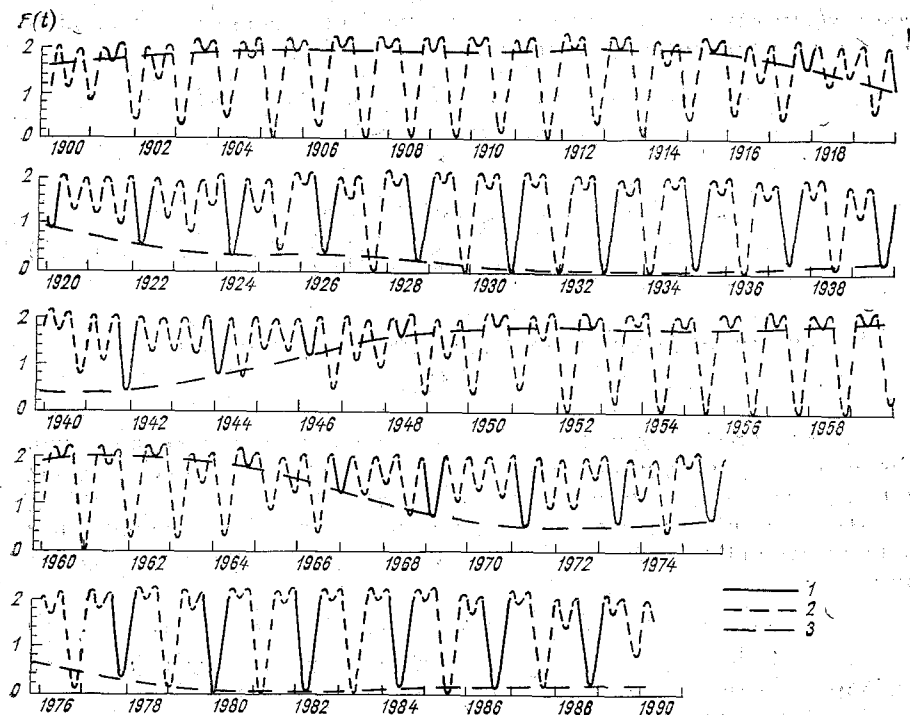


Рис. 2. Ход во времени функции $F(t)$, характеризующей взаимные разности гелиоцентрических долгот планет (Земли, Марса и Юпитера) на их орбитах. 1 — случаи реализации тройных сближений планет, когда разности гелиоцентрических долгот Земли, Марса и Юпитера не превышает 90° ; 2 — прочие случаи; 3 — огибающая тройных сближений планет.

чале 1931 г. наблюдался абсолютный минимум исследуемой функции. Затем гелиоцентрические расстояния между планетами начинают возрастать — начинается сбой в состоянии тройного сближения (1948—1968 гг.). С 1969 г. вновь планеты сближаются, и в начале 1980 г. наблюдается следующее (после 1931 г.) очень тесное сближение планет. Интервал времени между последовательными очень тесными тройными сближениями указанных планет равен 49 годам, так что следующее (после 1980 г.) будет наблюдаться в 2029 г. Промежуток времени между соседними обычными сближениями ($\Delta l_{ij} \lesssim 90^\circ$) равен 26,2—26,4 месяца, т. е. реализуется квазидвухлетний цикл во взаимном положении планет на их орбитах.

При сопоставлении рис. 1 и 2 видно, что квазидвухлетний цикл в ходе температурных аномалий наиболее четко проявляется когда наблюдаются тройные сближения планет: 1920—1939 гг. (цикл реализуется очень четко в обоих явлениях), 1960—1975 гг. (цикл размыт — тройное сближение планет только начинается).

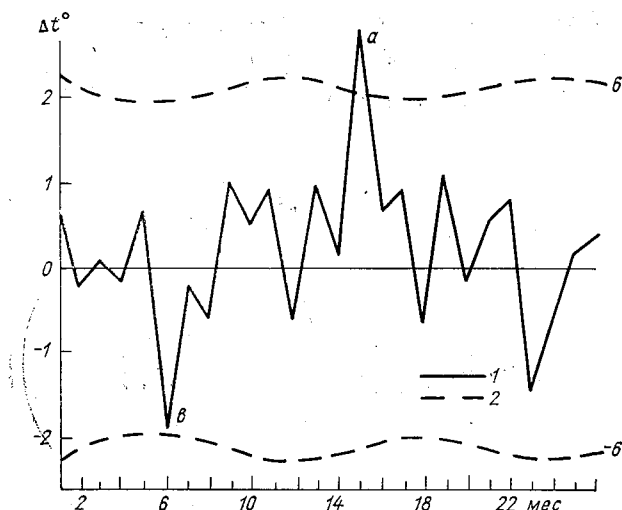


Рис. 3. Средние аномалии температуры в ходе 26-месячного цикла.

