

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

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

Выпуск

400

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ДЛИННЫХ РЯДОВ ОСАДКОВ,
ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ,
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАСУХ
И УРОЖАЙНОСТИ

Под редакцией
д-ра геогр. наук О. А. ДРОЗДОВА

Ленинградский
Гидрометеорологический институт
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Учреждение «Малоохтинский пр., 98»



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1978

2200007

В Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова подготовлен архив месячных сумм осадков, осредненных по площади, для 104 административных областей за отдельные месяцы с апреля по октябрь и за весь теплый период с 1891 по 1975 г. Часть подготовленного архива опубликована Н. И. Ефремовой в 1976 г., остальные материалы опубликованы К. В. Ледневой и А. В. Мешерской в 1977 г.

В настоящем сборнике представлены результаты всестороннего статистического анализа этого архива, а также его применения для ряда задач, связанных с изучением зависимости урожаев основных сельскохозяйственных культур в СССР от метеорологических условий за многолетний период. В частности, впервые проведено систематическое сопоставление многолетних рядов гидротермических коэффициентов и урожайности.

Приведены также каталоги площадей аномалий осадков и температуры в основных сельскохозяйственных районах юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири, вычисленные по 85-летним рядам данных.

Сборник рассчитан на широкий круг потребителей, заинтересованных в использовании длинных рядов данных об осадках, осредненных по административным областям, а также на агрометеорологов и климатологов, занимающихся вопросами колебания климата и крупными его аномалиями, в частности засухами.

An archive of monthly precipitation sums averaged over area has been prepared at the A. I. Voeikov Main Geophysical Observatory for 104 administrative districts for individual months from April to October and for the whole warm period from 1891 to 1975. Part of the archive was published by N. I. Efremova in 1976, the rest of it was published by K. V. Ledneva and A. V. Meshcherskaya in 1977. This publication presents the results of detailed statistical analysis of the archive and its for some problems associated with studying the dependence of the USSR basic crop harvest on meteorological conditions for many-year period. In particular, systematic comparison has first been made between many-year series of hydrothermal factors and crop capacity.

There are given catalogues of the areas of precipitation and temperature anomalies in basic agricultural regions of the southern ETU, northern Kazakhstan, and Western Siberia which have been calculated from 85-year series of data.

The publication is meant for users interested in long-period precipitation series averaged over administrative districts, as well as for agrometeorologists and climatologists dealing with the problems of climate variations and considerable anomalies, in particular droughts.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для решения большого круга задач в климатологии, агрометеорологии, гидрологии, а также при изучении колебаний климата представляют интерес месячные суммы осадков, осредненные по площади.

В отделе динамической метеорологии ГГО в течение последних лет проводились работы по созданию многолетнего архива таких данных.

Предложение о создании архива осредненных по площади сумм осадков было внесено проф. М. И. Юдиным в 1965 г. в связи с развертыванием в ГГО работ по физико-статистическому долгосрочному прогнозу осадков и температуры для основных сельскохозяйственных районов СССР. Суммы осадков, осредненные по площади административных областей (иногда их частей), впоследствии были названы районными. Осреднение по административным областям удобно для удовлетворения запросов практики, особенно для обслуживания сельского хозяйства.

Первоначально были подготовлены данные для 89 областей ЕТС и Северного Казахстана за 18-летний период с 1946 по 1964 г. для апреля—октября. Эта работа выполнена под руководством Н. И. Ефремовой по материалам, представленным рядом управлений Гидрометслужбы. Уже в 1966 г. был составлен долгосрочный прогноз районных осадков, а не осадков отдельных станций. В последующие годы данные о районных осадках пополнялись за счет вновь поступающей информации, а в 1976 г. первая часть архива за период с 1946 по 1972 г. была опубликована.

Использование в долгосрочном прогнозе относительно коротких рядов (25—30 лет) имеет как некоторые преимущества, так и недостатки. Основное преимущество этих рядов состоит в том, что они лучше соответствуют современной эпохе; исключение составляют районы с длительными циклическими колебаниями метеоусловий. Однако короткие ряды не позволяют изучать и прогнозировать редкие метеорологические процессы, к которым относятся, например, засухи. Короткие ряды данных затрудняют учет некоторых важных для прогноза явлений, в частности цикличности и связанных с ней колебаний климатического фона. Современ-

ные статистические методы (дискриминантный анализ, теория статистических решений и др.) лучше применять к рядам данных достаточной длительности.

По этим причинам в 1973—1974 гг. были предприняты меры по удлинению рядов районных осадков с тем, чтобы получить ряды данных с 1891 по последующие годы. Эта большая работа выполнена коллективом сотрудников ГГО и других учреждений. Значительная часть материалов для ЕТС и Северного Казахстана подготовлена в БРИСе ГГО О. А. Дейч и А. Э. Гуглине, другая часть — сотрудниками ГГО Н. А. Болдыревой, Н. Д. Шапаевой, Н. А. Гулиной, Н. М. Евдокимовой, Л. В. Ратнициной под руководством К. В. Ледневой. В руководстве подготовкой данных по ЕТС принимала участие Н. И. Ефремова. Районные осадки для Западной Сибири рассчитаны в Западно-Сибирском региональном научно-исследовательском институте Л. Я. Бетте при участии В. В. Еремина.

Работа, содержащая данные о районных осадках за период с 1891 по 1945 г., вышла из печати в 1977 г. (авторы К. В. Леднева и А. В. Мещерская). Вместе с ранее опубликованными материалами архив содержит ряды средних по площади осадков для 104 административных областей в основных сельскохозяйственных районах ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири с 1891 по 1972 г. для семи месяцев теплого периода и за теплый период в целом (апрель — октябрь).

Для расчета средних по площади значений осадков принята наиболее простая методика, состоящая в нахождении среднего арифметического из значений осадков на нескольких станциях данного района.

В настоящее время вопросу определения средних по площади величин уделяется большое внимание в связи с возросшей потребностью народного хозяйства в таких характеристиках. В этом направлении выполнено большое количество исследований, главным образом теоретического плана. Наибольший практический интерес с нашей точки зрения представляют работы Р. Л. Кагана и его сотрудников. В частности, эти исследования показали преимущества и недостатки некоторых применяемых на практике методов осреднения: оптимального осреднения, метода полигонов, метода квадратов и метода среднего арифметического. Известно, что метод среднего арифметического как самый простой и не требующий при его реализации дополнительных сведений о структуре осредняемого элемента чаще всего используется на практике. Поэтому большое внимание в указанных работах уделяется оценке точности именно этого метода. Показано, что его применение дает вполне удовлетворительные результаты при условии равномерной и достаточно плотной сети метеорологических станций. Этот вывод особенно существен при необходимости получить длинные ряды средних по площади осадков (70—80 лет). Сеть станций на протяжении такого интервала времени претерпела многочисленные изменения как по составу метеорологических станций, так и особенно

по плотности сети. Поэтому применить более сложный метод осреднения по площади, чем метод среднего арифметического, было бы крайне трудно.

Многочисленные методические вопросы, связанные с практическим использованием районных осадков, рассмотрены в работах Н. И. Ефремовой. Ею показаны преимущества районных осадков по сравнению с осадками отдельных станций, проанализированы пространственные корреляционные функции районных осадков и другие их характеристики. Все эти разработки относятся к послевоенному периоду (1946—1970 гг.), когда плотность сети увеличилась и стала достаточно стабильной. Районные осадки за этот период рассчитывались по достаточно большому числу станций и поэтому могут рассматриваться как эталонные.

Точность расчета районных осадков в довоенный период существенно ниже. Хорошо известно, что в довоенный и особенно в до-революционный период сеть метеорологических станций была более редкой и менее постоянной, чем в настоящее время. Кроме того, в ряде районов ЕТС имеются значительные перерывы в метеорологических наблюдениях в период первой мировой, гражданской и Великой Отечественной войн. Еще хуже обстоит дело с Казахстаном, где в некоторых административных районах в конце XIX — начале XX в. не было ни одной метеорологической станции.

Эти обстоятельства привели к тому, что качество данных (точность расчета средних по площади осадков) за ранние годы оказалось хуже, чем за послевоенный период: в некоторых районах средние по площади рассчитывались по данным двух-трех и даже одной станции. В тех случаях, когда наблюдения в районе отсутствовали вообще, сведения об осадках получали путем интерполяции с карт аномалий осадков, подготовленных в ГГО под руководством В. Я. Шаровой. Объем интерполированных данных от общего числа составил 2% на ЕТС, 6% в Северном Казахстане и 10% в Западной Сибири. Поэтому было неясно, сохранятся ли преимущества районных осадков перед точечными, которые были показаны Н. И. Ефремовой по полным и надежным материалам послевоенного периода.

Для решения этого и ряда других вопросов был проведен всесторонний анализ длинных рядов районных осадков. Основные результаты этих проработок составляют содержание первых трех статей сборника. Эти статьи должны помочь будущим потребителям в решении вопроса о целесообразности использования длинных рядов районных осадков для решения тех или иных конкретных задач. К ним примыкает статья, посвященная точности расчета норм районных осадков, поскольку рассмотренные в ней интегрально-разностные кривые помогают выявить недостаточно надежные ряды данных.

В следующей статье приведены результаты разложения длинных рядов районных осадков по естественным ортогональным функциям, позволяющим компактно представить поле осадков, что очень существенно, например, для прогноза.

В остальных статьях рассмотрен комплекс задач, связанных с сельским хозяйством, для решения которых использованы длинные ряды осадков, а также длинные ряды осадков в сочетании с температурой.

Рассмотрены многолетние колебания увлажненности весенне-летнего периода в основной земледельческой зоне ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Большое практическое применение найдут каталоги аномальных лет (засушливых, а также влажных и холодных). Каталоги рассчитаны по площади осадков разных градаций и по площадям, соответствующим определенным сочетаниям осадков и температуры.

Использование количественных критериев для составления каталогов аномальных лет дает возможность распределить годы по степени развития аномальных явлений.

Последние две статьи посвящены анализу гидротермических коэффициентов и их связи с урожайностью сельскохозяйственных культур. Предложены каталоги аномальных лет, основанные на величине первого коэффициента разложения гидротермических коэффициентов по естественным ортогональным функциям.

Проведено сравнение различных каталогов и установлены лучшие из них по соответствию с урожайностью.

А. В. Мещерская, К. М. Лугина, К. В. Леднева

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛИННЫХ РЯДОВ ОСАДКОВ, ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ

В предисловии к данному сборнику отмечалась необходимость использования для многих целей длинных рядов осадков, осредненных по площади. Однако если для послевоенных лет довольно легко рассчитать осредненные по административным районам месячные суммы осадков, то за ранние годы эти возможности ухудшаются за счет уменьшения плотности сети метеорологических станций. Уменьшение плотности сети приводит к уменьшению точности расчета средних по площади сумм осадков, что является основным недостатком длинных рядов этих данных.

Поэтому представляется полезным рассмотреть точность расчета средних по площади месячных сумм осадков, используемых для осреднения, и проследить, в какой мере уменьшение точности расчета районных осадков проявляется в их статистических характеристиках (нормах, дисперсиях и коэффициентах вариации). Эти вопросы составляют основное содержание предлагаемой статьи.

Оценкам точности расчета осадков, осредненных по площади, посвящена довольно большая литература, краткую сводку которой можно найти в монографии [4]. Начало этих работ было положено О. А. Дроздовым и А. А. Шепелевским [8], а в последние годы особенно существенный вклад в решение этого вопроса внес Р. Л. Каган [13—16]. Согласно [16] абсолютная средняя квадратическая погрешность (E) определения слоя осадков по площади s по данным наблюдений в одном пункте описывается формулой

$$E(1, s) = \bar{\sigma} \sqrt{\eta^2 + 0,23 \frac{V_s}{\rho_0}}. \quad (1)$$

Здесь $\bar{\sigma}$ — среднее квадратическое отклонение, полученное путем осреднения значений σ по всем станциям рассматриваемой территории; $\eta^2 = 1 - r(0)/r(0)$ — мера ошибки, обусловленной нали-

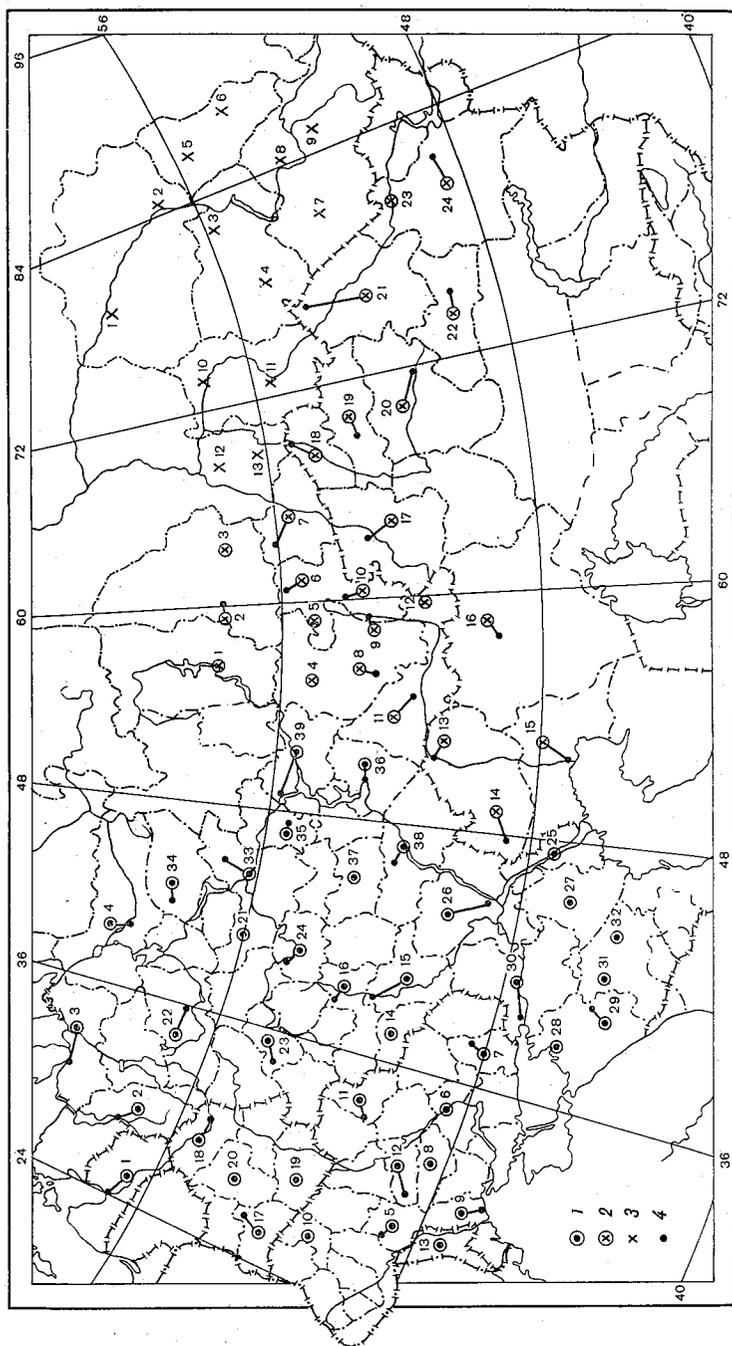


Рис. 1. Положение геометрических центров районов ЕТС (1), Северного Казахстана (2) и Западной Сибири (3) и соответствующих им метеорологических станций (4), данные которых использованы в расчетах.
 Номера районов даны в соответствии с табл. 1.

чиём микроклиматических различий в расположении осадкомерных пунктов и погрешностей измерения осадков; $r(0)$ — значение корреляционной функции, полученное экстраполяцией $r(\rho)$ до $\rho=0$, где ρ — расстояние, ρ_0 — расстояние, на котором функция убывает в e раз.

Формула (1) справедлива в тех случаях, когда корреляционную функцию осадков можно описать экспоненциальной зависимостью, а также при условии приблизительно равномерного расположения станций по площади.

Для большей сравнимости целесообразно рассчитывать не абсолютные, а относительные значения средних квадратических погрешностей определения среднего слоя осадков

$$Z(1, s) = \frac{E(1, s)}{\bar{f}}, \quad (2)$$

где \bar{f} — среднее значение сумм осадков, рассчитанное путем осреднения по всем станциям рассматриваемой территории.

Если на площади S равномерно расположено n станций, то, согласно [4],

$$Z(n, s) = \frac{Z(1, s)}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где $s=S/n$ по-прежнему обозначает площадь, приходящуюся на одну станцию.

По формулам (2) и (3) Р. Л. Каганом, А. И. Полищук, М. В. Гущиной [6—7, 13—16, 22], Н. И. Ефремовой [10—11] и другими авторами проведены многочисленные оценки точности расчета осредненных по площади осадков для разных территорий при разном периоде осреднения, при разной конфигурации районов, а также с учетом зависимости от масштабов элементов осреднения. Эти оценки интересно сопоставить с нашими расчетами, относящимися к длинным рядам районных осадков.

Оценки точности расчета средних значений районных осадков по длинным рядам были сделаны не для всего архива данных, а только для основных 76 районов за апрель — июль, используемых в настоящее время в физико-статистическом прогнозе (39 районов юга ЕТС, 24 района Северного Казахстана и 13 районов Западной Сибири). Список районов дан в табл. 1, положение центров районов — на рис. 1. В число районов Северного Казахстана включены дополнительные районы Урала и несколько районов Предуралья. Возможность такого объединения установлена при анализе поля первой естественной составляющей месячной суммы осадков в основных сельскохозяйственных районах СССР [3], а также коэффициентов корреляции между месячными суммами осадков смежных районов.

Для оценки погрешностей по формулам (1), (2) и (3) в качестве входных параметров ($\bar{\sigma}$, \bar{f} , η^2 , ρ_0) использованы результаты расчетов пространственных корреляционных функций месячных

Список районов и соответствующих им станций, осадки которых использованы для расчетов

Номер района	Район	Станция	Номер района	Район	Станция
ЕТС					
1	Латвийская ССР	Рига	21	Владимирская обл.	Владимир
2	Псковская обл.	Псков	22	Калининская обл.	—
3	Ленинградская обл.	Ленинград	23	Калужская обл.	Жиздра
4	Вологодская обл.	Вологда	24	Рязанская обл.	Рязань
5	Винницкая обл.	Жмеринка	25	Астраханская обл.	Астрахань
6	Днепропетровская обл.	Днепропетровск	26	Волгоградская обл.	Волгоград
7	Донецкая обл.	Артемовск	27	Калмыцкая АССР	—
8	Кировоградская обл.	Киров оград	28	Краснодарский край. Запад	—
9	Одесская обл.	Одесса	29	Краснодарский край. Восток	Армавир
10	Ровенская обл.	Сарны	30	Ростовская обл.	Ростов-на-Дону
11	Сумская обл.	Ромны	31	Ставропольский край. Запад	Ставрополь
12	Черкасская обл.	Умань	32	Ставропольский край. Восток	—
13	Молдавская ССР	Кишинев	33	Горьковская обл.	Семенов
14	Белгородская обл.	Богородецкое-Фенино	34	Костромская обл.	Кострома
15	Воронежская обл.	Воронеж	35	Чувашская АССР	Канаш
16	Липецкая обл.	Елец	36	Куйбышевская обл.	Куйбышев
17	Брестская обл.	Барановичи	37	Пензенская обл.	Пенза
18	Витебская обл.	Витебск	38	Саратовская обл.	Октябрьский Городок
19	Гомельская обл.	Василевичи	39	Татарская АССР	Казань
20	Минская обл.	Минск			

Северный Казахстан

1	Пермская обл. Юг	Пермь	5	Среднеуральский горный р-н Б (север Башкирской и Челябинской областей)	Златоуст
2	Среднеуральский горный р-н А (юг Пермской и Свердловской областей)	Кушва	6	Челябинская обл. Север	Верхний Уфалей
3	Свердловская обл. Юг	Свердловск	7	Курганская обл.	Шадринск
4	Башкирская АССР. Север	Бирск	8	Башкирская АССР. Юг	Мелеуз

Номер района	Район	Станция	Номер района	Район	Станция
9	Южноуральский горный р-н (юг Челябинской и Башкирской областей)	—	16	Актюбинская обл. Север	Темир
10	Челябинская обл. Юг	Верхнеуральск	17	Кустанайская обл. Восток	Кустанай
11	Оренбургская обл. Запад	Оренбург	18	Северо-Казахстанская обл.	Петропавловск
12	Оренбургская обл. Восток	—	19	Кокчетавская обл.	Кокчетав
13	Уральская обл. Север	Уральск	20	Целиноградская обл.	Целиноград
14	Уральская обл. Юг	Урда	21	Павлодарская обл.	Михайловка
15	Гурьевская обл. Север	Гурьев	22	Карагандинская обл.	Каркаралинск
			23	Семипалатинская обл. Север	Семипалатинск
			24	Семипалатинская обл. Центр	Кокпекты

Западная Сибирь

1	Томская обл. Север	—	7	Алтайский край. Запад	—
2	Томская обл. Юг	—	8	Алтайский край. Северо-восток	—
3	Новосибирская обл. Северо-восток	—	9	Алтайский край. Юго-восток	—
4	Новосибирская обл. Юго-запад	—	10	Омская обл. Север	—
5	Кемеровская обл. Северо-запад	—	11	Омская обл. Юг	—
6	Кемеровская обл. Юго-восток	—	12	Тюменская обл. Север	—
			13	Тюменская обл. Юг	—

сумм осадков по данным на станциях. Они содержатся в табл. 2 статьи [20]. Площадь s принята равной 30 000 км² для ЕТС и 70 000 км² для Северного Казахстана, что соответствует фактическим средним площадям административных районов при том их разделении, которое приведено в табл. 1. Для этих средних размеров площадей административных районов число станций задавалось переменным от 1 до 25. Примерно в таком диапазоне меняется и фактическое число станций. Правда, максимальное число станций на район составило не 25, а 23 станции (Краснодарский край). Результаты расчетов погрешностей представлены в табл. 2. Из этой таблицы следует, что на ЕТС в апреле—июле при наличии одной станции на район средняя по площади месячная сумма осадков рассчитывается с погрешностью 31—35%.

Относительная средняя квадратическая погрешность (%)
определения слоя месячных сумм осадков по данным n станций

n	Площадь, приходящая- ся на одну станцию, км ²	IV	V	VI	VII
Юг ЕТС					
$s=30\,000$ км ²					
1	30 000	31	35	35	35
2	15 000	21	24	24	25
3	10 000	17	20	20	20
4	7 500	14	17	17	17
5	6 000	13	15	15	15
6	5 000	12	14	14	14
8	3 750	10	12	12	12
10	3 000	9	10	10	10
15	2 000	7	8	8	8
20	1 500	6	7	7	7
25	1 200	5	6	6	7

Северный Казахстан и Западная Сибирь

 $s=70\,000$ км²

1	70 000	44	37	43	37
2	35 000	31	25	30	25
3	23 330	25	21	24	21
4	17 500	21	17	21	17
5	14 000	19	16	19	16
6	11 670	17	14	17	14
8	8 750	15	12	15	12
10	7 000	13	12	13	10
15	4 670	10	9	10	9
20	3 500	9	7	9	7
25	2 800	8	7	8	6

С увеличением числа станций погрешности достаточно быстро убывают. Так, при наличии двух станций на район погрешности составляют 21—25%, трех 17—20%, десяти 9—10%, двадцати 6—7%. Следует отметить, что на ЕТС одна станция на район встречается относительно редко. За период с 1891 по 1972 г. только в 2% случаев на район пришлось по одной станции.

В Северном Казахстане и Западной Сибири погрешности расчета среднего слоя осадков по площади больше, чем на юге ЕТС,

как за счет больших размеров этих районов, так и за счет большей изменчивости осадков. При наличии одной станции на район относительная средняя квадратическая погрешность равна 37—44%, двух станций 25—31%, трех — 21—25%, десяти 10—13%. Следует отметить, что в Северном Казахстане и Западной Сибири число случаев, когда осреднение проводилось по малому числу станций, больше. За тот же период с 1891 по 1972 г. число случаев, когда на район пришлось по одной станции, составило 11% в Северном Казахстане и 17% в Западной Сибири. Таким образом, точность расчета средних по площади месячных сумм осадков на этих территориях существенно меньше, чем на ЕТС.

Оценки, приведенные в табл. 2 для юга ЕТС, хорошо согласуются с оценками М. В. Гушиной, Р. Л. Кагана и А. И. Полищук для Украины [4, 7], а также с оценками А. И. Полищук [22], полученными для сравнительно небольшой зоны в центральных районах ЕТС за летние месяцы. Что касается результатов П. И. Ефремовой [10], то приведенные ею погрешности расчета осредненных по площади осадков оказались в 2—3 раза меньше, чем в [4, 7, 22] и в данной работе.

Точности расчета средних по площади длинных рядов районных осадков при различном числе станций на район (табл. 2) могут служить ориентиром для будущих потребителей при решении вопроса о целесообразности использования этих данных в тех или иных конкретных задачах.

Поскольку длинные ряды районных осадков в основном предназначены для разработки методов долгосрочных прогнозов, исследования колебаний климата и для изучения процессов крупного масштаба, интересно, проследить, как сказывается уменьшение точности расчета средних по площади месячных сумм осадков на некоторых статистических характеристиках, наиболее широко используемых в разработках такого рода.

Для этого в рядах исходных данных было выбрано два равных периода по 34 года каждый: период с 1905 по 1938 г. (ранний) с меньшей точностью расчета средних по площади осадков и период с 1939 по 1972 г. (поздний), за который данные близки к эталонному периоду (1946—1967 гг.). Периоды выбирались так, чтобы годы наибольшего изменения метеорологического режима северного полушария, связанного с потеплением Арктики, попали не в один, а в разные периоды. Предполагалось, что при этом различия характеристик осадков за два периода определяются прежде всего точностью расчета осадков, влияние же колебаний климата на эти различия сводится к минимуму.

Для каждого из 76 основных районов (табл. 1) за каждый месяц с апреля по июль рассчитывались следующие статистические характеристики: средние значения районных осадков (нормы) за периоды с 1905 по 1938 г. (N_1), с 1939 по 1972 г. (N_2), с 1946 по 1967 г. (N_3) и с 1891 по 1972 г. (N); дисперсии районных осадков за те же периоды (σ_1^2 , σ_2^2 , σ_3^2 и σ^2) и коэффициенты вариации

(v_1, v_2, v_3 и v). Последние представляют собой отношения средних квадратических отклонений к норме.

Будем считать, что показателями качества данных о районных осадках прежде всего являются дисперсия и значительно в меньшей степени норма [21].

Сравним отношения дисперсий районных осадков, рассчитанных для каждого административного района по месяцам, за два периода (σ_1^2/σ_2^2). В целях компактности представления материалов в данной статье приведены только средние значения этого отношения для каждой из трех территорий (табл. 3).

Заметим прежде всего, что средние значения σ_1^2/σ_2^2 во всех месяцах на трех территориях больше единицы (исключение составил апрель в Западной Сибири). Следовательно, в раннем периоде дисперсия осадков в общем больше, чем в позднем. Значения отношения дисперсий колеблются, по осредненным данным, от 1,11 до 1,70 с тенденцией увеличения к июлю, когда норма осадков больше. В табл. 3 приведено также число случаев (в процентах от числа районов), когда $\sigma_1^2/\sigma_2^2 > 1$. Этот показатель, повторяемость которого во всех месяцах на трех территориях более 50% (кроме апреля в Западной Сибири), подтверждает вывод о том, что дисперсия районных осадков в первом периоде больше, чем во втором.

Для оценки статистической значимости различий дисперсий за два периода воспользуемся гипотезой о равенстве дисперсий с помощью F — распределения Фишера (см., например, [1]). На ЕТС в апреле отношение σ_1^2/σ_2^2 превышает значение 1,78 в 10 районах, т. е. можно утверждать, что различия дисперсий районных осадков в апреле в 10 районах с вероятностью 95% являются значимыми (табл. 4). В мае на ЕТС различия дисперсий значимы в пяти районах, в июне — в четырех, а в июле — в 13 районах. В Северном Казахстане различия дисперсий значимы в меньшем числе районов, чем на ЕТС. В Западной Сибири различия дисперсий оказались незначимыми в апреле и мае, в июне они значимы в двух, а в июле — в шести (46%) районах. В целом из 304 случаев разности дисперсий за два периода значимы в 52 случаях, т. е. в 17% случаев от их общего числа.

Повторяемость числа значимых отношений дисперсий районных осадков за два периода при условии, что $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$, приведена в табл. 4. В этой же таблице дана повторяемость числа значимых отношений при условии, что $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$, т. е. когда дисперсия районных осадков в раннем периоде меньше, чем в позднем. Нетрудно заметить, что повторяемость последних меньше, чем первых.

Более высокие значения дисперсий районных осадков в раннем периоде могут определяться двумя основными причинами. Первая причина — методическая, она состоит в менее корректном определении средних по площади значений осадков в связи с уменьшением числа метеорологических станций, вторая — в том, что ранний период был более влажным.

Средние значения отношений дисперсий, их повторяемость (%) при значениях, больших единицы, а также разности коэффициентов вариации

	ЕТС							Северный Казахстан							Западная Сибирь						
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	
σ_1^2/σ_2^2	1,39	1,22	1,12	1,71	1,14	1,11	1,33	1,38	0,85	1,12	1,28	1,70	0,85	1,12	1,28	1,70	0,85	1,12	1,28	1,70	
$\sigma_1^2/\sigma_2^2 > 1$	62	59	56	82	54	58	79	75	23	54	77	85	23	54	77	85	23	54	77	85	
v_1-v_2	0,03	0,04	-0,03	0,07	0,08	0,0	0,02	0,08	0,06	0,01	0,07	0,11	0,06	0,01	0,07	0,11	0,06	0,01	0,07	0,11	
σ_2^2/σ_3^2	1,18	1,03	1,01	1,08	1,08	1,22	0,94	1,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\sigma_2^2/\sigma_3^2 > 1$	74	48	42	55	58	54	33	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
v_1-v_3	-0,01	-0,01	-0,01	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Число случаев, когда отношения дисперсий за два периода значимы с вероятностью 95%

	ЕТС n=39							Северный Казахстан n=24							Западная Сибирь n=13						
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	
$\sigma_1^2/\sigma_2^2 (\sigma_1^2 > \sigma_2^2)$	10(26)	5(13)	4(10)	13(33)	2(8)	2(8)	4(17)	4(17)	0	2(8)	4(17)	4(17)	0	0	2(15)	6(46)	0	2(15)	6(46)	6(46)	
$\sigma_2^2/\sigma_1^2 (\sigma_1^2 < \sigma_2^2)$	3(8)	3(8)	2(5)	1(3)	1(4)	3(13)	0	0	2(15)	1(8)	0	0	2(15)	1(8)	0	0	—	—	—	—	
$\sigma_2^2/\sigma_3^2 (\sigma_2^2 > \sigma_3^2)$	0	0	0	0	0	3(12)	0	1(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\sigma_3^2/\sigma_2^2 (\sigma_2^2 < \sigma_3^2)$	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание. В скобках указано число случаев в процентах от возможного их числа на каждой территории; n — число районов.

Остановимся несколько подробнее на второй возможной причине. Известно, что между дисперсией осадков и их многолетней нормой существует вполне определенная зависимость: с увеличением нормы осадков увеличивается дисперсия. Эта зависимость приближается к гиперболической [9]. Корреляцию между нормами и дисперсиями весьма четко иллюстрирует рис. 2, на котором представлена связь между нормами N и дисперсиями σ^2 районных осадков в мае, вычисленных за период с 1891 по 1972 г. для 57 районов ЕТС и Северного Казахстана.

На основании этой зависимости можно полагать, что более высокие значения дисперсий районных осадков в раннем периоде определяются более высокой нормой осадков. Подтверждение этого можно найти, например, на рис. 3, где приведены разности норм и разности средних квадратических отклонений районных осадков в апреле за два периода во всех 76 районах. Легко видеть, что в раннем периоде северные районы рассматриваемой территории были более сухими, чем в позднем периоде, а в южных районах — наоборот. В соответствии с этим в северных районах дисперсия районных осадков в раннем периоде меньше, чем в позднем, а в южных районах больше, чем в позднем. Та-

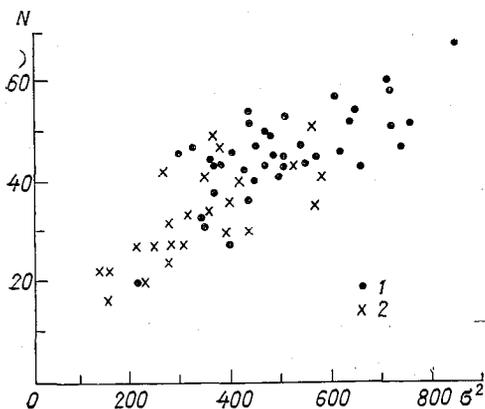


Рис. 2. Зависимость между нормами и дисперсиями районных осадков в мае, вычисленных за период 1891—1972 гг. для 33 районов ЕТС (1) и 24 районов Северного Казахстана (2).

ким образом, подтверждается положение о том, что значения дисперсий тесно связаны со значениями норм районных осадков. Поэтому вместо σ^2 лучше пользоваться σ .

В табл. 5 приведены разности коэффициентов вариации районных осадков для отдельных районов за два периода по месяцам и в среднем за апрель — июль, а также средние значения этих разностей по месяцам для каждой из трех территорий. Судя по последним преобладают положительные разности коэффициентов вариации за ранний и поздний периоды, т. е. и после нормировки вариационность районных осадков в раннем периоде остается более высокой. Исключение составляет июнь на ЕТС, где в поздний период вариационность районных осадков была больше, чем в ранний (разность $v_1 - v_2 = -0,03$). Очевидно, в этом месяце на ЕТС влияние режима общей циркуляции атмосферы на вариации районных осадков перекрыло влияние методических погрешностей их расчета.

Средние разности коэффициентов вариации меняются от -3% (ЕТС, июнь) до $+11\%$ (Западная Сибирь, июль). Для отдельных районов разности коэффициентов вариации за два периода колеблются в больших пределах: от -22 до $+33\%$ (табл. 5). Для оценки значимости разностей коэффициентов вариации воспользуемся формулой расчета ошибки коэффициента вариации, приведенной у Брукса и Карузера [1] для бесвязного ряда,

$$\sigma_v = \frac{v\sqrt{1+v^2}}{\sqrt{2(m-1)}}$$

из которой видно, что σ_v зависит от величины v и длины ряда m .

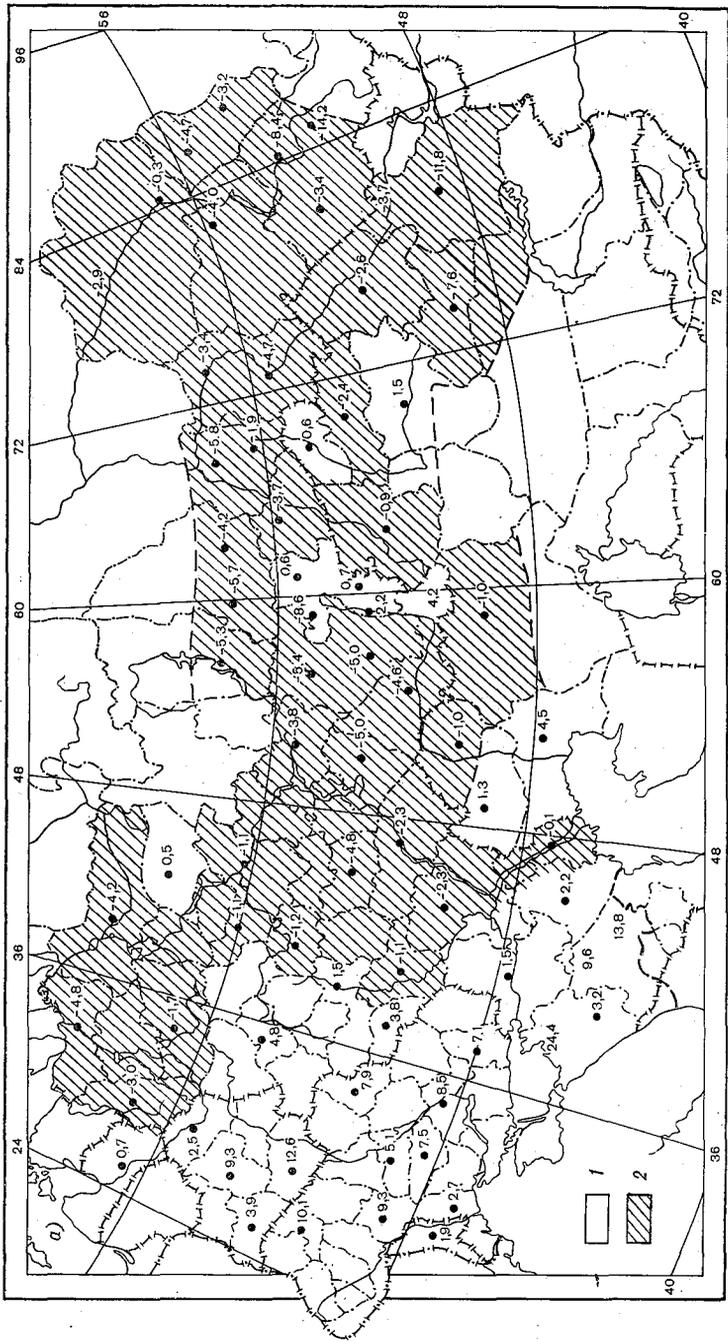
Приведем ошибки расчета коэффициентов вариации для рядов в 34 года:

v	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
σ_v	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13

200022 Будем считать достоверными те различия коэффициентов вариации, которые по абсолютному значению в 2,5 раза превышают ошибку расчета σ_v . В табл. 5 они выделены полужирным шрифтом. Из табл. 5 видно, что число значимых разностей коэффициентов вариации на ЕТС во всех месяцах, кроме июля, невелико (от одного до четырех случаев). Однако в июле на ЕТС разности v_1-v_2 оказались значимыми в 13 случаях (31% общего числа районов, из них в двух $v_1 < v_2$, а в десяти $v_1 > v_2$). В Северном Казахстане в июле разности v_1-v_2 значимы в семи случаях (29%) и в Западной Сибири — в четырех (31%), причем $v_1 > v_2$. Таким образом, можно считать, что в апреле, мае и июне различия коэффициентов вариации за два периода находятся в основном в пределах погрешности расчета, но все же также несколько больше в раннем периоде. В июле различия более существенны, так как v_1-v_2 оказались значимыми в большем числе районов, чем в апреле — июне.

Сравним теперь σ^2 и v районных осадков за два других периода: период с 1946 по 1967 г., названный эталонным, положенный в основу разработок Н. И. Ефремовой, и период с 1939 по 1972 г., названный в данной статье поздним. Поздний период целиком включает в себя эталонный плюс 12 дополнительных лет.

Поскольку общий период составляет 22 года из 34, естественно ожидать, что статистические характеристики двух сравниваемых периодов не будут сильно различаться. Результаты конкретных расчетов это подтвердили (табл. 4). Расчет значимости различий дисперсий районных осадков для отдельных районов за два периода показал, что на ЕТС во все месяцы различия дисперсий незначимы. В Северном Казахстане различия дисперсий значимы (с вероятностью 95%) в трех районах в мае и в одном районе в июле. Однако отношение средних по всем районам дисперсий районных осадков за поздний и эталонный периоды почти во все



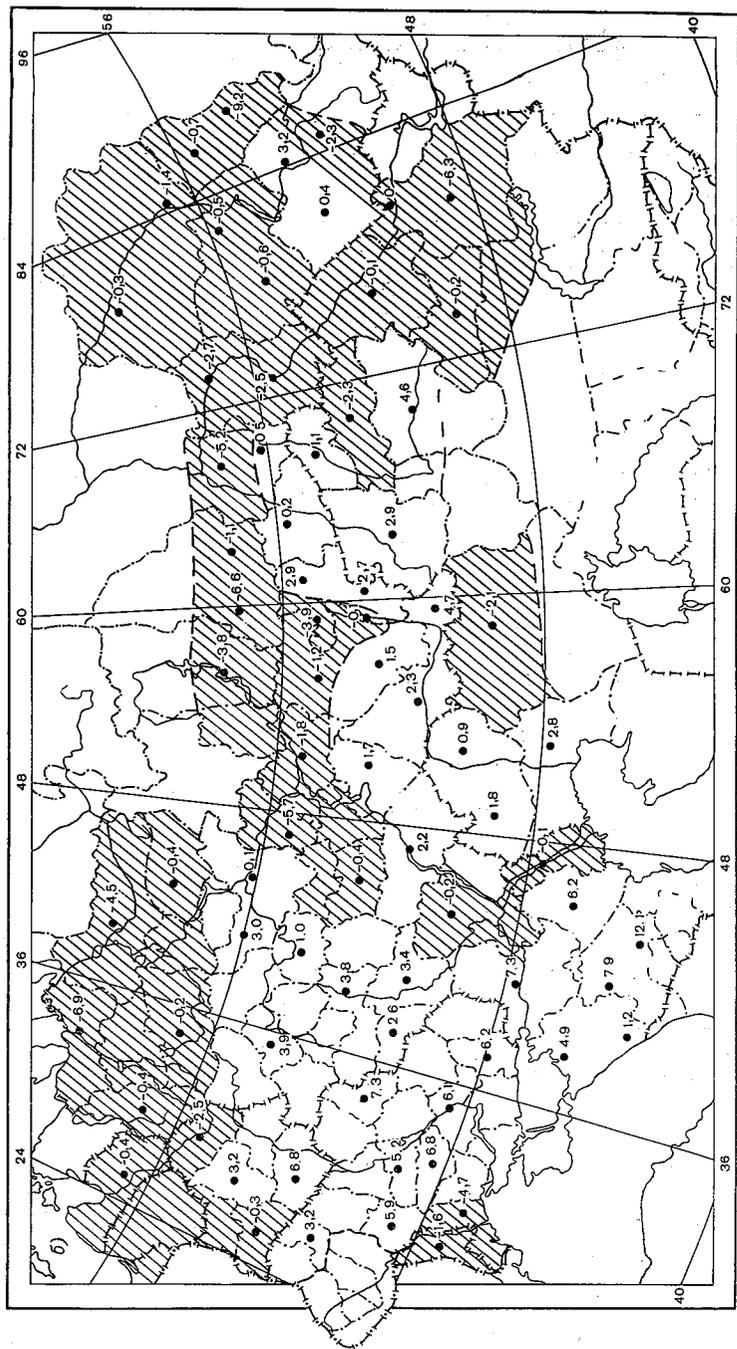


Рис. 3. Разности норм (а) и разности средних квадратических отклонений (б) районных осадков в апреле за периоды 1905—1938 и 1939—1972 гг.

1 — области положительных разностей, 2 — области отрицательных разностей.

Разности коэффициентов вариации районных осадков за периоды
1905—1938 и 1939—1972 гг. (%)

№ п/п	IV	V	VI	VII	Среднее	№ п/п	IV	V	VI	VII	Среднее
1	-0,12	0,09	0,16	-0,16	-0,01	1	-0,04	-0,14	0,04	0,14	0
2	-0,08	0,06	0,03	0,13	0,04	2	-0,11	-0,05	0,05	0,17	-0,01
3	-0,13	0,08	-0,05	0,04	-0,01	3	0,06	-0,02	-0,07	0,03	0
4	-0,09	0,03	0,00	0,13	0,02	4	0,09	0,04	0,10	0,20	0,10
5	0,03	0,13	-0,09	-0,03	0,01	5	0,04	-0,01	0,04	0,12	0,05
6	0,03	0,11	-0,13	0,06	0,03	6	0,12	-0,05	-0,02	0,10	0,04
7	0,07	0,02	-0,15	0,23	0,04	7	0,14	-0,14	0,05	0,05	0,02
8	0,08	0,24	-0,11	0,19	0,10	8	0,18	0,05	0,13	0,20	0,14
9	-0,22	0,05	-0,12	0,26	0,01	9	-0,05	-0,22	-0,02	0,11	-0,04
10	-0,03	-0,01	-0,01	-0,09	-0,04	10	0,11	-0,03	0,01	0,17	0,06
11	0,11	-0,03	-0,01	0,08	0,04	11	0,23	-0,02	0,11	0,11	0,11
12	0,08	0,18	0,02	0,01	0,07	12	0,09	-0,09	0,16	0,07	0,06
13	-0,07	0,06	-0,02	-0,06	-0,02	13	0,08	0,09	0,09	0,18	0,11
14	0,02	0,02	-0,13	0,01	-0,02	14	0,04	0,13	-0,08	0,07	0,04
15	0,12	0,04	-0,10	0,06	0,03	15	-0,04	-0,02	-0,02	0,18	0,01
16	0,09	-0,04	0,01	0,14	0,05	16	-0,09	0,15	0,10	0	0,05
17	-0,05	0,03	-0,01	-0,14	-0,04	17	0,20	0,10	0	0,02	0,08
18	-0,09	0,09	0,09	-0,02	0,00	18	0,03	-0,01	0	0	0
19	0,03	0,08	-0,18	0,02	-0,01	19	-0,05	0,04	-0,02	0,07	0,01
20	-0,01	0,07	-0,01	0,04	0,02	20	0,24	0,13	0,11	0,10	0,14
21	0,11	0,01	-0,12	0,04	0,01	21	0,12	0,04	-0,02	0,09	0,06

ЕТС

№ п/п	IV	V	VI	VII	Среднее	№ п/п	IV	V	VI	VII	Среднее
22	0,01	0,05	-0,02	0,05	0,02	22	0,33	0,15	-0,11	-0,02	0,09
23	0,04	0,19	0,10	0,10	0,11	23	0,20	-0,17	-0,15	-0,01	-0,03
24	0,05	0,05	-0,04	0,06	0,03	24	0,10	0,13	0,10	-0,08	0,06
25	-0,01	0,02	0,07	0,06	0,04	Среднее	0,08	0,0	0,02	0,08	
26	0,04	0,12	-0,13	0,11	0,04	к	3	1	1	7	
27	0,28	0,05	0,12	0,16	0,15	Западная Сибирь					
28	0,01	-0,11	-0,02	0,15	0,01	1	0,05	-0,06	0,07	0,01	0,02
29	-0,01	0,12	0,01	0,04	0,04	2	-0,05	0,04	0,12	0,11	0,05
30	0,22	0,08	0,07	0,12	0,12	3	0,06	0,14	0,23	0,12	0,14
31	0,08	0,05	-0,05	0,12	0,05	4	0,09	0,12	0,02	0,19	0,10
32	0,14	-0,05	-0,01	0,08	0,04	5	0,05	0,13	0,09	0,02	0,07
33	0,02	-0,08	-0,10	0,08	-0,02	6	-0,08	-0,07	0	0,01	-0,04
34	-0,02	0,06	-0,04	0,03	0,01	7	0,14	0,00	-0,06	0,08	0,04
35	-0,08	-0,08	0,03	0,06	-0,02	8	0,33	0,07	0,05	0,10	0,14
36	0,17	0,06	0,02	0,22	0,12	9	0,14	0,02	0,07	0,06	0,07
37	0,06	-0,04	-0,15	0,16	0,01	10	-0,02	-0,06	0,13	0,12	0,04
38	0,14	-0,08	-0,04	0,20	0,05	11	0,01	-0,11	0,11	0,19	0,05
39	0,01	0,00	0,02	0,08	0,03	12	-0,07	0,02	0,08	0,16	0,05
Среднее	0,03	0,04	-0,03	0,07		13	0,11	-0,09	0,02	0,22	0,06
к	3	2	2	13		Среднее	0,06	0,01	0,07	0,11	
						к	1	0	1	4	

21 П р и м е ч а н и е. Значимые разности выделены полужирным шрифтом, *k* — число значимых разностей.

месяцы больше единицы (табл. 3). Превышение над единицей, как правило, невелико и только в апреле на ЕТС и в июне в Северном Казахстане более значительное.

Выше было показано, что ввиду сильной зависимости дисперсии от нормы районных осадков вместо дисперсии лучше пользоваться коэффициентами вариации.

Из табл. 4 видно, что средние значения коэффициентов вариации за поздний и эталонный периоды практически одинаковы, поскольку средние разности коэффициентов вариации не превышают 1%. Это позволяет считать, что поздний период по качеству материала достаточно близок к эталонному.

Общий вывод, который может быть сделан из анализа дисперсий и коэффициентов вариации за разные периоды, можно сформулировать следующим образом: как дисперсии, так и коэффициенты вариации в раннем периоде (1905—1938 г.) несколько больше, чем в позднем (1939—1972 г.). Значимые различия дисперсий за четыре месяца составляют 17% общего числа случаев, значимые разности коэффициентов вариации обнаружены лишь в июле (30% общего числа).

Устойчивость коэффициентов вариации, как более показательной характеристики, позволяет считать, что ряды районных осадков, по крайней мере с 1905 по текущий год, достаточно надежны.

Что касается районных осадков за весь период с 1891 по 1972 г., то о их статистических характеристиках можно судить по средним картам норм, дисперсий и коэффициентов вариации, полученных путем осреднения соответствующих средних месячных значений N , σ^2 , v за апрель—июль. Отметим, что осадки за эти месяцы в значительной мере определяют формирование урожая сельскохозяйственных культур, и потому их изучение особенно важно.

Для построения карт на рис. 4, 5 и 6 использованы данные о районных осадках, помещенные в [19], для всех 104 административных областей в основной сельскохозяйственной зоне СССР. Порядковые номера административных районов в соответствии с [19] указаны на рис. 6. При расчерчивании карт рельеф не учитывался.

При анализе рис. 4, 5 и 6 особое внимание следует обращать на районы, где из-за пропусков наблюдений пришлось использовать интерполированные данные. Интерполяция производилась по картам аномалий осадков, подготовленным в ГГО под руководством В. Я. Шаровой [18]. Число лет с интерполированными значениями осадков для каждого района указано на рис. 6. Большая часть интерполированных данных приходится на последнее десятилетие XIX в. Наибольшее число интерполированных значений содержится в рядах районных осадков Брестской, Ровенской, Волынской и Гродненской областей, а также юга Алтайского края, юга Кемеровской области и Южноуральского горного района.

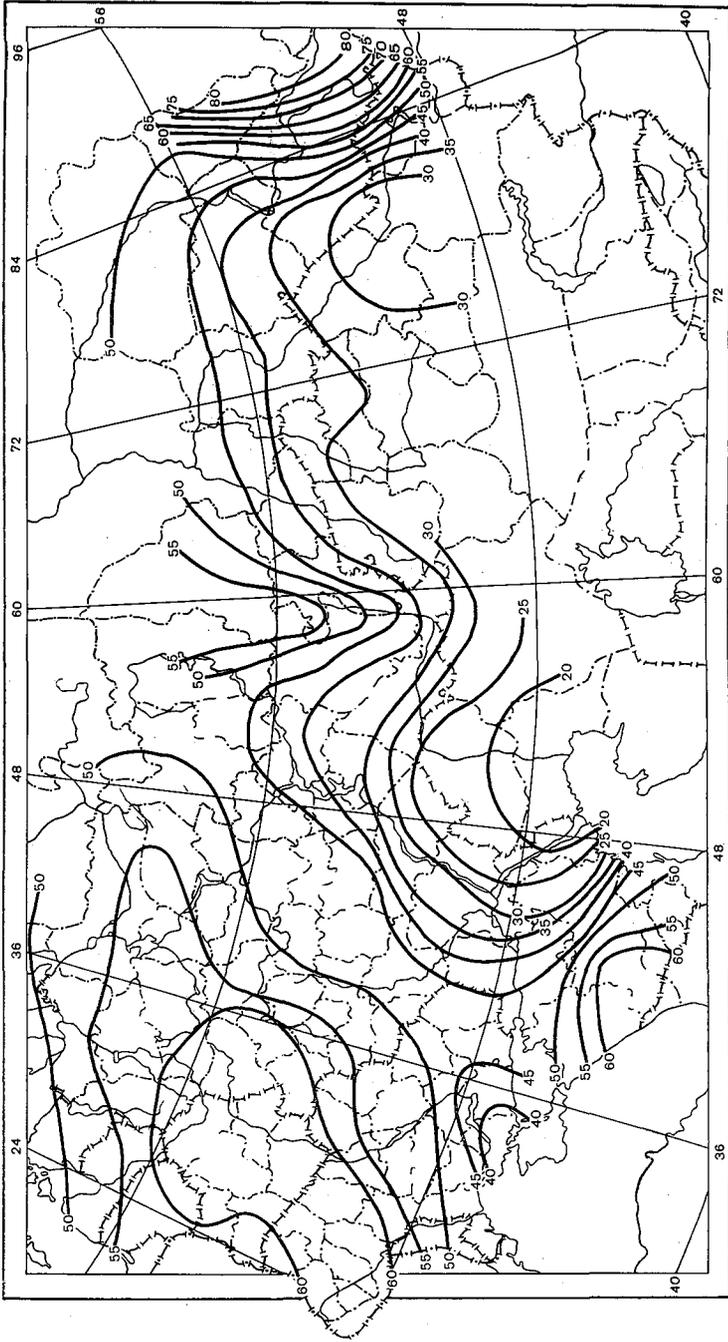


Рис. 4. Средние из четырех месяцев (апрель — июль) норм. районных осадков за период 1891—1972 гг.

При интерполяции [4, 5] имеет место тенденция приближения значения элемента к норме. Надежность и точность интерполированных данных в случае крупных аномалий ниже надежности и точности измеренных значений осадков, даже если они представлены одной станцией на район.

На карте осредненных за четыре месяца норм районных осадков (рис. 4) области с большим числом интерполированных значений ничем не выделяются. Иное дело с дисперсиями. Распределение дисперсий районных осадков на рассматриваемой территории (рис. 5) вообще отличается большой пестротой. Отчасти она обусловлена корреляцией между нормами и дисперсиями: районам повышенных значений дисперсий соответствуют районы с большим количеством выпадающих осадков. Это легко проследить при сопоставлении карт дисперсий и норм (рис. 4 и 5).

Внимательный анализ дисперсий в районах с большим числом интерполированных значений позволяет установить, что дисперсия в этих районах несколько занижена, очевидно, за счет сглаженности карт. В западных районах ЕТС это относится к Брестской и Ровенской областям с наибольшим числом интерполированных данных.

Коэффициенты вариации (рис. 6), характеризующие нормированные дисперсии районных осадков, распределяются по рассматриваемой территории более закономерно. Минимум коэффициентов вариации (около 0,4) отмечается в северо-западных районах ЕТС, а также в Тюменской и Томской областях, максимум — в Прикаспийской низменности и на юге Северного Казахстана. Общая тенденция к увеличению коэффициентов вариации с северо-запада на юго-восток ЕТС подтверждается в работах [2, 12], где приведены карты коэффициентов вариации за теплый период.

Наличие интерполированных значений в рядах осадков на картах коэффициентов вариации за 1891—1972 гг. прослеживается лишь в районе Бреста — Минска, где отмечается некоторое уменьшение этих коэффициентов.

Анализ рис. 5 и 6 позволяет сделать вывод, что при решении задач, в которых требуется большая точность средних по площади осадков, интерполированные значения осадков желательно не использовать. В других задачах, таких, например, как разложение полей по естественным ортогональным функциям, расчет временных и пространственных корреляционных функций, расчет спектров, лучше использовать интерполированные значения, чем ряды с пропусками данных. В большинстве алгоритмов этих задач наличие пропусков учитывается не оптимальным образом, что может привести к неверным и даже абсурдным результатам, как это показано в [17]. Наличие хотя бы интерполированных данных в этих случаях оказывается полезным.

В целом рассмотренные длинные ряды районных осадков могут использоваться в задачах, связанных с выделением крупномасштабных составляющих общей циркуляции атмосферы, колебаниями климата и долгосрочными прогнозами погоды.

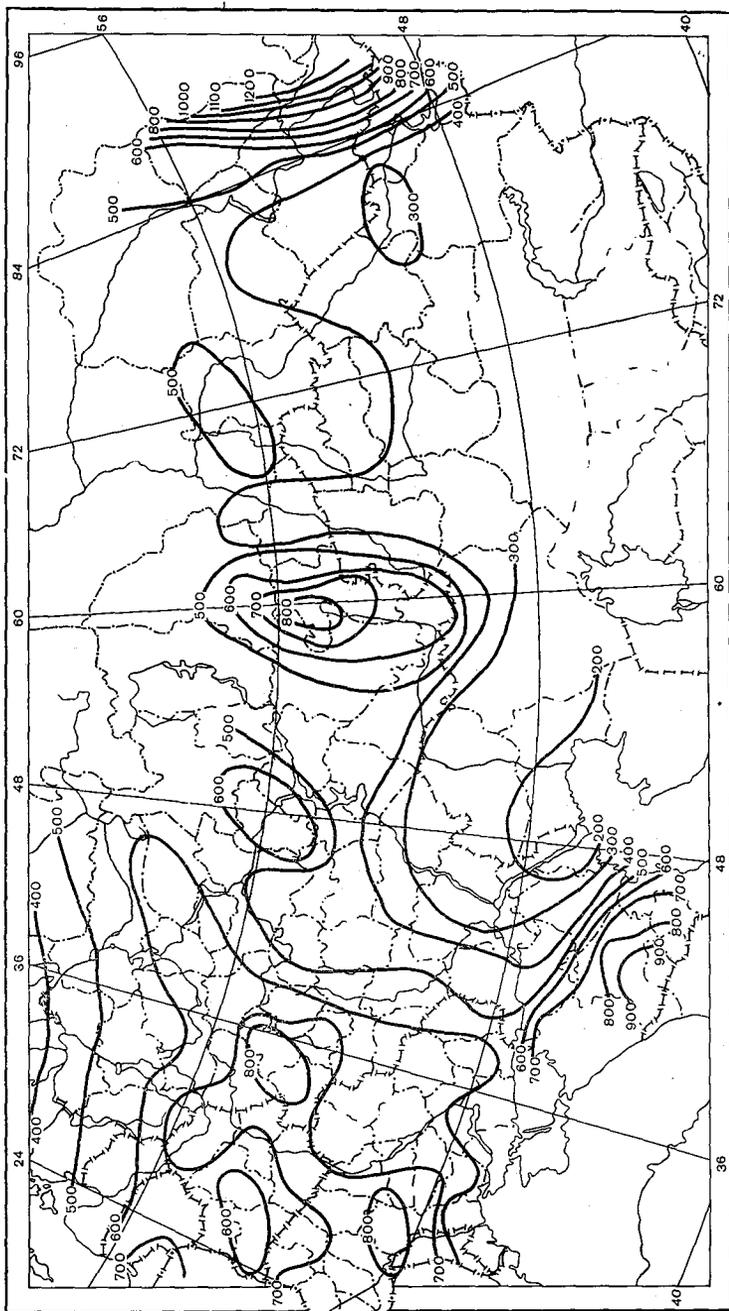


Рис. 5. Средние из четырех месяцев дисперсии районных осадков за период 1891—1972 гг.

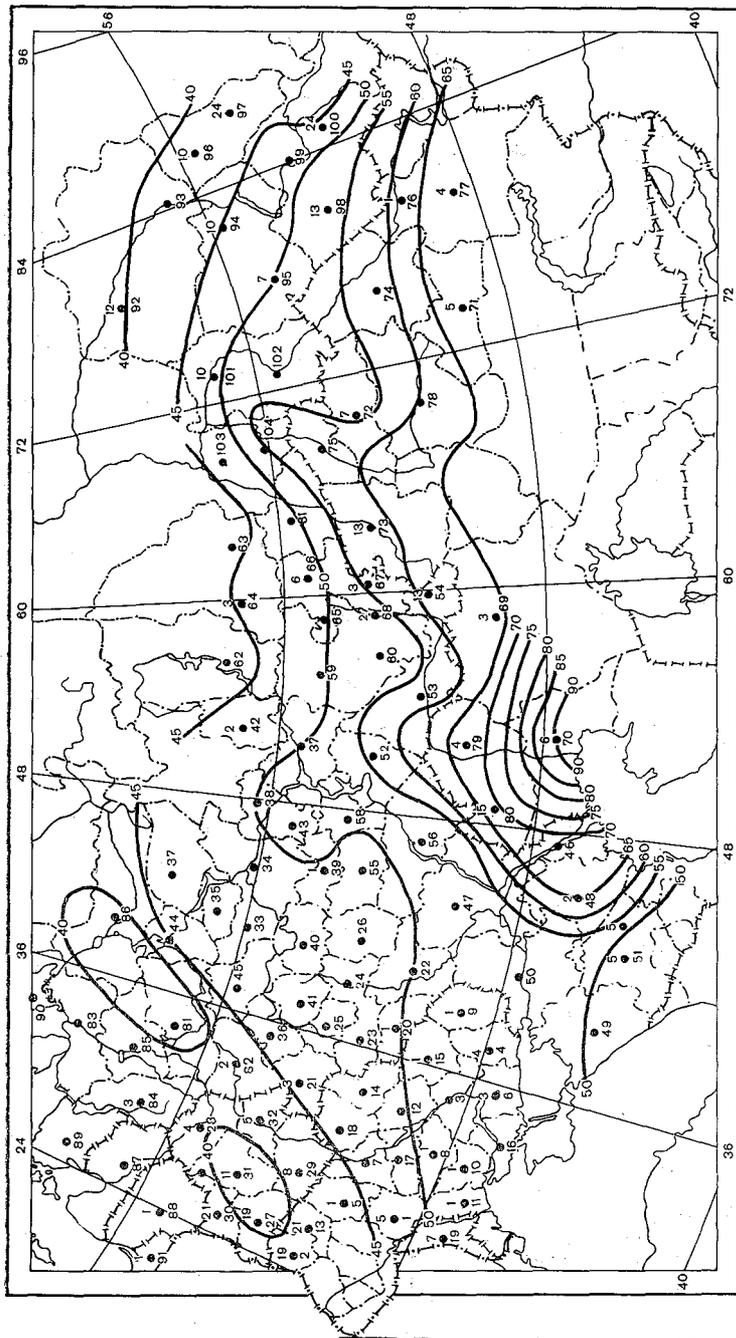


Рис. 6. Средние из четырех месяцев коэффициенты вариации (%) районных осадков за период 1891—1972 гг. При наличии интерполированных данных над геометрическим центром района указано число интерполированных лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеоздат, 1963, 415 с.
2. Батталов Ф. З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л., Гидрометеоздат, 1968, 183 с.
3. Болдырева Н. А. Разложение полей осадков, осредненных по площади, по естественным ортогональным составляющим. См. наст. сб.
4. Гандин Л. С., Каган Р. Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л., Гидрометеоздат, 1976, 358 с.
5. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л., Гидрометеоздат, 1963, 286 с.
6. Гущина М. В., Каган Р. Л., Полищук А. И. О репрезентативности осадкомерных данных.—«Метеорология и гидрология», 1967, № 3, с. 101—106.
7. Гущина М. В., Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения среднего слоя осадков по площади.—«Труды ГГО», 1967, вып. 208, с. 29—63.
8. Дроздов О. А., Шепелевский А. А. Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и ее применение к вопросам метеорологических карт и рационализации сети.—«Труды НИУ ГУГМС», 1946, сер. 1, вып. 13, с. 65—115.
9. Дроздов О. А. Средние месячные и годовые количества осадков. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени д-ра геогр. наук. Вестник ЛГУ, № 7, 1948, с. 105—110.
10. Ефремова Н. И. О точности оценки ежегодных значений месячных сумм атмосферных осадков, осредненных для больших площадей.—«Труды ГГО», 1971, вып. 274, с. 88—103.
11. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Л., Гидрометеоздат, 1976, 112 с.
12. Ефремова Н. И. О некоторых особенностях режима осадков на Европейской территории СССР в связи с колебаниями климата.—«Труды ГГО», 1974, вып. 316, с. 136—149.
13. Каган Р. Л. О точности определения средней по площади по данным точечных измерений.—«Труды ГГО», 1965, вып. 175, с. 117—132.
14. Каган Р. Л. Некоторые вопросы интерпретации осадкомерных данных.—«Труды ГГО», 1967, вып. 208, с. 64—75.
15. Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения средней величины по дискретным данным.—«Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 95—119.
16. Каган Р. Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных.—«Труды ГГО», 1966, вып. 191, с. 22—34.
17. Каган Р. Л., Поляк И. И. О расчете характеристик пространственной корреляции метеорологических полей.—«Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 18—25.
18. Карты месячных и годовых сумм осадков в отношении к многолетним средним северного полушария. Л., Изд. ГГО, 1964.
19. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Л., Гидрометеоздат, 1977, 157 с.
20. Лугина К. М., Мещерская А. В. О пространственной корреляции точечных и осредненных по площади месячных сумм осадков. См. наст. сб.
21. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. К сравнению осадков, осредненных по площади, с осадками отдельных станций. См. наст. сб.
22. Полищук А. И. О статистической структуре летних осадков.—«Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 39—54.

А. В. Мещерская, К. М. Лугина, К. В. Леднева

К СРАВНЕНИЮ ОСАДКОВ, ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ, С ОСАДКАМИ ОТДЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

В связи с формированием архива длинных рядов осадков (1891—1972 гг.), осредненных по площади [5, 7], весьма полезно сравнить некоторые статистические характеристики этих рядов с данными отдельных станций. Это позволяет оценить преимущества осредненных по площади осадков (районных осадков) по сравнению с осадками отдельных станций.

Теоретически преимущества осредненных по площади осадков очевидны [1, 10, 11]. Однако осадки, осредненные по площади на массовом материале и за длинный ряд лет [7], существенно отличаются от осредненных осадков, используемых в теоретических разработках. Отличия состоят в меньшей плотности сети станций, используемых для расчетов районных осадков, разной площади районов, неравномерности расположения станций по территории, нестационарности сети станций во времени, наличии пропусков наблюдений и т. д.

Н. И. Ефремова произвела сравнение точечных и районных осадков для эталонного [9] ряда за период с 1946 по 1967 г. [4, 6] и показала преимущества последних. Так как за ранние годы точность расчета средних несколько ниже, чем для эталонного периода, преимущества районных осадков могли значительно нивелироваться. Поэтому сравнение точечных и районных осадков было целесообразно продолжить на материалах длинных рядов.

В данной статье рассмотрены соотношения норм, дисперсий, коэффициентов вариации и коэффициенты корреляции районных осадков и осадков отдельных станций за весь 82-летний период.

С этой целью были использованы данные о районных осадках, опубликованные в [5, 7], и данные отдельных станций. Для каждого района подбирались по одной станции, имеющей наиболее длинные ряды наблюдений и расположенной по возможности ближе к геометрическому центру района. Последнее условие выполнялось далеко не всегда. На ЕТС удалось подобрать только 18 районов (из 39) с таким расположением станций. Список

Таблица 1

Отношения норм (а), дисперсий (б) и разности коэффициентов вариации (в) осадков на станциях и районных осадков за период с 1891 по 1972 г. (п — число общих лет, за которые есть данные об осадках на станции и по району)

Номер района	Апрель						Май						Июль					
	а		б		п		а		б		п		а		б		п	
	а	б	в	п	а	б	в	п	а	б	в	п	а	б	в	п		
1	1,08	1,61	0,08	82	1,00	1,21	0,05	81	1,09	1,59	0,07	82	1,07	1,69	0,09	82		
2	0,94	1,19	0,08	82	0,99	1,67	0,13	82	1,01	1,54	0,10	70	0,97	1,30	0,07	82		
3	1,01	1,10	0,01	70	—	—	—	—	0,96	1,67	0,09	82	0,91	1,44	0,12	70		
4	0,96	1,39	0,10	76	0,98	1,66	0,12	81	0,97	2,16	0,16	79	0,92	1,30	0,09	78		
5	1,00	1,49	0,12	71	—	—	—	—	—	—	—	—	0,96	1,21	0,07	72		
6	1,05	1,30	0,05	77	1,02	1,66	0,16	79	1,08	1,80	0,11	79	0,99	1,21	0,05	80		
8	0,98	1,32	0,10	80	0,99	1,42	0,11	79	1,00	1,93	0,16	77	1,08	1,77	0,13	78		
9	0,92	1,06	0,06	80	0,84	1,28	0,18	80	0,83	1,35	0,19	81	0,79	1,10	0,20	82		
10	1,02	1,23	0,05	80	1,01	1,59	0,11	80	0,99	1,59	0,12	80	1,01	1,93	0,15	81		
12	1,10	1,61	0,07	81	1,16	2,56	0,19	81	1,11	2,19	0,13	80	1,01	1,02	0,00	79		
13	1,04	1,72	0,14	71	0,92	1,32	0,12	71	—	—	—	—	—	—	—	—		
14	1,01	1,25	0,06	82	1,04	1,30	0,06	79	1,02	1,37	0,07	79	1,06	1,80	0,12	80		
15	1,12	1,44	0,04	71	1,20	2,19	0,13	71	1,05	1,56	0,09	70	1,05	1,56	0,09	71		
19	1,08	1,56	0,06	73	1,03	1,35	0,05	73	1,00	1,54	0,09	73	1,02	1,49	0,06	73		
20	1,04	1,21	0,02	71	1,08	1,59	0,06	72	—	—	—	—	—	—	—	—		
21	1,04	1,30	0,05	80	1,00	1,56	0,10	80	1,06	2,19	0,14	80	0,99	1,25	0,06	79		
23	0,98	1,21	0,07	76	0,96	1,32	0,10	76	1,05	1,85	0,13	76	0,97	1,39	0,09	75		
24	0,94	1,06	0,05	74	0,94	1,21	0,09	73	1,01	1,85	0,14	74	0,95	1,51	0,13	73		
25	0,84	1,72	0,36	78	0,91	1,49	0,20	79	0,84	1,61	0,33	78	0,81	1,42	0,30	77		

ЕТС

Номер района	Апрель						Май						Июль					
	а		б		и		а		б		и		а		б		и	
	а	в	б	в	и	а	в	б	в	и	а	б	в	и	а	б	в	и
26	0,95	2,02	0,24	0,24	80	1,00	1,85	0,21	79	0,93	1,93	0,25	79	0,88	1,74	0,24	72	
29	0,98	2,07	0,22	0,22	80	1,01	1,19	0,04	81	1,00	2,02	0,16	82	0,92	1,51	0,15	81	
30	1,15	2,02	0,13	0,13	82	1,10	1,96	0,15	82	1,16	2,62	0,18	80	1,10	2,37	0,19	80	
31	0,99	2,04	0,21	0,21	75	1,01	1,46	0,09	76	1,05	1,66	0,10	76	1,08	1,69	0,11	74	
33	1,17	1,82	0,08	0,08	80	1,09	1,77	0,09	78	1,11	2,25	0,14	79	1,05	2,10	0,15	80	
34	0,98	1,10	0,06	0,06	77	0,88	1,06	0,08	78	0,92	1,37	0,11	77	0,92	1,39	0,13	77	
35	0,91	0,85	0,01	0,01	80	0,97	1,10	0,05	78	0,98	1,49	0,11	80	0,99	1,44	0,11	81	
36	1,00	1,49	0,12	0,12	74	1,00	1,25	0,06	75	0,89	1,56	0,21	74	0,99	2,25	0,26	74	
37	1,07	1,21	0,01	0,01	78	1,10	1,51	0,06	78	1,00	1,39	0,08	77	1,05	1,88	0,13	77	
38	0,94	1,59	0,18	0,18	81	1,15	1,96	0,13	80	1,16	2,31	0,17	81	1,10	1,44	0,05	82	
39	1,17	2,34	0,16	0,16	80	0,99	1,49	0,12	79	1,01	1,96	0,15	80	0,94	1,88	0,20	80	

Северный Казахстан

1	1,14	1,39	0,02	0,02	82	1,08	1,42	0,04	82	1,00	2,10	0,13	82	1,07	1,93	0,10	82
3	1,08	1,59	0,10	0,10	81	1,07	2,07	0,13	81	1,03	2,25	0,16	81	1,04	2,25	0,15	81
4	1,11	1,12	-0,03	-0,03	73	0,95	1,21	0,08	73	1,00	1,64	0,12	70	—	—	—	—
5	1,11	1,12	-0,03	-0,03	76	1,08	1,35	0,04	74	1,07	1,49	0,06	74	1,18	1,88	0,07	74
7	1,02	1,30	0,09	0,09	80	1,06	1,66	0,12	79	1,03	1,80	0,12	79	1,12	2,04	0,11	75
11	1,01	2,13	0,25	0,25	81	0,99	1,61	0,15	82	0,98	1,64	0,16	82	0,95	1,77	0,21	82
13	1,05	1,61	0,14	0,14	73	0,99	1,46	0,15	76	0,92	1,10	0,09	74	1,21	2,34	0,17	77
15	0,99	1,23	0,10	0,10	74	0,96	1,06	0,05	74	1,03	1,30	0,10	74	1,05	1,46	0,16	74
18	1,09	1,66	0,13	0,13	71	1,07	1,54	0,09	70	0,97	1,46	0,03	71	—	—	—	—
20	1,08	1,49	0,08	0,08	78	1,02	1,56	0,12	79	0,91	1,19	0,05	79	1,13	1,88	0,13	78
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,28	1,80	0,02	71
23	1,16	1,30	-0,02	-0,02	76	1,08	1,74	0,12	75	1,04	1,44	0,08	75	1,03	1,61	0,12	73
24	0,89	1,08	0,12	0,12	77	0,91	0,85	0,01	78	0,95	1,17	0,09	75	0,92	0,98	0,05	75

станций, соответствующих определенному району, и карта положения станций и центров районов приведены в [9].

Можно указать на два основных недостатка данных об осадках отдельных станций (для краткости эти осадки будем в дальнейшем называть точечными). Первый недостаток — отсутствие наблюдений за осадками в конце XIX — начале XX в. на обширных территориях, а также наличие многочисленных пропусков наблюдений на имеющихся станциях. Второй недостаток носит сугубо

Таблица 2

Средние отношения норм N_T/N_p и дисперсий σ_T^2/σ_p^2 , а также разности коэффициентов вариации Δv точечных и районных осадков за период 1891—1972 гг.

	ЕТС				Северный Казахстан			
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
N_T/N_p	1,01	1,01	1,00	0,98	1,05	1,02	1,01	1,07
m %	10	11	11	7	—	—	—	27
σ_T^2/σ_p^2 эмпирическое	1,48	1,53	1,79	1,58	1,42	1,48	1,55	1,81
	теоретическое	1,39	1,59	1,70	1,70	1,35	1,33	1,64
K %	47	57	85	61	42	58	58	91
Δv	0,10	0,11	0,14	0,13	0,08	0,09	0,10	0,12
n	30	28	27	28	12	12	12	11

Примечание. m — число рядов, когда разности норм точечных и районных осадков составляют более 15% средней многолетней нормы районных осадков; K — число рядов, когда различия дисперсий точечных и районных осадков значимы; $\sigma_T^2/\sigma_p^2 > 1,45$ с вероятностью 95%; n — общее число рядов.

частный характер. Дело в том, что вследствие ограниченного числа станций с длинными рядами наблюдений отобранные станции, как правило, входили и в то число станций, по которым рассчитывались районные осадки. В результате этого данные районных осадков и данные отдельных станций не являлись полностью независимыми.

Этот недостаток присущ и другим аналогичным работам [6]. Вследствие ограниченности исходных данных, особенно в ранние годы, ликвидировать его трудно.

Перейдем к анализу результатов расчетов. Сравним нормы, дисперсии и коэффициенты вариации точечных и районных осадков, вычисленные за период 1891—1972 гг. (табл. 1 и 2). В табл. 1 приведены отношения норм, дисперсий и коэффициентов вариации точечных и районных осадков для каждой административной области. В табл. 2 даны средние месячные характеристики, рассчитанные на основании табл. 1. Отметим, что при расчете табл. 1

использовались только те ряды данных, в которых число общих лет наблюдений на станции и по району было не менее 70. В апреле, мае, июне и июле на ЕТС таких рядов удалось найти соответственно 30, 28, 27 и 28, в Северном Казахстане их намного меньше: 12, 12, 12 и 11.

Рассмотрим разности норм точечных и районных осадков в процентах от норм районных осадков для каждой административной области.

Согласно работе [2], примем, что средняя случайная ошибка расчета нормы составляет 5%. Тогда, следуя правилу трех сигм, будем считать, что наибольшая случайная ошибка расчета нормы не должна превышать 15%. В табл. 1 выделены полужирным шрифтом те отношения норм точечных и районных осадков, которые соответствуют разностям норм точечных и районных осадков, превышающим 15% нормы районных осадков. В табл. 2 приведено число рядов m , удовлетворяющих этому условию. В апреле на ЕТС их было 10%, в мае 11%, в июне 11% и в июле 7%. В Северном Казахстане в июле таких рядов обнаружено 27%, а в остальных месяцах разности норм точечных и районных осадков составили менее 15% нормы. В целом по этому критерию в 14 случаях из 160 разности норм значимы.

Значимость различий норм точечных и районных осадков проверялась также с помощью t -распределения Стьюдента (см., например, [12]). При этом оказалось, что даже при 10%-ном уровне значимости критерий t мягче, чем принятые нами 15% нормы. При 10%-ном уровне значимости, соответствующем условию, при котором $t > 1,687$, только в 3 случаях из 160 различия норм точечных и районных осадков достоверны (табл. 1).

Практически можно считать, что по данным отдельных административных областей различия норм точечных и районных осадков не противоречат гипотезе о равенстве средних.

Средние по всем рядам одного месяца нормы точечных N_T и районных N_p осадков также различаются мало (табл. 2). Среднее значение отношения N_T/N_p во многих месяцах, кроме июля на ЕТС, чуть больше единицы. Это значит, что многолетние нормы, определяемые по данным одной станции, несколько завышены по сравнению с многолетними нормами осадков, осредненных по площади. Это различие оказалось несколько более заметным в Северном Казахстане.

Обратимся теперь к анализу дисперсий точечных и районных осадков.

Различия дисперсий точечных σ_T^2 и районных σ_p^2 осадков значительно больше, чем норм.

Согласно критерию Фишера при длине ряда в 80 лет различия дисперсий значимы при 5%-ном уровне значимости, если отношение $\sigma_T^2/\sigma_p^2 > 1,45$. Этому условию удовлетворяют 99 случаев из 160 (табл. 1), т. е. 62% всех случаев.

Число случаев (в процентах от возможного), когда различия дисперсий точечных и районных осадков значимы, меняется от 42 до 91% для разных месяцев и разных территорий (табл. 2).

Напомним [9], что при анализе различий дисперсий районных осадков за два 34-летних периода различия дисперсий оказались значимыми только в 17% случаев (при 5%-ном уровне значимости). Согласно табл. 1 и 2 можно считать, что гипотеза о равенстве дисперсий длинных рядов точечных и районных осадков в большинстве административных районов не подтверждается. Ранее по материалам коротких рядов Н. И. Ефремова также пришла к выводу о неслучайности различий дисперсий точечных и районных осадков в ряде административных районов [5].

Из анализа табл. 1 и 2 следует еще один достаточно очевидный вывод: дисперсии точечных осадков больше дисперсий районных осадков.

Средние отношения σ_T^2/σ_P^2 значительно превышают единицу и колеблются от 1,42 до 1,81 (табл. 2). В подавляющем большинстве случаев отношения σ_T^2/σ_P^2 остаются больше единицы и для отдельных административных районов (табл. 1). Это доказывает, что длинные ряды районных осадков имеют довольно высокую надежность и безусловное преимущество перед рядами точечных осадков. Лишь в трех случаях из 160 отношение σ_T^2/σ_P^2 оказалось несколько меньше единицы (до 0,85). Причина этого неясна, однако вряд ли она связана с меньшей точностью расчета средних по площади осадков за ранние годы. По данным работы [4], рассчитанное по эталонному ряду с 1946 по 1967 г. отношение σ_T^2/σ_P^2 в 10 случаях из 216 также меньше единицы (до 0,67).

В табл. 2 наряду с эмпирическими значениями отношения σ_T^2/σ_P^2 приводятся также его теоретические значения, рассчитанные на основании приведенных в работе А. И. Полищук и Р. Л. Кагана [10] данных. Следует иметь в виду, что теоретические оценки относятся к площадям квадратной формы, при этом предполагается, что осреднение сделано по очень большому числу станций. В реальных условиях осредненные значения получались по площадям произвольной формы, причем иногда осреднение производилось по весьма ограниченному числу станций.

При оценке теоретических значений дисперсий и коэффициентов взаимной корреляции осредненных и точечных сумм осадков предполагалось, что средняя площадь рассмотренных районов ЕТС составляет около 30 тыс. км² [4], что соответствует стороне квадрата $l \approx 170$ км; для Казахстана площадь составляет в среднем около 70 тыс. км² ($l \approx 260$ км). Зная l и радиусы корреляции ρ_0 (используем экспоненциальную аппроксимацию, приведенную в [8]), нетрудно получить значения $\beta = l/\rho_0$ и $k = \rho/l$, которые являются входными параметрами таблиц, помещенных в [10]. Поскольку в [10] не учитывалось наличие ошибок наблюдений, нами для сравнимости вводились соответствующие поправки. С этой целью

теоретические значения отношения дисперсий умножались на величину

$$(1 + \eta_r^2)/(1 + \eta_t^2),$$

где η_r^2 и η_t^2 — соответственно меры ошибок наблюдения районных и точечных осадков [8].

Из табл. 2 видно, что фактическое уменьшение дисперсии сумм осадков при осреднении неплохо согласуется с теоретическими оценками. Различия между ними на ЕТС для всех рассмотренных месяцев меньше 10%. Для территории Казахстана различия между теоретическими и эмпирическими оценками отношений дисперсий точечных и районных осадков несколько больше, особенно в июле.

Таблица 3

Фактические и теоретические оценки коэффициентов взаимной корреляции точечных и районных осадков

	ЕТС				Северный Казахстан			
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
Эмпирическая оценка . .	0,84	0,82	0,78	0,78	0,83	0,82	0,79	0,81
Теоретическая оценка . .	0,84	0,74	0,74	0,75	0,74	0,75	0,67	0,73

Наконец, различия коэффициентов вариации [9] точечных (v_t) и районных (v_r) осадков также оказались существенными. Средние разности коэффициентов вариации точечных и районных осадков (табл. 1 и 2) колеблются от 0,08 до 0,14. Такие разности приходится признавать значимыми, так как они превосходят утроенные ошибки расчета коэффициентов вариации. Последние детально рассмотрены в статье [9]. При характерных значениях коэффициента вариации от 0,4 до 0,6 и длине рядов в 80 лет ошибка расчета коэффициентов вариации составляет 1—2%, а утроенная ошибка 3—6%. Таким образом, даже утроенные ошибки коэффициентов вариации меньше средних разностей коэффициентов вариации точечных и районных осадков.

Остановимся теперь на анализе коэффициентов корреляции между точечными и районными осадками. Коэффициенты корреляции рассчитывались по программе В. П. Таракановой, предусматривающей возможность пропусков наблюдений в рядах данных. При этом для каждой пары рядов нормы и дисперсии вычислялись только по тем годам, за которые имелись данные в обоих рядах. Это обеспечило полную сравнимость результатов.

Средние значения коэффициентов корреляции \bar{r} между точечными и районными осадками, рассчитанные за весь ряд, довольно велики (табл. 3). Для ЕТС \bar{r} оказалось равным в апреле 0,84, в мае 0,82, в июне и июле 0,78. В Северном Казахстане \bar{r} мало

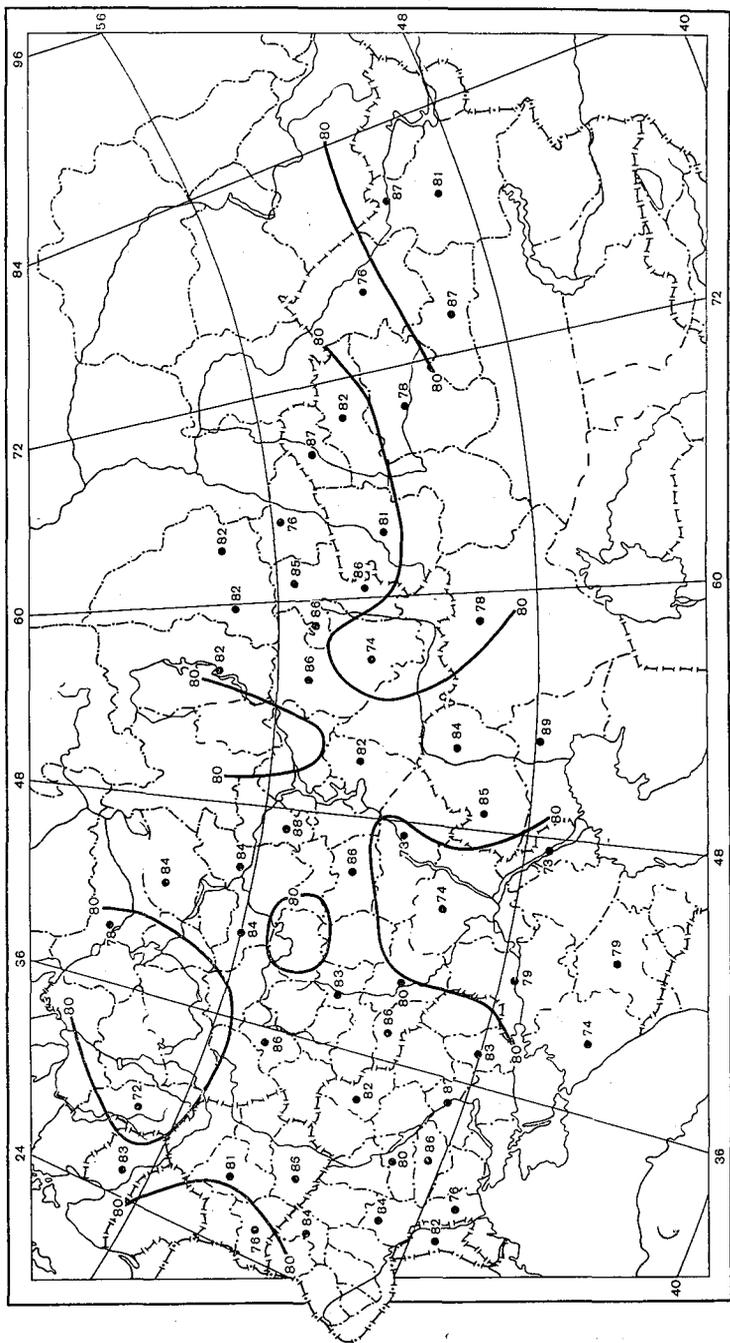


Рис. 1. Средние из четырех месяцев (апрель — июль) коэффициенты корреляции (%) между точечными и районными осадками для ЕТС и Северного Казахстана, вычисленные за период с 1891 по 1972 г.