1 — усредненные значения аномалий в 26-месячном цикле, 2 — средние квадратичные отклонения в исследуемом ряду.

Представляет интерес определить положение планет (Земли, Марса и Юпитера) в эпохи максимальных положительных и отрицательных флуктуаций температуры в 26-месячном цикле.

Для этого месячные аномалии температуры, наблюдаемые в период проявления этого цикла (1920—1939 гг.), проанализированы с помощью метода наложенных эпох. Проведено распределение всего ряда величин Δt по циклам из 26 значений в ряду и 9 столбцов. Для каждого столбца вычислены средние значения Δt . Результаты приведены на рис. 3. По горизонтальной оси отложен номер месяца в 26-месячном цикле (от 1 до 26), по оси ординат — соответствующая средняя аномалия температуры Δt . Выделяется положительная флуктуация температуры в 15-м месяце от начала 26-месячного цикла ($\Delta t = 2,8^\circ$; положение *a*). Более слабо выражена отрицательная флуктуация Δt° в 6-м месяце от начала цикла ($\Delta t = -1,9^\circ$; положение *b*).

Для выяснения положений планет в моменты положительных и отрицательных аномалий температуры определим абсолютные значения разностей их гелиоцентрических долгот $|\Delta l_{M3}| = |l_M - l_3|$ и $|\Delta l_{Ю3}| = |l_{Ю} - l_3|$ в указанные месяцы (15-й и 6-й) 26-месячного цикла. Усреднение этих величин дает для эпохи положительных аномалий температуры:

$$|\Delta l_{M3}| = 160 \pm 14^\circ;$$

$$|\Delta l_{Ю3}| = 18 \pm 9^\circ;$$

для эпохи отрицательных аномалий температуры:

$$|\Delta l_{\text{мз}}| = 37 \pm 17^\circ;$$

$$|\Delta l_{\text{юз}}| = 101 \pm 13^\circ.$$

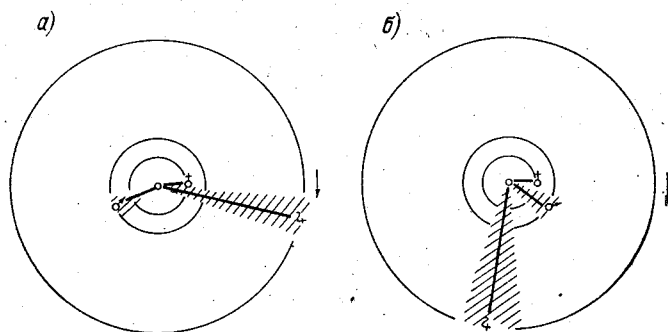


Рис. 4. Положения планет: Земли (♁), Марса (♂) и Юпитера (♃) на орбитах в моменты максимальных положительных (а) и отрицательных (б) флуктуаций температуры.

На рис. 4 окружностями представлены орбиты планет: Земли (♁), Марса (♂), Юпитера (♃). Положение Земли на орбите взято за начало отсчета l . Стрелка с внешней стороны наружного круга указывает направление движения планет, так что абсолютные значения Δl отсчитываются от линии, соединяющей положение Земли и Солнца против часовой стрелки (от 0 до 180°).

Видно, что при положительных и отрицательных аномалиях температуры положение указанных планет на орбитах ограничено сравнительно узкими интервалами гелиоцентрических долгот и, кроме того, расположение Марса и Юпитера в эти моменты относительно Земли существенно различно. В работе [16] обсуждается идея, что в зависимости от взаимного расположения Земли и Юпитера на их орбитах может существенно меняться характер облучения нашей планеты космическими лучами, что отражается на температурном режиме различных областей планеты. Необходимо дальнейшая теоретическая разработка особенностей облучения Земли частицами высоких энергий в моменты различных положений планет (Марса, Земли, Юпитера) на их орбитах.

Обращаясь вновь к рис. 2, можно сделать вывод, что с 1976 г., по крайней мере, по 1990 г. будет реализоваться квазидвухлетний цикл в обстановке в Космосе. На основании вышесказанного можно предположить, что во многих геофизических явлениях, в частности, в ходе температуры исследуемого климатического региона, будет проявляться соответствующий цикл.