отличается от \bar{r} для ЕТС и составляет соответственно 0,83; 0,82; 0,79 и 0,81. В Северном Казахстане и еще более на ЕТС коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками заметно уменьшаются от апреля к летним месяцам по мере увеличения доли ливневых осадков. Коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками довольно устойчивы и мало зависят от географического положения района. Об этом можно судить по рис. 1, где приведены средние из четырех месяцев (апрель — июль) коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками для ЕТС и Северного Казахстана, вычисленные за период 1891—1972 гг.

Приведенные в табл. 3 коэффициенты корреляции значительно выше, чем полученные Н. И. Ефремовой. Для 22-летнего ряда (1946—1967 гг.) за май средний коэффициент корреляции между точечными и районными осадками равен для ЕТС 0,68 [4] вместо 0,82 по нашим расчетам.

Причины различий коэффициентов корреляции могут быть связаны, во-первых, с разной длиной рядов, использованных в данной работе и в [4], и, во-вторых, с разной точностью расчета средних по площади значений осадков. Для выяснения причин расхождений наряду с расчетами по длинным рядам были вычислены коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками за два коротких 34-летних периода с 1891 по 1924 и с 1938 по 1972 гг. Районные осадки за второй период, как было показано в [9], близки по своим статистическим характеристикам к районным осадкам за период 1946—1967 гг., использованный в [4].

Анализ расчетов показал, что средние абсолютные значения коэффициентов корреляции между точечными и районными осадками за длинный период и за короткие периоды почти не отличаются, оставаясь близкими к 0,8. Можно было ожидать, что в раннем периоде \bar{r} между точечными и районными осадками будет больше, чем в позднем, так как в раннем периоде осреднение проводилось по меньшему числу станций. Однако средняя разность коэффициентов корреляции между точечными и районными осадками оказалась равной всего лишь 0,02, т. е. практически коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками за эти два периода не отличаются.

По эмпирическим данным оказалось несущественным также и положение выбранной станции относительно геометрического центра района. Для доказательства этого все районы ЕТС были разбиты на два класса. В первый из них вошли 18 районов, в которых станции расположены близко к геометрическому центру, а во второй класс все остальные районы. Коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками для этих двух классов практически не различаются.

Таким образом, причина расхождений средних коэффициентов корреляции между точечными и районными осадками по нашим данным и результатам работы [4] остается неясной. Правда,

сравнение можно было сделать только для ЕТС и за один месяц, для которого имеются расчеты по короткому ряду [4].

Однако довольно высокие коэффициенты корреляции между точечными и районными осадками, когда дело касается сумм осадков за месяц, подтверждаются теоретическими работами Р. Л. Кагана и А. И. Полищук [11]. В табл. 3 приводятся осредненные для каждого месяца коэффициенты взаимной корреляции точечных и районных осадков, рассчитанные по эмпирическим данным, и их теоретические значения, заимствованные из работы [10]. Для сравнимости эмпирических и теоретических оценок значения последних поделены на величину

$$\sqrt{(1 + \eta_p)(1 + \eta_r^2)}.$$

Из таблицы видно, что фактические значения коэффициентов взаимной корреляции несколько выше теоретических. Последнее подтверждается также заметным различием между фактическими пространственными корреляционными функциями сумм районных осадков и их теоретическими оценками [8]. Это показывает целесообразность эмпирического исследования структуры фоновых осадков, которая может в дальнейшем дать дополнительный материал для уточнения соответствующих теоретических оценок.

Кроме коэффициентов корреляции между точечными и районными осадками рассчитывались коэффициенты корреляции осадков данного района и всех окружающих и осадков данной станции и всех окружающих станций. Такая проработка позволяет проследить еще с одной стороны преимущества осредненных по площади осадков. Кроме того, она полезна для выбора плотности (числа) районов, используемых в той или иной практической задаче. Напомним, что обсуждаемые в данной статье результаты получены по материалам осадков всех районов Северного Казахстана и разреженных районов ЕТС, используемых в физико-статистическом методе долгосрочных прогнозов [13].

Расчеты коэффициентов корреляции производились для длинных (1891—1972 гг.) рядов за апрель. Из анализа исключались районы, расположенные на периферии рассматриваемых территорий, где число окружающих районов меньше.

По длинному ряду средний коэффициент корреляции между осадками данного и окружающих районов оказался равным для ЕТС 0,63, для Северного Казахстана 0,59; по короткому ряду средний коэффициент корреляции равен 0,59 для ЕТС и 0,63 для Северного Казахстана (табл. 4). Учитывая, что удвоенная ошибка расчета коэффициентов корреляции по длинному ряду равна 0,14, а по короткому 0,22, можно считать, что колебания значений коэффициентов корреляции за длинный и короткий периоды и для двух территорий находятся в пределах ошибок расчетов.

По результатам работы [6], средний коэффициент корреляции между осадками данного и прилегающих районов в мае на ЕТС равен около 0,7, т. е. выше, чем по нашим расчетам для апреля.

В небольшой мере эти различия связаны с использованием данных за разные месяцы: май — по нашим данным и апрель — по данным работы [6]. Но главная причина заключается в том, что нами использована разреженная сеть районов, что обусловило большие расстояния между данными и окружающими районами на ЕТС.

Представляется, что коэффициент корреляции осадков в соседних районах, равный в среднем 0,6, вполне достаточен с точки зрения репрезентативности, в том числе для разложения по естественным ортогональным функциям, используемым в прогнозе. Поэтому разрежение районов вполне целесообразно тем более,

Таблица 4

Средние коэффициенты корреляции между осадками данного и окружающих районов (а) и между осадками данной и окружающих станций (б) в апреле

Коэффициенты	ЕТС (n=17)		Северный Казахстан (n=9)	
	1891—1972	1938—1972	1891—1972	1938—1972
а	0,63	0,57	0,59	0,63
б	0,47	0,47	0,49	0,56
а—б	0,16	0,12	0,10	0,07

что при этом достигается примерно одинаковый уровень корреляции между осадками соседних районов как для ЕТС, так и для Северного Казахстана, где за счет большей доли ливневых осадков и большей площади районов коэффициент корреляции между осадками соседних районов меньше. Слишком высокая корреляция осадков соседних районов может даже отрицательно сказаться на результатах разложения по естественным ортогональным функциям [3], нарушая положительную определенность матриц.

В табл. 4 представлены также средние коэффициенты корреляции между осадками данной и окружающих станций. Они близки к 0,5 и, следовательно, меньше, чем для районных осадков (около 0,6). Таким образом, осреднение осадков по площади действительно привело к увеличению пространственной корреляции на ближайших расстояниях. Вопросы пространственной корреляции точечных и районных осадков подробно рассмотрены в статье [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гущина М. В., Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения среднего слоя осадков по площади.—«Труды ГГО», 1967, вып. 208, с. 49—66.
2. Дроздов О. А., Шарова В. Я., Швер Ц. А. К вопросу вычисления среднего многолетнего количества осадков.—«Труды ГГО», 1963, вып. 148, с. 98—115.

3. Естественные составляющие метеорологических полей. Под ред. проф. М. И. Юдина. Л., Гидрометеиздат, 1970, 199 с.
4. Ефремова Н. И. О пространственной статистической структуре атмосферных осадков, осредненных по большим площадям.—«Труды ГГО», 1970, вып. 258, с. 88—109.
5. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Л., Гидрометеиздат, 1970, 112 с.
6. Ефремова Н. И. О методике вычисления ежегодных значений месячных сумм атмосферных осадков, средних для больших площадей.—«Труды ГГО», 1974, вып. 316, с. 160—178.
7. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР. Л., Гидрометеиздат, 1977, 157 с.
8. Лугина К. М., Мещерская А. В. О пространственной корреляции точечных и осредненных по площади месячных сумм осадков. См. наст. сб.
9. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
10. Полищук А. И., Каган Р. Л. О статистической структуре осредненных значений метеорологических элементов.—«Труды ГГО», 1966, вып. 191, с. 91—121.
11. Полищук А. И. О статистической структуре летних осадков.—«Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 39—54.
12. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959, 433 с.
13. Юдин М. И., Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Характеристика гидродинамической информации, используемой при долгосрочном физико-статистическом прогнозе температуры и осадков для районов недостаточного увлажнения.—«Труды ГГО», 1969, вып. 236, с. 45—63.

К. М. Лугина, А. В. Мещерская

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ТОЧЕЧНЫХ И ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ МЕСЯЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ

1. В последние годы исследованию статистической структуры поля осадков уделяется значительное внимание в работах как теоретического, так и прикладного характера. Эти работы показали, что данные об осадках в отдельных пунктах характеризуются большой пространственной изменчивостью, при этом на макромасштабную изменчивость поля осадков накладывается изменчивость за счет ошибок, связанных с несовершенством методики измерения, а также за счет различий в деятельности поверхности (рельеф, шероховатость, тепловые свойства поверхности и т. д.). Вклад последней существенно повышается с увеличением расстояния между станциями и, как показано в [3, 10], при расстояниях порядка сотен километров соответствующие значения меры ошибок наблюдения могут достигать 0,3—0,5 и более.

Поскольку для целей долгосрочного прогноза, исследований колебаний климата и многих задач агрометеорологии и гидрологии наибольший интерес представляет выявление связей фоновых характеристик и желательное исключение влияния мелкомасштабной изменчивости, естественно использовать вместо точечных сумм осадков или наряду с ними должным образом осредненные по площади суммы осадков [12, 13].

В связи с широким использованием осредненных по площади осадков желательнее иметь представление об их пространственной статистической структуре. В теоретическом плане вопросы статистической структуры осредненных по площади величин рассматриваются в работе А. И. Полищук и Р. Л. Кагана [11], в которой показаны способы перехода от корреляционной функции точечных к корреляционной функции осредненных по площади значений.

Применение полученных в этой работе результатов осложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, эти результаты относятся к площадям квадратной формы, что далеко не всегда удов-

летворительно согласуется с реальными границами административных и географических районов. Впрочем, как указано в последующих работах этих авторов (см., например, [7]), влияние формы области оказывается существенным лишь при большой вытянутости ее. Во-вторых, в работе [11] не учитывается влияние ошибок наблюдений и микроклиматической неоднородности, уменьшение которых является одной из основных целей пространственного осреднения.

Кроме того, в указанных выше работах предполагалось, что пространственное осреднение выполнено точно, для чего необходимо было бы пользоваться данными наблюдений в очень большом числе пунктов, что практически не соблюдается при реальном осреднении результатов наблюдений.

Разумеется, разработанная в [7, 11] теория может быть обобщена таким образом, чтобы учесть указанные выше обстоятельства. Наряду с этим представляется полезным непосредственное исследование статистической структуры метеорологических полей на фактическом материале. Существенным вкладом в этом направлении явились работы Н. И. Ефремовой [3, 4], в которых исследовалась статистическая структура районных осадков для 89 районов Европейской территории Союза и прилегающих районов Северного Казахстана. Расчеты выполнены для 22-летнего периода с 1946 по 1967 г. Большинство из рассматриваемых районов представляет собой административные области. Некоторые из этих областей с резко различающимися физико-географическими условиями были разделены на два района.

В этих работах было показано, что районные осадки характеризуются несколько большим масштабом пространственной корреляции и значительно меньшими ошибками наблюдений.

Подготовленный под руководством Н. И. Ефремовой архив данных [4] о районных осадках нашел широкое применение при разработке методики физико-статистического долгосрочного прогноза поля осадков [12, 13].

В настоящее время в связи с расширением области прогноза и совершенствованием его методики возникла необходимость в пополнении рядов районных осадков как за счет привлечения данных за более ранние периоды, так и за счет использования данных за последние годы и в других географических районах. Представлялось поэтому целесообразным на основе длинных рядов районных осадков провести исследование их статистической структуры, чтобы выяснить возможности уточнения сведений о пространственной изменчивости этих полей и детализации их по различным географическим районам и периодам времени. Некоторые результаты этих проработок приведены ниже.

2. Для расчета характеристик пространственной статистической структуры использованы данные об осредненных по районам месячных суммах осадков по 39 районам ЕТС, 24 районам Северного Казахстана и 13 районам Западной Сибири за период

Корреляционные функции районных осадков

р км	Число пар станций N_p	Апрель		Май		Июнь		Июль		Апрель—июль	
		r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	ΣN_p	$r_{ср}$
Европейская территория Советского Союза											
125	4	0,77	0,06	0,68	0,13	0,64	0,17	0,70	0,13	16	0,70
175	7	0,69	0,08	0,67	0,12	0,64	0,07	0,61	0,10	28	0,65
225	21	0,68	0,10	0,66	0,09	0,63	0,07	0,60	0,12	84	0,64
275	18	0,60	0,09	0,54	0,10	0,48	0,12	0,54	0,08	72	0,54
325	24	0,58	0,07	0,59	0,09	0,53	0,10	0,53	0,08	96	0,56
375	17	0,48	0,13	0,49	0,14	0,46	0,10	0,44	0,12	68	0,47
425	25	0,50	0,12	0,45	0,09	0,41	0,10	0,39	0,10	100	0,44
475	25	0,43	0,11	0,42	0,11	0,41	0,09	0,37	0,12	100	0,41
550	54	0,37	0,13	0,33	0,11	0,32	0,11	0,30	0,11	216	0,33
650	59	0,31	0,12	0,29	0,11	0,24	0,14	0,23	0,12	236	0,27
750	69	0,28	0,14	0,23	0,12	0,20	0,11	0,19	0,12	276	0,22
850	53	0,22	0,12	0,19	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	212	0,17
1050	174	0,14	0,13	0,11	0,11	0,07	0,12	0,05	0,13	696	0,09
1300	100	0,06	0,10	0,02	0,11	0,01	0,13	-0,03	0,13	400	0,01
500	57	0,00	0,10	-0,04	0,12	-0,02	0,12	-0,05	0,13	228	-0,03
\bar{f} мм		32,7		45,7		60,4		63,3		—	—
$\bar{\sigma}$ мм		17,2		22,6		26,4		29,2		—	—
$r(0)$		0,94		0,94		0,92		0,92		—	0,93
ρ_0 км		620		550		520		500		—	530
η^2		0,07		0,07		0,10		0,10		—	0,08

Северный Казахстан, Западная Сибирь

125	2	0,62	0,03	0,57	0,19	0,57	0,03	0,64	0,06	8	0,60
175	11	0,64	0,13	0,67	0,12	0,61	0,14	0,65	0,14	44	0,64
225	15	0,59	0,11	0,62	0,13	0,54	0,09	0,60	0,10	60	0,59
275	23	0,59	0,12	0,55	0,11	0,48	0,12	0,54	0,10	92	0,54
325	20	0,56	0,11	0,53	0,14	0,48	0,13	0,53	0,12	80	0,53
375	22	0,54	0,12	0,46	0,13	0,41	0,14	0,47	0,10	88	0,47
425	20	0,48	0,13	0,48	0,11	0,45	0,11	0,46	0,13	80	0,46
475	24	0,43	0,11	0,37	0,14	0,37	0,14	0,42	0,11	96	0,40
550	45	0,44	0,12	0,38	0,13	0,31	0,15	0,35	0,11	180	0,37
650	48	0,38	0,14	0,33	0,16	0,25	0,14	0,28	0,11	192	0,31
750	41	0,34	0,12	0,27	0,15	0,24	0,15	0,25	0,11	164	0,28
850	52	0,32	0,13	0,23	0,14	0,20	0,11	0,21	0,12	208	0,24

r км	Число пар станций N_p	Апрель		Май		Июнь		Июль		Апрель—июль	
		r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	ΣN_p	r_{cp}
1050	110	0,25	0,13	0,18	0,14	0,15	0,11	0,14	0,13	440	0,18
1300	55	0,21	0,13	0,13	0,14	0,11	0,10	0,11	0,10	220	0,14
1500	58	0,17	0,13	0,06	0,12	0,05	0,09	0,04	0,12	232	0,08
\bar{f}_{mm}		21,5		36,3		49,9		58,3		—	—
$\bar{\sigma}_{mm}$		13,8		18,7		24,0		28,1		—	—
r (0)		0,79		0,82		0,76		0,84		—	0,82
ρ_0 км		880		680		640		640		—	670
τ_1^2		0,27		0,22		0,32		0,19		—	0,22

1891—1972 гг. для четырех месяцев (апрель—июль). Подробная характеристика этих данных приведена в [9].

За тот же период на ЕТС и в Северном Казахстане были выбраны данные об осадках по отдельным станциям (по одной станции в каждом районе). Схема районов и расположение станций приведены на рис. 1 статьи авторов [9].

Вычисление корреляционных функций производилось по программе, любезно предоставленной нам В. П. Таракановой. В отличие от общепринятой методики (см., например, [8]), эта программа позволяет рассчитать пространственную корреляционную функцию в зависимости от градаций расстояния и направления, т. е. оценить анизотропию поля применительно к корреляционным функциям. Как уже указано в [9], расчеты выполнены для территории ЕТС в целом, исключая северные районы и некоторые области, примыкающие к Уралу. Последние по характерным для них значениям изменчивости (σ^2 и ν) отнесены к территории Казахстана и Западной Сибири. Для этих районов, насколько нам известно, расчеты пространственных корреляционных функций районных осадков выполнены впервые.

В табл. 1 и 2 представлены корреляционные функции месячных сумм районных и точечных осадков для ЕТС и Казахстана в зависимости от расстояния и среднее квадратическое отклонение корреляционных моментов, попавших в данную градацию расстояния.

Из этих таблиц видно, что уменьшение пространственной связности месячных сумм осадков с расстоянием происходит не всегда монотонно. В ряде случаев наблюдается даже некоторое увеличение среднего для данной градации коэффициента корреляции с ростом расстояния. Такое нарушение монотонности убывания корреляции особенно характерно для двух-трех первых градаций расстояния и проявляется более четко при расчетах корреляционных функций по данным отдельных станций. Это связано,

Таблица 2

Корреляционные функции осадков по данным на станциях

ρ км	Число пар станций N_p	Апрель		Май		Июнь		Июль		Апрель—июль	
		r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	r	$\sigma_{r\Phi}$	ΣN_p	r_{cp}
Европейская территория Советского Союза											
75	1	0,56	—	0,49	—	0,53	—	0,44	—	4	0,51
125	4	0,65	0,15	0,57	0,22	0,49	0,10	0,56	0,08	16	0,57
175	8	0,57	0,10	0,48	0,08	0,51	0,12	0,44	0,11	32	0,50
225	13	0,54	0,10	0,41	0,08	0,42	0,10	0,41	0,11	52	0,45
275	17	0,43	0,12	0,38	0,13	0,34	0,10	0,36	0,12	68	0,38
325	20	0,43	0,10	0,39	0,11	0,32	0,10	0,32	0,09	80	0,37
375	19	0,35	0,15	0,38	0,11	0,31	0,06	0,26	0,10	76	0,37
425	18	0,40	0,13	0,36	0,11	0,29	0,10	0,26	0,12	72	0,33
475	24	0,26	0,17	0,27	0,10	0,21	0,11	0,25	0,11	96	0,25
550	45	0,27	0,16	0,22	0,12	0,20	0,12	0,19	0,12	180	0,22
650	51	0,25	0,12	0,23	0,12	0,19	0,10	0,18	0,10	204	0,21
750	67	0,20	0,13	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12	0,11	268	0,15
850	50	0,15	0,13	0,15	0,12	0,12	0,13	0,10	0,11	200	0,13
1050	143	0,09	0,13	0,07	0,12	0,06	0,12	0,02	0,13	572	0,06
1300	78	-0,01	0,13	0,02	0,10	0,00	0,14	-0,03	0,13	312	-0,01
1500	50	-0,04	0,11	-0,02	0,13	-0,02	0,12	-0,07	0,12	20	-0,03
\bar{f} мм		32,9		46,0		60,3		62,6		—	—
$\bar{\sigma}$ мм		20,2		27,3		34,4		36,2		—	—
$r(0)$		0,82		0,71		0,69		0,69		—	0,73
ρ_0 км		490		500		450		420		—	480
η^2		0,22		0,41		0,51		0,51		—	0,37
Северный Казахстан											
75	1	0,75	—	0,73	—	0,40	—	0,66	—	4	0,63
125	3	0,59	0,10	0,64	0,08	0,49	0,14	0,62	0,10	12	0,59
175	3	0,52	0,11	0,42	0,01	0,50	0,04	0,50	0,16	12	0,49
225	5	0,60	0,09	0,60	0,08	0,40	0,07	0,45	0,15	20	0,51
275	10	0,44	0,16	0,44	0,15	0,44	0,07	0,48	0,08	40	0,45
325	10	0,43	0,10	0,37	0,10	0,29	0,09	0,35	0,08	40	0,36
375	12	0,44	0,12	0,40	0,17	0,27	0,16	0,38	0,10	48	0,37
425	8	0,36	0,14	0,35	0,15	0,22	0,12	0,29	0,13	32	0,31
475	12	0,31	0,15	0,24	0,08	0,22	0,14	0,21	0,13	48	0,24
550	14	0,33	0,12	0,34	0,09	0,21	0,12	0,33	0,12	56	0,31
650	18	0,30	0,13	0,29	0,17	0,20	0,11	0,22	0,16	72	0,25

ρ км	Число пар станций N_p	Апрель		Май		Июнь		Июль		Апрель—июль	
		r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	r	$\sigma_{r\phi}$	ΣN_p	r_{cp}
750	12	0,23	0,12	0,21	0,15	0,12	0,10	0,13	0,14	48	0,17
850	17	0,24	0,12	0,14	0,13	0,17	0,19	0,17	0,13	68	0,18
1050	38	0,20	0,14	0,15	0,17	0,06	0,15	0,11	0,13	152	0,13
1300	22	0,18	0,13	0,11	0,11	0,00	0,16	0,07	0,12	88	0,09
1500	16	0,10	0,12	0,06	0,18	0,06	0,14	0,09	0,13	64	0,08
\bar{f} мм		20,3		33,4		45,1		55,5		—	—
$\bar{\sigma}$ мм		15,3		21,2		28,6		34,4		—	—
r (0)		0,72		0,74		0,61		0,73		—	0,72
ρ_0 км		700		600		530		520		—	540
η^2		0,39		0,35		0,64		0,37		—	0,39

Примечание. Все условные обозначения приведены в работе [9].

по-видимому, во-первых, с нарушением пространственной однородности территории и, во-вторых, с тем обстоятельством, что для таких расстояний (100—200 км) осреднение внутри градации производится по малому (как правило, меньше 10) числу индивидуальных моментов.

Как уже показано в работах [3, 10], корреляционные функции осадков хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью. Параметры такой аппроксимации также приведены в табл. 1 и 2. Анализ их показывает, что в апреле корреляция районных осадков с расстоянием затухает несколько медленнее, чем в другие месяцы, особенно в Казахстане. Для остальных рассмотренных месяцев эти различия невелики.

Следует отметить также весьма существенное уменьшение меры ошибки наблюдения (и микроклиматической неоднородности) районных осадков по сравнению с ее значением для осадков на станциях. Так, для ЕТС осреднение для административных областей позволяет уменьшить эту погрешность в 3—5 раз. В Казахстане этот эффект несколько меньше (η^2 уменьшается при осреднении в 1,5—2 раза). Это связано, по-видимому, с одной стороны, с большим количеством станций, привлеченных для осреднения на ЕТС, с другой стороны, с тем, что размеры площадей и диапазон их изменения по территории Казахстана и Западной Сибири больше, чем на ЕТС. Для сумм осадков на станциях различия значений η^2 в Казахстане и ЕТС невелики и, по-видимому, находятся в пределах точности определения этой величины. Определение η^2 производилось путем экстраполяции корреляционной функции на $\rho=0$ с расстояний, превышающих 10 км (среднее значение первой градации расстояния составляет 125 км). По данным

А. И. Полищук [10], значение меры ошибки наблюдения при экстраполяции с таких расстояний близко к 0,3, что несколько меньше полученных нами значений и, видимо, связано с большей однородностью и меньшими размерами территории, использованной в [10]. В этом отношении наши результаты ближе к данным Н. И. Ефремовой [3].

Что касается радиусов корреляции ρ_0 , то представляется, что они в работе [3] несколько завышены. Вероятно, это связано с тем, что в [3] в одну выборку включены данные за май и июнь. Из табл. 1 видно, что средние многолетние суммы осадков в те-

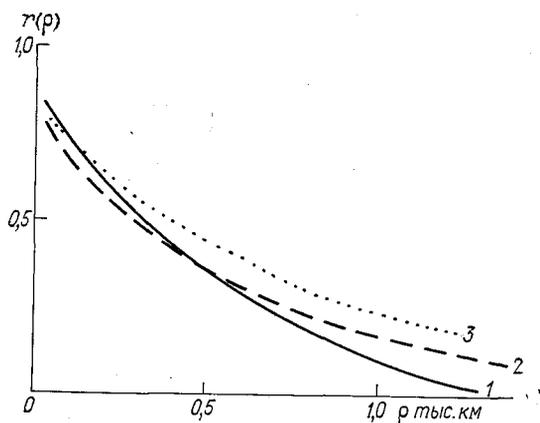


Рис. 1. Эмпирические корреляционные функции районных осадков за май — июнь.

1 — ETC; 2 — Казахстан и Западная Сибирь; 3 — по данным работы [3].

чение этих месяцев заметно меняются. Если принять изменение среднего значения равным 12 мм в месяц (что очень близко к фактическим данным), то простые оценки (см., например, [1]) показывают, что за счет этого завышение дисперсии месячных сумм осадков достигает 7—9% ее истинного значения. Можно предположить, что корреляция на расстояниях, близких к радиусу корреляции (ρ_0), завышена в [3] на такое же значение. Данные рис. 1, на котором для сравнения приведены эмпирические корреляционные функции месячных сумм осадков, полученные в работе Н. И. Ефремовой [3] за период май—июнь и вычисленные нами по каждому из этих месяцев, а затем осредненные, подтверждают это предположение. Различия в корреляционных функциях месячных сумм осадков, рассчитанных для отдельных станций, по нашим данным и данным работы [3] меньше, что, в частности, связано с большей изменчивостью осадков на отдельных станциях. Корреляционные функции осадков на станциях (табл. 2) для ETC

вполне согласуются с корреляционными функциями осадков, приведенными в работе Полищук [10], также полученными путем объединения корреляционных функций осадков за отдельные месяцы.

Наряду с корреляционными функциями месячных сумм районных осадков для всей ЕТС (кроме северных и некоторых восточных районов), а также Казахстана и Западной Сибири были вычислены пространственные корреляционные функции отдельно для зон достаточного и недостаточного увлажнения (по 20 районам в каждой зоне). На рис. 2 представлены соответствующие корреляционные функции,

рассчитанные для каждого из четырех месяцев и затем осредненные по соответствующим грациям расстояния. Из рисунка видно, что в зоне достаточного увлажнения до расстояний 300—400 км пространственная корреляция заметно выше, чем в зоне недостаточного увлажнения, на расстояниях больше 500 км наблюдается обратное соотношение. Аналогичные результаты получены и для сумм осадков, рассчитанных по данным отдельных станций. Заметим, что такая же зависимость коэффициентов корреляции от расстояния в зонах достаточного и недостаточного увлажнения была получена ранее О. А. Дроздовым [2] для суточных максимумов осадков. На малых расстояниях корреляция осадков в засушливой зоне выражена слабее, чем в зоне достаточного увлажнения, за счет большей доли конвективных осадков. На больших расстояниях повышенная корреляция осадков в засушливой зоне, по-видимому, объясняется частой повторяемостью антициклонических условий. Последние прослеживаются на пространствах синоптического масштаба, что обуславливает более высокие значения пространственных корреляционных функций осадков в этой зоне.

По материалам Н. И. Ефремовой [3], корреляционные функции районных осадков в зонах достаточного и недостаточного увлажнения практически не различаются.

Как уже указывалось выше, используемая при расчетах программа позволяла рассчитать корреляционные функции не только в зависимости от расстояния, но и по различным грациям направления. Расчеты для месячных сумм осадков выполнены

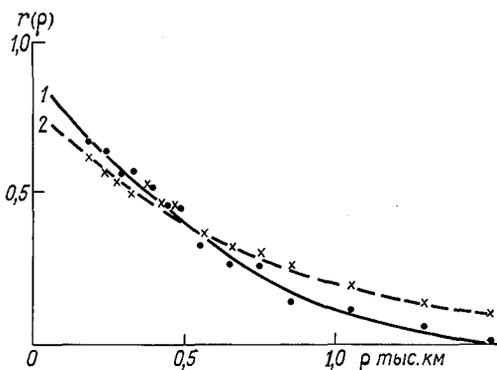


Рис. 2. Корреляционные функции районных осадков за апрель—июль для зоны достаточного (1) и недостаточного (2) увлажнения.

по восьми румбам с последующим осреднением противоположных направлений. Построенные по этим данным изокорреляты показали, что анизотропия поля месячных сумм осадков заметно проявляется на расстояниях, превышающих 200—300 км. Заметим, что изучение анизотропии поля для меньших расстояний по нашим данным не представляется возможным из-за малого количества пар станций.

Для территории Казахстана и Западной Сибири корреляция осадков в направлении с юго-запада на северо-восток убывает

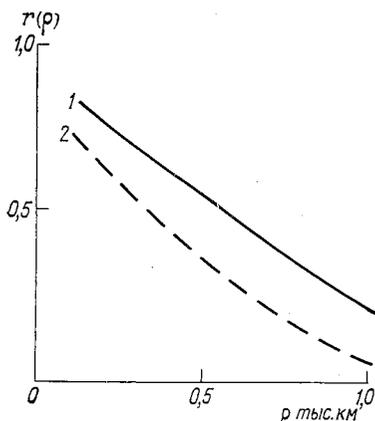


Рис. 3. Корреляционные функции районных осадков в мае для территории Казахстана и Западной Сибири в направлении с юго-запада на северо-восток (1) и с юго-востока на северо-запад (2).

с расстоянием заметно медленнее, чем в направлении с северо-запада на юго-восток, во все рассмотренные месяцы, при этом в апреле—мае анизотропия выражена резче, чем в летние месяцы. В качестве примера на рис. 3 представлены корреляционные функции месячных сумм районных осадков на территории Казахстана и Западной Сибири в мае для двух взаимно перпендикулярных направлений. Изокорреляты месячных сумм осадков на ЕТС также имеют вытянутую форму, однако направление большей оси эллипса заметно меняется от месяца к месяцу.

О. А. Дроздовым [2] построены поля изокоррелят месячных сумм осадков июля и августа за период 1891—1935 гг. для района Среднего Поволжья. Рассчитанное нами поле изокоррелят для июля вполне удовлетворительно согласуется с данными этой работы.

3. С целью выяснения значимости расхождений между полученными выше корреляционными функциями были выполнены некоторые оценки их точности. Для этого использовалась методика, предложенная Р. Л. Каганом [5, 6], предусматривающая учет взаимной корреляции между моментами, осредняемыми в каждой градации. В этих работах для случая экспоненциальной корреляционной функции предложены также простые приближенные формулы. Однако непосредственно использовать их мы не могли, поскольку эти формулы получены для сравнительно небольших

территорий (размеры территории не более двух радиусов корреляции), а сеть станций на ней должна быть достаточно густой. Оба эти предположения в нашем случае не выполняются. В связи с этим нами была составлена программа на ЭВМ М-220, реализующая предложенный в [5, 6] алгоритм в полном объеме. Корреляционная функция предполагается однородной и изотропной и может быть задана либо аппроксимирующей формулой, либо таблицей. В последнем случае осуществляется параболическая интерполяция между табличными значениями. Средний коэффициент корреляции $\bar{\mu}(\rho)$ между корреляционными моментами, входящими в данную градацию расстояния ρ , определяется, согласно [6], по формуле

$$\bar{\mu}(\rho) = \frac{1}{N_p^2} \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{q=1}^{N_p} \mu(i_p, k_p, i_q, k_q), \quad (1)$$

где N_p — количество корреляционных моментов, входящих в градацию расстояния; μ — коэффициент корреляции между выборочными корреляционными моментами r_{i_p, k_p} и r_{i_q, k_q} ;

$$\begin{aligned} \mu(i_p, k_p, i_q, k_q) = & \left[\frac{1}{2} r_{i_p k_p} r_{i_q k_q} (r_{i_p i_q}^2 + r_{i_p k_q}^2 + r_{k_p i_q}^2 + r_{k_p k_q}^2) + \right. \\ & + (r_{i_p i_q} r_{k_p k_q} + r_{i_p k_q} r_{k_p i_q}) - r_{i_p k_p} (r_{i_p i_q} r_{i_p k_q} + r_{k_p i_q} r_{k_p k_q}) - \\ & \left. - r_{i_q k_q} (r_{i_p i_q} r_{k_p i_q} + r_{i_p k_q} r_{k_p k_q}) \right] / [(1 - r_{i_p k_p}^2) (1 - r_{i_q k_q}^2)]. \quad (2) \end{aligned}$$

Зная $\bar{\mu}$, можно определить точность среднего для заданной градации коэффициента корреляции

$$\bar{r}(\rho) = \frac{1}{N_p} \sum_{p=1}^{N_p} r_{i_p k_p}. \quad (3)$$

Средняя квадратическая погрешность этой величины определяется по формуле

$$\sigma_{\bar{r}} = \sigma_r \sqrt{\bar{\mu}(\rho)}, \quad (4)$$

где $\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{n - 1}$ представляет собой среднюю квадратическую погрешность определения коэффициента корреляции для заданной пары станций по данным n независимых наблюдений!

Расчеты по этой программе выполнены для корреляционных функций районных осадков за апрель и для сумм осадков на станциях за июль на ЕТС. Некоторые результаты приводятся в табл. 3. Значения σ_r и $\sigma_{\bar{r}}$ получены для $n = 82$, что соответствует периоду наблюдений 1891—1972 гг.

Как и следовало ожидать, полученные оценки погрешности близки друг к другу, поскольку объем использованного материала

ла, расположение областей задания исходных данных и вид корреляционных функций различаются мало.

Некоторые различия определяются количественными характеристиками использованных корреляционных функций.

Средние квадратические погрешности корреляционных функций районных осадков составляют 0,02—0,03 до расстояния около 500 км и около 0,04 на больших расстояниях. Что касается корреляционных функций сумм осадков на станциях, то значения погрешности их расчета σ_r близки к 0,03 на всех выбранных расстояниях.

Таблица 3

Точность пространственных корреляционных функций месячных сумм осадков на ЕТС

ρ км	Районные осадки (апрель)					Точечные осадки (июль)				
	$r(\rho)$	N_ρ	σ_r	$\bar{\mu}(\rho)$	σ_r	$r(\rho)$	N_ρ	σ_r	$\bar{\mu}(\rho)$	σ_r
125	0,77	4	0,05	0,36	0,03	0,51	4	0,08	0,28	0,04
175	0,71	7	0,06	0,18	0,02	0,45	8	0,08	0,16	0,03
225	0,65	21	0,06	0,12	0,02	0,40	13	0,09	0,11	0,03
275	0,60	18	0,07	0,14	0,03	0,36	17	0,10	0,09	0,03
325	0,56	24	0,08	0,13	0,03	0,32	20	0,10	0,09	0,03
375	0,51	17	0,08	0,14	0,03	0,28	19	0,10	0,09	0,03
425	0,47	25	0,09	0,13	0,03	0,25	18	0,10	0,11	0,03
475	0,44	25	0,09	0,14	0,03	0,22	24	0,11	0,08	0,03
550	0,39	54	0,10	0,12	0,03	0,19	45	0,11	0,06	0,03
650	0,33	59	0,10	0,13	0,04	0,15	51	0,11	0,06	0,03
750	0,28	69	0,10	0,13	0,04	0,12	67	0,11	0,05	0,03
850	0,24	53	0,10	0,14	0,04	0,09	50	0,11	0,07	0,03

Учитывая, что корреляция районных осадков больше корреляции точечных осадков на величину, в несколько раз превышающую указанные погрешности, различия эти, разумеется, можно считать существенными.

Сравнение же корреляционных функций районных осадков за разные месяцы так же, как и точечных за разные месяцы, показывает, что расхождения между ними превышают значения σ_r , как правило, не более чем в 2 раза, что вполне может быть вызвано причинами случайного характера. Поэтому мы не можем утверждать, что имеются существенные различия между корреляционными функциями сумм осадков за разные месяцы. В связи с этим представляется целесообразным пользоваться осреднен-

ными значениями корреляционных функций, погрешность которых в случае объединения данных за 4 месяца можно считать вдвое меньшей. Соответствующие данные приведены в табл. 1 и 2.

4. Как показано в [9], точность расчета районных осадков за различные периоды существенно неодинакова.

Представляло интерес оценить влияние этого фактора на пространственную связность поля осадков. С этой целью были выполнены расчеты корреляционных функций месячных сумм осадков на станциях и районных осадков для двух 34-летних периодов: 1905—1938 и 1939—1972 гг.

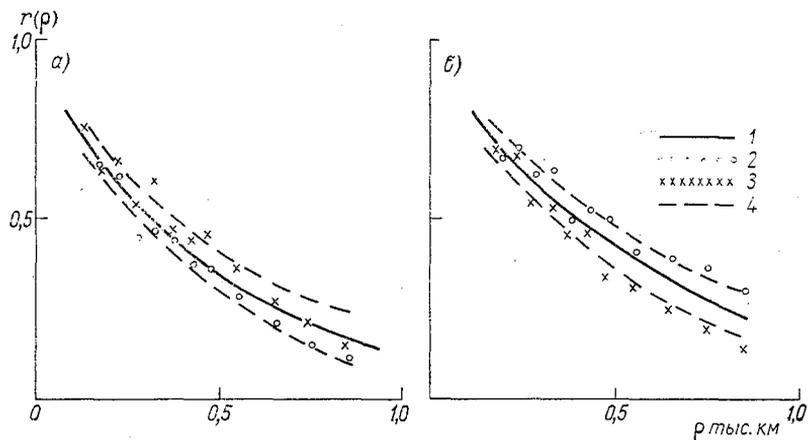


Рис. 4. Корреляционные функции районных осадков на ЕТС за июнь (а) и апрель (б) для различных периодов.

1) 1891—1972 гг.; 2) 1905—1938 гг.; 3) 1939—1972 гг.; 4) доверительный интервал с 10%-ным уровнем значимости.

Поскольку за более ранние годы для расчета районных осадков использовалось в каждом районе меньшее число станций, то естественно предполагать, что при отсутствии различий, обусловленных циркуляционными факторами, пространственная связность за период 1905—1938 гг. затухает с расстоянием быстрее, чем за период 1939—1972 гг. Такие различия характерны для района Казахстана и Западной Сибири, причем наиболее четко они проявляются в апреле. Что касается ЕТС, то в мае и июне также наблюдается более высокая корреляция в последние годы по сравнению с более ранними, для апреля и июля — соотношение обратное. Оценки значимости различий корреляционных функций, аналогичные приведенным в табл. 3, показали, что различия в корреляционных функциях, рассчитанных по двум независимым периодам для мая — июля, на ЕТС и в Казахстане несущественны при выбранном уровне значимости 10%.

В качестве примера на рис. 4 а приводятся корреляционные функции районных осадков на ЕТС, рассчитанные по всем имеющимся данным (1891—1972 гг.) и отдельно для периодов 1905—1939, 1939—1972 гг., а также доверительный интервал с 10%-ным уровнем значимости. Из рисунка видно, что различия между корреляционными функциями, вычисленными для двух периодов, как правило, не превышают выбранного доверительного интервала. Несколько большие различия пространственных корреляционных функций на территории Казахстана и Западной Сибири могут быть связаны, как уже указывалось выше, с большими ошибками

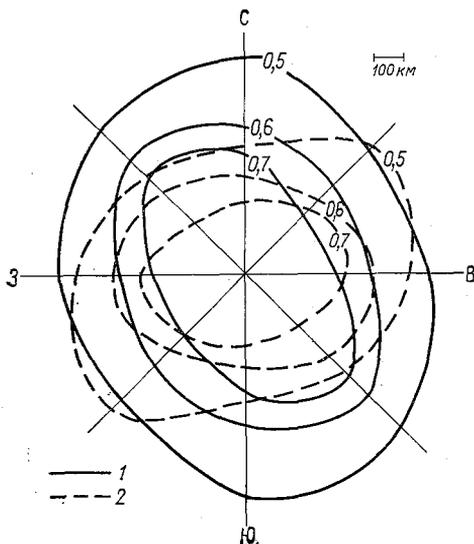


Рис. 5. Корреляция районных осадков в зависимости от направления за периоды 1905—1938 (1) и 1939—1972 гг. (2). Апрель. ЕТС.

осреднения за более ранние годы. Поэтому имеющиеся в нашем распоряжении данные не позволяют однозначно судить об изменении характера пространственной связности поля осадков в мае—июле в рассмотренные периоды. Что касается различий корреляционных функций в апреле на ЕТС, то, как видно из рис. 4 б, они превышают 10%-ный доверительный интервал для большинства градаций расстояния. Учитывая, что в этом случае корреляция за более ранние годы уменьшается с расстоянием медленнее, можно считать эти различия существенными и связанными с циркуляционными особенностями каждого из выбранных периодов. Эти особенности проявляются и при анализе характера пространственных корреляционных связей в зависимости от направления. Рисунок 5, на котором представлены изокорреляты поля районных осадков на ЕТС в апреле для периодов 1905—1938 и 1939—1972 гг., показывает, что если в первом периоде большая ось эллипса изокоррелят вытянута с северо-запада на юго-восток, то во втором она меняет свое направление почти на 90°. Для остальных месяцев эти различия существенно меньше. В Казахстане и Западной Сибири для обоих периодов большая ось эллипсов изокоррелят направлена с юго-запада на северо-восток или с запада на восток.

Что касается месячных сумм осадков на отдельных станциях, то наши расчеты не позволяют выявить систематических различий между корреляционными функциями, полученными для двух указанных выше периодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л., Гидрометеоздат, 1963, 287 с.
2. Дроздов О. А. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Л., ЛГУ, 1956, 302 с.
3. Ефремова Н. И. О пространственной статистической структуре атмосферных осадков, осредненных по большим площадям. — «Труды ГГО», 1970, вып. 258, с. 88—109.
4. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Л., Гидрометеоздат, 1976, 112 с.
5. Каган Р. Л. О точности расчета пространственных корреляционных функций. — «Труды ГГО», 1973, вып. 308, с. 3—19.
6. Каган Р. Л. О точности расчета пространственных корреляционных функций. — «Труды ГГО», 1974, вып. 336, с. 3—19.
7. Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения средней величины по дискретным данным. — «Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 95—119.
8. Каган Р. Л., Поляк И. И. О расчете характеристик пространственной корреляции метеорологических полей. — «Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 18—25.
9. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
10. Полищук А. И. О статистической структуре летних осадков. — «Труды ГГО», 1972, вып. 286, с. 39—54.
11. Полищук А. И., Каган Р. Л. О статистической структуре осредненных значений метеорологических элементов. — «Труды ГГО», 1966, вып. 191, с. 92—121.
12. Юдин М. И., Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Характеристика гидродинамической информации, использованной при долгосрочном физико-статистическом прогнозе температуры и осадков для районов недостаточного увлажнения. — «Труды ГГО», 1969, вып. 236, с. 45—63.
13. Юдин М. И., Мещерская А. В. Комплексный физико-статистический метод прогноза погоды большой заблаговременности. — «Метеорология и гидрология», 1977, № 1, с. 3—12.

А. В. Мещерская, И. Е. Чувашина

К ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ НОРМ ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ ОСАДКОВ И ОСАДКОВ НА СТАНЦИЯХ

В статьях [10, 11] был показан ряд преимуществ осредненных по площади осадков (районных) по сравнению с осадками отдельных станций. В данной статье будут представлены материалы, доказывающие еще одно положительное свойство районных осадков. Оно состоит в том, что для определения среднего многолетнего значения (нормы) районных осадков с заданной точностью требуется более короткий ряд данных, чем для осадков отдельных станций. Этот вопрос, затронутый в работе [7], в данной статье рассмотрен без учета и с учетом связности на материалах длинных рядов месячных сумм районных осадков. Для сезонных сумм районных осадков оценка точности норм в связных и бесвязных рядах приведена в [8].

Остановимся сначала на случае бесвязного ряда. Как известно [6, 14], квадратическая ошибка определения нормы $\bar{\sigma}_N$ для бесвязного ряда равна

$$\bar{\sigma}_N = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

где N — длина ряда, σ — среднее квадратическое отклонение рассматриваемого ряда данных.

Из формулы (1) имеем

$$N = \frac{\sigma^2}{\bar{\sigma}_N^2}. \quad (2)$$

Величину $\bar{\sigma}_N$ можно либо вычислить по формуле (1), либо задать априори. Во втором случае по формуле (2) легко рассчитать длину ряда данных, необходимую для расчета нормы при заданной точности. Сделаем некоторые расчеты по формуле (2).

Зададим точность определения нормы одинаковой как для районных осадков, так и для осадков на станциях. Тогда отношение длины ряда осадков на станциях ($N_{ст}$) к длине ряда рай-

онных осадков (N_p), необходимых для расчета норм с этой точностью, будет равно отношению дисперсий точечных и районных осадков

$$\frac{N_{ст}}{N_p} = \frac{\sigma_{ст}^2}{\sigma_p^2}. \quad (3)$$

Для длинных рядов с 1891 по 1972 г. отношения дисперсий месячных сумм осадков на станциях к дисперсиям месячных сумм районных осадков для юга ЕТС в среднем по данным 27—30 районов равны 1,48 в апреле, 1,53 в мае, 1,79 в июне и 1,59 в июле, а для Северного Казахстана это отношение в среднем по данным 11—12 районов соответственно равно 1,42; 1,48; 1,55 и 1,81 [11]. Отсюда следует, что для определения месячной нормы осадков с заданной точностью, например в апреле на юге ЕТС, ряд осадков на станциях должен быть в 1,48 раза длиннее ряда районных осадков. В июне на юге ЕТС и в июле в Северном Казахстане соотношение $N_{ст}$ и N_p еще больше: ряд осадков на станциях должен быть в 1,8 раза длиннее ряда районных осадков для определения месячной нормы с той же точностью.

Средние квадратические отклонения месячных сумм районных осадков за период с 1891 по 1972 г. на ЕТС в апреле равны 15—20 мм и увеличиваются в июле до 25—35 мм. В Северном Казахстане σ равно в апреле 10—15 мм, в июле 25—35 мм. При длине ряда в 82 года ошибки расчета норм месячных сумм районных осадков по формуле (1) составляют 2—4 мм.

Если задать одинаковой точность расчета норм районных осадков, равной 3 мм, то длина ряда осадков в июле должна быть существенно больше, чем в апреле. Это подтверждается конкретными расчетами. В табл. 2 для каждой территории и каждого месяца приведено среднее число лет, необходимое для расчета месячной нормы осадков с точностью 3 мм. Таблица 2 получена по данным табл. 1, где содержатся результаты расчетов $N_{ст}$ для осадков 32 станций и N_p для осадков 106 районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири за 4 месяца. При составлении табл. 2 и 3 использовались данные только тех районов, которым соответствовали отобранные длиннорядные станции: 22 района на юге ЕТС и 10 районов в Северном Казахстане. При составлении табл. 4 использовались данные всех 106 районов. Из табл. 2 следует, что для определения месячной нормы районных осадков с точностью 3 мм на юге ЕТС в среднем нужны данные в апреле за 31 год, в мае за 55 лет, в июне за 75 лет и в июле за 90 лет.

В Северном Казахстане для расчета месячной нормы районных осадков с той же точностью 3 мм требуются значительно более короткие ряды, от 18 лет в апреле до 67 лет в июле.

Для расчета месячных норм осадков на станциях ряды данных должны быть в 1,5—1,8 раза длиннее. Например, в июле на ЕТС средняя длина ряда, необходимая для расчета нормы осадков на

Таблица 1

Коэффициенты неустойчивости k , а также длины рядов, необходимые для расчета норм осадков с точностью 3 мм, в бесвязных (N) и связанных (N') рядах по месяцам для районов и станций юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири

№ п/п	Станция, район	k							N							N'						
		IV	V	VI	VII	к	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII				
Станции юга ЕТС																						
1	Днепропетровск	0,92	0,78	1,29	0,54	0,88	56	122	135	91	51,6	95,0	174,1	50,0								
2	Кировоград	0,82	0,77	0,93	0,58	0,77	55	80	172	222	45,0	62,5	160,8	129,1								
3	Одесса	0,67	0,84	0,86	0,62	0,75	25	70	111	95	16,7	59,1	95,8	59,1								
4	Ромны	0,92	1,22	0,69	0,75	0,89	47	83	145	174	48,5	100,8	100,0	130,8								
5	Умань	0,97	0,59	0,56	1,15	0,82	57	155	178	138	55,0	91,6	100,0	159,1								
6	Богородицкое-Фенино	0,46	0,64	1,10	0,86	0,76	49	89	122	148	22,5	57,5	134,9	128,3								
7	Василевчи	0,75	0,71	0,85	1,31	0,90	72	77	121	226	54,1	55,0	101,6	296,5								
8	Владимир	0,97	0,80	0,76	0,71	0,81	40	63	129	162	39,1	50,0	98,3	114,9								
9	Жиздра	0,72	0,52	0,77	0,47	0,62	53	99	219	172	37,5	51,6	169,1	82,5								
10	Рязань	0,77	0,78	0,83	0,66	0,76	29	63	95	134	22,5	80,0	80,0	88,3								
11	Астрахань	1,02	0,37	0,59	0,78	0,69	18	37	37	21	18,3	14,2	22,5	16,7								
12	Волгоград	0,63	0,53	1,29	0,87	0,83	25	72	77	60	15,8	38,3	98,3	51,6								
13	Армавир	0,62	0,82	0,42	0,99	0,71	99	94	183	145	50,8	76,6	78,3	143,3								
14	Ростов-на-Дону	0,55	0,45	0,51	0,62	0,53	59	98	174	130	32,5	44,1	88,3	80,0								
15	Ставрополь	1,37	0,64	0,73	1,12	0,96	98	138	269	221	134,1	88,3	196,6	249,9								
16	Семенов	0,58	0,92	0,75	0,39	0,10	44	73	142	177	25,8	66,6	106,6	69,1								
17	Кострома	1,42	0,77	1,12	0,67	0,99	34	54	125	154	48,3	40,8	140,0	102,4								
18	Канаш	0,82	0,94	0,67	0,80	0,81	31	56	99	171	25,8	32,5	65,8	137,4								
19	Куйбышев	1,12	0,90	0,88	0,79	0,92	36	61	83	157	40,0	54,1	74,1	124,1								

№ п/п	Станция, район	k							N							N'																			
		IV			V			VI			VII			IV			V			VI			VII												
		IV	V	VI	V	VI	VII	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI	IV
20	Пенза	0,97	0,82	0,58	0,82	0,80	31	96	94	124	30,8	79,1	55,0	100,8																					
21	Октябрьский Городок	0,96	0,87	1,11	1,14	1,02	23	74	105	56	22,5	54,1	117,4	54,1																					
22	Казань	0,67	0,74	0,84	0,62	0,72	48	62	88	133	32,5	45,8	74,1	82,5																					
Районы юга ЕТС																																			
1	Винницкая обл.	0,67	0,82	0,68	1,17	0,83	49	80	117	146	38,32	65,81	79,97	172,43																					
2	Днепропетровская обл.	0,80	0,78	1,14	0,78	0,87	43	73	76	76	34,99	57,48	86,65	59,14																					
3	Донецкая обл.	0,63	0,63	0,62	0,56	0,61	46	47	97	99	29,99	29,99	59,98	55,81																					
4	Кировоградская обл.	0,72	0,71	0,37	0,80	0,65	42	56	89	126	29,99	39,98	53,32	100,79																					
5	Одесская обл.	1,03	0,67	0,48	0,68	0,71	24	55	82	85	24,16	36,65	39,98	58,31																					
6	Ровенская обл.	0,90	1,07	1,52	0,67	1,04	36	67	100	92	32,49	71,64	151,61	61,64																					
7	Сумская обл.	0,69	0,62	0,86	0,57	0,68	38	52	91	90	25,82	32,49	77,47	51,65																					
8	Черкасская обл.	0,88	0,61	0,61	0,63	0,68	35	61	81	136	30,82	36,65	49,15	85,80																					
9	Молдавская ССР	0,49	1,01	1,04	0,61	0,78	35	71	101	114	17,49	71,64	104,96	69,97																					
10	Белгородская обл.	0,31	0,50	1,12	0,68	0,65	39	69	89	82	11,66	34,15	100,79	55,81																					
11	Воронежская обл.	0,79	0,79	1,18	0,87	0,91	30	61	71	84	23,32	48,31	84,13	73,30																					
12	Липецкая обл.	0,57	0,51	0,98	0,91	0,74	30	82	63	80	16,66	41,65	61,64	73,30																					
13	Брестская обл.	1,21	1,03	1,14	1,17	1,12	30	48	67	97	36,65	49,58	76,64	108,29																					
14	Витебская обл.	0,79	0,80	0,87	0,84	0,82	27	72	104	135	21,66	57,48	90,80	113,29																					
15	Гомельская обл.	0,80	0,53	0,77	1,17	0,82	46	57	78	152	36,65	29,99	60,81	177,43																					
16	Минская обл.	0,83	0,67	0,97	1,18	0,92	33	48	75	108	27,49	32,49	71,64	127,45																					
17	Владимирская обл.	0,98	0,95	0,92	0,63	0,87	30	40	59	129	29,99	38,32	54,15	81,63																					
18	Калининская обл.	0,83	0,92	1,00	0,77	0,88	24	33	56	116	19,99	30,82	55,81	89,13																					

№ п/п	Станция, район	k							N						
		k			N				k			N			
		IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V
19	Калужская обл.	0,66	0,71	1,01	0,80	0,79	43	80	119	123	28,32	57,48	119,95	99,13	
20	Рязанская обл.	0,92	0,67	0,67	0,62	0,72	28	53	51	89	24,99	34,99	34,15	55,81	
21	Астраханская обл.	0,77	0,55	0,87	0,62	0,65	11	25	23	15	8,33	8,33	19,99	9,16	
22	Волгоградская обл.	0,87	0,52	1,20	1,04	0,91	13	39	40	34	10,83	19,99	47,47	35,82	
23	Калмыцкая обл.	1,08	0,52	1,00	1,29	0,97	20	44	49	42	21,66	23,32	48,31	54,15	
24	Краснодарский край (запад)	0,74	1,03	0,43	0,81	0,75	57	57	81	141	41,63	58,31	34,99	114,12	
25	Краснодарский край (восток)	0,60	0,52	0,40	0,67	0,55	48	79	90	96	28,32	41,65	35,82	63,31	
26	Ростовская обл.	0,31	0,57	0,74	0,98	0,65	29	50	67	54	9,16	28,32	49,98	53,31	
27	Ставропольский край (запад)	0,83	1,67	1,23	1,22	1,24	48	94	161	130	39,98	156,60	198,25	159,10	
28	Ставропольский край (восток)	1,41	2,08	1,42	1,12	1,51	44	85	128	84	61,64	176,60	181,59	94,13	
29	Горьковская обл.	0,88	0,99	0,61	0,72	0,80	24	41	63	84	21,66	40,82	38,32	60,81	
30	Костромская обл.	0,97	0,72	0,68	0,62	0,75	31	50	92	111	29,99	36,65	62,48	68,31	
31	Чувашская АССР	0,72	0,95	0,62	0,80	0,77	37	50	66	118	26,66	47,48	39,98	94,96	
32	Куйбышевская обл.	0,98	0,77	0,87	0,81	0,86	24	48	53	70	23,32	37,49	46,65	56,64	
33	Пензенская обл.	1,15	0,78	0,97	1,08	1,00	26	64	67	66	29,16	49,15	64,97	71,64	
34	Саратовская обл.	1,01	0,85	0,90	1,19	0,98	15	38	45	39	14,99	32,49	40,82	45,82	
35	Татарская АССР	0,69	0,61	0,49	0,72	0,62	21	41	45	71	14,16	24,99	21,66	50,81	
36	Латвийская ССР	0,32	0,83	0,85	0,83	0,71	30	54	77	104	10,00	44,98	65,81	86,63	
37	Псковская обл.	0,70	0,55	0,87	0,47	0,64	31	45	90	107	21,66	24,99	77,47	49,98	
38	Ленинградская обл.	0,92	0,67	1,18	1,26	1,01	27	42	46	75	24,99	28,32	54,15	94,96	
39	Вологодская обл.	0,92	0,62	1,26	0,52	0,83	21	37	50	84	19,16	23,32	63,31	44,15	
40	Калининградская обл.	0,36	0,57	0,68	1,21	0,70	36	61	80	146	13,33	34,99	54,98	177,43	
41	Литовская ССР	0,48	0,87	0,62	0,92	0,72	28	58	72	128	14,16	49,98	44,98	177,45	

№ п/п	Станция, район	k				k̄	N				N'			
		k		N			N		N'		N		N'	
		IV	V	VI	VII		IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
42	Эстонская ССР	0,68	1,02	1,31	0,47	0,87	28	45	62	77	19,16	45,82	80,80	35,82
43	Юг Карельской АССР	1,10	0,85	0,74	0,50	0,80	21	29	44	65	22,49	24,99	33,32	33,32
44	Новгородская обл.	1,15	0,43	0,93	0,48	0,75	29	47	71	107	33,32	20,83	65,81	52,48
45	Смоленская обл.	0,67	0,55	0,67	1,04	0,73	27	55	78	151	17,49	29,99	52,48	157,44
46	Ярославская обл.	1,12	0,61	1,08	0,52	0,83	28	43	92	125	31,65	25,82	99,13	64,97
47	Ивановская обл.	0,69	0,77	0,82	0,57	0,72	32	46	87	144	22,49	35,82	71,64	82,47
48	Московская обл.	0,72	0,66	1,00	0,57	0,73	29	54	80	127	20,83	35,82	79,97	72,47
49	Удмуртская АССР	0,94	0,37	0,74	0,72	0,69	21	41	54	72	19,99	14,99	39,98	52,48
50	Марийская АССР	1,02	1,05	0,76	0,89	0,92	32	48	61	95	32,49	49,98	46,65	84,97
51	Гродненская обл.	0,79	0,55	0,77	1,07	0,80	34	55	76	136	27,49	29,99	59,14	145,78
52	Могилевская обл.	0,97	0,69	0,51	0,61	0,69	28	75	101	102	27,49	51,65	51,65	62,48
53	Черниговская обл.	0,70	0,82	0,90	0,66	0,77	49	58	87	104	34,15	47,48	77,47	68,31
54	Брянская обл.	0,74	0,48	0,90	0,87	0,76	54	64	124	130	39,98	31,65	119,12	112,46
55	Курская обл.	0,67	0,64	0,98	0,52	0,70	34	56	112	96	22,49	35,82	109,96	49,15
56	Орловская обл.	0,49	0,44	1,24	1,43	0,90	39	82	95	156	19,16	35,82	118,29	224,91
57	Тамбовская обл.	0,75	0,65	0,79	0,84	0,76	26	51	63	72	19,99	33,32	49,98	59,98
58	Тульская обл.	0,82	0,85	0,64	0,60	0,73	39	68	82	100	31,65	58,31	52,48	59,98
59	Мордовская обл.	0,88	0,51	1,20	0,76	0,83	33	53	91	53	29,16	26,66	109,12	39,98
60	Ульяновская обл.	0,77	0,86	0,53	0,60	0,69	22	52	68	88	17,49	44,15	36,65	53,31
61	Волынская обл.	0,95	0,94	1,47	1,37	1,18	32	50	117	117	29,99	47,48	172,43	160,77
62	Житомирская обл.	0,90	0,81	0,75	0,66	0,77	39	00	92	142	34,99	48,31	69,14	94,13
63	Запорожская обл.	0,57	0,71	0,84	0,71	0,71	29	52	89	61	16,66	37,49	74,97	43,32
64	Киевская обл.	0,86	0,66	1,00	0,47	0,75	43	59	97	101	37,49	39,15	96,63	48,31

№ п/п	Станция, район	k							N						
		k			N				k			N			
		IV	V	VI	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
65	Ворошиловградская обл.	0,62	0,80	0,73	0,93	0,77	39	56	82	80	24,16	44,15	60,81	74,14	
66	Николаевская обл.	0,95	0,67	0,52	0,65	0,69	30	68	87	93	28,32	44,98	44,98	60,81	
67	Полтавская обл.	0,84	0,66	0,99	0,70	0,80	39	49	107	105	32,49	32,49	106,62	74,14	
68	Харьковская обл.	0,75	0,75	0,92	0,56	0,74	39	65	76	88	29,16	49,15	69,14	48,31	
69	Херсонская обл.	0,91	0,61	0,46	0,68	0,67	21	46	54	51	19,16	28,32	24,99	34,99	
Станции Северного Казахстана															
1	Пермь	0,72	0,63	0,42	0,75	0,63	36	61	125	134	25,8	38,3	53,3	100,8	
2	Свердловск	0,57	0,67	0,97	0,61	0,70	24	63	116	182	14,2	42,5	111,6	110,8	
3	Златоуст	1,12	0,77	0,65	0,97	0,88	33	86	168	313	37,5	66,6	100,1	306,5	
4	Шадринск	0,98	0,68	0,61	1,32	0,90	20	59	84	135	20,0	40,0	51,6	178,3	
5	Оренбург	0,51	0,81	0,60	0,73	0,66	39	71	90	94	19,15	57,5	54,1	69,1	
6	Уральск	0,69	0,70	0,92	0,72	0,76	28	50	41	89	20,0	35,0	37,5	65,0	
7	Гурьев	0,82	0,59	0,58	0,70	0,67	19	18	52	34	15,0	10,8	30,8	24,1	
8	Целиноград	0,68	0,68	1,63	0,58	0,89	16	37	64	153	10,8	25,0	104,1	89,1	
9	Семипалатинск	0,72	0,65	0,96	0,67	0,75	17	27	43	63	12,5	15,0	17,5	52,5	
10	Кокпекты	1,4	0,92	0,42	0,64	0,84	25	38	48	52	36,6	35,0	20,8	33,3	
Районы Северного Казахстана															
1	Пермская обл. (юг)	0,87	0,79	0,52	0,53	0,67	26	43	60	70	22,5	34,1	30,8	36,6	
2	Среднеуральский горный район А	1,04	0,83	0,30	0,68	0,73	34	42	85	130	35,8	35,0	30,8	89,1	
3	Свердловская обл. (юг)	1,03	0,76	0,80	0,78	0,83	16	30	51	81	15,8	23,3	40,8	59,1	
4	Башкирская АССР (север)	0,77	0,77	0,40	0,75	0,67	25	47	54	89	19,1	35,8	21,6	66,7	
5	Среднеуральский горный район Б	1,10	1,02	0,45	0,39	0,74	30	63	113	167	32,5	64,1	50,8	65,0	

№ п/п	Станция, район	k							k̄	N							N'				
		IV			VI			VII			IV			VI				VII			
		V	VI	VII	V	VI	VII	V		VI	VII	V	VI	VII	V	VI		VII	V	VI	VII
6	Челябинская обл. (север) . . .	0,72	0,59	0,89	1,14	0,83	18	39	62	141	13,3	22,5	55,0	160,8							
7	Курганская обл.	0,97	0,66	1,07	1,16	0,97	15	35	47	64	15,0	23,3	50,0	73,3							
8	Башкирская АССР (юг)	0,67	0,77	1,20	0,86	0,87	22	59	61	97	15,0	45,0	73,3	83,3							
9	Южноуральский горный район	0,97	0,67	1,38	0,53	0,89	28	65	106	106	27,5	43,3	146,6	56,6							
10	Челябинская обл. (юг)	0,55	0,35	0,97	0,52	0,60	17	40	72	182	9,16	14,2	69,1	95,8							
11	Оренбургская обл. (запад) . . .	0,89	0,73	1,03	0,55	0,80	18	44	55	53	16,7	32,5	56,6	29,1							
12	Оренбургская обл. (восток)	0,80	0,67	1,63	0,93	1,01	27	63	88	129	21,6	42,5	144,1	119,9							
13	Уральская обл. (север)	0,41	0,94	1,12	0,65	0,77	18	34	37	38	7,50	32,5	41,6	25,0							
14	Уральская обл. (юг)	0,90	0,96	0,97	0,59	0,86	17	34	27	29	15,8	32,5	25,8	16,7							
15	Гурьевская обл. (север)	0,68	0,54	1,03	0,73	0,75	15	17	40	23	10,8	9,16	41,6	17,5							
16	Актюбинская обл. (север) . . .	1,12	0,56	1,47	0,60	0,70	14	31	21	29	15,8	17,5	10,8	17,5							
17	Кустанайская обл. (восток)	1,13	0,42	0,83	0,77	0,79	13	27	55	67	15,0	11,7	45,8	51,6							
18	Северо-Казахстанская обл. . . .	1,34	0,61	0,90	1,02	0,97	13	32	74	71	17,5	19,1	66,6	72,5							
19	Кокчетавская обл.	0,97	0,55	1,19	1,27	1,00	12	31	56	90	11,7	16,7	66,6	114,9							
20	Целиноградская обл.	0,57	0,72	1,20	1,12	0,90	11	24	54	82	6,66	16,7	65,0	91,6							
21	Павлодарская обл.	0,73	0,92	0,91	0,67	0,81	8	18	44	64	5,83	16,7	40,0	43,3							
22	Карагандинская обл.	1,34	0,58	1,00	1,25	1,04	20	49	53	51	27,5	28,3	53,3	64,1							
23	Семипалатинская обл. (север)	0,78	0,98	0,65	0,46	0,72	13	15	30	39	10,0	15,0	19,1	18,3							
24	Семипалатинская обл. (юг)	1,56	0,59	0,53	0,95	0,91	23	44	41	54	36,6	25,8	21,6	50,8							

№ п/п	Станция, район	k							k̄	N							N'									
		IV			V			VI			VII			IV			V			VI			VII			
		IV	V	VI	V	VI	VII	IV		V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII		
1	Томская обл. (север)	1,52	1,53	1,22	0,79	1,27	12	31	56	78	18,3	46,6	68,3	62,5												
2	Томская обл. (юг)	0,60	0,56	0,95	0,68	0,70	12	27	93	94	6,66	15,0	88,3	64,1												
3	Новосибирская обл. (север)	0,95	0,49	0,46	1,22	0,77	11	24	66	93	10,0	12,5	12,5	113,3												
4	Новосибирская обл. (юг)	1,16	1,02	0,72	0,64	0,88	7	17	54	92	7,5	17,5	38,3	59,1												
5	Кемеровская обл. (север)	1,11	0,76	0,72	0,81	0,85	11	28	72	84	12,5	21,6	51,6	67,5												
6	Кемеровская обл. (юг)	0,86	1,02	0,82	0,41	0,77	116	126	146	145	100,8	129,1	119,1	59,1												
7	Алтайский край (северо-запад)	0,95	0,46	0,94	0,47	0,70	9	18	56	59	9,16	8,33	52,5	27,5												
8	Алтайский край (северо-восток)	0,95	1,20	0,68	0,53	0,84	30	40	57	79	29,1	48,3	39,1	42,5												
9	Алтайский край (юг)	1,43	0,63	0,98	0,63	0,92	51	82	105	115	72,5	51,6	103,3	72,5												
10	Омская обл. (север)	0,94	0,88	0,57	0,82	0,81	16	35	74	133	15,0	30,8	42,5	109,1												
11	Омская обл. (юг)	1,41	0,97	0,71	0,86	0,98	10	23	68	109	13,3	22,5	48,3	93,3												
12	Тюменская обл. (север)	1,16	0,77	0,55	0,92	0,85	22	31	51	82	25,0	24,1	28,3	75,8												
13	Тюменская обл. (юг)	0,77	0,56	0,57	1,38	0,82	15	36	74	134	11,7	20,0	41,6	184,9												

Районы Западной Сибири

Таблица 2

Длина рядов, необходимая для расчета норм районных осадков N_p и осадков на станциях $N_{ст}$ с точностью 3 мм, а также значения m_p и $m_{ст}$ по месяцам

	Юг ЕТС				Северный Казахстан			
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
N_p	31	55	74	90	18	35	53	67
$N_{ст}$	47	85	132	141	26	51	83	125
$N_{ст}/N_p$	1,5	1,5	1,8	1,6	1,4	1,5	1,6	1,9
m_p	0	4	31	59	0	0	10	10
$m_{ст}$	9	41	91	86	0	10	50	70
n	22	22	22	22	10	10	10	10

Примечание. m_p — число случаев (в процентах), когда длина ряда районных осадков, необходимая для расчета нормы с точностью 3 мм, превышает 82 года, $m_{ст}$ — то же для осадков отдельных станций, n — число случаев.

станциях с точностью 3 мм, составляет 47 лет в апреле, 85 лет в мае, 132 года в июне и 141 год в июле.

Следует отметить, что увеличение заданной точности расчета норм даже на 1 мм приводит к очень резкому увеличению необходимых для этого рядов данных. Так, согласно формуле (2),

Таблица 3

Средние значения максимальных ординат интегрально-разностных кривых месячных сумм районных осадков M_p и осадков на станциях $M_{ст}$, средние значения коэффициентов неустойчивости районных осадков k_p и осадков на станциях $k_{ст}$, средние значения N'_p и $N'_{ст}$, а также разности $N_p - N'_p$ и $N_{ст} - N'_{ст}$ по месяцам

	Юг ЕТС				Северный Казахстан			
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
M_p	132	165	210	216	124	128	164	177
$M_{ст}$	168	199	270	267	130	148	197	231
$M_{ст} - M_p$	36	34	60	51	6	20	33	54
k_p %	80	72	80	78	88	78	84	72
$k_{ст}$ %	85	75	82	67	82	72	78	77
N'_p	24	42	60	72	17	28	42	47
$N'_{ст}$	42	61	106	116	21	37	59	102
$N_p - N'_p$	7	13	14	18	1	7	11	20
$N_{ст} - N'_{ст}$	5	24	26	25	5	14	24	23
n	22	22	22	22	10	10	10	10

Число случаев в процентах по месяцам для юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири, для которых $k > 1$ и $k > 1,25$

	n	$k > 1$				$k > 1,25$			
		IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
Юг ЕТС	69	14	12	25	23	1	3	6	6
Северный Казахстан	24	33	4	46	25	12	0	12	4
Западная Сибирь	13	46	31	8	15	23	8	0	8

если вместо точности расчета норм 3 мм задать точность 2 мм, это будет соответствовать увеличению длины ряда в 2,25 раза ($3^2/2^2=2,25$). На нашем конкретном материале точность 2 мм достижима на ЕТС в апреле в 13 районах из 22, в мае и июне только в одном районе, а в июле не достигается нигде.

Все приведенные выше расчеты сделаны в предположении отсутствия связности внутри метеорологических рядов. Между тем хорошо известно [3], что для метеорологических рядов характерно наличие связности, в частности, за счет колебаний среднего уровня, иногда носящих циклический характер. В зависимости от этого для определения нормы с заданной точностью может потребоваться как более длинный, так и более короткий ряд данных по сравнению с бессвязным рядом.

Для расчета квадратической ошибки нормы в связных рядах Е. Е. Слуцкий [16] предложил следующую формулу:

$$\bar{\sigma}_N = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_1^{N-1} r(t)}, \quad (4)$$

где

$$\sqrt{\sum_1^{N-1} r(t)} = \sqrt{1 + 2 \sum_1^{N-1} r(t)} = k_1, \quad (5)$$

k_1 — поправочный множитель на связность ряда, включающий все возможные коэффициенты парной корреляции r при различных временных сдвигах t .

Для коэффициентов корреляции в виде простой цепи Маркова выражение (5) может быть записано в упрощенном виде [1, 6]

$$k_1 = \sqrt{\frac{1+r_1}{1-r_1}}, \quad (6)$$

здесь r_1 — коэффициент корреляции между соседними членами временного ряда.

О. А. Дроздов [6] показал, что марковская структура рядов месячных сумм осадков встречается довольно редко. Это сильно

ограничивает применимость формулы (6). Поэтому в данной работе связь рядов определялась по интегрально-разностным кривым.

Для оценки степени связности метеорологических рядов О. А. Дроздов предложил использовать выход группы ординат интегрально-разностной кривой анализируемого ряда данных за некоторое принятое критическое значение (уровень значимости). Аналогичный прием использовали Ф. З. Батталов [2] и Ц. А. Швер [17] применительно к рядам осадков на станциях. Для рядов в 70—80 лет за такой уровень значимости О. А. Дроздов принял удвоенное среднее квадратическое отклонение интегрально-разностного ряда $2\sigma_x$. В совокупности случайных величин выход за пределы $2\sigma_x$ должен наблюдаться в 4,55% случаев (см., например, [12]). При длине рядов 82 года это составит 3,73 случая. Степень связности рядов оценивается в зависимости от того, насколько велик выход группы ординат интегрально-разностной кривой за пределы $2\sigma_x$.

В отличие от О. А. Дроздова [3], Л. Г. Полозова [13] степень связности рядов температуры оценивала по отношению максимальной ординаты интегрально-разностного ряда M к удвоенному среднему квадратическому отклонению 2σ этого ряда.

Как отметил О. А. Дроздов, этот критерий менее устойчив, чем первый, так как выход группы ординат интегрально-разностного ряда за критический уровень оценивается надежнее, чем выход максимальной ординаты. Кроме того, коэффициент неустойчивости Л. Г. Полозовой завышен. Действительно, уровень значимости $2\sigma_x$ достаточен, если ориентироваться на группу ординат интегрально-разностного ряда. Если же ориентироваться на максимальную ординату, то должен быть принят более жесткий уровень значимости. С помощью таблицы интеграла вероятности [12] нетрудно найти, что при использовании максимальной ординаты интегрально-разностного ряда следует взять уровень значимости, равный $2,5\sigma_x$. Для ряда 82 года именно при этом уровне значимости за его пределы случайно может выйти одно значение, которое допустимо отождествить с максимальной ординатой.

Уровень значимости для максимальной ординаты интегрально-разностного ряда можно выбрать и другим способом, который дает достаточно близкий результат. В. И. Романовский [15] нашел определенное соотношение между средним квадратическим отклонением некоторой совокупности данных и размахом распределения, под которым понимается разность между максимальным и минимальным значениями этой совокупности в зависимости от ее объема. Путем интерполяции по приведенной в [12] таблице легко определить, что для ряда 82 года отношение размаха к среднему квадратическому отклонению равно 4,8. Поскольку нами рассматривается не весь размах от максимума до минимума, а только его половина до максимума, то следует взять половину

найденной величины, т. е. 2,4. Этот последний уровень и был введен в формулу расчета коэффициента неустойчивости ряда

$$k = \frac{M}{2,4\sigma}, \quad (7)$$

где

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma \sqrt{n - \frac{n^2}{N}}; \quad (8)$$

M — максимальная ордината интегрально-разностного ряда; N — общая длина ряда; n — порядковый номер года, которому соответствует максимальная ордината интегрально-разностного ряда.

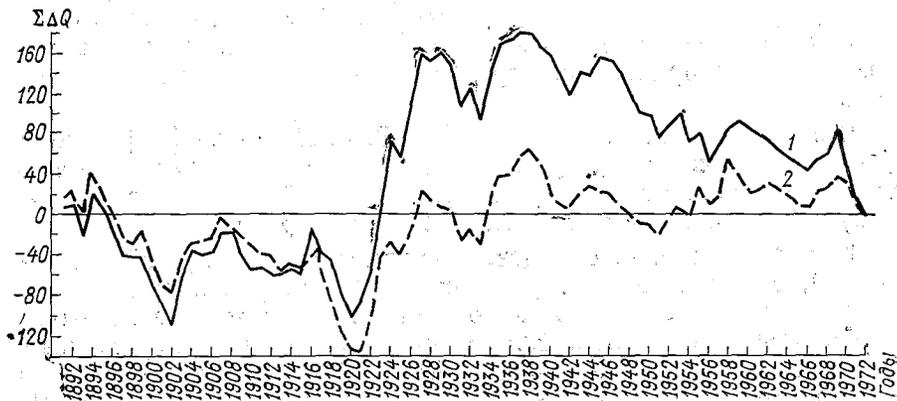


Рис. 1. Интегрально-разностные кривые районных осадков Ленинградской области (1) и на станции Ленинград (2).

Таким образом, расчет коэффициента неустойчивости k основан на вычислении интегрально-разностных рядов, широко применяемых как в метеорологических, так и в гидрологических задачах.

Как показал О. А. Дроздов [5], интегрально-разностные ряды имеют свои положительные и отрицательные стороны. В частности, в интегрально-разностных рядах изменяются масштабы циклов в сторону подавления коротких и выпячивания более длительных циклов. На интегрально-разностных кривых в большей мере, чем на членах исходного ряда, сказываются нарушения однородности. Сильно обесценивает использование интегрально-разностных кривых наличие пропусков, из-за которых уровень всей последующей части интегрально-разностной кривой изменяется на сумму отклонений от нормы, которую дали бы пропущенные годы.

Есть некоторые основания считать, что влияние этих недостатков на ряды осредненных по площади значений метеоэлемента сказывается меньше, чем на ряды неосредненных величин. Во-

первых, число пропусков в рядах районных осадков намного меньше. Во-вторых, уменьшаются амплитуды интегрально-разностных кривых районных осадков по сравнению с амплитудами кривых осадков на станциях, что особенно важно. На рис. 1 приведены интегрально-разностные кривые районных осадков Ленинградской области и осадков на ст. Ленинград в мае. Хорошо видно, что при сохранении общего хода кривых интегрально-разностная кривая осадков Ленинградской области лежит ниже интегрально-разностной кривой осадков на ст. Ленинград, причем в начале периода абсолютные значения этих различий меньше. Такое соотношение сохраняется в подавляющем большинстве случаев. Судить об этом можно по табл. 3, где приведены средние из максимальных ординат интегрально-разностных кривых районных осадков и осадков на станциях для 22 случаев на ЕТС и 10 случаев в Северном Казахстане. Средние разности $M_{ст} - M_p$ оказались положительными во всех месяцах обеих территорий. По-видимому, это означает, что за счет осреднения по площади сглаживаются случайные колебания осадков, а это сопровождается уменьшением максимальных ординат интегрально-разностных кривых.

Попутно следует обратить внимание на увеличение максимальных ординат интегрально-разностных кривых от апреля к июлю, а также на большие значения максимальных ординат на юге ЕТС, чем в Северном Казахстане, что в равной мере относится и к районным осадкам и к осадкам на станциях. Однако, чем объяснить этот факт — неясно.

Выше отмечалось, что в подавляющем большинстве случаев максимальные ординаты интегрально-разностных кривых районных осадков меньше, чем осадков на станциях, но бывают и обратные соотношения, а также случаи, когда знаки максимальных ординат интегрально-разностных кривых районных и точечных осадков не совпадают. Таких случаев оказалось 15%. Они требуют тщательного анализа исходного материала. С этой целью некоторые интегральные кривые районных осадков, вызывающие подозрение, выверялись на однородность (районные осадки Ставропольского края в мае, Ровенской области в июне, Волынской области в июле, Томской области в апреле и мае и др.). Согласно О. А. Дроздову [3], неоднородность рядов проявляется в резком переломе интегрально-разностных кривых на экстремуме. Резкого перелома на построенных интегрально-разностных кривых районных осадков не обнаружено.

Перейдем к анализу коэффициентов неустойчивости k . В табл. 1 приведены коэффициенты неустойчивости районных осадков и осадков на станциях, основанные на расчете 552 интегрально-разностных кривых. В большинстве случаев значения k районных и точечных осадков меньше единицы. Это значит, что в целом связность рядов осадков в весенне-летний период на рассматриваемой территории мала. Этот вывод согласуется с результатами Ц. А. Швер [17], полученными на материалах месячных сумм (январь — декабрь) осадков для 32 станций СССР.

Таблица 4, рассчитанная по данным табл. 1, показывает, что число районов, в которых $k > 1$, колеблется на ЕТС от 12 (май) до 25% (июнь), в Северном Казахстане от 4 (май) до 46% (июнь) и в Западной Сибири от 8 (июнь) до 46% (апрель). Следовательно, относительное число значений $k > 1$ в Северном Казахстане и Западной Сибири несколько больше, чем на юге ЕТС. Это справедливо также для значений $k > 1,25$, которые соответствуют выходу максимальных ординат за 3 σ .

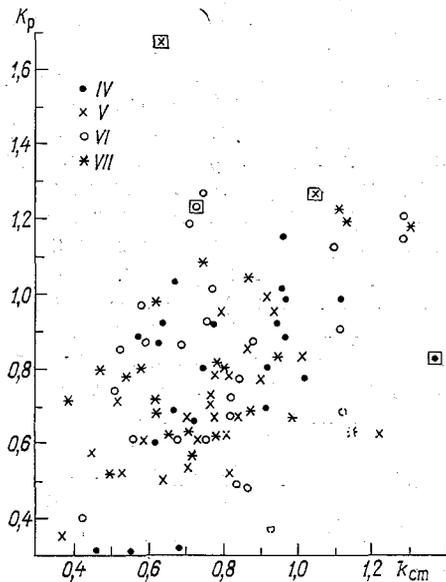


Рис. 2. Зависимость между коэффициентами неустойчивости районных осадков k_p и осадков на станциях $k_{ст}$ для юга ЕТС.

Средние значения коэффициентов неустойчивости районных осадков (табл. 3) меняются по месяцам от 0,72 до 0,88. Следует отметить, что четкий годовой ход (увеличение или уменьшение от апреля к июлю), который отмечался для максимальных ординат интегрально-разностного ряда, для средних значений \bar{k} не выявлен. Дело в том, что в соответствии с формулами (7) и (8) k зависит не только от значения максимальной ординаты M , но и от среднего квадратического отклонения интегрально-разностного ряда σ и в небольшой степени от величины n . В совокупности эти последние затушевают четкий годовой ход максимальных ординат интегрально-разностного ряда, а также различия между

этим ординатами для районных осадков и осадков на станциях. Действительно, при анализе табл. 3, где приведены средние значения k для районных осадков (k_p) и осадков на станциях ($k_{ст}$), систематические по знаку разности $k_p - k_{ст}$ не выявляются.

Что касается значений коэффициентов неустойчивости k за отдельные месяцы, то между k_p и $k_{ст}$ существует определенная прямая зависимость, которую иллюстрирует рис. 2. Эта зависимость иногда нарушается. Так, на рисунке выделены (квадратиками) точки, относящиеся к Ставропольскому краю (запад). Они легли по периферии эллипса точек, а точка за май явно не ложится на график. Это говорит либо о малой надежности исходных данных по Ставропольскому краю, либо о каких-то особенностях структуры осадков в этом районе.

Перейдем к анализу особенностей временного хода и прост-

ранственного распределения коэффициентов неустойчивости районных осадков.

При рассмотрении табл. 1 обнаруживается большая изменчивость значений k как по территории, так и от месяца к месяцу. При сравнении распределений коэффициентов неустойчивости районных осадков за два соседних месяца (апрель и май) нетрудно заметить, что между ними мало общего. К аналогичному выводу можно прийти при сопоставлении карт распределения k и за июнь и за июль. Малая связность коэффициентов неустойчивости соседних месяцев характерна не только для районных осадков, но и для температуры [13].

Было бы весьма полезно попытаться выделить районы, которые из месяца в месяц характеризуются повышенными или пониженными значениями k . Последнее указывало бы на большую связность внутри ряда. Эта связность может иметь природное происхождение, например определяться циклами большой длительности, или быть следствием методических погрешностей.

В табл. 1 приведены средние за четыре месяца (апрель—июль) значения коэффициентов неустойчивости районных осадков. Анализ этой таблицы показывает, что на западе Украины и Белоруссии, на Кубани, а также на севере Западной Сибири коэффициенты неустойчивости районных осадков больше единицы. Рассмотрим возможные причины завышения k в каждом из указанных районов.