Проведенное исследование может служить доводом в пользу планетной природы квазидвухлетней цикличности в геофизических явлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астрономический ежегодник СССР. 1950 г. М.—Л., Изд. АН СССР, 1948. 426 с.
2. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л., Наука, 1975. 257 с.
3. Воробьева Е. В. Временные изменения продолжительности метеорологических циклов и возможные их причины.—Труды ГГО, 1969, вып. 245, с. 17—24.
4. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества осадков на территории СССР.—Труды ГГО, 1969, вып. 245, с. 3—12.
5. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Циклические составляющие в многолетних характеристиках атмосферной циркуляции.—Труды ГГО, 1969, вып. 245, с. 14—16.
6. Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н. Космос—Земля. Прогнозы М., Мысль, 1974. 288 с.
7. Дубяго А. Д. Определение орбит. М.—Л., ГИТТЛ, 1949. 444 с.
8. Зушинская Т. М., Сазонов Б. И. Основные частоты геофизических процессов. Ч. 2.—Труды ГГО, 1973, вып. 299, с. 37—47.
9. Логинов В. Ф. Характер солнечно-атмосферных связей. Л., Гидрометеиздат, 1973. 47 с.
10. Нуждина М. А. Изменения температуры и количества осадков в г. Киеве и солнечная активность.—Труды УкрНИГМИ, 1976, вып. 154.
11. Полозова Л. З. Анализ цикличности колебаний средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.—Труды ГГО, 1970, вып. 269, с. 36—73.
12. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969. 254 с.
13. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. М., Наука, 1964. 361 с.
14. Сазонов Б. И., Зушинская Т. М., Ульянова Т. Н. Космические факторы и циклы в давлении воздуха.—Труды ГГО, 1973, вып. 299, с. 19—23.
15. Сазонов Б. И. Основные частоты геофизических процессов. Ч. I.—Труды ГГО, 1973, вып. 299, с. 25—36.
16. Сазонов Б. И., Спирина Л. П. Влияние планет на межпланетную среду и погоду.—Труды ГГО, 1975, вып. 330, с. 75—81.
17. Субботин М. Ф. Курс небесной механики. Т. 1. М.—Л., ОНТИ, Гос. технико-теоретич. изд., 1933, 316 с.
18. Чеботарев Г. А. Аналитические и численные методы небесной механики. М.—Л., Наука, 1965. 367 с.
19. Яковлева Н. И. Некоторые вопросы проявления квазидвухлетнего цикла в показателях солнечной активности и в метеорологических данных.—Труды ГГО, 1975, вып. 355, с. 94—105.

СОДЕРЖАНИЕ

Н. И. Яковлева. Сопоставление различных индексов засушливости	3
Э. И. Гирская, Б. И. Сазонов, Е. И. Кропп. Показатели метеорологических засух	14
Т. В. Покровская. Связь урожайности зерновых культур в Северном Казахстане с метеорологическими условиями	22
✓ Т. В. Покровская, А. А. Григорьева. О циркуляционных характеристиках европейско-казахстанских засух	29
Б. И. Сазонов, Н. И. Яковлева. Зависимость урожайности яровой пшеницы от средних метеорологических условий вегетационного периода на территории СССР	38
Н. И. Яковлева, Е. К. Молькентин. К вопросу о комплексном индексе агрометеорологических условий	48
✓ В. Рочева, В. Ф. Логинов. О влиянии океана на формирование засух	58
✓ Э. В. Рочева, В. Ф. Логинов. Роль гелиогеофизических факторов в формировании засушливых явлений	73
✓ Б. И. Сазонов. Брикнеровский цикл засух	83
✓ А. И. Оль. Одиннадцатилетний цикл в атмосферных осадках Западной Сибири	93
✓ А. А. Григорьева, Г. Е. Комин, Л. Г. Полозова. Годичный прирост деревьев в Северном Казахстане как индикатор засух	100
С. И. Костин. Связь изменений климата в современную эпоху с колебаниями его за прошлое время	107
Л. Г. Полозова, С. Г. Шиятов. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорных районах Урала	114
Л. М. Шереметова. Циклические колебания атмосферных осадков в Северной Африке	129
Т. В. Покровская, Г. Н. Чичасов. Об учете солнечной активности в статистических схемах долгосрочных прогнозов погоды	135
М. А. Нуждина. Временные вариации квазидвухлетнего цикла в ходе температуры и конфигурация планет	141

Труды ГГО, вып. 403

КРИТЕРИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСУШЛИВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Редактор Е. И. Ильных
Техн. редактор Н. Ф. Грачева
Корректор О. В. Андреева

Слано в набор 16.06.78. Подписано в печать 25.07. 79. М-18382 Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 1
Лит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 10. Уч.-изд. л. 10,68. Тираж 600 экз. Индекс МЛ-178. Заказ № 398
Цена 75 коп. Заказное. Гидрометеониздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, 23.

Сортавальская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли Совета Министров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.