На западе Украины и Белоруссии повышенные значения \bar{k} (за четыре месяца) оказались в Волынской ($\bar{k}=1,18$), Брестской ($\bar{k}=1,12$) и Ровенской ($\bar{k}=1,04$) областях. Высокие значения \bar{k} , по-видимому, объясняются большим числом интерполированных данных. Из приведенной в статье [10] карты следует, что число интерполированных лет составило 19 в Брестской, 21 в Ровенской и 19 в Волынской области. Вместе с Гродненской областью эти области по числу интерполированных лет являются рекордными на ЕТС. Большое число интерполированных данных должно приводить к занижению средних квадратических отклонений. Это действительно подтверждает анализ фактических материалов, а также карты дисперсий, полученной путем осреднения средних месячных значений σ^2 за четыре месяца [10]. Пониженными значениями дисперсий особенно выделяется Брестская область с максимальным числом интерполированных лет. Поскольку значение k обратно пропорционально среднему квадратическому отклонению, пониженные значения σ^2 , очевидно, и являются причиной завышения k .

Вторым районом высоких значений \bar{k} является Ставропольский край, где \bar{k} равно 1,24 (запад) и 1,51 (восток). Число интерполированных лет здесь равно пяти, а средние квадратические отклонения скорее завышены, особенно в западной части Ставропольского края. Завышенные коэффициенты неустойчивости определяются крайне высокими значениями максимальных ординат интегрально-разностного ряда. Если рассматривать коэффициент

k по месяцам, то наибольшие его значения, отмеченные в мае ($k=1,67$ в западной и $k=2,08$ в восточной частях Ставропольского края), как раз соответствуют наибольшим максимальным ординатам интегрально-разностных рядов.

Большие значения максимальных ординат указывают на большую связность во времени рядов осадков в Ставропольском крае. В том, что эта связность действительно больше, чем в других районах, можно убедиться по автокорреляционным функциям районных осадков $R(\tau)$ для восточной части Ставропольского края в мае. Эта автокорреляционная функция остается положительной до сдвига τ , равного 29 месяцам (рис. 3).

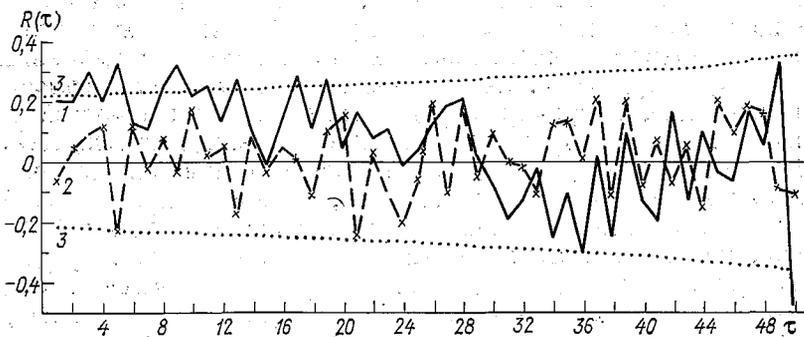


Рис. 3. Автокорреляционные функции районных осадков восточной части Ставропольского края (1) и Владимирской области (2) за май. 3 — удвоенные ошибки (σ_τ) расчета автокорреляционных функций

$$\sigma_\tau = \frac{1}{\sqrt{N-\tau}}, \text{ где } \tau \text{ — сдвиг в месяцах.}$$

Для большинства автокорреляционных функций в других районах характерна знакопеременность и колебание значений автокорреляционных функций в основном в пределах ошибок их расчета. В качестве примера на рис. 3 приведена автокорреляционная функция районных осадков Владимирской области в мае.

Большая связность рядов осадков Ставропольского края может определяться и естественными закономерностями хода осадков в этих районах. Однако скорее всего они определяются не обнаруженными погрешностями при расчете районных осадков.

Последнее подтверждается рядом соображений. Как было показано выше, максимальные ординаты интегрально-разностных кривых районных осадков, как правило, оказываются меньше максимальных ординат точечных осадков. В рассматриваемом районе это не подтвердилось. Максимальные ординаты интегрально-разностных кривых районных осадков в Ставропольском крае намного превосходят максимальные ординаты осадков на ст. Ставрополь. Уже указывалось также, что на рис. 2 данные, относящиеся к Ставропольскому краю (эти точки обведены), находятся на периферии общего корреляционного поля. Все это ставит под

сомнение надежность данных западной и восточной частей Ставропольского края. С целью сглаживания возможных невыявленных просчетов в публикуемых цифровых материалах по длинным рядам районных осадков приводятся данные для всего Ставропольского края, без разделения на западную и восточную части [9]. Аналогичное решение об объединении осадков западной и восточной частей принято в отношении Краснодарского края, [9].

Наконец, высокое среднее значение k оказалось в Томской области (север). По месяцам значения k распределялись так: 1,52 (апрель), 1,53 (май), 1,22 (июнь) и 0,79 (июль). Причины завышения коэффициентов неустойчивости здесь не очень ясны. Такие высокие значения k нельзя целиком связывать с числом интерполированных лет (девять). Правда, на севере Томской области, как и на западе Украины, средние квадратические отклонения районных осадков несколько занижены. Однако этот район является самым северным из всех рассматриваемых, а потому о занижении σ трудно судить наверняка (можно сравнивать только с южными районами). Максимальные ординаты интегрально-разностных кривых не вызывают особых претензий: они мало отличаются от средних. Скорее всего большие значения k здесь носят вполне закономерный характер и связаны с наличием циклов большой длительности. Такое предположение подтверждается работой [3], в которой действительно обнаружены на севере Западной Сибири циклы, близкие к вековому.

В заключение остановимся на анализе числа лет, необходимых для расчета нормы районных осадков и осадков на станциях с заданной точностью в связанном ряду (обозначим их через N'_p и $N'_{ст}$). Для этого достаточно N_p и $N_{ст}$ умножить на соответствующие значения коэффициентов неустойчивости k :

$$N' = N \cdot k,$$

где N — длина ряда, необходимая для определения нормы с заданной точностью в бессвязном ряду и рассчитываемая по формуле (2). Если k больше единицы, что свидетельствует о сильной связности ряда, то для определения нормы с заданной точностью требуется более длинный ряд, чем в бессвязном ряду. При k , меньших единицы, для расчета нормы с заданной точностью достаточно более короткого ряда данных, чем в бессвязном ряду.

Средние значения N'_p и $N'_{ст}$, а также средние разности длин рядов, необходимых для расчета норм в бессвязном и связанном рядах, приводятся в табл. 3. Поскольку в большинстве районов $k < 1$, то в среднем учет связности в рядах районных осадков приводит к уменьшению числа лет, необходимых для расчета норм осадков с заданной точностью, о чем, в частности, говорят положительные разности $N_p - N'_p$ и $N_{ст} - N'_{ст}$. Поправки, вводимые на связность, могут составлять до 20 лет, т. е. почти четверть исходного ряда. Для осадков на станциях поправки на

связность еще больше. Эти выводы относятся к средним значениям N'_p и $N'_{ст}$. Если обратиться к значениям N'_p и $N'_{ст}$ за отдельные месяцы, то здесь учет связности может приводить к значительному уменьшению длины рядов, необходимой для расчета нормы. Однако в ряде районов поправки соответствуют увеличению необходимой длины рядов по сравнению с бессвязным рядом. Судить об этом можно по картам распределения коэффициентов k , а также по табл. 1, где приведены длины рядов, необходимые для расчета нормы в связных и бессвязных рядах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. Л., Гидрометеоздат, 1975, 95 с.
2. Батталов Ф. З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л., Гидрометеоздат, 1968, 182 с.
3. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1971, 157 с.
4. Дроздов О. А. О свойствах интегрально-разностных кривых.—«Труды ГГО», 1964, вып. 162, с. 3—6.
5. Дроздов О. А. Некоторые вопросы получения норм осадков методом интегрально-разностных кривых.—«Труды ГГО», 1968, вып. 227, с. 110—115.
6. Дроздов О. А. О некоторых критериях статистической структуры многолетних метеорологических рядов.—«Труды ГГО», 1975, вып. 354, с. 117—137.
7. Ефремова Н. И. О некоторых особенностях режима осадков на Европейской территории СССР в связи с колебаниями климата.—«Труды ГГО», 1974, вып. 316, с. 136—150.
8. Ефремова Н. И. О нормах атмосферных осадков, средних для больших площадей, и погрешностях их вычисления для бессвязного и связного временного ряда.—«Труды ГГО», 1975, вып. 330, с. 101—119.
9. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР (ежегодные данные). Л., Гидрометеоздат, 1977, 157 с.
10. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
11. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. К сравнению осадков, осредненных по площади, с осадками отдельных станций. См. наст. сб.
12. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971, 576 с.
13. Полозова Л. Г. Точность норм средней месячной температуры воздуха в зависимости от ее многолетних колебаний.—«Труды ГГО», 1973, вып. 299, с. 52—65.
14. Рубинштейн Е. С. О значении связности между членами метеорологического ряда при определении точности метеорологических средних.—«Труды ГГО», 1971, вып. 274, с. 110—115.
15. Романовский В. И. Математическая статистика. М.-Л., ОНТИ, 1938, 517 с.
16. Слуцкий Е. Е. О квадратической ошибке коэффициента корреляции в случае однородных связных рядов. Избранные труды М., Изд. АН СССР, 1960, 291 с.
17. Швер Ц. А. Зависимость точности месячных норм осадков от циклическости и связности рядов.—«Труды ГГО», 1975, вып. 335, с. 107—118.

Н. А. Болдырева

РАЗЛОЖЕНИЕ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ, ОСРЕДНЕННЫХ ПО ПЛОЩАДИ, ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ

Для целей долгосрочного прогноза осадков и температуры физико-статистическим методом используются не сами поля районных осадков, а коэффициенты разложения по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.). Поэтому все ряды районных осадков на ЕТС, в Северном Казахстане и Западной Сибири были разложены на е. о. ф. До последнего времени прогнозы базировались на относительно коротких рядах районных осадков. Ряд районных осадков при прогнозе на 1975 г. составил 37 лет для ЕТС и 29 лет для Северного Казахстана. При разложении коротких рядов районных осадков на е.о.ф. вся территория, по которой давался прогноз, была разделена на два района: юг ЕТС и Северный Казахстан [6]. Разделение территории на ЕТС и Северный Казахстан было вызвано двумя причинами. Первая причина чисто техническая, связанная с ограниченной памятью ЭВМ. Вторая причина объективная, основанная на анализе полей первой естественной составляющей (рис. 1). Этот анализ показывает, что естественная граница между осадками этих двух территорий действительно существует.

В настоящее время получены длинные ряды районных осадков за 82 года (1891—1972 гг.), которые также необходимо было представить в виде коэффициентов разложения по е. о. ф. [1].

При подготовке длинных рядов районных осадков к территории основных сельскохозяйственных районов Северного Казахстана были присоединены основные сельскохозяйственные районы Западной Сибири. Возможность и целесообразность такого объединения показана в работе А. В. Мещерской и В. Г. Блажевич [3], где приведены коэффициенты корреляции между осадками Северного Казахстана и осадками Западной Сибири. В среднем эти коэффициенты корреляции несколько превышают 0,5. В результате такого разделения территории юг ЕТС включает

Статистические параметры районных осадков за разные периоды по месяцам

Район	$N_1(1891-1972)$							$N_2(1939-1972)$							N_3-N_7							$\frac{N_1-N_2}{N_1} \cdot 100$	$\frac{\sigma_1}{(1891-1972)}$	$\frac{\sigma_2}{(1939-1972)}$	σ_1/σ_2				
	IV			V			VI			VII			IV			V			VI							VII			средняя
	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV					V	VI	VII	
1. Винницкая обл.	39	58	74	77	35	54	69	84	4	4	5	7	10	7	7	9	4	30	27	1,1									
2. Днепропетровская обл.	32	43	59	50	28	41	53	49	4	2	6	1	12	5	10	2	7	26	25	1,0									
3. Донецкая обл.	34	42	58	52	32	43	56	50	2	1	2	2	6	2	3	4	3	26	28	1,1									
4. Кировоградская обл.	34	45	64	61	31	46	66	65	3	1	2	4	9	2	3	6	1	26	26	1,0									
5. Одесская обл.	28	41	56	47	26	42	58	49	2	1	2	2	7	2	4	4	1	25	27	1,1									
6. Ровенская обл.	39	57	71	79	35	54	67	77	4	3	4	2	10	5	6	2	6	27	24	1,1									
7. Сумская обл.	35	50	65	71	33	49	60	73	2	1	5	2	6	2	8	3	3	25	24	1,0									
8. Черкасская обл.	35	47	66	65	34	45	67	67	1	2	1	2	3	4	1	3	1	25	23	1,1									
9. Молдавская ССР	34	52	69	62	33	52	75	66	1	0	6	4	3	0	9	6	3	28	28	1,0									
10. Воронежская обл.	32	44	54	58	32	45	45	55	0	1	9	3	0	2	17	5	5	24	23	1,0									
11. Брестская обл.	40	52	69	76	36	53	66	70	4	1	3	6	10	2	4	8	5	23	22	1,0									
12. Витебская обл.	38	54	74	86	38	54	68	80	0	0	6	6	0	0	8	7	4	28	25	1,1									
13. Гомельская обл.	41	53	74	84	36	52	70	74	5	1	4	10	12	2	5	12	8	25	26	1,1									
14. Минская обл.	41	54	75	81	37	56	69	73	4	2	6	8	10	4	8	10	6	24	22	1,0									
15. Владимирская обл.	32	44	62	74	34	48	56	76	2	4	6	2	6	9	10	3	2	21	22	1,0									
16. Калининская обл.	31	46	69	81	34	49	66	77	3	3	3	4	10	6	4	5	2	20	20	1,0									
17. Калуужская обл.	36	51	68	85	36	52	60	80	0	1	8	5	0	2	12	6	4	30	23	1,3									
18. Рязанская обл.	31	43	52	65	33	46	49	65	2	3	3	0	6	7	6	0	2	22	22	1,0									
19. Волгоградская обл.	25	31	38	36	24	34	32	33	1	3	6	3	4	10	16	8	4	19	19	1,0									

ЕТС

20. Краснодарский край (запад)	39	43	68	60	34	44.	58.	53.	5	1	10	7	13	-2	15	12	9	27	26	1,0
21. Краснодарский край (восток)	45	60	75	63	42	63	75	60	3	-3	0	3	7	-5	0	5	2	28	28	1,0
22. Ростовская обл.	30	38	52	47	29	38	47	42	1	0	5	5	3	0	10	11	6	23	20	1,1
23. Ставропольский край (запад)	43	67	87	67	37	60	79	58	6	7	8	9	14	10	9	13	11	34	31	1,1
24. Ставропольский край (восток)	33	51	64	52	25	40	53	46	8	11	11	6	24	21	17	11	18	31	24	1,3
25. Горьковская обл.	30	43	60	69	31	48	57	71	-1	-5	3	-2	-3	-12	5	-3	-3	22	24	1,1
26. Костромская обл.	32	47	68	71	32	50	64	73	0	-3	4	-2	0	-6	6	-3	-1	25	24	1,0
27. Чувашская АССР	28	40	54	64	31	44	54	71	-3	-4	0	-7	-11	-10	0	-11	-8	23	25	1,1
28. Куйбышевская обл.	26	36	42	48	29	38	42	54	-3	-2	0	-6	-11	-5	0	-12	-7	22	20	1,1
29. Пензенская обл.	30	45	54	60	33	50	47	63	-3	-5	7	-3	-10	-11	13	-5	-3	24	27	1,1
30. Саратовская обл.	23	33	38	39	23	37	34	41	0	-4	4	-2	0	-12	10	-5	-2	19	20	1,0
31. Татарская АССР	24	38	50	58	27	40	48	63	-3	-2	2	-5	-12	-5	4	-9	-6	20	18	1,1
32. Латвийская ССР	36	45	60	76	36	42	57	76	0	3	3	0	0	7	5	0	3	24	19	1,2
33. Псковская обл.	33	46	68	78	35	44	66	77	-2	2	2	1	-6	4	3	1	0	25	23	1,1
34. Ленинградская обл.	34	43	59	68	37	42	56	74	-3	1	3	-6	-9	2	5	-9	-3	20	18	1,1
35. Вологодская обл.	30	47	66	74	34	48	65	72	-4	-1	1	2	-13	-2	1	+3	-3	19	19	1,0

Северный Казахстан и Западная Сибирь

1. Пермская обл.	26	47	63	68	30	51	62	70	-4	-4	1	-2	-15	-8	1	-3	-6	22	23	1,0
2. Свердловская обл. (юг)	20	42	63	76	23	39	60	30	-3	3	3	-4	-15	7	5	-5	-2	19	20	1,0
3. Среднеуральский горный район	26	51	74	90	32	52	72	93	-6	-1	2	-3	-23	-2	3	-3	-6	28	26	1,1
4. Башкирская АССР (север)	24	41	53	64	27	44	52	69	-3	-3	1	-5	-12	-7	2	-8	-6	21	19	1,1
5. Челябинская обл. (север)	20	41	58	81	20	41	58	90	0	0	0	-9	0	0	0	-11	-3	21	22	1,0
6. Курганская обл.	18	33	50	62	21	32	48	67	-3	1	2	-5	-17	3	4	-8	-4	19	30	1,0
7. Башкирская АССР (юг)	25	43	48	57	28	43	47	63	-3	0	1	-6	-12	0	2	-10	-5	23	21	1,1
8. Южноуральский горный район	30	42	59	65	29	43	51	65	1	-1	8	0	3	-2	13	0	3	28	27	1,0

Район	N ₁ (1891—1972)				N ₂ (1939—1972)				N ₁ - N ₂				N ₁ - N ₂ · 100 / N ₁				σ ₁ /σ ₂			
	IV		V		VI		VII		IV		V		VI		VII			Сред- няя		
	IV	V	IV	V	IV	V	IV	V	IV	V	IV	V	IV	V	IV	V				
9. Челябинская обл. (юг)	20	34	52	66	20	35	49	72	0	-1	3	-6	0	-3	6	-9	-1	22	23	1,0
10. Оренбургская обл. (запад)	22	36	42	41	25	35	37	43	-3	1	5	-2	-14	3	12	-5	-1	21	19	1,1
11. Оренбургская обл. (восток)	25	35	43	45	22	33	37	44	3	2	6	1	12	6	14	2	8	26	22	1,2
12. Уральская обл. (север)	19	27	29	28	20	24	27	28	-1	3	2	0	-5	11	7	0	3	18	15	1,2
13. Уральская обл. (юг)	17	20	26	21	16	17	22	20	1	3	4	1	6	15	15	5	10	15	13	1,1
14. Гурьевская обл. (север)	14	16	19	14	11	16	17	14	3	0	2	0	21	0	10	0	5	16	13	1,2
15. Актюбинская обл. (север)	17	24	25	26	17	25	25	26	0	-1	0	0	0	-4	0	0	-1	15	14	1,1
16. Кустанайская обл. (восток)	17	27	37	46	17	29	36	48	0	-2	1	-2	0	-7	3	-4	-2	19	20	1,0
17. Северо-Казахстанская обл.	16	28	46	59	16	28	44	64	0	0	2	-5	0	0	4	-8	-1	22	21	1,1
18. Кокчетавская обл.	16	32	45	59	19	32	37	64	-2	0	8	-5	-12	0	18	-8	0	20	17	1,1
19. Челябинская обл.	15	27	38	43	15	27	33	50	0	0	5	-7	0	0	13	-16	-1	19	15	1,3
20. Павлодарская обл.	13	22	37	46	13	24	35	46	0	-2	2	0	0	-9	5	0	-1	17	17	1,0
21. Карагандинская обл.	18	30	36	37	22	27	33	38	-4	3	3	-1	-22	10	8	-3	-2	21	20	1,1
22. Семипалатинская обл. (север)	15	22	31	34	15	22	30	33	0	1	1	0	0	3	3	2	14	15	1,1	
23. Семипалатинская обл. (центр)	19	30	32	36	26	32	32	41	-7	-2	0	-5	-37	-7	0	-14	-16	20	18	1,1
24. Томская обл.	23	43	62	74	23	46	68	74	0	-3	-6	0	0	-7	-10	0	-4	18	18	1,0
25. Новосибирская обл. (северо-восток)	21	34	55	65	24	34	55	71	-3	0	0	-6	-14	0	0	-9	-6	20	15	1,3
26. Новосибирская обл. (юго-запад)	14	26	46	63	16	25	48	64	-2	1	-2	-1	-14	4	-4	-1	-4	18	18	1,0
27. Кемеровская обл. (северо-запад)	24	43	59	68	26	45	63	73	-3	-2	-4	-5	-8	-5	-7	-7	-7	21	19	1,1
28. Алтайский край (запад)	15	27	41	48	15	26	38	51	0	1	3	-3	0	4	7	-6	1	18	18	1,0
29. Алтайский край (северо-восток)	26	41	54	66	30	42	57	68	-4	-1	-3	-2	-15	-2	-5	-3	-6	21	20	1,0
30. Алтайский край (юго-восток)	40	64	74	81	47	66	74	81	-7	-2	0	0	-17	-3	0	0	-5	29	28	1,0
31. Омская обл. (север)	20	39	61	76	23	40	64	71	-3	-1	-3	5	-15	-2	-5	-4	-4	22	22	1,0
32. Омская обл. (юг)	15	29	51	62	19	30	47	66	-4	-1	4	-4	-27	-3	8	-6	-7	20	18	1,1
33. Тюменская обл.	19	37	56	71	21	34	56	71	-2	3	0	0	-10	8	0	0	-1	18	18	1,0
34. Астраханская обл.	15	20	22	19	14	20	19	18	1	0	3	1	7	0	14	5	6	15	13	1,1
35. Калмыцкая АССР	18	28	35	29	15	31	35	29	3	-3	0	0	17	-11	0	0	2	20	20	1,1

данные 35 районов, такое же количество районов выделено по территории Северного Казахстана и Западной Сибири.

В свое время при разложении коротких рядов районных осадков по е. о. ф. использовались разные варианты разложения. В данной статье приведены результаты разложения по е. о. ф. районных осадков ЕТС, Северного Казахстана, Западной Сибири за два периода (1891—1972 и 1939—1972 гг.), дан их анализ и сделано сравнение.

Прежде всего сравним нормы районных осадков, полученные для периода с 1891 по 1972 г., с нормами районных осадков для периода с 1939 по 1972 г. В табл. 1 приведены нормы районных осадков за эти два периода N_1 и N_2 , их разности, а также отношение полученных разностей к норме длиннорядного периода. Разности норм двух периодов в среднем за четыре месяца в большинстве случаев положительные, т. е. нормы длинного периода больше, чем нормы короткого, а в 40% случаев эти разности отрицательные. Эти выводы подтверждаются выводами, полученными в работе А. В. Мещерской, К. В. Ледневой и К. М. Лугиной [4], в которой показано, что нормы за период с 1905 по 1938 г. выше норм за период с 1939 по 1972 г. Поскольку период с 1905 по 1938 г. был более влажным, то получается, что нормы длинного периода больше, чем нормы короткого периода. Для оценки значимости разности норм двух периодов рассчитывались значения

$$\sigma_{N_1-N_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n^2}},$$

где N_1-N_2 — разности норм двух периодов, σ_1 и σ_2 — средние квадратические отклонения соответственно первого и второго периодов. Расхождения между средними двух периодов, превосходящие 2σ , считались значимыми. В совокупности из 280 случаев оказалось только три значимых разности. Следовательно, можно считать, что нормы за оба периода устойчивы.

Дисперсии районных осадков за период с 1891 по 1972 г. в 73% случаев оказались больше, чем за период с 1939 по 1972 г. Отношение большей дисперсии к меньшей колеблется от 1,0 до 1,3. По критерию Фишера, для 5%-ного уровня значимости различия дисперсий значимы, если отношение дисперсии больше 1,52.

Как видно из табл. 1, различия дисперсий районных осадков длинного и короткого периодов на ЕТС, в Северном Казахстане и Западной Сибири во всех случаях незначимы. Можно сделать вывод, что данные о районных осадках за оба периода достаточно надежны и могут быть использованы для решения большого круга задач. Разложение районных осадков по е. о. ф. выполнено в четырех вариантах с использованием корреляционной и ковариационной матриц. Первый вариант разложения основан на расчете корреляционной матрицы для отклонений осадков от норм. Второй вариант основан на расчете ковариационной матрицы для отклонений осадков от норм. Третий вариант

Вклады (%) членов разложения в суммарную дисперсию поды за два периода

i	Вариант (1891—1972 гг.)					Вариант (1939—1972 гг.)										
	1		2		3		4		1		2		3		4	
	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$
1	29,0	29,0	29,0	29,0	30,6	30,6	30,2	30,2	31,8	31,8	31,9	31,9	34,1	34,1	35,0	35,0
2	21,4	50,4	20,0	49,0	22,0	52,6	21,8	52,0	18,8	50,6	19,8	51,7	19,5	53,6	19,4	54,4
3	14,4	64,8	14,0	63,0	13,8	66,4	13,6	65,6	14,3	64,9	13,8	65,6	12,9	66,5	12,1	66,5
4	8,6	73,4	10,4	73,4	7,9	74,3	8,1	73,7	8,7	73,6	9,7	75,2	8,8	75,3	8,5	75,0
5	7,2	80,6	6,5	79,9	6,7	81,0	6,7	80,4	7,7	81,3	7,0	82,2	6,6	81,9	6,4	81,4
6	5,4	86,0	5,5	85,4	5,3	86,3	5,4	85,8	5,4	86,7	5,0	87,2	5,3	87,2	5,5	86,9
7	4,3	90,3	4,4	89,8	4,3	90,6	4,3	90,1	3,7	90,4	3,7	90,9	3,8	91,0	4,2	91,1
8	3,8	94,1	4,0	93,8	3,7	94,3	4,0	94,1	3,7	94,1	3,2	91,1	3,5	94,5	3,5	94,6
9	3,1	97,2	3,3	97,1	3,0	97,3	3,0	97,1	3,0	97,1	3,0	97,1	2,9	97,4	2,8	97,4
10	2,7	99,9	2,8	99,9	2,8	100,1	2,8	99,9	2,8	99,9	2,9	100,0	2,6	100,0	2,5	99,9

ЕТС

Северный Казахстан и Западная Сибирь															
1		2		3		4		1		2		3		4	
λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$	λ_i	$\sum_{l=1}^{10} \lambda_l$
1	33,6	33,6	36,4	36,4	35,9	34,2	34,2	31,2	31,2	35,3	35,3	32,4	32,4	33,2	33,2
2	20,9	54,5	20,7	57,1	19,7	55,6	18,2	52,4	23,8	55,0	22,6	54,8	21,1	54,3	21,1
3	10,6	65,1	8,8	65,9	11,1	66,7	13,5	65,9	11,2	66,2	9,3	67,2	12,0	67,0	12,7
4	8,0	73,1	8,8	74,7	7,4	74,1	7,4	73,3	7,6	73,8	8,7	75,9	7,1	74,4	7,4
5	6,5	79,6	5,6	80,3	6,3	80,4	6,5	79,8	6,5	80,3	5,9	81,8	6,0	80,5	6,1
6	5,1	84,7	5,0	86,3	5,1	85,5	5,9	85,7	5,1	85,4	4,4	86,2	5,4	85,9	5,4
7	4,6	89,3	4,4	89,7	4,5	90,0	4,8	90,5	4,2	89,6	4,0	90,2	4,5	89,8	4,8
8	3,8	93,1	3,7	93,4	3,7	93,7	3,5	94,0	4,0	93,6	3,8	94,0	3,7	93,5	3,4
9	3,5	96,6	3,5	96,9	3,3	97,0	3,1	97,1	3,4	97,0	3,3	97,3	3,6	97,3	3,2
10	3,4	100,0	3,2	100,1	3,0	100,0	2,9	100,0	3,0	100,0	2,6	99,9	2,8	99,9	2,6

разложения выполнен с использованием ковариационной матрицы для гиперболических тангенсов от нормированных аномалий осадков. Четвертый вариант разложения выполнен с использованием ковариационной матрицы для нормированных аномалий осадков.

Рассмотрим скорость сходимости рядов членов разложения, полученных по четырем вариантам разложения. В табл. 2 приведены вклады λ_i членов разложения (где i — их порядковый номер) в суммарную дисперсию поля Σ для периодов с 1891 по 1972 и с 1939 по 1972 гг., рассчитанные для этих вариантов.

Как видно из табл. 2, первый член разложения содержит от 29,0 до 30,6% суммарной дисперсии поля по ЕТС и от 33,6 до 36,4% по Северному Казахстану и Западной Сибири. На второй член разложения приходится от 20,0 до 22,0% суммарной дисперсии по первой территории и от 18,2 до 20,9% по второй. Сумма первых двух членов разложения колеблется от 49,0 до 52,6% по ЕТС и от 52,4 до 57,1% по Северному Казахстану и Западной Сибири. В общем различия четырех вариантов разложения невелики, и, судя по вкладам, можно использовать любой вариант разложения.

Если сравнивать вклады, полученные в результате разложения по коротким и длинным рядам, то сумма первых двух членов разложения составляет соответственно 50,6 и 50,4% по ЕТС, 55,0 и 54,5% по Северному Казахстану и Западной Сибири, т. е. скорость сходимости членов разложения не зависит от длины ряда.

Перейдем к анализу полей естественных составляющих (рис. 1—4). По первому и второму варианту разложения выделяются два обособленных центра на общем фоне положительных значений, а по третьему и четвертому варианту разложения эти обособленные области не выделяются. Поля второй е.о.ф. разделены на три большие области: две положительные области занимают Западную Сибирь и юг Украины, а отрицательная область — район Верхней Волги. Поля третьей и четвертой естественных составляющих разбиты на мелкие вихри, т. е. они мелкомасштабны. Это не имеет существенного значения, так как в работе [5] показано, что с большой заблаговременностью можно предсказывать только первые два коэффициента разложения.

Теперь рассмотрим временной ход первого коэффициента разложения районных осадков (рис. 5). В зависимости от варианта разложения временной ход коэффициентов разложения различается только амплитудой изменения. Коэффициенты разложения, рассчитанные по третьему и четвертому варианту, совпадают. Амплитуда коэффициентов разложения, рассчитанных по второму варианту разложения, в 15 раз превышает амплитуду коэффициентов разложения, рассчитанных по первому варианту разложения.

Сравнение временного хода a_1 , рассчитанного по коротким рядам, с временным ходом a_1 , рассчитанного по длинным рядам, показывает, что они совпадают. Для практических целей, в том

Рис. 1—4. ПОЛЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ РАЙОННЫХ ОСАДКОВ ЕТС, СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.

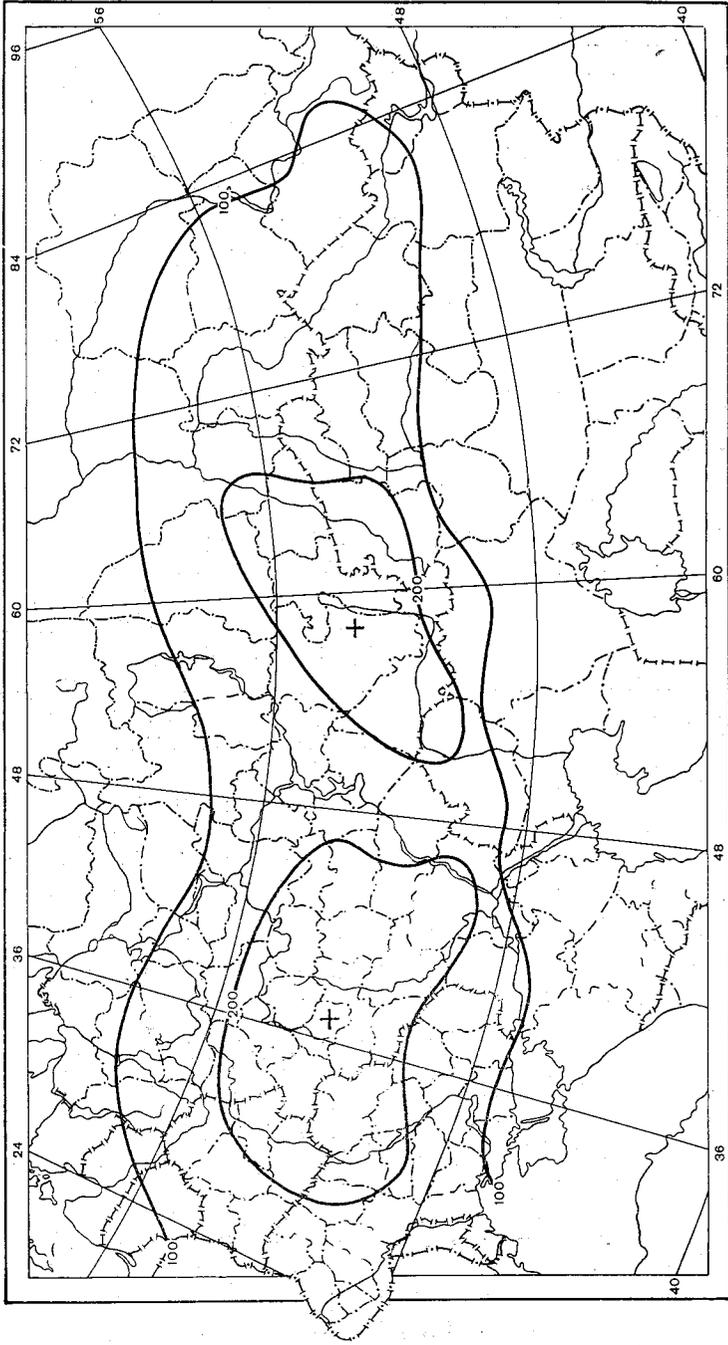


Рис. 1. Поле первого вектора X_1 по первому варианту разложения.

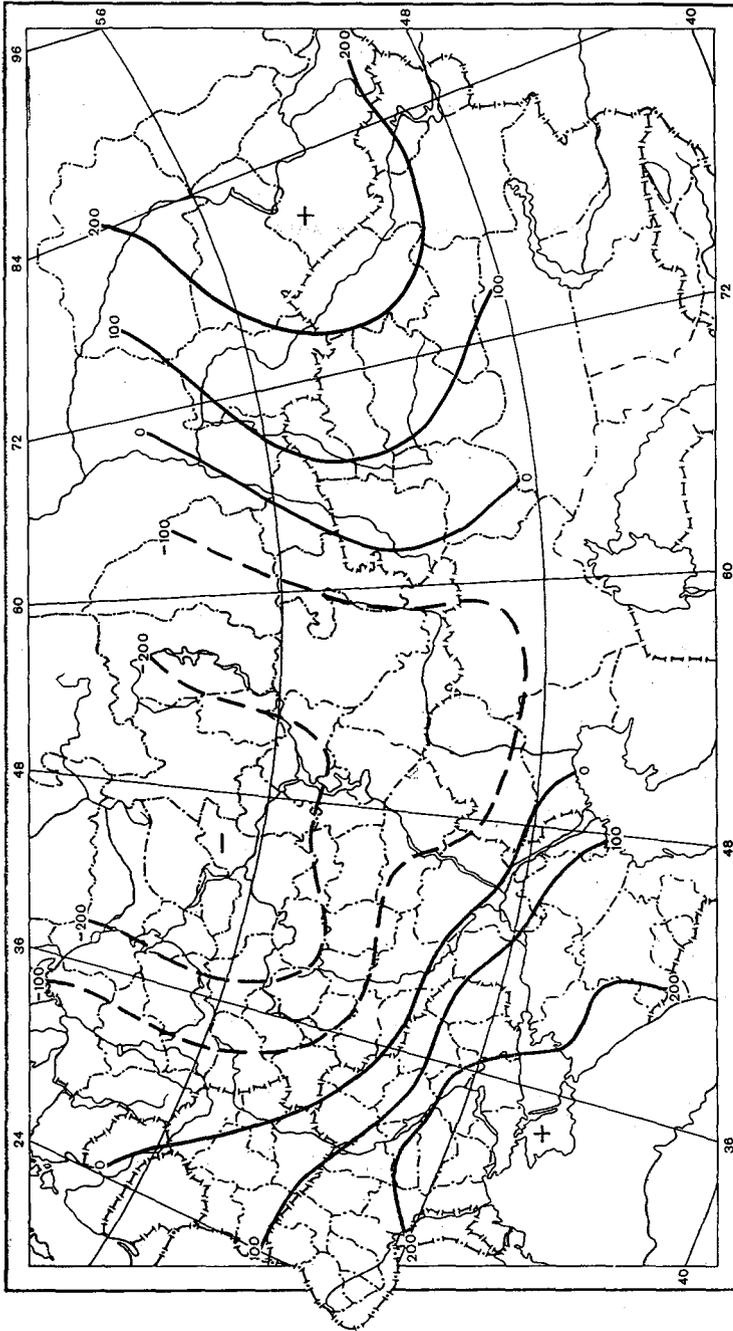


Рис. 2. Поле второго вектора X_2 по первому варианту разложения.

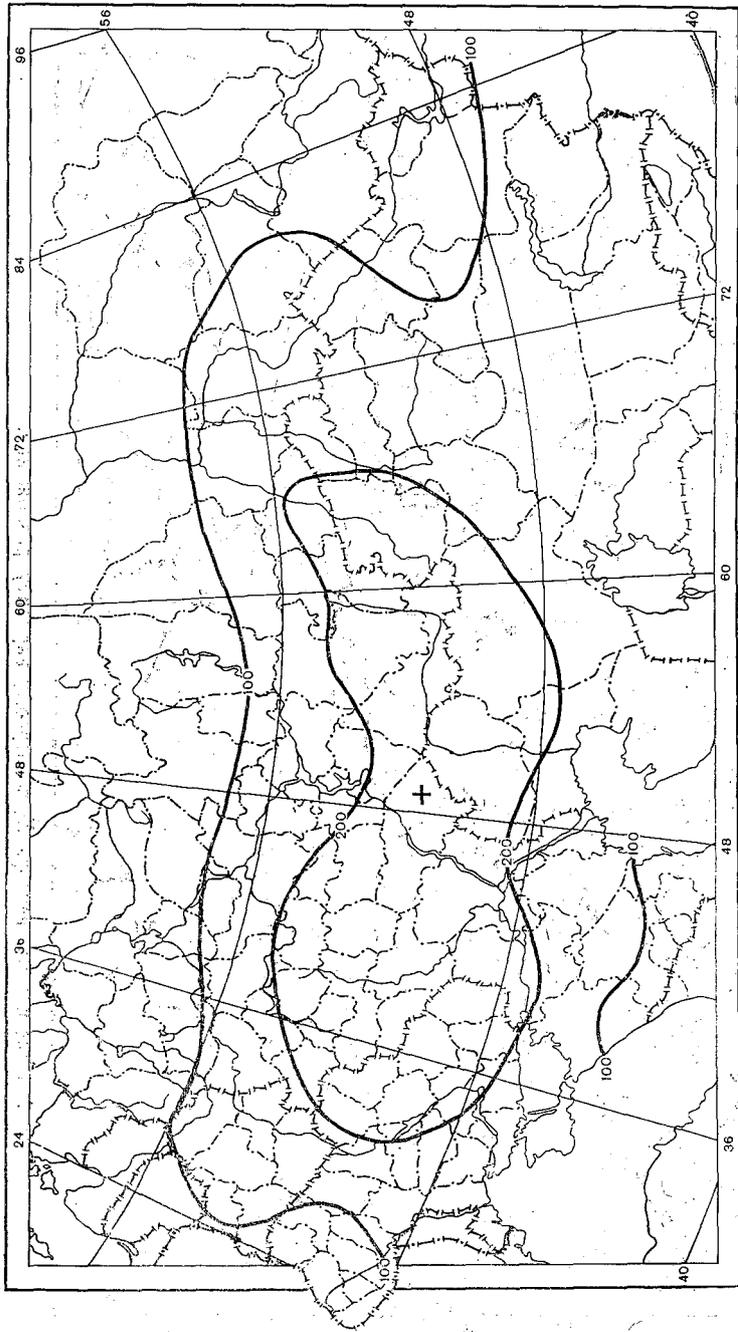


Рис. 3. Поле первого вектора X_1 по четвертому варианту разложения.

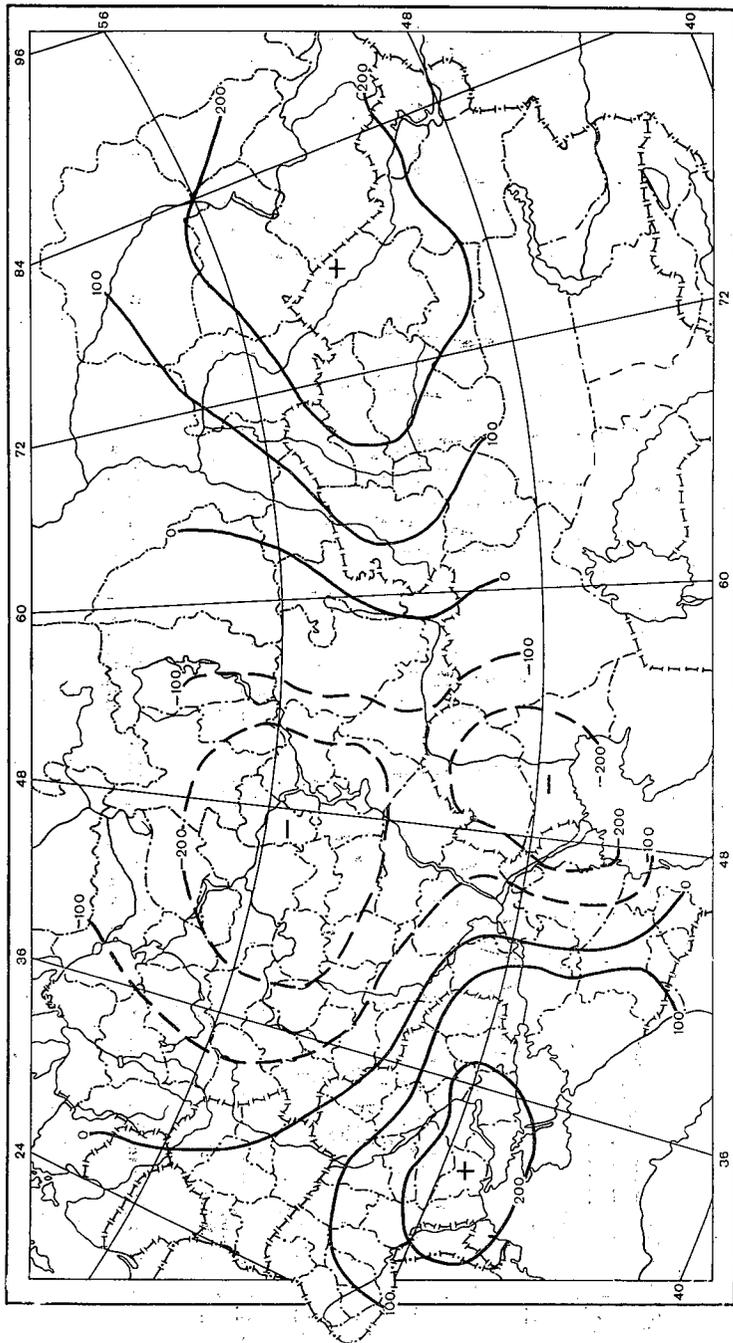


Рис. 4. Поле второго вектора X_2 по четвертому варианту разложения.

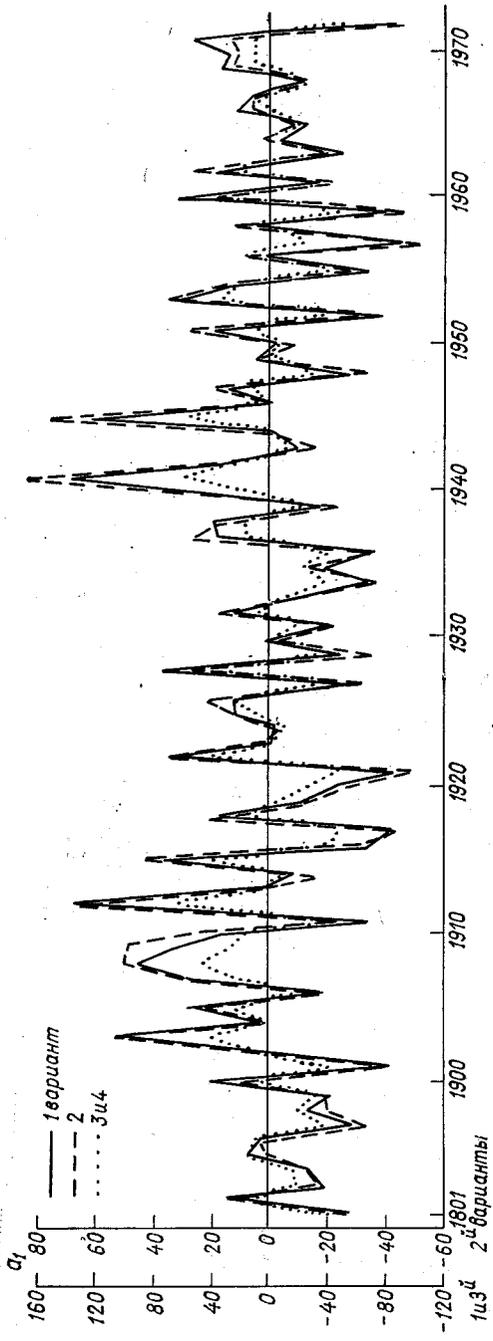


Рис. 5. Временной ход первого коэффициента разложения районных осадков Северного Казахстана и Западной Сибири за май по четырем вариантам разложения.

числе для долгосрочного прогноза, важно знать тесноту связи между первыми коэффициентами разложения по е. о. ф. для разных территорий. В табл. 3 приведены результаты таких расчетов с 1891 по 1972 г.

По длинному периоду (табл. 3) коэффициент корреляции между a_1 для ЕТС и a_1 для Северного Казахстана и Западной Сибири составляет: в апреле 0,23, в мае 0,31, в июне 0,0, в июле —0,05. По короткому периоду коэффициент корреляции между a_1 для ЕТС и a_1 для Северного Казахстана и Западной Сибири составляет соответственно 0,19; 0,22; —0,12; 0,03.

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции между коэффициентами разложения для ЕТС и коэффициентами разложения для Северного Казахстана и Западной Сибири (%)

ЕТС	Северный Казахстан и Западная Сибирь											
	a_1 IV	a_2 IV	a_3 IV	a_1 V	a_2 V	a_3 V	a_1 VI	a_2 VI	a_3 VI	a_1 VII	a_2 VII	a_3 VII
a_1 IV	23	-29	-6	18	-7	-10	-16	-10	-8	8	5	4
a_2 IV	-35	6	30	-7	-2	-14	-13	-12	19	-17	-25	-10
a_3 IV	-8	36	-34	8	20	-7	-22	6	-24	0	4	-25
a_1 V	16	-5	-16	31	-37	15	7	2	0	11	-4	0
a_2 V	3	0	-6	-22	37	22	7	8	6	0	8	13
a_3 V	-18	0	-13	-21	30	-27	-16	-14	8	-2	-3	-12
a_1 VI	0	-5	22	17	-6	0	0	-7	27	-6	9	12
a_2 VI	15	2	0	-5	11	7	-16	18	23	-17	7	8
a_3 VI	-1	16	0	-13	20	-1	-2	17	0	3	2	-2
a_1 VII	-4	-7	-11	9	-9	-20	17	2	7	-5	-18	30
a_2 VII	11	-8	3	3	5	0	-5	17	10	-23	26	24
a_3 VII	5	-4	-20	5	22	-11	16	-7	-13	-16	14	-40

В среднем коэффициент корреляции между коэффициентами разложения районных осадков для ЕТС и Северного Казахстана с прилегающими районами Западной Сибири по длинным рядам равен 0,12, по коротким 0,16, т. е. тесной связи между коэффициентами разложения районных осадков на рассматриваемых территориях не обнаружено.

Для уточнения прогноза важно знать не только коэффициенты корреляции между первыми коэффициентами разложения, но и коэффициенты корреляции между всеми прогнозируемыми коэффициентами разложения [2]. Например, если надежно определен знак a_1 районных осадков ЕТС в мае, а знак a_2 районных осадков Северного Казахстана за этот же месяц определен менее надежно, то второй можно уточнить за счет первого, если между указанными коэффициентами разложения существует статистически значимая корреляционная зависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Л., Гидрометеоздат, 1977, 157 с.
2. Леднева К. В., Мещерская А. В. Анализ экстремальных температур с помощью естественных ортогональных функций.—«Труды ГГО», 1973, вып. 298, с. 150—168.
3. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Многолетние колебания общей увлажненности в основных сельскохозяйственных районах ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. См. наст. сб.
4. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
5. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. К оценке некоторых методических положений физико-статистического метода.—«Труды ГГО», 1975, вып. 329, с. 54—64.
6. Юдин М. И., Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Характеристика гидрометеорологической информации, использованной при долгосрочном физико-статистическом прогнозе температуры и осадков для районов недостаточного увлажнения.—«Труды ГГО», 1969, вып. 236, с. 45—63.

1	Леднева К. В.	Мещерская А. В.	Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Л., Гидрометеоздат, 1977, 157 с.
2	Леднева К. В.	Мещерская А. В.	Анализ экстремальных температур с помощью естественных ортогональных функций.—«Труды ГГО», 1973, вып. 298, с. 150—168.
3	Мещерская А. В.	Блажевич В. Г.	Многолетние колебания общей увлажненности в основных сельскохозяйственных районах ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. См. наст. сб.
4	Мещерская А. В.	Лугина К. М., Леднева К. В.	Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
5	Мещерская А. В.	Блажевич В. Г.	К оценке некоторых методических положений физико-статистического метода.—«Труды ГГО», 1975, вып. 329, с. 54—64.
6	Юдин М. И.	Мещерская А. В., Блажевич В. Г.	Характеристика гидрометеорологической информации, использованной при долгосрочном физико-статистическом прогнозе температуры и осадков для районов недостаточного увлажнения.—«Труды ГГО», 1969, вып. 236, с. 45—63.

А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ОБЩЕЙ УВЛАЖНЕННОСТИ В ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНАХ ЕТС, СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Длинные ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для 104 административных районов [3] позволяют проследить за колебаниями увлажненности в основных сельскохозяйственных областях СССР с конца XIX и до 70-х годов XX в. С этой целью для каждого года (1891—1975) за каждый месяц (апрель — июль) рассчитывалось среднее значение осадков в процентах от нормы с учетом площади трех территорий: юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Списки административных районов (с указанием соответствующих площадей), включенных в эти территории, приведены в работе [4]. Там же приведен рис. 1, на котором показано положение названных районов на карте.

Для расчета средних значений осадков в процентах от нормы, например в Северном Казахстане в 1891 г., суммируются значения осадков в процентах от нормы во всех районах, включенных в данную территорию, с весами, равными их площади. Результаты расчетов средних значений осадков в процентах от нор-

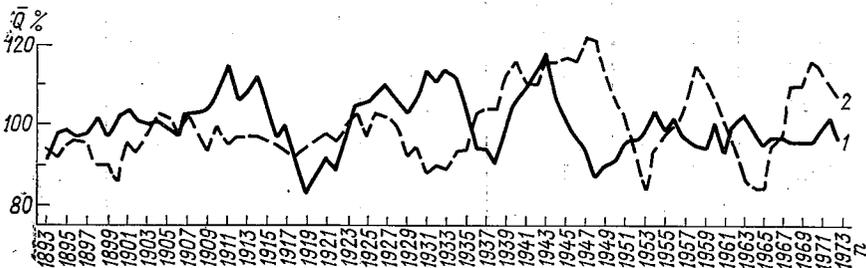


Рис. 1. Пятилетние скользящие средние значения осадков \bar{Q} с апреля по июль на юге ЕТС (1) и в Западной Сибири (2).

л — центральные годы пятилетий.

Таблица 1

Средние значения осадков в процентах от нормы для юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири за апрель — июнь, апрель — июль

Годы	ЕТС		Северный Казахстан		Западная Сибирь	
	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII
1891	88	84	60	53	102	94
1892	83	84	102	92	103	97
1893	108	106	74	74	77	74
1894	100	97	117	118	101	104
1895	87	86	151	139	113	102
1896	114	116	130	140	78	85
1897	91	90	97	93	107	108
1898	95	98	128	116	85	80
1899	103	100	81	79	81	99
1900	114	109	94	96	74	81
1901	92	88	85	87	86	82
1902	115	114	101	96	98	88
1903	114	109	100	95	125	131
1904	89	85	79	73	88	85
1905	104	104	106	117	108	106
1906	80	93	103	95	110	104
1907	95	103	109	103	98	88
1908	103	99	97	99	96	106
1909	127	118	108	98	112	106
1910	95	102	88	90	87	90
1911	96	96	55	65	73	74
1912	131	124	127	109	127	117
1913	103	117	94	94	88	89
1914	96	90	162	137	115	116
1915	111	110	110	127	84	89
1916	112	117	78	93	64	73
1917	80	87	72	80	110	112
1918	69	80	92	99	83	86
1919	109	109	100	105	102	105
1920	68	66	69	73	78	86
1921	75	75	48	57	74	84
1922	121	110	125	120	104	119
1923	95	99	87	88	99	97
1924	89	96	105	106	103	95

Годы	ЕТС		Северный Казахстан		Западная Сибирь	
	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII
1925	108	113	126	120	111	104
1926	114	108	139	134	100	99
1927	111	116	80	79	81	89
1928	117	111	177	169	139	128
1929	103	102	79	68	95	88
1930	83	93	99	96	95	95
1931	87	91	78	70	62	60
1932	145	136	92	117	95	102
1933	151	141	98	97	86	95
1934	80	92	110	110	87	97
1935	105	110	90	92	96	93
1936	89	83	72	76	76	78
1937	86	91	107	99	115	104
1938	106	92	122	125	132	142
1939	104	96	77	80	100	100
1940	87	90	74	74	98	94
1941	148	135	115	121	127	123
1942	118	117	122	108	116	118
1943	102	110	98	97	111	112
1944	112	114	82	86	94	101
1945	117	116	134	131	117	124
1946	66	77	100	122	130	122
1947	92	90	123	119	111	124
1948	80	88	77	76	110	107
1949	93	101	106	99	130	131
1950	75	81	110	111	128	122
1951	92	89	64	62	76	76
1952	104	103	108	106	97	96
1953	107	105	113	111	85	87
1954	96	100	132	116	89	92
1955	106	101	48	54	59	68
1956	108	113	135	123	132	130
1957	75	79	55	70	119	113
1958	122	118	139	136	96	97
1959	80	76	113	119	112	118
1960	90	90	126	142	112	117
1961	116	110	95	105	118	117

Годы	ЕТС		Северный Казахстан		Западная Сибирь	
	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII	IV-VI	IV-VII
1962	107	110	90	84	95	89
1963	86	82	70	81	54	58
1964	101	107	116	119	99	97
1965	108	106	89	83	71	68
1966	92	90	114	106	125	106
1967	96	91	75	94	76	89
1968	84	92	86	95	110	113
1969	102	104	92	112	121	112
1970	117	106	98	92	138	127
1971	86	88	115	108	120	108
1972	94	89	108	102	124	119
1973	104	110	100	98	95	106
1974	114	116	92	94	108	91
1975	73	77	67	64	117	108

мы для юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири приведены в табл. 1. Расчеты сделаны для отдельных месяцев (апрель—июль), а также для двух периодов: с апреля по июнь и с апреля по июль. В последних случаях суммируются осадки в процентах от норм конкретных месяцев и делятся на число месяцев.

За колебаниями увлажненности удобнее проследить по пятилетним скользящим средним, которые были вычислены по данным табл. 1. На рис. 1 представлен график пятилетних скользящих средних значений осадков (в процентах от нормы) за период с апреля по июль для ЕТС и Западной Сибири. Аналогичный график для Северного Казахстана представлен на рис. 2. На обоих графиках указанные годы относятся к центральному году каждого пятилетия.

Анализ графиков на рис. 1 и 2 позволяет обнаружить периоды повышенной и пониженной увлажненности на рассматриваемых территориях. Так, в основных сельскохозяйственных районах ЕТС осадки выше нормы отмечались в скользящие пятилетия 1905—1917, 1922—1935 и 1941—1944 гг. Осадки ниже нормы были за скользящие пятилетия 1891—1899, 1918—1925, 1934—1941 и 1945—1950 гг. В период 1955—1975 гг. увлажненность на ЕТС была пониженной.

В Западной Сибири (рис. 1) четко выделяются периоды повышенной увлажненности в конце 40-х и в 50-е годы XX в. Скользящие пятилетние средние оказались выше нормы с 1934 по

1953 г. В XIX и начале XX в. увлажненность Западной Сибири была пониженной. Это особенно четко проявилось в скользящих пятилетиях с 1927 по 1937 г. С 1965 г. увлажненность Западной Сибири была выше средней многолетней.

На рис. 2 приведены скользящие пятилетние средние значения осадков с апреля по июль в процентах от нормы для территории Северного Казахстана. Здесь же штриховкой выделены периоды повышенной и пониженной увлажненности по А. В. Шнитникову [8]. Для выделения последних А. В. Шнитников использовал сведения о колебаниях уровней более чем 200 озер на

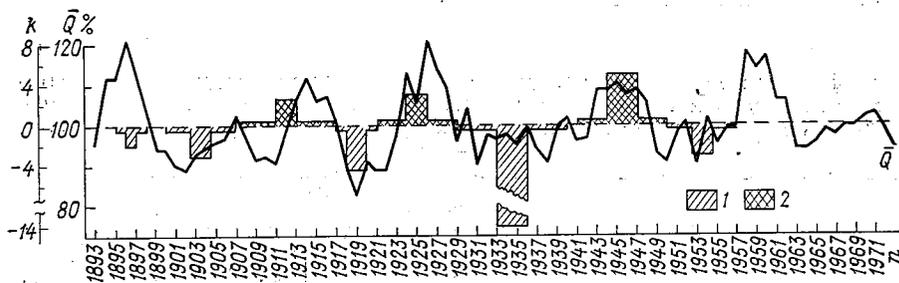


Рис. 2. Пятилетние скользящие средние значения осадков \bar{Q} с апреля по июль в Северном Казахстане и коэффициенты увлажненности k , по А. В. Шнитникову.

1 — отрицательные значения k , 2 — положительные значения k .

территории целинных земель Казахстана. Сведения об уровне озер носят качественный характер: подсчитывалось число озер, находящихся в фазе многоводья, маловодья и пересыхания. После этого вычислялись коэффициенты увлажненности k , т. е. отношения преобладающего количества озер данной фазы к меньшему. Коэффициенты повышенной увлажненности считаются положительными, пониженной увлажненности — отрицательными.

Сопоставим влажные и сухие периоды в Северном Казахстане, полученные на независимых материалах в работе [8] и в данной статье.

Показатели увлажненности, относящиеся к концу XIX в., в этих двух работах не очень хорошо согласуются. Судя по осадкам, период с 1892 по 1900 г. характеризовался хорошим увлажнением, а по уровню озер — увлажнение было, наоборот, недостаточным. В следующий период, вплоть до 1915 г., сухие и влажные периоды, выделенные в указанных работах, согласуются вполне удовлетворительно, хотя и не совпадают полностью. Что касается периода после 1915 г., то можно отметить очень хорошее соответствие между периодами пониженного и повышенного увлажнения,

определенными в обеих работах, в чем нетрудно убедиться при анализе рис. 2.

Пожалуй, наиболее удивительным в этом сопоставлении как раз является хорошее соответствие после 1915 г. данных Шнитникова нашим. Дело в том, что в методическом плане подходы к решению этого вопроса в обеих работах совершенно разные. А. В. Шнитников рассматривал уровни озер, которые являются индикаторами сумм выпавших осадков за весь год. Правда, сведения об уровне озер, как уже отмечалось, носят качественный характер. В предлагаемой работе рассматривается количественный показатель: сумма осадков, но не за весь год, а за четыре месяца, с апреля по июль.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между средними значениями осадков (в процентах от нормы с учетом площади) на юге ЕТС, в Северном Казахстане и Западной Сибири за отдельные месяцы и за периоды апрель — июнь и апрель — июль 1891—1975 гг.

	Северный Казахстан					
	IV	V	VI	VII	IV—VI	IV—VII
Юг ЕТС	0,26	0,33	0,17	0,11	0,28	0,30
	Западная Сибирь					
	IV	V	VI	VII	IV—VI	IV—VII
Юг ЕТС	0,08	-0,13	-0,11	-0,10	0,06	0,09
Северный Казахстан	0,58	0,42	0,38	0,35	0,53	0,52

В работе [8] рассматриваются уровни озер на территории только четырех областей Северного Казахстана: Кокчетавской, Кустанайской, Северо-Казахстанской и Целиноградской. В нашей же работе используются данные об осадках в 17 областях, т. е. на гораздо большей территории. Однако, несмотря на эти принципиальные различия, выделенные периоды повышенного и пониженного увлажнения после 1915 г. хорошо согласуются. Недостаточно полное согласование по времени количества осадков и уровня озер в начале рассматриваемого периода, по-видимому, связано с меньшей надежностью исходного материала. Как уже отмечалось [3, 4], из-за пропусков в рядах наблюдений за осадками 6% всех данных по Северному Казахстану интерполированы по картам. Большинство интерполированных данных относится к концу XIX — началу XX в. В какой-то мере это могло сказаться на средних аномалиях осадков. Недостаточность исходных данных, по-видимому, еще в большей мере относится к уровню озер. Со-

гласно табл. 20, приведенной в [8], за период 1895—1898 гг. сведения об уровнях имеются всего для 3—5 озер, а за 1899 г. отсутствуют вообще.

Рассмотрим теперь зависимость между средними значениями осадков на трех рассматриваемых территориях: юге ЕТС, в Северном Казахстане и Западной Сибири. С этой целью за период 1891—1975 гг. были рассчитаны коэффициенты корреляции между средними значениями осадков на перечисленных территориях по месяцам и за периоды апрель—июнь и апрель—июль (табл. 2).

Прежде всего отметим, что между осадками юга ЕТС и Северного Казахстана коэффициенты корреляции положительны во всех месяцах, хотя и небольшие по величине: максимальный в мае $r=0,33$ и минимальный в июле $r=0,11$.

Причем, есть тенденция к уменьшению коэффициента корреляции от весенних месяцев (апрель—май) к центральным летним месяцам (июнь—июль), что, очевидно, связано с увеличением летом доли местных ливневых осадков. Коэффициенты корреляции между осадками юга ЕТС и Северного Казахстана в апреле и мае выше, а в июне и июле ниже удвоенных ошибок их расчета. При длине рядов 82 года и малых значениях коэффициента корреляции удвоенная ошибка расчета коэффициентов корреляции [5] равна примерно 0,22. Коэффициенты корреляции, превышающие этот уровень, значимы с вероятностью 95%. В табл. 2, 4 и 5 они выделены полужирным шрифтом.

За периоды с апреля по июнь и с апреля по июль коэффициенты корреляции между осадками юга ЕТС и Северного Казахстана равны соответственно 0,28 и 0,30. Между осадками юга ЕТС и Западной Сибири зависимость практически отсутствует: коэффициенты корреляции колеблются от $-0,13$ (май) до 0,09 (период апрель—июль) и, следовательно, находятся в пределах ошибок расчета. Между осадками Северного Казахстана и Западной Сибири существует прямая и более тесная зависимость, чем между осадками Северного Казахстана и юга ЕТС. Коэффициенты корреляции колеблются от 0,58 (апрель) до 0,35 (июль), а в среднем за период с апреля по июль он равен 0,53. Причем и для этих двух территорий коэффициенты корреляции уменьшаются от апреля к июлю.

Вывод о прямой зависимости между осадками Северного Казахстана и Западной Сибири достаточно очевиден. Что касается осадков юга ЕТС и Северного Казахстана, то положительный коэффициент корреляции между ними в какой-то мере является даже неожиданным. Хорошо известно, например [7, 4], что годы сильных засух на ЕТС и в Северном Казахстане, как правило, не совпадают. Частным примером противоположности хода осадков на юге ЕТС и в Северном Казахстане может служить карта изокоррелят районных осадков Сумской области [2], согласно которой связь осадков в районе Сум с расстоянием постепенно убывает к востоку, достигает нуля на меридиане центрального Урала и становится отрицательной на территории Северного Казахстана.

По этим причинам представлялось полезным подтвердить полученные по табл. 2 выводы дополнительным расчетом коэффициентов корреляции между осадками более мелких районов, чем весь юг ЕТС или весь Северный Казахстан. В качестве более мелких были взяты условные районы, используемые в работах агрометеорологов. Приведем список этих условных районов (всего их 15) с перечислением административных областей, вошедших в каждый из них. Отметим, что Уральский район был разбит на Предуралье и Зауралье. Первый из них по нашему делению [4] входит в юг ЕТС, а второй — в Северный Казахстан.

Результаты расчетов коэффициентов корреляции между осадками 15 районов ЕТС и Северного Казахстана за апрель — июль представлены в табл. 3. Из таблицы следует априорный вывод, что наибольшие коэффициенты корреляции относятся к районам, соседним по своему географическому положению. Наиболее тесно связаны осадки Поволжья и Западноказахстанского района ($r=0,53$), а также Предуралья и Зауралья ($r=0,77$). Значимыми и положительными оказались также коэффициенты корреляции между осадками Поволжья и Целинного района ($r=0,27$). Между осадками Северного Казахстана и остальных районов ЕТС значимых связей не обнаружено. В частности, коэффициенты корреляции осадков Донецко-Приднепровского района, куда входит Сумская область, с осадками Северного Казахстана (13, 14 и 15-й районы из списка) по абсолютному значению не превышают 0,16, т. е. меньше удвоенных ошибок их расчета.

Ход осадков в Южноказахстанском районе противоположен ходу осадков в большинстве районов ЕТС, а коэффициенты корреляции между ними отрицательны, хотя и небольшие по значению. Однако в общем балансе определяющим является не Южноказахстанский район, а смежные районы ЕТС и Северного Казахстана: Поволжье — Западноказахстанский район, Предуралье — Зауралье, осадки которых довольно тесно связаны.

Следует отметить, что административные области (Волгоградская область, Калмыцкая АССР, Актюбинская область) по площади много больше административных районов Украины и Белоруссии. Поскольку средние значения осадков вычислялись в отклонениях от нормы с учетом площади, то вес указанных районов в общей сумме осадков по всему югу ЕТС и Северному Казахстану оказывается значительным, что соответствует реальному соотношению осадков. По этой причине коэффициент корреляции между осадками юга ЕТС и Северного Казахстана (табл. 2) за период апрель — июль положителен и значим ($r=0,3$).

Для апреля и мая этот вывод подтверждается материалами статьи [1], где приведены коэффициенты корреляции между коэффициентами разложения по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.) полей районных осадков юга ЕТС и Северного Казахстана. Как известно [9], первый коэффициент разложения метеорологических полей по е.о.ф. весьма близок к фону, т. е. к среднему из значений метеорологического элемента во всех точ-

**СПИСОК
УСЛОВНЫХ УКРУПНЕННЫХ РАЙОНОВ С ОТНЕСЕННЫМИ
К НИМ АДМИНИСТРАТИВНЫМИ ОБЛАСТЯМИ НА ЮГЕ ЕТС
И В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ**

1. Северо-Западный район

Вологодская обл.	86	0,84
Ленинградская обл.	83	0,80
Новгородская обл.	85	0,79
Псковская обл.	84	0,84
Карельская АССР (юг)	90	0,77

2. Центральный район

Брянская обл.	21	0,68
Владимирская обл.	33	0,66
Ивановская обл.	35	0,73
Калининская обл.	81	0,70
Калужская обл.	36	0,75
Московская обл.	45	0,68
Рязанская обл.	40	0,73
Смоленская обл.	82	0,84
Ярославская обл.	44	0,71
Тульская обл.	41	0,80
Костромская обл.	37	0,64

3. Волго-Вятский район

Горьковская обл.	34	0,71
Марийская АССР	38	0,71
Мордовская АССР	39	0,71
Чувашская АССР	43	0,72

4. Центрально-Черноземный район

Белгородская обл.	20	
Воронежская обл.	22	
Курская обл.	23	
Орловская обл.	25	
Тамбовская обл.	26	
Липецкая обл.	24	

5. Поволжье

Астраханская обл.	46	0,81
Волгоградская обл.	47	0,84
Куйбышевская обл.	53	0,80
Пензенская обл.	55	0,79
Саратовская обл.	56	0,79
Ульяновская обл.	58	0,80
Калмыцкая АССР	48	0,83

6. Северокавказский район

Краснодарский край	49	0,81
Ставропольский край	51	0,88
Ростовская обл.	50	0,91

7. Предуралье

Оренбургская обл. (запад)	57	0,78
Пермская обл.	62	0,80
Челябинская обл. (север)	66	0,81
Башкирская АССР (север)	59	0,88
Башкирская АССР (юг)	60	0,83
Удмуртская АССР	42	0,76

8. Зауралье

Курганская обл.	61	0,70
Оренбургская обл. (восток)	54	0,61
Свердловская обл. (юг)	63	0,73
Челябинская обл. (юг)	67	0,81

9. Донецко-Приднепровский район

- Днепропетровская обл.	3	0,89
- Донецкая обл.	4	0,82
- Запорожская обл.	6	0,82
- Ворошиловградская обл.	9	0,89
- Полтавская обл.	12	0,79
- Харьковская обл.	15	0,83
- Сумская обл.	14	0,78

10. Юго-Западный район

- Винницкая обл.	1	0,78
- Волынская обл.	2	0,77
- Житомирская обл.	5	0,84
- Киевская обл.	7	0,82
- Кировоградская обл.	8	0,82
- Черкасская обл.	17	0,77
- Ровенская обл.	13	0,82

11. Южный район

- Николаевская обл.	10	0,83
- Одесская обл.	11	0,83
- Херсонская обл.	16	0,85

12. Белоруссия

- Брестская обл.	27	0,8
- Витебская обл.	28	0,8
- Гомельская обл.	29	0,86
- Гродненская обл.	30	0,87
- Минская обл.	31	0,80
- Могилевская обл.	32	0,83

13. Западноказахстанский район

Актюбинская обл.	69	0,71
Уральская обл. (север)	79	0,92
Уральская обл. (юг)	80	0,79

14. Целинный район

Кокчетавская обл.	72	0,74
Кустанайская обл.	73	0,73
Павлодарская обл.	74	0,6
Северо-Казахстанская обл.	75	0,79
Целиноградская обл.	78	0,75

15. Южноказахстанский район

Карагандинская обл.	71	0,76
Семипалатинская обл. (север)	76	0,68
Семипалатинская обл. (юг)	77	0,80

ках поля. Поэтому вполне допустимо сравнение табл. 2, построенной по материалам средних значений осадков, с табл. 3 в работе [1], рассчитанной по материалам коэффициентов разложения полей осадков по е.о.ф. Следует, однако, подчеркнуть, что полной идентичности результатов ожидать нельзя, так как в работе [1], в отличие от данной, в Северный Казахстан были включены Урал и Предуралье, а также 10 районов Западной Сибири.

Учитывая последнее обстоятельство, сравним коэффициенты корреляции между средними значениями осадков юга ЕТС и Северного Казахстана из табл. 2 и работы [1]:

Месяц	IV	V	VI	VII
Таблица 2	0,26	0,33	0,17	0,11
Работа [1]	0,23	0,31	-0,01	-0,05

Сравнение показывает, что в апреле и мае коэффициенты корреляции между осадками юга ЕТС и Северного Казахстана в обоих случаях положительны и даже близки по значению.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между средними значениями осадков (в процентах от нормы с учетом площади) соседних месяцев на юге ЕТС, в Северном Казахстане и Западной Сибири (1891—1975 гг.)

	IV-V	V-VI	VI-VII
Юг ЕТС	0,28	0,11	0,16
Северный Казахстан	0,21	0,27	0,15
Западная Сибирь	0	0,15	0,25

В июне и июле по материалам данной статьи коэффициенты корреляции положительны, а по материалам статьи [1] отрицательны за счет подключения в работе [1] данных по Западной Сибири, но в обоих вариантах меньше 2σ .

Определенный практический интерес, в том числе для долгосрочного прогноза погоды, представляет табл. 4, отражающая зависимость между средними значениями осадков соседних месяцев на юге ЕТС, в Северном Казахстане и в Западной Сибири. Эта таблица подтверждает существование инерции в выпадении осадков, поскольку коэффициенты корреляции между осадками соседних месяцев положительны во всех рассмотренных случаях. В трех случаях из девяти получились не только положительные, но и значимые коэффициенты корреляции: это коэффициенты корреляции между осадками в апреле и мае на ЕТС, мае и июне в Северном Казахстане и июне и июле в Западной Сибири. При составлении долгосрочных прогнозов погоды инерцию в ходе осадков, очевидно, целесообразно учитывать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырева Н. А. Разложение полей осадков, осредненных по площади, на естественные ортогональные составляющие. См. наст. сб.
2. Ефремова Н. И. О точности оценки ежегодных значений месячных сумм осадков, осредненных для больших площадей.—«Труды ГГО», 1971, вып. 274, с. 36—102.
3. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Л., Гидрометеоиздат, 1977, 157 с.
4. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей аномалий осадков. См. наст. сб.
5. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971, 575 с.
6. Манелля А. И., Нагнибедова Н. Н. и др. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР. М., «Статистика», 1972, 192 с.
7. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеоиздат, 1969, 255 с.
8. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., «Наука», 1969, 243 с.
9. Юдин М. И., Мещерская А. В. Некоторые оценки естественных составляющих как предикторов и предиктантов.—«Труды ГГО», 1972, вып. 273, с. 3—15.

А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич

КАТАЛОГИ ПЛОЩАДЕЙ АНОМАЛИЙ ОСАДКОВ

Для решения многих задач как исследовательского, так и прикладного характера необходимы каталоги аномалий осадков и температуры, особенно крупных аномалий. Крупные по площади охвата и интенсивности аномалии осадков и температуры важны и с точки зрения прогнозов, поскольку именно они приносят наибольший ущерб народному хозяйству.

Особый интерес представляют каталоги засушливых лет. Сводки исследований, посвященных этой задаче, можно найти в книге «Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай» [8], в монографиях Т. В. Покровской [17], А. С. Утешева [23], в обзоре работ по засухам В. Ф. Логинова, А. И. Неушкина и Э. В. Рочевой [9], а также в ряде статей [10, 16 и др.].

Для выделения засушливых лет используются различные показатели: агрометеорологические [2, 19, 20], гидрометеорологические [5, 6, 21], метеорологические [11, 18].

Архив длинных рядов месячных сумм осадков, осредненных по площади, в основных сельскохозяйственных районах СССР открывает возможности для более строгих расчетов каталогов аномалий осадков, в том числе каталогов засушливых лет по метеорологическим данным.

Во-первых, длинные ряды осадков, осредненных по площади административных районов, как было показано в предыдущих статьях [13, 14], более надежны по сравнению с рядами осадков на станциях, данные которых используются обычно.

Во-вторых, осреднение осадков по известным площадям административных районов позволяет подсчитать площадь охвата осадков тех или иных градаций по любым более крупным территориям, например по территории Северного Казахстана, юга ЕТС или их частей.

В-третьих, площади охвата осадков определенных градаций позволяют количественно оценить степень развития явления недостаточного или избыточного увлажнения.

Административные районы и метеорологические станции, данные которых используются для составления каталогов осадков и температуры

№ района	Район	Площадь района, тыс. км ²	Метеорологическая станция	№ района	Район	Площадь района, тыс. км ²	Метеорологическая станция
1	ЕТС	2601,8		20	Рязанская обл.	39,6	Елатама
3 1	Винницкая обл. ✓	26,5	Жмеринка	21	Астраханская обл.	44,1	Астрахань
3 2	Днепропетровская обл.	32,0	Днепропетровск	22	Волгоградская обл. ✓	114,1	Волгоград
4 3	Донецкая обл. ✓	26,5	Жданов	23	Калмыцкая АССР	75,9	Элиста
8 4	Кировоградская обл. ✓	24,6	Кировоград	24	Краснодарский край (запад)	49,5	Краснодар
11 5	Одесская обл. ✓	33,3	Одесса, ГМО	25	Краснодарский край (восток)	30,5	*
13 6	Ровенская обл. ✓	20,1	Ровно	26	Ростовская обл.	100,7	Ростов-на-Дону
11 7	Сумская обл. ✓	23,8	Сумы	27	Ставропольский край (запад)	33,8	Ставрополь
17 8	Черкасская обл. ✓	20,9	Умань	28	Ставропольский край (восток)	48,7	Пятигорск
19 9	Молдавская ССР	33,7	Кишинев	29	Горьковская обл.	74,8	Горький
20 10	Белгородская обл. ✓	27,1	Богородицкое-Фенино	30	Костромская обл.	60,1	Кострома
22 11	Воронежская обл. ✓	52,4	Каменная Степь	31	Чувашская АССР	18,3	Поречкое
24 12	Липецкая обл. ✓	24,1	Конь-Колодезь	32	Куйбышевская обл. ✓	53,6	Безенчук
27 13	Брянская обл. ✓	32,3	Брест	33	Пензенская обл.	43,2	Земетчино
28 14	Витебская обл. ✓	40,1	Витебск	34	Саратовская обл.	100,2	Малоузенск
29 15	Гомельская обл. ✓	40,4	Василевичи	35	Татарская АССР	68,0	Казань
31 16	Минская обл. ✓	46,8	Минск	36	Смоленская обл.	49,8	Смоленск
33 17	Владимирская обл. ✓	29,0	Владимир	37	Ярославская обл.	36,4	Данилов
35 18	Калининская обл. ✓	84,1	Вышний Волочек				
36 19	Калужская обл. ✓	29,9	Калуга				

№ района	Район	Площадь района, тыс. км²	Метеорологическая станция	№ района	Район	Площадь района, тыс. км²	Метеорологическая станция
3538	Ивановская обл. ✓	23,9	Иваново	62	Пермская обл. (юг) ✓	65,6	Ножовка
4889	Московская обл. ✓	47,0	Москва	59	Башкирская АССР (север) ✓	34,0	Уфа
4240	Удмуртская АССР ✓	42,1	Сарапул	60	Башкирская АССР (юг) ✓	54,3	Мелеуз
3841	Марийская АССР ✓	23,2	Козьмодемьянск	53	Оренбургская обл. (запад) ✓	83,8	Оренбург
3042	Гродненская обл. ✓	25,0	Гродно	64	Северный Казахстан	1486,9	
3243	Могилевская обл. ✓	29,0	Горки	65	Свердловская обл. (юг)	51,4	Свердловск
1844	Черниговская обл. ✓	31,9	Нежинск	66	Челябинская обл. (север)	27,0	Челябинск
2145	Брянская обл. ✓	34,9	Брянск	67	Курганская обл. (юг) 102	71,0	Курган
2246	Курская обл. ✓	29,8	Курск	68	Челябинская обл. (юг)	57,2	Верхнеуральск
2547	Орловская обл. ✓	24,7	Орел	69	Оренбургская обл. (юг-сток)	38,1	Орск
2648	Тамбовская обл. ✓	34,3	Мичуринск	70	Уральская обл. (север)	53,7	Уральск
1149	Тульская обл. ✓	25,7	Тула	71	Уральская обл. (юг)	97,5	Урда
3950	Мордовская АССР ✓	26,2	Саранск	72	Гурьевская обл. (север)	116,5	Гурьев
5851	Ульяновская обл. ✓	37,3	Аннеково	73	Актюбинская обл. (север)	164,4	Темир
252	Волынская обл. ✓	20,2	Луцк	74	Кустанайская обл. (юг-сток)	114,6	Кустанай
553	Житомирская обл. ✓	29,9	Житомир	75	Северо-Казахстанская обл.	44,3	Петропавловск
654	Запорожская обл. ✓	27,2	Мелитополь				
755	Киевская обл. ✓	28,9	Киев				
856	Ворошиловградская обл. ✓	26,7	Ворошиловград				
1057	Николаевская обл. ✓	24,7	Николаев				
1158	Полтавская обл. ✓	28,8	Полтава				
1559	Харьковская обл. ✓	31,4	Харьков				
1660	Херсонская обл. ✓	28,3	Херсон				

№ ра йона	Район	Площадь района, тыс. км ²	Метеорологическая станция	№ района	Район	Площадь района, тыс. км ²	Метеорологическая станция
76	Кокчетавская обл.	78,1	Кокчетав	85	Новосибирская обл. (юг)	59,9	Чулым
77	Целиноградская обл.	103,2	Атбасар	86	Кемеровская обл. (се- вер)	55,7	Маринск
78	Павлодарская обл.	127,5	Павлодар	87	Кемеровская обл. (юг)	41,0	Кондома
79	Карагандинская обл.	161,7	Караганда	88	Алтайский край (севе- ро-запад)	93,8	Камеив-на-Оби
80	Семипалатинская обл. (север)	20,8	Семипалатинск	89	Алтайский край (севе- ро-восток)	53,6	Барнаул
81	Семипалатинская обл. (юг)	159,0	Бахты	90	Алтайский край (юг)	28,4	Змеиногорск
	Западная Сибирь	1011,7		91	Омская обл. (север)	37,6	Усть-Ишим
82	Томская обл. (север)	261,8	Васюганское	92	Омская обл. (юг)	102,2	Омск
83	Томская обл. (юг)	49,8	Томск	93	Тюменская обл. (север)	68,2	Тюмень
84	Новосибирская обл. (север)	114,3	Новосибирск	94	Тюменская обл. (юг)	45,4	Ялуторовск

Подобрав для каждого административного района данные о температуре, можно подсчитать также площади, соответствующие комплексным показателям осадков и температуры на той или иной территории.

Учитывая эти обстоятельства, целесообразно рассчитать каталоги аномалий осадков, которым посвящена данная статья, и каталоги комплексных характеристик осадков и температуры (в том числе засух), которым посвящена статья [12].

Все каталоги рассчитывались для основных сельскохозяйственных районов СССР. Расчеты производились независимо для трех территорий: юга ЕТС (64 административных района), Северного Казахстана (17 районов) и Западной Сибири (13 районов). Список районов для каждой территории приведен в табл. 1, положение их на карте дано на рис. 1. Отметим, что при расчетах учитывалась не вся территория ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири, а только те их части, которые являются основными для сельского хозяйства. Так, при расчетах не принимались во внимание горные районы Урала и районы Северо-Запада, к территории Северного Казахстана были присоединены пять прилегающих с севера районов развитого сельского хозяйства (районы № 65—69). Однако в целом крупные районы выделялись по административному принципу.

Методика расчетов состояла в следующем. Сначала рассчитывалось количество осадков по месяцам за каждый год в каждом административном районе в процентах от многолетней средней данного района. Вычисленное значение аномалии относилось к площади своего административного района. Площади районов, для которых подсчитывались осадки, приведены в табл. 1. Для районов, точно совпадающих с административными, площади выписывали из соответствующего справочника [22]. Для районов, не совпадающих с административными, например, когда крупный административный район делился на два, площади районов либо заимствовали из работы [7], либо рассчитывали дополнительно. Затем для каждой из трех территорий для каждого года и месяца суммировали площади тех районов, в которых осадки составляли менее 60% нормы. Аналогично производился расчет для остальных градаций осадков: менее 80% нормы, более 120% нормы и более 140% нормы.

При расчете средних по территории значений осадков суммировались значения осадков в процентах от нормы во всех районах, включенных в данную территорию, с весами, равными их площади, за каждый конкретный месяц и каждый конкретный год рассматриваемого периода (1891—1975). Эти данные послужили основой для каталогов площадей аномалий осадков.

При расчете каталогов осадков за период из нескольких месяцев расчеты повторялись заново: для каждого определенного района за все месяцы суммировались площади осадков в заданных градациях; на последующих этапах методика расчетов не отличалась от выше описанной.

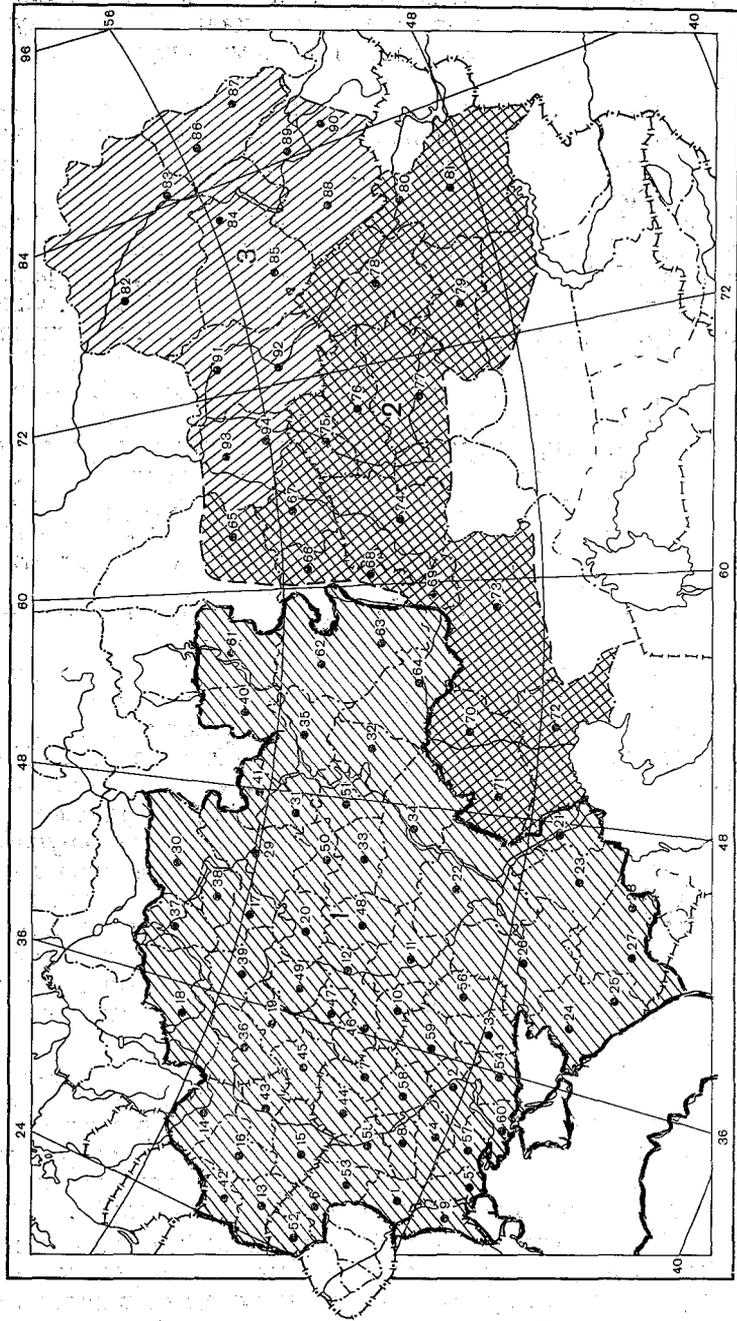


Рис. 1. Положения на карте районов, данные которых использованы для расчета площадей распространения осадков разных градаций.

1 — юг ЕТС, 2 — Северный Казахстан с прилегающими областями, 3 — Западная Сибирь.

Указанные выше четыре градации осадков были выбраны из следующих соображений. Градации 80 и 120% нормы приняты в качестве граничных в долгосрочных прогнозах погоды исходя из примерно равной повторяемости трех градаций осадков (менее 80% нормы, более 120% нормы и осадков от 80 до 120% нормы). При долгосрочном прогнозировании осадки менее 80% нормы рассматриваются как дефицит осадков, а более 120% нормы — как их избыток. Градация осадков «менее 60% нормы» введена дополнительно, поскольку наряду с градацией осадков «менее 80% нормы» она может рассматриваться как один из показателей засушливости. Нормой в данной работе служили средние многолетние месячные суммы районных осадков, вычисленные за период с 1891 по 1975 г.

При составлении каталога площадей аномалий осадков прежде всего имелось в виду, что он послужит базой для составления каталога засух в основных сельскохозяйственных районах СССР. Для этого надо знать площади, охваченные осадками выделенных градаций, не по месяцам, а за периоды, наиболее важные для развития сельскохозяйственных культур. Выбор таких периодов является не простой задачей. Эти периоды зависят от сроков сева, от вида и сорта сельскохозяйственных культур, от того, озимой или яровой является данная культура, от сроков наступления фаз развития сельскохозяйственных культур и других факторов.

Рассмотрим этот вопрос для наиболее широко развитых в нашей стране яровых зерновых культур. В работах В. М. Обухова [15] и А. М. Алпатьева [2, 3] было показано, что наиболее высокая корреляция между осадками и урожаем отмечается для первых восьми декад вегетационного периода, примерно соответствующих промежутку времени от посева до фазы молочной спелости. Карты средних сроков сева и фаз развития яровой пшеницы (сорт «Лютесценс-62») в СССР за период с 1938 по 1953 г. можно найти в работе Е. В. Бессоновой [4]. Согласно этим картам, сроки сева яровой пшеницы на ЕТС растягиваются от первой декады апреля (юг Украины, Нижнее Поволжье) до третьей декады мая (Ленинградская область), а в Северном Казахстане и Западной Сибири — от третьей декады апреля (Карагандинская и Семипалатинская области) до первой декады мая (Омская, Новосибирская области). Если ориентироваться на время массового сева в наиболее зерновых районах, тогда период, осадки которого особенно важны для яровой пшеницы, на юге ЕТС соответствует отрезку времени от второй-третьей декады апреля до конца июня — первой декады июля, а в Северном Казахстане и Западной Сибири — от первой декады мая до второй декады июля.

За 85-летний ряд для больших территорий невозможно собрать декадные данные об осадках. В нашем распоряжении были только месячные данные. Поэтому для выявления засушливых и переувлажненных лет для юга ЕТС рассматривались осадки с апреля по июнь, а для Северного Казахстана и Западной Сибири — с мая по июль. С учетом большого разнообразия сроков сева

и типов сельскохозяйственных культур, расчеты каталогов аномалий осадков были сделаны для всех трех территорий за три периода: апрель — июнь, май — июль и май — июнь. Последний период принят как наиболее существенный для урожая в работах [1, 21].

Второй вопрос, вставший при расчете каталогов засух, связан с выбором граничных значений осадков: следует ли рассматривать площади, на которых выпало менее 80% нормы осадков, или же взять более жесткий критерий — осадки менее 60% нормы. Для этого рассмотрим табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между площадями осадков различных градаций в процентах и средним значением осадков Q для юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири за период с апреля по июнь

Территория	Осадки менее					
	60 и 80%	80 и $Q\%$	60 и $Q\%$	120 и 140%	120 и $Q\%$	140 и $Q\%$
Юг ЕТС	0,93	-0,95	-0,89	0,95	0,96	0,93
Северный Казахстан	0,93	-0,92	-0,89	0,96	0,95	0,93
Западная Сибирь	0,89	-0,88	-0,85	0,89	0,92	0,89

Из этой таблицы следует, что коэффициенты корреляции между площадями осадков менее 60 и 80% нормы очень высоки и составляют 0,93 для юга ЕТС и Северного Казахстана и 0,89 для Западной Сибири, так что практически можно использовать любую из этих показателей.

Тем не менее есть некоторые основания считать, что критерий «осадки менее 80% нормы» несколько лучше. Сравним ряд засушливых лет на ЕТС, выделенных по величине площадей, на которых в течение апреля — июня отмечались осадки менее 80% нормы, с аналогичным рядом лет, выделенных по величине площади, на которой в течение апреля — июня отмечались осадки менее 60% нормы. Оба ряда ограничены первыми двадцатью наиболее засушливыми годами:

Первый ряд: 1946**, 1920**, 1975, 1917*, 1918, 1921**, 1950**, 1934*, 1957**, 1891**, 1930*, 1963, 1948*, 1968*, 1906**, 1936**, 1892**, 1924**, 1895, 1959**.

Второй ряд: 1918, 1920**, 1946**, 1975, 1921**, 1906**, 1917*, 1957**, 1937, 1950**, 1934*, 1924**, 1891**, 1948*, 1895, 1936**, 1930*, 1959**, 1963, 1951**. И в первом и во втором рядах звездочкой обозначены засухи, а двумя звездочками — сильные засухи по Н. Г. Каменьковой [10], которая ряд засушливых лет составила путем обобщения работ А. И. Руденко [19] и А. М. Алпатьева [3], а также путем анализа карт месячных сумм осадков за весну и предшествующие осень и зиму. За последние годы (до 1968) ряд засушливых лет дополнен Т. В. Покровской [17].

Из сопоставления двух рядов видно, что засушливые годы второго ряда несколько хуже (чем первого) соответствуют засушливым годам по Каменьковой и Покровской. Например, во втором ряду наибольшие площади дефицита осадков соответствуют 1918 г., а на 9-м месте оказался 1937 г., который обычно не относят к засушливым. В первом ряду 1918 г. передвинулся на 5-е место, а 1937 — на 21-е, т. е. соответствие между известными засушливыми годами и годами в первом ряду лучше.

Кроме того, показатель «площадь осадков менее 80% нормы» ближе к показателю «средний процент осадков с учетом площади», в чем можно убедиться при анализе табл. 2.

Каталоги площадей (в процентах) осадков менее 80% нормы для юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири за май — июнь, апрель — июнь и май — июль представлены в табл. 3.

Площади осадков менее 80% нормы ранжированы по величине, так что в годы, поставленные в начале таблицы, дефицит осадков имел наибольшее пространственное распространение. На юге ЕТС за апрель — июнь рекордным по площади недобора осадков был 1946 г., в котором на 74,2% территории осадки были ниже нормы (эта цифра получена путем осреднения соответствующих площадей за апрель, май и июнь). Вторым по площади недобора осадков оказался 1920 г. (65,2% площади) и третьим 1975 г. (63,1%).

Таблицу площадей дефицита осадков и соответствующих им лет интересно сравнить с данными работы Покровской [18], в которой рассчитаны суммы осадков за апрель — июль (в процентах от нормы без учета величины площадей) для 5, 7, 8 и 9-го укрупненных районов (по Л. А. Вительсу). Эти районы охватывают основные сельскохозяйственные области ЕТС, за исключением Белоруссии, Молдавии и западных районов Украины, как достаточно обеспеченных осадками. Таким образом, территория, на которой рассматривались осадки в работе [18], меньше использованной для составления табл. 3.

Средний процент осадков также ранжировался по величине. Двадцать наиболее сухих лет, выделенных Покровской, в табл. 3 отмечены звездочками. Легко видеть, что звездочки приходится в основном на первую треть наших списков, несмотря на разную территорию и методику расчетов.

В Северном Казахстане список лет большого пространственного распространения дефицита осадков открывает 1955 г., в котором в среднем за май — июль на 82,7% территории осадки были менее 80% нормы. На второе место вышел 1975 г., на третье 1891 г. и т. д. Следует отметить тот достаточно очевидный факт, что площади (в процентах) распространения дефицита осадков в Северном Казахстане и Западной Сибири существенно больше, чем на ЕТС.

По аналогии с табл. 3 рассчитаны таблицы площадей, на которых осадки превышали 120% нормы.

Годы (а) и соответствующие им площади в процентах аномалий осадков менее 80% нормы (б) за периоды май — июнь, апрель — июнь и май — июль для юга ЕТС, Северного Казахстана, Западной Сибири

	Юг ЕТС						Северный Казахстан						Западная Сибирь					
	V-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VI		V-VII	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1	1946	74,0	1946*	74,2	1936	73,5	1955	91,8	1955	85,1	1955	82,7	1955	97,2	1931	85,6	1931	83,2
2	1936	72,0	1920*	65,2	1891	65,8	1957	88,4	1957	76,9	1975	79,7	1952	87,3	1963	84,2	1963	75,0
3	1975	70,7	1975	63,1	1963	61,8	1975	75,4	1921	76,1	1891	77,9	1916	82,8	1916	77,4	1955	69,7
4	1917	70,7	1917*	61,4	1975	60,7	1927	71,5	1851	75,8	1929	72,0	1931	81,8	1955	75,4	1901	68,2
5	1891	64,8	1918	60,8	1959	59,8	1916	71,4	1911	75,5	1965	69,6	1963	76,4	1893	64,9	1916	65,7
6	1924	64,7	1921*	59,2	1917	59,1	1968	70,9	1891	71,5	1957	68,5	1901	69,9	1965	63,9	1893	64,6
7	1963	57,3	1950*	58,1	1901	58,9	1901	70,8	1917	66,9	1927	68,0	1968	64,6	1911	63,5	1952	63,7
8	1901	56,4	1934	56,8	1920	58,6	1936	70,5	1975	66,4	1951	67,9	1899	61,6	1951	63,3	1965	63,3
9	1940	56,1	1957*	55,8	1946	57,7	1965	70,4	1927	64,4	1936	64,3	1921	60,8	1921	59,9	1911	61,1
10	1959	55,8	1891*	55,6	1972	55,3	1921	69,4	1936	64,2	1901	61,8	1900	59,8	1967	59,4	1929	58,2
11	1934	54,8	1930*	55,4	1951	55,2	1891	67,7	1967	61,9	1911	61,1	1911	59,6	1952	58,2	1898	57,2
12	1950	54,7	1963	54,8	1938	54,2	1911	65,8	1920	60,9	1893	60,8	1893	59,0	1899	57,8	1935	57,1
13	1968	54,4	1948*	54,7	1921	53,4	1952	65,6	1916	60,7	1948	60,1	1936	58,8	1896	57,0	1951	55,7
14	1943	53,8	1968*	53,2	1914	50,1	1951	63,7	1940	60,2	1940	59,5	1965	57,8	1900	54,2	1837	55,6
15	1930	53,4	1906*	53,2	1939	49,6	1920	62,9	1931	60,1	1921	56,4	1935	55,2	1898	53,0	1900	54,6
16	1957	53,0	1936*	51,3	1924	49,5	1932	62,4	1963	60,0	1923	56,1	1929	53,6	1901	51,6	1936	53,0
17	1972	52,5	1892*	51,2	1897	49,5	1948	62,2	1948	59,7	1931	55,7	1926	53,3	1929	51,4	1891	52,6
18	1921	52,4	1924*	49,5	1947	49,3	1961	58,6	1935	58,2	1974	55,4	1934	52,1	1954	51,4	1896	48,7
19	1951	51,7	1895	49,0	1967	49,0	1974	58,3	1968	57,4	1920	55,3	1951	51,0	1920	49,6	1962	48,4

	V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
20 1892	50,9	48,7	1959*	48,9	1923	58,1	1939	57,3	1952	55,0	1896	47,5	1918	49,0	1906	47,7		
21 1949	50,5	48,7	1937*	46,8	1929	58,0	1930	56,4	1897	55,0	1958	45,9	1934	48,6	1921	47,0		
2 2 1920	50,2	48,3	1898	46,7	1939	57,9	1965	56,1	1946	54,6	1898	45,8	1926	47,7	1902	46,1		
2 3 1897	49,4	47,8	1951	46,4	1893	57,7	1899	55,8	1970	53,6	1897	45,5	1958	45,8	1923	46,0		
2 4 1898	46,9	47,0	1940	46,0	1970	55,2	1893	54,7	1839	53,6	1933	45,4	1935	45,6	1907	45,5		
2 5 1966	46,0	46,9	1960	45,6	1917	54,7	1901	54,1	1930	53,0	1920	45,4	1907	45,1	1926	44,2		
2 6 1914	45,6	46,8	1897*	45,1	1940	54,1	1973	51,8	1933	52,4	1917	44,4	1915	44,0	1968	43,1		
2 7 1954	45,2	46,2	1949	44,6	1959	53,5	1910	51,8	1973	51,6	1906	44,4	1953	43,5	1899	41,1		
2 8 1905	44,6	45,8	1971*	44,1	1897	53,4	1944	51,3	1916	51,6	1922	43,7	1913	43,4	1897	40,6		
2 9 1937	44,0	45,7	1947	43,8	1935	52,6	1918	51,3	1899	51,2	1927	43,4	1968	43,1	1975	40,2		
3 0 1915	43,8	45,5	1901	43,3	1930	52,0	1932	50,3	1968	50,7	1923	42,5	1902	42,9	1974	39,9		
3 1 1964	43,4	44,9	1904	41,7	1949	51,2	1929	48,7	1898	50,5	1967	41,6	1933	42,5	1934	39,7		
3 2 1911	43,2	43,8	1966	41,6	1859	50,0	1923	48,6	1932	49,2	1954	40,9	1906	40,8	1964	37,5		
3 3 1961	42,9	42,4	1914	41,4	1933	49,8	1934	47,2	1892	48,5	1930	40,8	1927	40,1	1912	36,0		
3 4 1929	42,7	41,9	1911*	40,7	1963	49,2	1961	46,8	1906	47,0	1918	40,8	1908	39,4	1961	35,7		
3 5 1960	42,5	41,6	1964	40,1	1973	48,8	1952	45,9	1935	46,6	1937	39,6	1973	37,1	1958	35,6		
3 6 1895	42,4	41,3	1931	39,8	1941	48,2	1897	45,7	1909	45,0	1948	37,9	1917	36,0	1909	35,3		
3 7 1967	41,9	41,3	1954	39,6	1944	47,7	1905	45,4	1972	44,6	1975	37,1	1962	35,8	1954	34,4		
3 8 1931	41,6	39,1	1972*	39,3	1971	46,4	1913	44,5	1971	44,3	1962	36,4	1930	35,6	1971	34,0		
3 9 1939	41,4	38,7	1907	38,2	1931	46,1	1904	43,9	1917	43,7	1961	36,3	1926	35,5	1966	33,3		
4 0 1918	41,2	38,6	1894	37,7	1972	45,7	1907	43,5	1914	43,2	1905	33,2	1922	34,4	1913	33,2		
4 1 1938	40,8	38,4	1923	37,7	1900	43,0	1974	43,4	1942	43,1	1956	32,8	1910	33,7	1918	33,1		

VI 59

		Юг. ЕТС						Северный Казахстан						Западная Сибирь					
		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		V-VI		V-VII	
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
4	2	1935	40,7	1905	37,9	1953	37,6	1967	42,9	1970	43,0	1907	42,4	1941	32,7	1897	33,5	1930	33,0
5	3	1948	40,6	1913	37,4	1904	37,5	1969	42,2	1962	42,8	1924	41,8	1913	32,6	1923	33,5	1922	32,2
6	4	1907	39,5	1939	36,6	1964	37,2	1892	41,1	1933	42,6	1963	41,5	1964	32,2	1944	36,4	1920	32,0
7	5	1971	37,7	1915	36,4	1971	36,9	1924	40,9	1900	42,4	1962	41,5	1973	31,9	1919	33,1	1948	31,8
8	6	1960	37,3	1952	35,1	1955	36,7	1906	40,3	1946	41,8	1961	41,3	1891	31,3	1894	33,1	1927	31,7
9	7	1943	36,6	1967	34,8	1918	36,7	1898	38,4	1908	41,7	1944	39,9	1894	31,1	1905	32,5	1940	31,6
10	8	1893	36,6	1910	34,6	1954	35,6	1946	37,7	1892	41,4	1900	39,5	1919	30,4	1964	32,4	1910	31,1
11	9	1970	36,5	1973	34,5	1948	34,8	1907	37,2	1941	41,3	1943	39,1	1959	30,3	1904	31,5	1969	30,9
12	10	1910	35,9	1955	34,5	1908	34,3	1943	36,8	1959	41,0	1959	39,0	1970	27,3	1909	31,4	1905	30,6
13	11	1953	35,7	1903	34,5	1935	33,1	1918	36,5	1903	40,6	1912	37,1	1902	27,2	1940	30,9	1928	30,5
14	12	1899	35,2	1953	34,1	1907	32,5	1934	35,9	1969	40,3	1904	36,7	1907	26,9	1937	30,5	1933	30,3
15	13	1956	34,9	1893	33,5	1906	32,3	1910	35,4	1894	39,5	1934	35,4	1912	25,9	1948	30,1	1892	30,0
16	14	1927	33,8	1935	33,1	1910	31,6	1905	33,2	1919	37,2	1954	35,3	1914	25,8	1891	30,0	1967	29,6
17	15	1923	31,6	1908	33,0	1965	31,0	1942	32,0	1971	36,6	1910	34,0	1957	25,2	1975	28,1	1917	29,6
18	16	1916	31,4	1961	32,7	1903	31,0	1913	31,8	1896	36,5	1937	33,6	1969	24,5	1932	28,0	1924	29,0
19	17	1955	31,0	1943	32,7	1926	30,5	1958	31,0	1906	36,3	1966	33,3	1925	23,9	1925	26,2	1904	28,6
20	18	1969	28,6	1969	32,0	1923	30,5	1909	30,6	1950	35,9	1941	33,2	1940	23,5	1974	26,1	1895	28,2
21	19	1973	27,4	1899	32,0	1927	29,5	1915	29,0	1972	35,3	1918	33,2	1915	23,4	1914	26,1	1941	26,8
22	20	1965	27,2	1962	31,9	1912	28,5	1938	28,5	1915	35,2	1913	33,2	1910	23,4	1939	25,8	1914	26,0
23	21	1904	26,3	1919	31,2	1909	28,4	1919	27,8	1949	34,6	1919	31,5	1974	22,8	1941	24,9	1925	25,0
24	22	1906	26,2	1929	30,3	1958	28,3	1894	27,8	1943	34,3	1908	31,3	1909	22,8	1960	24,4	1894	24,5
25	23	1944	25,4	1925	29,3	1925	27,6	1945	27,5	1953	34,0	1969	31,2	1946	22,0	1961	24,2	1956	23,8

	V-VI		IV-VI		V-VI		IV-VI		V-VI		V-VI		IV-VI		V-VI	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
6-4 1945	24,3		1970	29,1	1896	27,2	1924	31,8	1967	29,5	1945	20,5	1895	24,0	1970	23,2
(6-5) 1958	23,8		1956	29,1	1964	26,9	1902	31,7	1946	29,1	1944	18,3	1972	23,9	1973	22,6
6-6 1903	22,8		1896	29,1	1914	28,0	1909	31,6	1925	28,8	1971	17,4	1956	21,8	1946	21,5
6-7 1925	22,2		1965	28,2	1962	25,7	1898	30,6	1922	27,8	1928	17,2	1959	21,4	1919	21,5
6-8 1926	22,0		1938	27,2	1908	25,3	1937	27,8	1950	27,2	1972	15,6	1943	21,1	1915	20,4
6-9 1919	22,0		1926	26,9	1950	23,5	1938	27,3	1903	26,9	1982	15,6	1903	20,7	1972	20,3
7-0 1912	21,3		1944	26,9	1926	23,4	1958	26,7	1958	26,5	1953	15,3	1949	20,1	1959	20,2
7-1 1913	21,1		1927	26,8	1966	22,9	1942	26,4	1905	25,9	1908	13,0	1945	19,5	1939	18,8
7-2 1909	19,5		1916	26,8	1922	21,8	1912	26,4	1902	25,7	1904	13,0	1912	19,2	1943	18,7
7-3 1896	18,4		1974	24,3	1953	20,8	1960	25,7	1956	25,6	1924	12,1	1970	18,2	1957	18,6
7-4 1900	18,2		1945	24,3	1947	20,7	1922	23,3	1938	25,0	1943	11,4	1950	17,7	1953	18,3
7-5 1962	16,9		1900	23,2	1895	19,9	1966	22,4	1895	24,8	1939	11,1	1957	16,8	1950	16,1
7-6 1932	16,0		1958	20,3	1904	19,8	1945	22,4	1894	24,7	1960	9,5	1969	16,4	1944	15,6
7-7 1902	15,1		1928	19,3	1956	19,4	1926	21,8	1964	24,6	1895	9,0	1892	15,3	1932	14,3
7-8 1928	14,7		1942	19,2	1937	18,5	1964	21,0	1947	23,5	1950	8,2	1946	14,7	1945	13,6
(7-9) 1974	14,4		1909	17,1	1912	16,2	1925	18,9	1926	22,7	1892	7,7	1971	13,9	1908	10,3
1952	13,8		1902	15,3	1902	15,5	1895	18,9	1945	22,0	1947	6,9	1928	12,7	1960	7,8
1922	13,3		1912	14,6	1954	14,8	1914	18,6	1953	21,5	1903	5,6	1924	11,8	1903	5,2
1941	12,5		1932	12,8	1925	14,6	1947	18,4	1915	20,6	1949	4,1	1938	11,7	1947	4,6
1894	11,3		1922	12,7	1903	14,3	1954	14,3	1896	18,1	1942	2,2	1966	10,2	1949	4,0
1933	11,2		1941	11,1	1928	12,9	1956	13,0	1928	12,2	1966	0	1942	7,2	1942	3,1
1942	9,8		1933	9,2	1960	7,2	1928	12,8	1960	4,8	1938	0	1947	6,4	1938	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова С. М. Режим увлажнения весенне-летнего периода в основных сельскохозяйственных районах Советского Союза. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. геогр. наук. Л., ГГО, 1975, 20 с.
2. Алпатыев А. М. О показателе засухи.—«Метеорология и гидрология», 1955, № 4, с. 21—24.
3. Алпатыев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распределение засух.—В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А. И. Руденко. Л., Гидрометеоздат, 1958, с. 31—45.
4. Бессонова Е. В. Наступление фаз развития основных сельскохозяйственных культур на территории СССР.—«Географический сборник», 1957, № 9, с. 34—66.
5. Бова Н. В. Об агрометеорологическом показателе засушливости юго-востока СССР.—«Социалистическое зерновое хозяйство», 1941, № 3, с. 176—184.
6. Бова Н. В. О предсказании засух в Поволжье.—«Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1949, т. 13, с. 212—220.
7. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Под ред. проф. Т. В. Покровской. Л., Гидрометеоздат, 1976, 111 с.
8. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А. И. Руденко. Л., Гидрометеоздат, 1958, 206 с.
9. Логинов В. Ф., Неушкин А. И., Рочева Э. В. Засухи, их возможные причины и предпосылки пресказания. Обнинск, 1976, 71 с.
10. Каменькова Н. Г. К вопросу об изучении весенне-летних засух на Европейской территории СССР.—«Труды ГГИ», 1964, вып. 164, с. 43—53.
11. Константинов А. Р., Свирина В. В. К вопросу о гидрометеорологической оценке засушливых явлений.—«Труды УкрНИГМИ», 1967, вып. 68, с. 3—10.
12. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей комплекса осадки — температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. См. наст. сб.
13. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
14. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. К сравнению осадков, осредненных по площади, с осадками отдельных станций. См. наст. сб.
15. Обухов В. М. Урожайность и метеорологические факторы. М., Гослан-издат, 1949, 315 с.
16. Пагава С. Т., Захарова Н. М. Способ прогноза засушливых сезонов.—«Труды ГМЦ», 1974, вып. 150, с. 3—22.
17. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеоздат, 1969, 251 с.
18. Покровская Т. В. Суммарные характеристики количества осадков для основных земельных районов Европейской территории СССР в апреле — июне за 1891—1972 гг.—«Труды ГГО», 1975, вып. 330, с. 119—125.
19. Руденко А. И. Типы засух вегетационного периода и их характеристика.—В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А. И. Руденко. Л., Гидрометеоздат, 1958, с. 46—54.
20. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата.—«Труды по сельскохозяйственной метеорологии», 1928, вып. 20, с. 165—177.
21. Сляднев А. П. Некоторые особенности атмосферного увлажнения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины.—В кн.: Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна. Новосибирск, «Наука», 1970, с. 99—109.
22. СССР. Административно-территориальное деление союзных республик. М., 1974, 703 с.
23. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, «Наука», 1972, 174 с.

А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич

**КАТАЛОГИ ПЛОЩАДЕЙ КОМПЛЕКСА
ОСАДКИ — ТЕМПЕРАТУРА ДЛЯ ОСНОВНЫХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ ЮГА ЕТС,
СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Для характеристики и предсказания крупных аномалий в режиме погоды полезно рассматривать площади распространения некоторых комплексов показателей, простейшим из которых является комплекс осадки — температура. На комплексе осадки — температура основаны некоторые известные каталоги засух.

А. М. Алпатыев [2, 3] для составления каталога засух на ЕТС вычислял гидротермический коэффициент Селянинова (отношение сумм осадков к удесятеренной сумме температур выше 10°C) за восемь первых декад вегетационного периода. Этот критерий является наиболее обоснованным, однако его расчет требует декадных данных об осадках и температуре, а также о сроках сева сельскохозяйственных культур на больших территориях. Поскольку такие материалы относятся в основном к последним трем-четырем десятилетиям, возможности расчета критериев засушливости по Алпатыеву ограничены и во времени и по пространству. Поэтому при выделении засушливых лет Алпатыев ориентировался прежде всего на урожай. Показателем засухи в степной зоне ЕТС считалось снижение урожая на 20—25%, что примерно соответствует значению гидротермического коэффициента 0,6 и менее. Н. В. Вова [4] дополнил гидротермический показатель засушливости сведениями о весенних запасах влаги в почве и составил [5] каталоги засушливых лет для периода с 1890 по 1939 г. для юго-востока ЕТС. Расчет этого показателя за длинный период времени на больших территориях также затруднен, ввиду того что массовые наблюдения за запасами продуктивной влаги в почве даже на ЕТС начали проводиться лишь с 50-х годов нашего столетия.

Интенсивные работы по каталогизации засух начаты во ВНИИГМИ-МЦД. Они основаны на комплексе осадки — температура. В качестве критерия засушливости принят дефицит осадков менее 50% нормы и положительные аномалии температуры более

среднего квадратического отклонения σ , если они отмечаются на 30% станций и более от их общего числа. Расчеты сделаны для отдельных месяцев с 1900 по 1970 г.

В данной работе степень засушливости (показатель 3 — засуха) определяется площадью распространения комплексного показателя, удовлетворяющего следующим условиям: осадки менее 80% нормы, положительные аномалии температуры более 1°C. В другом варианте расчетов температурный критерий был усилен: ставилось условие, чтобы положительные аномалии температуры превышали среднее квадратическое отклонение σ , которое в рассматриваемых районах составляет 1,5—2,5°C. В качестве основного выбран первый критерий, хотя все расчеты сделаны для обоих вариантов. Может показаться, что критерий «осадки менее 80% нормы» слишком мягок. Однако надо иметь в виду, что площадь осадков менее 80% нормы при положительных аномалиях температуры более 1°C подсчитывается не для отдельных месяцев, а для периодов в два-три месяца. При этом указанный критерий становится достаточно жестким.

Наряду с установлением засушливых лет ставилась задача выявления лет с другим типичным режимом погоды: избыточное увлажнение при пониженном температурном фоне. Для этого рассчитывалась площадь распространения комплексного показателя В — влажный, соответствующего осадкам более 120% нормы и отрицательным аномалиям температуры менее -1°C.

Сочетание положительных аномалий температуры с пониженным фоном осадков и отрицательных аномалий температуры с повышенным фоном осадков является типичным для рассматриваемого периода года (апрель — июль).

На противоположность хода осадков ходу температуры впервые указал Брикнер. О. А. Дроздов и А. С. Григорьева на 60-летнем материале (1891—1950) рассмотрели связи осадков с температурой в зависимости от времени года и рассчитали карты распределения коэффициентов по месяцам [6]. Карты построены для территории СССР по данным 37 станций.

Ряды районных осадков за 85-летний ряд для 104 административных областей [12] позволяют еще более детализировать и уточнить полученные ранее зависимости [6] для весны и лета. В качестве примера на рис. 1 приведена карта коэффициентов корреляции месячных сумм осадков, осредненных по площади, с аномалиями средней температуры за июнь (1891—1975 гг.). На всей рассматриваемой территории связи осадков и температуры обратны по знаку, причем максимальные по абсолютному значению коэффициенты корреляции (до 0,6) приходятся на Среднее Поволжье, Средний Урал и южные районы Северного Казахстана.

Аналогичные карты были построены для апреля, мая и июля, а также для периодов май — июнь и май — июль (рис. 2). При расчете коэффициентов корреляции r за май — июнь и май — июль предварительно исключался годовой ход: по температуре осреднялись аномалии температуры, рассчитанные от норм каждого

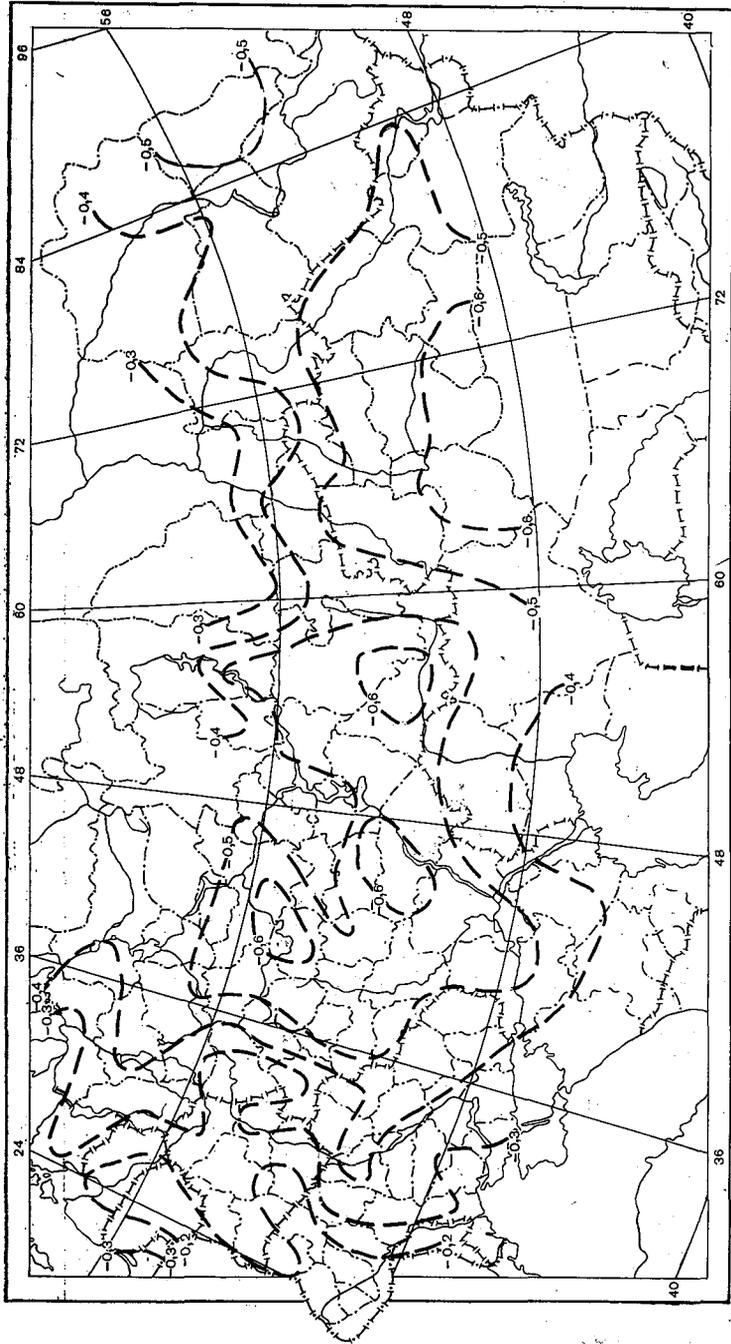


Рис. 1. Карта коэффициентов корреляции между месячными суммами осадков, осредненных по площади, и аномалиями средней температуры за июнь 1891—1975 гг.

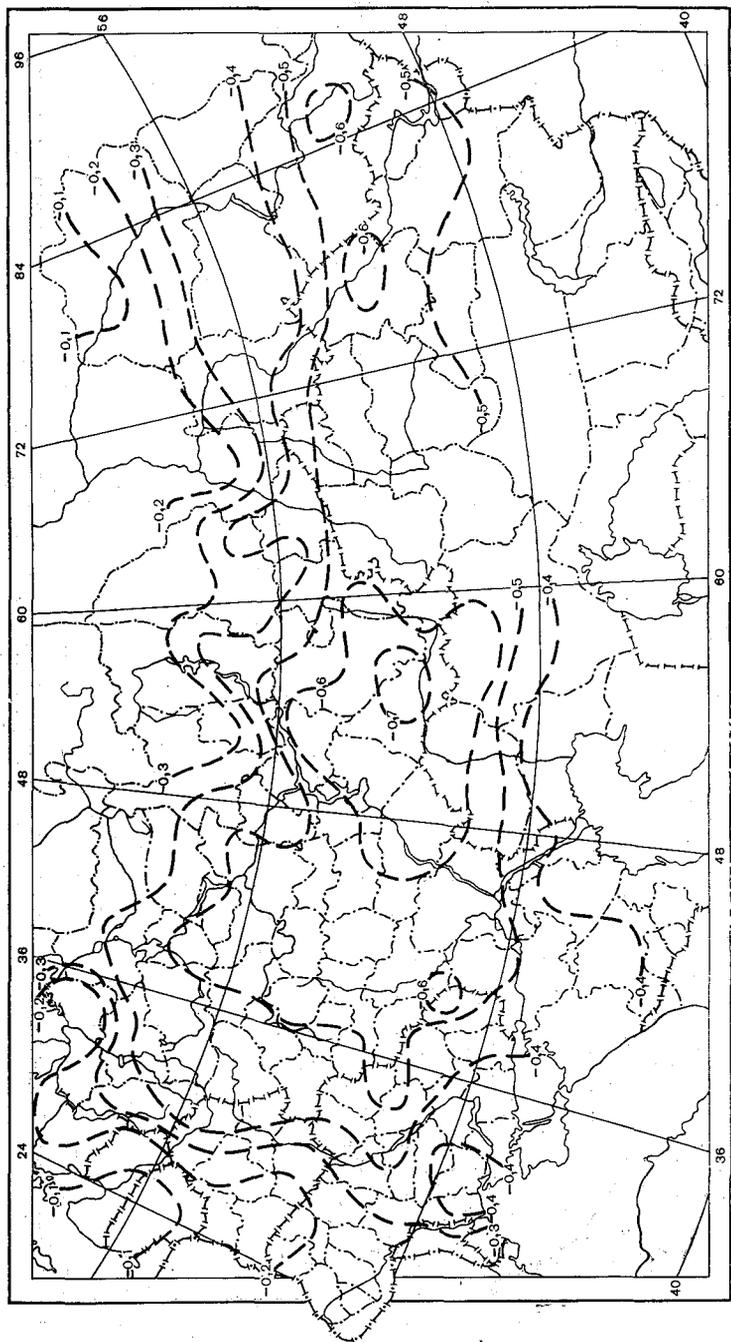


Рис. 2. Карта коэффициентов корреляции между суммами осадков, осредненных по площади, и аномалиями средней месячной температуры за период май — июль 1891—1975 гг.

месяца, а по осадкам осреднялись средние значения осадков в процентах от месячных норм. В табл. 1 сделано некоторое обобщение результатов. В ней приведены средние значения \bar{r} и число n коэффициентов корреляции разных знаков, вычисленные по данным об осадках и температуре для 104 административных районов СССР.

Таблица 1

Средние значения \bar{r} и число n положительных и отрицательных коэффициентов корреляции разных знаков между осредненными по площади осадками и температурой

	Месяцы и периоды					
	IV	V	VI	VII	V-VI	V-VII
\bar{r}_+	0,07	0,04	—	—	—	—
n_+	13	4	—	—	—	—
\bar{r}_-	-0,20	-0,33	-0,42	-0,38	-0,40	-0,42
n_-	91	100	104	104	104	104

Из табл. 1 следует, что, во-первых, с апреля по июль преобладают обратные связи между осадками и температурой (в июне и июле r между осадками и температурой отрицательны во всех 104 районах) и, во-вторых, существует годовой ход отрицательных средних значений r . Минимальное среднее абсолютное значение r пришлось на апрель $|\bar{r}|=0,20$, а максимальное на июнь $|\bar{r}|=0,42$.

При осреднении за два и три месяца коэффициенты корреляции несколько возросли, что, вероятно, определяется уменьшением при осреднении случайных ошибок и, кроме того, неполным исключением годового хода, который хорошо выражен не только для температуры, но и для осадков (табл. 2). Некоторое увеличение коэффициентов корреляции между осадками и температурой

Таблица 2

Средние нормы осадков (для отдельных территорий) по месяцам (а) и отношения средних норм осадков за отдельные месяцы к средним нормам апреля (б)

	IV			V			VI			VII		
	а	б	т	а	б	т	а	б	т	а	б	т
Юг ЕТС	32,4	1,0	69	45,1	1,4	69	60,2	1,9	69	65,1	2,0	69
Северный Казахстан	20,0	1,0	24	33,3	1,7	24	45,0	2,2	24	51,8	2,6	24
Западная Сибирь	24,0	1,0	13	41,6	1,7	13	58,9	2,5	13	70,0	2,9	13

Примечание. t — число районов, по которым рассчитывались средние нормы по территории.

при осреднении за несколько месяцев видно, например, при сравнении рис. 1 и 2.

После этого отступления вернемся к каталогам аномальных лет. Исходными материалами для составления каталогов комплексных характеристик осадки — температура служили архив средних по площади административных областей месячных сумм осадков для 94 районов СССР [7, 12], а также архив данных о температуре. Температура характеризовалась средними месячными значениями на тех станциях, список которых приведен в табл. 1 статьи [13]. Станции подбирались по одной на каждый район. При этом предполагалось, что аномалии температуры по выбранной станции можно распространить на площадь всего района. Это предположение вполне справедливо для небольших по площади районов. Что касается крупных административных районов, то сделанное допущение, по-видимому, выполняется не всегда, чем приходится пренебречь.

Архив длинных рядов средней месячной температуры по ЕТС за апрель — июль с 1891 по 1975 г. составлен по данным справочника по климату СССР Н. А. Гулиной, Н. А. Болдыревой и Н. Д. Шапаевой. Отсутствующие наблюдения за отдельные годы дополнялись по данным соседних станций методом разностей.

Работы по формированию архива средней месячной температуры для Северного Казахстана и Западной Сибири выполнены сотрудником Западно-Сибирского регионального НИГМИ В. В. Ереминым. Данные за недостающие годы снимались с карт, подготовленных в ГГО под руководством В. Я. Шаровой [8]. Использование данных о месячных суммах осадков и средней месячной температуре позволило сохранить единый критерий для выделения засух на протяжении всего 85-летнего ряда и для всех трех территорий (юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири). Методика расчетов площадей распространения комплексных показателей осадки — температура сохранена той же, что и для расчета площадей распространения осадков различных градаций [13].

Каталоги лет с указанием площадей, удовлетворяющих принятым комплексам осадки — температура, приведены в табл. 3—5. Площади ранжированы по величине так, что годы, стоящие в начале таблиц, характеризуются наибольшим пространственным распространением того или иного комплекса.

Остановимся на каталогах засушливых лет. В этих каталогах буквы отмечены засушливые годы, выделенные другими авторами; они относятся к графе за май — июль.

Для ЕТС наибольшее признание получил каталог Алпатьева (А), основанный на учете снижения урожая яровых зерновых хлебов и на величине гидротермического коэффициента, а также каталог Каменьковой (КП), построенный по данным об осадках. Каталог Алпатьева [3] заканчивается 1954 г., каталог Каменьковой [9] дополнила Покровская [16] до 1968 г. Годы сильных засух по Каменьковой — Покровской в табл. 3 обозначены КП*.

Годы (а) и соответствующие им площади в процентах (б) распространения комплексных показателей осадки — температура за периоды май — июнь, апрель — июль и май — июль для ЕТС

	Осадки < 80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$						Осадки > 120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$					
	V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1) 1975	63,9		1975	58,6	1936	50,6 А, КП	1941	58,1	1941	51,3	1913	43,7
2) 1924	56,2		1920	58,2	1975	46,8	1933	55,8	1933	48,0	1933	43,1
3) 1946	48,0		1921	52,5	1891	46,1 А, КП*	1913	46,8	1912	40,4	1941	40,9
4) 1949	46,3		1906	49,0	1920	44,9 А, КП*	1894	39,5	1945	35,2	1974	38,1
5) 1921	46,0		1957	47,0	1972	41,5	1900	38,8	1958	34,6	1935	32,5
6) 1957	45,5		1946	39,1	1963	38,8	1974	36,2	1900	34,3	1894	31,8
7) 1934	41,5		1924	38,3	1924	37,5 А, КП*	1904	35,0	1928	32,1	1928	31,2
8) 1948	40,6		1948	36,4	1939	35,4 А, КП*	1919	34,1	1955	31,6	1900	31,0
9) 1920	39,8		1934	35,6	1897	35,2 А, КП	1928	33,5	1913	31,2	1912	30,8
10) 1891	39,6		1897	34,2	1946	34,1 А, КП*	1908	32,5	1974	29,0	1945	29,5
11) 1963	38,4		1950	31,3	1957	33,1 КП*	1945	31,9	1908	28,8	1916	28,3
12) 1897	37,8		1937	31,7	1934	32,7 А, КП	1942	30,7	1893	28,3	1956	28,0
13) 1936	37,6		1968	31,4	1921	31,6 А, КП*	1955	29,5	1929	27,9	1904	27,0
14) 1954	37,3		1949	30,8	1949	30,8	1952	29,3	1942	27,4	1919	27,0
15) 1905	36,7		1917	29,5	1906	30,6 А, КП*	1912	28,9	1894	26,3	1942	26,1
16) 1961	35,5		1901	29,5	1954	29,9 А, КП	1958	28,0	1902	26,2	1969	25,8
17) 1906	35,3		1903	27,8	1931	29,2 А, КП	1925	24,4	1909	25,8	1962	25,7
18) 1901	35,0		1951	27,8	1948	28,1 А, КП	1916	23,2	1904	23,8	1896	25,4
19) 1972	34,3		1972	27,0	1892	27,4 А, КП*	1962	22,8	1896	23,5	1958	25,4

		Осадки < 80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$						Осадки > 120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$						
		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII		
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	
20	1892	30,3		1891	26,8	1959	26,9	КП*	1915	22,5	1952	23,3	1925	24,9
21	1968	29,0		1966	26,5	1938	26,7	А, КП*	1934	22,3	1965	22,8	1908	23,0
22	1939	26,4		1973	25,6	1960	26,2		1951	21,8	1919	22,8	1902	22,6
23	1929	25,0		1963	25,6	1905	26,2	КП	1899	21,3	1964	18,8	1952	20,9
24	1964	24,3		1986	25,1	1901	26,0	А, КП	1937	20,7	1956	18,1	1955	20,0
25	1917	24,1		1961	25,0	1966	25,4		1909	20,6	1907	17,5	1918	19,1
26	1937	24,0		1954	24,9	1961	24,5		1896	20,6	1925	16,3	1909	18,5
27	1931	23,3		1905	24,5	1937	22,2		1935	20,6	1961	15,8	1927	16,9
28	1898	22,1		1962	24,1	1914	22,2	А, КП*	1893	19,8	1916	15,5	1965	16,6
29	1960	21,9		1939	22,1	1953	22,1		1927	19,8	1927	15,3	1934	16,4
30	1951	21,8		1892	21,6	1898	22,1	КП	1964	19,7	1962	15,2	1950	16,4
31	1967	21,2		1967	21,0	1929	20,4		1929	19,3	1915	15,0	1968	16,4
32	1953	21,0		1953	21,0	1903	20,2		1969	18,5	1934	14,9	1964	16,2
33	1966	20,6		1930	19,7	1925	19,9		1965	18,4	1937	14,7	1915	15,0
34	1956	20,2		1913	18,9	1964	19,8		1918	18,1	1949	14,6	1944	15,0
35	1923	19,6		1960	16,8	1951	19,7	А, КП*	1895	17,9	1951	14,5	1949	15,0
36	1911	18,3		1929	16,7	1917	19,7	А, КП	1956	17,7	1898	14,4	1951	15,0
37	1958	18,0		1931	16,7	1968	19,4	КП	1963	17,4	1944	14,2	1899	14,2
38	1925	15,5		1964	16,6	1947	16,4		1953	16,8	1899	14,2	1930	14,1
39	1947	15,4		1910	16,5	1967	14,9		1902	16,0	1895	13,9	1973	14,1
40	1903	15,4		1925	15,9	1932	14,0		1961	15,3	1969	13,7	1937	13,8
41	1973	15,2		1947	15,1	1911	14,0	КП	1911	14,9	1935	13,7	1943	13,8

Осадки >120%; $\Delta t < -1^{\circ}\text{C}$ Осадки <80%; $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}$

	V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
42 1980	15,2		1898	14,8	1910	13,9	1966	13,8	1926	13,0	1926	13,7
43 1914	14,0		1956	13,9	1956	13,4	1950	13,1	1905	12,5	1905	13,6
44 1927	13,8		1959	13,8	1923	13,1	1926	12,8	1963	12,4	1911	13,5
45 1912	13,5		1919	13,3	1907	13,1	1944	12,4	1918	12,0	1907	13,3
46 1907	13,1		1918	13,2	1958	12,4	1947	12,3	1911	12,0	1929	13,3
47 1955	12,5		1923	13,1	1927	12,1	1898	10,4	1914	11,9	1963	13,2
48 1932	11,5		1911	12,9	1970	11,9	1907	10,2	1940	11,7	1895	13,0
49 1910	11,0		1958	12,0	1955	11,7 А, КП	1930	10,1	1953	11,2	1924	12,7
50 1959	9,6		1927	11,1	1895	11,1	1949	10,0	1924	11,1	1917	12,5
51 1894	7,2		1952	11,0	1950	10,2 А, КП*	1903	7,8	1891	10,0	1948	12,4
52 1908	6,8		1943	10,8	1973	10,2	1920	7,8	1966	9,2	1953	11,2
53 1896	6,8		1914	10,8	1933	9,9	1940	7,3	1939	9,1	1961	11,2
54 1962	6,2		1907	9,6	1941	9,4	1922	7,0	1950	8,7	1905	9,3
55 1952	6,2		1912	9,0	1971	9,3	1917	6,9	1971	8,5	1966	9,2
56 1926	6,2		1932	8,8	1912	9,0	1943	5,8	1947	8,2	1898	8,8
57 1980	6,0		1955	8,3	1922	8,7	1957	5,5	1938	7,2	1947	8,5
58 1992	5,5		1894	8,2	1962	8,4	1914	5,5	1954	7,0	1932	7,8
59 1943	5,3		1899	8,0	1940	8,4	1971	5,0	1980	6,7	1923	7,4
60 1940	5,1		1935	7,9	1899	8,2	1970	4,9	1932	6,4	1971	6,9
61 1935	5,0		1969	7,2	1894	6,2	1967	4,3	1892	5,4	1946	6,6
62 1899	4,7		1926	6,0	1952	6,1	1938	3,6	1920	5,2	1903	5,6
63 1895	4,4		1908	5,5	1926	6,1	1939	3,5	1903	5,1	1967	5,3

63

92

Осадки <80%; Δ t > 1°C

Осадки >120%; Δ t < -1°C

	V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
64 1971	4,1		1940	5,5	1902	5,5	1968	3,1	1931	5,0	1920	5,2
65 1969	4,0		1970	4,8	1896	5,5	1960	2,9	1923	4,8	1940	4,9
66 1919	3,8		1896	4,5	1919	5,2	1905	2,7	1917	4,6	1922	4,6
67 1938	3,7		1902	3,7	1908	5,0	1973	2,6	1957	4,5	1914	4,1
68 1909	3,1		1971	3,3	1930	4,9	1910	2,6	1943	4,2	1957	3,6
69 1944	1,6		1916	3,2	1935	3,7	1923	2,0	1968	3,5	1910	3,5
70 1916	1,3		1895	3,0	1943	3,5	1901	1,6	1970	3,3	1970	3,3
71 1922	1,0		1941	2,8	1909	3,5	1892	1,6	1936	3,0	1921	3,3
72 1974	0,6		1944	2,7	1969	2,7	1891	1,6	1967	2,8	1960	3,0
73 1942	0,6		1938	2,5	1893	2,4	1932	1,1	1932	2,1	1938	2,4
74 1970	0		1909	2,1	1944	1,4	1946	0,7	1901	2,1	1939	2,3
75 1965	0		1974	1,6	1974	1,0	1936	0,6	1960	2,0	1892	1,9
76 1945	0		1933	0,8	1900	1,0	1959	0,5	1973	1,8	1991	1,4
77 1941	0		1915	0,7	1916	0,8	1975	0	1910	1,7	1891	1,1
78 1933	0		1922	0,7	1915	0,7	1972	0	1946	1,3	1906	0,8
79 1928	0		1904	0,6	1965	0,4	1954	0	1959	0,7	1954	0,4
80 1918	0		1928	0,4	1928	0,4	1948	0	1948	0,4	1936	0,4
81 1915	0		1942	0,4	1942	0,4	1931	0	1975	0	1975	0,3
82 1913	0		1945	0	1945	0	1924	0	1972	0	1959	0,3
83 1904	0		1965	0	1918	0	1921	0	1921	0	1972	0
84 1900	0		1900	0	1913	0	1906	0	1906	0	1931	0
85 1893	0		1893	0	1991	0	1897	0	1897	0	1897	0

90

Годы (а) и соответствующие им площади в процентах (б) распространения комплексных показателей осадки — температура за период май — июнь, апрель — июнь и май — июль для Северного Казахстана

V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1955	88,5	1985	59,0	1975	60,7	1960	55,3	1958	45,3	1960	59,9
1957	72,9	1951	55,1	1955	59,0 У	1903	50,2	1895	42,9	1894	48,1
1921	52,9	1957	53,4	1965	52,2	1894	46,6	1928	42,4	1958	41,5
1975	52,8	1967	53,2	1957	48,6 У	1895	45,7	1926	41,7	1908	40,6
1920	51,4	1975	50,7	1927	47,0	1958	39,2	1960	36,9	1947	40,6
1965	49,5	1917	44,6	1931	45,4 У	1947	38,8	1954	36,7	1926	39,2
1927	47,9	1920	43,3	1974	45,3	1934	38,2	1894	34,8	1941	37,7
1952	45,9	1921	42,7	1952	41,8	1919	38,0	1942	34,2	1903	36,8
1948	44,9	1927	39,4	1929	40,9	1913	37,8	1903	33,9	1946	36,7
1974	43,0	1965	37,5	1951	38,9 У	1941	37,1	1941	33,4	1945	36,1
1961	41,8	1911	36,7	1921	38,6 У	1926	34,5	1934	31,9	1919	35,6
1968	41,3	1939	36,3	1906	38,4	1945	33,5	1908	30,1	1895	35,0
1939	40,9	1962	35,5	1939	36,8	1907	33,0	1914	30,0	1934	32,8
1923	39,9	1961	35,5	1920	34,3 У	1908	32,4	1896	30,0	1896	32,5
1900	37,9	1974	33,2	1948	34,0	1966	32,1	1898	28,7	1950	29,6
1906	33,8	1973	31,0	1962	33,7	1896	31,0	1945	28,2	1938	29,3
1897	33,6	1952	30,6	1892	33,2	1946	29,1	1913	27,0	1905	29,0
1951	32,7	1948	30,0	1911	29,2 У	1928	27,9	1907	26,9	1913	25,7
1931	31,2	1923	29,9	1923	28,0	1924	27,7	1922	26,6	1928	25,7

Осадки < 80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$ Осадки > 120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$

Осадки <math><80\%</math>; $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}</math>$						Осадки $> 120\%</math>; \Delta t < -1^{\circ}\text{C}</math>$										
V-VI			V-VII			V-VI			IV-VI			V-VII				
а	б		а	б		а	б		а	б		а	б			
1930	31,0		1893	28,8		1961	27,8		1950	27,4		1966	26,5		1964	24,2
1963	30,6		1906	28,4		1968	27,5		1905	27,3		1947	25,9		1922	23,9
1967	29,9		1940	28,2		1940	27,4		1942	26,9		1925	25,8		1972	22,6
1911	28,5		1968	27,5		1897	26,6		1954	26,9		1919	25,3		1917	22,2
1936	28,1		1915	25,7		1900	25,3 y		1971	25,5		1950	25,2		1907	22,0
1917	27,2		1944	25,4		1909	25,1		1956	25,1		1964	23,6		1924	21,8
1949	27,1		1900	25,3		1963	25,0 y		1922	24,3		1937	22,2		1966	21,4
1959	24,8		1910	24,1		1893	24,8 y		1918	24,0		1971	20,9		1954	20,8
1935	23,0		1929	23,8		1930	24,4		1917	23,7		1946	20,6		1956	20,1
1916	22,4		1953	22,4		1936	23,8		1925	22,5		1905	20,0		1918	19,4
1896	21,6		1897	22,4		1935	22,3		1914	22,2		1924	18,4		1935	18,6
1943	21,0		1930	21,9		1949	22,0		1898	21,7		1912	17,4		1942	18,0
1929	20,6		1935	21,3		1967	19,9		1953	19,6		1956	16,8		1969	17,7
1893	18,8		1943	20,8		1954	19,9		1912	18,8		1922	16,8		1925	17,2
1892	18,1		1931	20,8		1902	19,6		1938	18,1		1930	16,1		1971	17,0
1973	17,6		1963	20,4		1917	19,4		1935	17,7		1918	16,0		1968	16,3
1899	16,2		1909	20,0		1924	18,8 y		1972	17,7		1917	15,8		1898	14,9
1904	16,1		1936	18,8		1959	18,7		1933	16,5		1935	14,7		1959	14,9
1941	15,8		1949	18,1		1937	18,0		1904	15,0		1968	13,9		1914	14,8
1901	15,2		1916	17,6		1943	17,6		1963	14,5		1923	13,6		1912	13,8
1918	15,0		1919	17,1		1901	17,5		1969	14,0		1900	13,2		1963	13,4
1915	14,7		1899	17,1		1916	17,1		1968	13,8		1953	13,1		1953	13,0

Осадки >120%; $\Delta t < -1^{\circ}\text{C}$

Осадки <80; $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}$

V-VI			IV-VI			V-VII			V-VI			IV-VI			V-VII			
а	б		а	б		а	б		а	б		а	б		а	б		
1962	14,7		1901	17,0		1891	17,0 y		1970	13,7		1949	12,1		1932	12,1		1932
1972	14,4		1950	16,6		1966	16,2		1937	13,6		1938	12,1		1973	12,1		1973
1944	13,9		1959	16,5		1972	15,6		1964	13,4		1972	11,8		1957	11,8		1957
1912	13,8		1932	15,9		1896	14,4		1910	12,6		1902	11,5		1933	11,5		1933
1958	13,6		1972	14,4		1933	14,1 y		1936	10,8		1933	11,0		1949	11,0		1949
1909	13,2		1896	14,4		1898	12,8		1948	9,7		1904	10,0		1936	10,0		1936
1942	13,0		1946	13,5		1904	12,5		1940	9,3		1975	9,8		1904	10,0		1904
1891	12,2		1938	13,3		1932	11,8 y		1902	9,0		1963	9,7		1923	9,5		1923
1945	12,1		1941	13,1		1973	11,7		1923	8,8		1969	9,4		1970	9,1		1970
1934	12,0		1933	13,0		1912	11,5		1973	8,6		1936	9,2		1967	9,1		1967
1932	11,6		1912	12,8		1899	10,8		1930	8,3		1897	9,2		1937	9,0		1937
1910	10,3		1945	12,1		1941	10,5		1891	7,8		1970	9,1		1910	8,4		1910
1902	10,2		1892	12,0		1910	10,2		1901	7,6		1965	8,5		1916	7,7		1916
1969	9,4		1904	10,8		1942	10,0		1962	7,3		1910	8,4		1948	7,6		1948
1898	9,2		1918	10,0		1956	10,0		1915	7,2		1957	7,4		1906	7,6		1906
1924	9,0		1969	9,8		1918	10,0		1897	6,8		1929	7,4		1944	6,6		1944
1922	8,9		1922	9,6		1915	9,8		1900	6,8		1892	7,2		1900	6,6		1900
1894	7,4		1924	9,3		1971	9,7		1906	6,0		1948	6,5		1897	6,3		1897
1938	7,2		1891	9,3		1922	9,3		1967	5,8		1893	6,4		1940	6,2		1940
1953	6,8		1958	9,0		1944	9,3 y		1931	5,4		1940	6,2		1902	6,0		1902
1940	6,0		1942	8,7		1903	9,3		1952	5,3		1891	6,2		1930	5,5		1930
1907	5,4		1966	8,5		1953	9,2		1975	5,0		1973	5,8		1891	5,2		1891

		Осадки < 80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$						Осадки > 120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$					
		V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1933	5,3	1934	8,0	1958	9,0	1951	4,8	1955	5,3	1501	5,1	1501	5,1
1954	5,1	1903	8,0	1894	8,5	1893	4,5	1901	5,1	1962	4,9	1962	4,9
1960	3,9	1902	6,8	1945	8,1	1929	4,3	1962	4,9	1915	4,8	1915	4,8
1956	3,4	1970	6,2	1934	8,0	1944	3,8	1915	4,8	1961	4,1	1961	4,1
1908	3,3	1898	6,1	1895	7,7	1939	3,5	1906	4,0	1952	3,6	1952	3,6
1925	3,3	1958	5,8	1907	7,4	1932	2,4	1967	3,9	1931	3,6	1931	3,6
1946	3,3	1894	5,0	1969	6,8	1974	1,8	1931	3,6	1911	3,6	1911	3,6
1966	3,3	1947	4,6	1938	4,8	1943	1,7	1951	3,2	1974	3,4	1974	3,4
1905	1,8	1907	3,6	1960	2,6	1909	0,9	1916	2,7	1975	3,3	1975	3,3
1914	0,9	1954	3,4	1970	2,6	1959	0,9	1944	2,6	1951	3,2	1951	3,2
1895	0	1913	3,4	1913	2,3	1921	0,7	1939	2,3	1893	3,0	1893	3,0
1903	0	1956	2,3	1925	2,2	1927	0,7	1932	1,6	1929	2,9	1929	2,9
1913	0	1925	2,2	1908	2,2	1957	0,7	1974	1,2	1939	2,3	1939	2,3
1919	0	1908	2,2	1946	2,2	1961	0,7	1943	1,2	1955	1,8	1955	1,8
1926	0	1905	1,2	1905	1,2	1892	0	1959	0,6	1943	1,2	1943	1,2
1928	0	1914	0,6	1914	0,6	1899	0	1909	0,6	1909	0,6	1909	0,6
1937	0	1971	0,5	1950	0,5	1911	0	1961	0,5	1927	0,5	1927	0,5
1947	0	1964	0	1947	0	1916	0	1927	0,5	1921	0,5	1921	0,5
1950	0	1937	0	1919	0	1920	0	1921	0,5	1965	0	1965	0
1964	0	1928	0	1964	0	1949	0	1920	0	1920	0	1920	0
1970	0	1926	0	1928	0	1955	0	1911	0	1899	0	1899	0
1971	0	1895	0	1926	0	1965	0	1899	0	1892	0	1892	0

Таблица 5

Годы (а) и соответствующие им площади в процентах (б) распространения комплексных показателей осадки — температура за периоды май — июнь, апрель — июнь и май — июль для Западной Сибири

Осадки <80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$						Осадки >120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$					
V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1955	97,2	1955	64,8	1955	64,8	1903	77,0	1903	63,7	1903	64,0
1952	59,9	1951	55,6	1965	63,3	1895	50,1	1969	42,9	1949	39,8
1900	58,4	1929	49,0	1900	50,9	1905	49,6	1925	40,3	1960	35,5
1965	57,8	1965	43,9	1951	48,0	1929	43,7	1895	36,5	1905	35,3
1929	50,0	1967	42,6	1962	47,1	1969	39,7	1941	36,4	1895	33,4
1935	45,8	1953	40,2	1952	45,4	1946	39,3	1905	35,1	1947	33,1
1896	45,5	1952	39,9	1929	42,5	1970	36,9	1923	31,8	1917	31,8
1931	44,8	1900	38,9	1923	38,7	1917	36,7	1956	31,4	1972	31,6
1917	44,4	1917	36,0	1931	37,9	1902	36,5	1891	30,4	1899	30,0
1968	40,1	1962	35,8	1935	35,5	1891	36,4	1952	29,8	1929	29,1
1951	39,5	1931	32,9	1896	33,7	1919	31,4	1929	29,1	1894	29,0
1922	39,1	1915	31,2	1911	32,3	1923	30,9	1928	28,8	1970	28,4
1921	38,8	1911	30,9	1921	32,3	1925	30,1	1937	27,1	1938	26,7
1920	37,0	1920	30,7	1917	29,6	1975	29,6	1902	26,6	1969	26,5
1962	36,4	1935	30,5	1974	27,0	1949	28,4	1946	26,2	1946	26,2
1930	34,7	1896	30,3	1968	26,7	1972	28,2	1957	25,9	1902	25,7
1923	31,4	1921	28,1	1922	26,1	1894	26,7	1970	24,6	1891	24,3
1916	29,6	1922	27,0	1892	24,9	1908	26,7	1894	24,5	1919	24,0
1956	26,4	1968	26,7	1920	24,7	1956	26,6	1917	24,5	1945	23,8
1927	25,3	1893	26,5	1909	23,6	1930	26,4	1930	23,8	1930	23,0
1911	23,6	1906	24,8	1930	23,1	1898	24,2	1919	22,8	1908	22,7
1957	23,1	1930	23,1	1895	22,2	1966	23,1	1958	22,7	1897	22,1
1915	22,0	1923	22,7	1898	21,6	1897	22,8	1975	19,7	1925	21,6
1897	20,4	1944	22,6	1901	20,8	1932	21,7	1949	19,0	1941	21,0
1906	20,2	1973	22,5	1966	20,1	1971	21,5	1898	18,8	1923	20,6
1934	18,3	1974	21,8	1916	19,8	1907	20,5	1972	18,8	1934	20,3
1961	16,7	1940	21,3	1956	19,6	1938	20,5	1908	17,8	1975	19,7
1967	16,4	1939	19,9	1915	19,4	1921	20,1	1897	17,5	1973	19,5
1974	16,3	1916	19,8	1924	19,1	1954	19,3	1966	17,2	1914	18,9
1937	16,3	1956	17,6	1964	18,6	1906	17,1	1914	16,1	1954	18,5
1908	13,0	1949	17,4	1906	17,2	1912	16,2	1954	15,6	1956	17,7
1954	12,9	1927	16,8	1940	17,1	1948	15,5	1950	15,6	1898	16,1
1912	12,9	1907	16,3	1902	17,0	1960	15,2	1932	14,5	1966	15,4

Осадки <80%; $\Delta t > 1^\circ\text{C}$						Осадки >120%; $\Delta t < -1^\circ\text{C}$					
V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1959	12,5	1909	15,7	1927	16,8	1958	14,0	1964	14,3	1907	14,6
1963	11,9	1932	15,6	1957	15,5	1909	12,9	1971	14,3	1943	14,6
1904	11,6	1957	15,4	1953	15,0	1963	12,9	1938	13,6	1932	14,5
1899	11,2	1943	15,0	1969	14,5	1926	11,9	1907	13,6	1971	14,3
1894	10,3	1972	14,8	1897	13,6	1942	11,6	1926	13,6	1926	14,0
1953	10,2	1897	13,6	1963	12,5	1941	10,7	1921	13,4	1944	13,5
1964	10,0	1933	13,4	1954	12,4	1940	10,2	1906	11,4	1921	13,4
1973	10,0	1934	12,2	1934	12,2	1893	9,3	1942	11,2	1906	12,8
1940	9,1	1938	11,7	1948	11,6	1910	9,0	1959	10,9	1958	12,7
1945	8,2	1945	11,4	1961	11,2	1961	9,0	1934	10,9	1948	10,3
1901	8,1	1961	11,2	1937	10,9	1936	8,8	1912	10,8	1912	10,0
1910	8,0	1937	10,9	1967	10,9	1937	6,5	1948	10,3	1913	9,9
1918	8,0	1912	10,6	1908	8,7	1913	6,0	1960	10,1	1959	9,6
1948	7,5	1901	10,4	1918	8,7	1914	5,6	1910	9,6	1942	9,3
1958	7,5	1899	9,4	1904	8,6	1945	5,6	1963	8,6	1909	8,6
1909	5,2	1904	8,9	1912	8,6	1947	4,5	1909	8,6	1920	8,6
1941	4,8	1908	8,7	1928	8,6	1911	4,2	1936	7,9	1963	8,6
1933	4,6	1954	8,6	1959	8,3	1973	3,9	1900	7,2	1940	6,8
1925	3,4	1959	8,3	1910	7,6	1896	3,6	1940	6,8	1939	6,7
1936	3,4	1963	8,0	1950	7,5	1934	3,4	1893	6,2	1893	6,2
1892	2,6	1894	6,8	1899	7,4	1943	3,4	1961	6,0	1910	6,0
1898	2,5	1964	6,7	1894	6,8	1950	3,4	1968	5,7	1961	6,0
1926	2,5	1914	5,5	1973	6,7	1968	3,4	1922	5,3	1936	5,9
1939	2,2	1910	5,4	1945	5,5	1922	3,0	1913	4,0	1927	5,5
1943	2,2	1918	5,3	1958	5,0	1957	2,8	1935	3,8	1957	4,7
1944	2,0	1958	5,0	1893	4,3	1967	2,8	1945	3,7	1937	4,3
1972	2,0	1948	5,0	1932	3,9	1927	2,6	1916	3,4	1911	3,7
1893	1,4	1960	4,9	1941	3,2	1924	2,5	1947	3,0	1922	3,2
1891	0	1919	3,7	1933	3,1	1900	2,2	1911	2,8	1916	3,1
1975	0	1924	3,7	1907	2,2	1928	2,2	1973	2,6	1896	2,4
1895	0	1903	3,7	1925	2,2	1962	1,8	1896	2,4	1950	2,2
1902	0	1975	3,4	1936	2,2	1892	0	1943	2,2	1955	2,2
1963	0	1941	3,2	1905	1,6	1899	0	1967	1,8	1968	2,2
1905	0	1950	2,2	1926	1,6	1901	0	1927	1,8	1967	1,8
1907	0	1936	2,2	1942	1,6	1904	0	1924	1,6	1924	1,6
1913	0	1966	2,2	1975	1,6	1915	0	1892	1,6	1900	1,5
1914	0	1925	2,2	1939	1,5	1916	0	1962	1,2	1928	1,5

Осадки <80%; $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}$						Осадки >120%; $\Delta t < -1^{\circ}\text{C}$					
V-VI		IV-VI		V-VII		V-VI		IV-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1919	0	1947	1,8	1943	1,5	1918	0	1974	0	1935	1,2
1924	0	1892	1,8	1972	1,4	1920	0	1965	0	1962	1,2
1928	0	1898	1,6	1944	1,3	1931	0	1955	0	1892	0
1932	0	1926	1,6	1891	0	1933	0	1953	0	1901	0
1938	0	1970	0	1903	0	1935	0	1944	0	1904	0
1942	0	1969	0	1913	0	1939	0	1939	0	1915	0
1946	0	1971	0	1914	0	1944	0	1933	0	1918	0
1947	0	1946	0	1919	0	1951	0	1931	0	1931	0
1949	0	1942	0	1938	0	1952	0	1920	0	1933	0
1950	0	1928	0	1946	0	1953	0	1918	0	1951	0
1960	0	1913	0	1947	0	1955	0	1915	0	1952	0
1966	0	1905	0	1949	0	1959	0	1904	0	1953	0
1969	0	1902	0	1960	0	1964	0	1901	0	1964	0
1970	0	1895	0	1970	0	1965	0	1899	0	1965	0
1971	0	1891	0	1971	0	1974	0	1951	0	1974	0

Для Северного Казахстана наиболее известен каталог засух Утешева, составленный по материалам об урожайности яровой пшеницы с 1888 по 1955 г. [18] и продленный впоследствии до 1963 г. [16]. Засушливые годы, по Утешеву, в табл. 4 обозначены буквой У.

Согласно нашим расчетам, на ЕТС за период с апреля по июнь с 1891 по 1975 г. рекордным по засушливости был 1975 г., оказавшийся на первом месте по площади распространения показателя З. Даже катастрофические 1920 и 1921 гг. не превосходили по засушливости 1975 г. Следующие за ним десять засушливых лет (табл. 3) отнесены к засушливым и другими авторами. Не попал во главу списка катастрофический 1891 г. за счет холодного апреля. Аналогичные условия сложились в 1972 г., в котором за влажным апрелем (средний процент осадков 131% нормы) последовали сухие май (68% нормы) и июнь (85% нормы). Условию З в этом году удовлетворило в апреле только 12,2% площади. Т. В. Покровская [15] 1972 г. также не относит к рекордным. Результаты метеорологического и агрометеорологического анализа засухи 1972 г. опубликованы в ряде работ [1, 10, 11].

Каталог засушливых лет, рассчитанных по данным мая—июля, более соответствует нашим представлениям о засушливых годах. По площади распространения показателя З за май—июль на ЕТС на первое место вышел 1936 г., на второе 1975, на третье

1891, на четвертое 1920, на пятое 1972, на шестое 1963 г., в котором, по данным Ф. П. Когана [11], урожайность зерновых была ниже тренда по всей территории СССР. Сопоставляя приведенные каталоги засух для ЕТС с ранее предложенными Алпатьевым и Каменьковой с Покровской, можно констатировать неплохое соответствие между ними. Полного соответствия, очевидно, ждать нельзя, поскольку принципы построения этих каталогов различаются. Хорошее согласование выделенных засушливых лет получилось и с засушливыми годами по Ю. Л. Раунеру, приведенными в [17], поскольку эти каталоги засушливых лет получены не путем расчета, а в результате анализа и обобщения ряда известных каталогов, в частности каталогов Алпатьева, Каменьковой и Покровской для ЕТС и каталога Утешева для Северного Казахстана.

В Северном Казахстане (табл. 4) за период с мая по июль максимальное пространственное распространение имела также засуха 1975 г. Затем следуют 1955, 1965 и 1957 гг. Надо подчеркнуть, что из первых десяти засух этого списка семь приходятся на последнее 30-летие.

Список засушливых лет в Западной Сибири (табл. 5) за май — июль открывает 1955 г. Далее в порядке убывания пространственного распространения засух следуют 1965, 1900 и 1951 гг. Сопоставление засушливых лет на трех территориях показывает, что между годами засух в Северном Казахстане и Западной Сибири связь более тесная, чем в Северном Казахстане и на ЕТС.

На основании табл. 3—5 можно подойти к определению засушливого года. Будем считать, что повторяемости засушливых, нормальных и увлажненных лет равночисленны и, следовательно, засушливыми должны быть примерно 28 лет (одна треть 85-летнего ряда). Основываясь на анализе табл. 3, можно принять, что условиям засухи соответствуют годы, в которых в среднем за три рассматриваемых месяца на 25% площади осадки составили менее 80% нормы при полджительных аномалиях температуры более 1°C. Этому определению удовлетворяют на ЕТС первые 28 лет каталога за апрель — июнь, в Северном Казахстане первые 27 лет каталога за май — июль, а в Западной Сибири только первые 19 лет каталога за май — июль. (Очевидно, за счет учета мало-засушливых районов Тюменской области.) Эти годы в табл. 3—5 отделены чертой. В табл. 3—5 приведены также каталоги холодных и влажных лет для трех периодов, выделенных по площади распространения показателя В.

В заключение остановимся на каталоге аномальных лет в целом для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Расчеты сделаны для трех периодов: апрель — июнь, май — июнь и май — июль. Для составления каталога засух рассчитывались площади (%) распространения показателя З, а для составления каталога влажных и холодных лет — площади распространения показателя В. При этом надо иметь в виду, что суммарная площадь административных районов

Таблица 6

Каталоги аномальных лет для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири

Засушливые годы						Влажные и холодные годы					
IV-VI		V-VI		V-VII		IV-VI		V-VI		V-VII	
а	б	а	б	а	б	а	в	а	в	а	в
1920	48,4	1955	51,5	1975	41,7	1941	42,9	1941	42,3	1941	35,9
1975	45,2	1957	48,8	1920	37,8	1958	35,2	1894	38,8	1894	35,4
1921	44,8	1975	47,8	1955	36,0	1928	34,3	1913	36,1	1913	31,8
1957	42,4	1921	46,6	1931	35,6	1894	28,2	1919	34,7	1945	30,1
1951	41,1	1920	42,6	1957	33,9	1912	27,8	1903	33,8	1919	28,9
1906	38,2	1948	35,0	1921	33,8	1933	27,5	1933	33,0	1908	28,0
1917	35,2	1968	34,8	1936	33,2	1908	27,0	1895	32,4	1958	27,4
1967	34,7	1961	33,6	1929	30,8	1895	26,9	1908	31,3	1960	26,4
1955	34,3	1897	33,1	1951	30,8	1945	26,7	1958	28,2	1903	26,3
1962	29,8	1906	31,9	1906	30,2	1942	26,0	1945	26,9	1933	25,0
1968	29,3	1949	31,5	1963	29,6	1952	25,6	1942	25,6	1956	23,7
1948	28,1	1963	30,9	1939	29,1	1903	25,1	1928	25,4	1969	23,6
1973	27,0	1924	30,5	1891	28,5	1913	24,6	1925	24,7	1895	23,5
1897	26,7	1931	29,9	1892	28,4	1925	23,7	1912	23,5	1928	23,5
1939	25,8	1917	29,0	1897	28,4	1919	23,5	1934	23,2	1896	22,9
1961	25,3	1929	28,7	1965	28,0	1900	22,6	1904	22,3	1947	22,8
1929	25,2	1952	28,4	1924	27,9	1926	22,2	1900	22,0	1935	22,2
1953	24,6	1934	28,3	1948	26,4	1929	22,1	1956	21,6	1912	21,9
1949	24,5	1951	28,2	1972	25,8	1902	22,0	1969	21,4	1934	21,9
1946	23,7	1936	28,1	1952	24,3	1896	21,2	1966	20,7	1925	21,8
1911	23,4	1923	27,9	1962	23,5	1956	20,4	1960	20,6	1926	21,6
1934	22,9	1927	26,0	1968	23,2	1905	19,5	1896	20,3	1905	20,6
1952	22,5	1965	25,9	1927	23,2	1907	19,5	1929	19,8	1974	20,4
1924	22,5	1939	25,8	1954	22,9	1898	19,3	1905	19,7	1942	20,2
1901	22,1	1946	25,2	1961	22,8	1937	19,3	1926	19,5	1917	19,2
1950	21,5	1901	23,9	1901	22,5	1964	19,3	1974	19,0	1946	19,2
1931	21,1	1891	23,7	1923	22,5	1934	19,1	1907	18,9	1949	18,6
1930	21,0	1967	22,8	1911	22,1	1969	18,2	1947	18,5	1902	18,4
1972	20,7	1900	22,6	1949	22,1	1914	18,0	1902	18,1	1900	17,9
1963	20,6	1911	22,3	1966	21,7	1955	17,7	1917	17,7	1950	17,4

Примечание: а — годы, б — площадь распространения показателя З, в — площадь распространения показателя В.

на юге ЕТС составила 2601,8 тыс. км², в Северном Казахстане 1486,9 тыс. км² и в Западной Сибири 1011,7 тыс. км², т. е. вес юга ЕТС в общей площади больше, чем Северного Казахстана, а Северного Казахстана — больше, чем Западной Сибири.

Каталоги аномальных лет в целом для основных сельскохозяйственных районов СССР приведены в табл. 6.

Предложенные в настоящей работе каталоги сухих и жарких, влажных и холодных лет основаны только на метеорологических данных о средней месячной температуре и месячных суммах осадков, отнесенных к площадям административных областей. При этом для составления каталогов не привлекались сведения об урожае, который зависит не только от условий погоды, но и от комплекса агротехнических мероприятий и ряда других причин (градобития, избытка влаги, массового повреждения растений болезнями и вредителями). Строго метеорологический подход к каталогам аномальных лет имеет свои преимущества, так как позволяет по единой методике рассчитывать площадь распространения аномальных явлений за длинный ряд лет, в том числе для тех районов, для которых отсутствуют сведения об урожае.

Приведенные каталоги контрастных лет могут также служить базой для анализа и прогноза крупных аномалий комплекса осадки — температура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрометеорологические особенности засухи 1972 года и ее влияние на сельскохозяйственные культуры.—«Труды ГМЦ», 1975, вып. 154, 180 с.
2. Алпатыев А. М. О показателе засухи.—«Метеорология и гидрология», 1955, № 4, с. 21—24.
3. Алпатыев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распределение засух.—В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., Гидрометеиздат, 1958, с. 31—45.
4. Бова Н. В. Об агрометеорологическом показателе засушливости юго-востока СССР.—«Социалистическое зерновое хозяйство», 1941, № 3, с. 176—184.
5. Бова Н. В. О климатическом изучении засух на юго-востоке СССР.—«Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1946, т. 10, № 5, с. 417—430.
6. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков по территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971, 156 с.
7. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. Под ред. проф. Т. В. Покровской. Л., Гидрометеиздат, 1976, 111 с.
8. Карты отклонений температуры воздуха от многолетних средних северного полушария. Л., Изд. ГГО, вып. 1—4, 1962.
9. Каменькова Н. К. К вопросу об изучении весенне-летних засух на Европейской территории СССР.—«Труды ГГО», 1964, вып. 164, с. 43—53.
10. Кац А. Л. Необычное лето 1972 года. Л., Гидрометеиздат, 1973, 58 с.
11. Коган Ф. П. Оценка условий 1972 сельскохозяйственного года по аномалии урожайности.—«Труды Гидрометцентра СССР», 1975, вып. 154, с. 40—50.
12. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР (ежегодные данные). Л., Гидрометеиздат, 1977, 157 с.
13. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей аномалий осадков. См. наст. сб.

14. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. См. наст. сб.
15. Покровская Т. В. Суммарные характеристики количества осадков для основных земледельческих районов Европейской территории СССР в апреле — июне за 1891—1972 гг.—«Труды ГГО», 1975, вып. 330, с. 119—125.
16. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969, 251 с.
17. Раунер Ю. Л. О периодичности засух на территории зерновых районов СССР.—«Изв. АН СССР, сер. геогр.», 1976, № 6, с. 37—54.
18. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, «Наука», 1972, 174 с.

А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич, Ю. В. Житорчук

ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ И ЕГО СВЯЗЬ С УРОЖАЙНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Для характеристики гидрометеорологических условий, определяющих развитие сельскохозяйственных культур, предложено большое число различных показателей: гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова [20, 23], индекс сухости М. И. Бudyко [5], коэффициенты увлажнения Н. Н. Иванова [6], Н. В. Бovy [4], П. И. Колоскова [9], Д. И. Шашко [25], А. Р. Константинова и В. В. Свириной [10] и др. Сводку этих показателей можно найти в монографиях Е. С. Улановой [26], Н. И. Синицynой, И. А. Гольцберг, Э. А. Струнниковой [24], а также в работах Л. Г. Мамаевой [12] и Л. С. Кельчевской [7, 8].

Из этих показателей наиболее широкое распространение получил ГТК Селянинова, представляющий собой отношение сумм осадков за некоторый период к суммам температур выше 10°C, уменьшенным в 10 раз, за тот же период. Предложенный Селяниновым в середине 30-х годов [23] ГТК используется с большим или меньшим успехом до настоящего времени. Ценность того или иного гидрометеорологического показателя, с точки зрения агрометеоролога, определяется прежде всего его связью с урожайностью. В этом плане отношение к ГТК Селянинова у разных авторов неодинаково.

Тесная связь ГТК за апрель—июнь с урожаем яровой пшеницы была установлена С. А. Сапожниковой [22]. Высокая корреляция между урожаем и ГТК за первые восемь декад вегетационного периода найдена А. М. Алпатьевым [2]. Прямую зависимость урожая яровой пшеницы от ГТК за май—июль для ряда госсортоучастков на ЕТС получила В. М. Мирвис [19].

С другой стороны, у М. И. Мель [18], которая коррелировала урожай той же яровой пшеницы в основных сельскохозяйственных районах СССР с ГТК за май—июль, связи оказались очень слабыми. Аналогичные результаты получили И. М. Петуниh и А. П. Караваева [21]. По их расчетам, корреляция между урожаем яровой пшеницы и ГТК за май—июль не превышает 0,33,

даже в наиболее засушливых районах Центрально-Черноземной области, Нижнего и Среднего Поволжья.

Несмотря на противоречивость результатов, ГТК продолжает привлекать внимание метеорологов. Причина достаточно ясна: из всех метеозаписей температура и осадки наиболее полно представлены для больших территорий и за длинный ряд лет.

Из последних работ, посвященных обсуждаемому вопросу, интересны статьи Кельчевской [7] и Мамаевой [12], в которых приведены результаты сравнения различных показателей увлажнения в зависимости от тесноты их связи с урожаем. Они рассмотрели ГТК Селянинова, индекс сухости Будыко и коэффициент увлажнения Кельчевской [7], учитывающий не только осадки вегетационного периода, но и поглощенные почвой осадки осенне-зимнего сезона.

Несмотря на то что ГТК Селянинова физически менее обоснован, чем индекс сухости Будыко или коэффициент увлажнения Кельчевской, оказалось, что по тесноте связи с урожаем яровой пшеницы ГТК равноценен всем остальным показателям [12]. Объясняется это тем, что урожай яровой пшеницы в основном определяется весенне-летними осадками, которые входят во все показатели, в том числе в ГТК. Выводы Мамаевой и Кельчевской еще раз подтвердили возможность использования ГТК для характеристики условий развития растений.

В основу разработок, представленных в данной статье, положены ГТК, рассчитанные для 104 административных районов в основной сельскохозяйственной зоне СССР за период с 1891 по 1975 г. Список этих районов и карта их положения даны в статье [14]. Расчеты ГТК сделаны для двух основных периодов: май — июнь и май — июль, а также в опытным порядке для периода апрель — июнь.

Необходимо сделать следующую оговорку: в нашей работе под ГТК понималось отношение суммы осадков к уменьшенным в 10 раз суммам температур, независимо от того, была температура выше 10°C или нет. Дело в том, что авторы статьи располагали только данными о средней месячной температуре и месячных суммах осадков. Для того чтобы строго рассчитать ГТК Селянинова, надо иметь сведения о датах перехода температуры через 10°C в каждом году 85-летнего ряда для каждой из 104 станций. По всем 104 станциям за ранние годы невозможно найти фактических сведений о датах перехода температуры через 10°C . Выход мог бы состоять в приближенном расчете этих дат по ежегодным значениям средней месячной температуры по методике Селянинова [20]. Однако если даже дата перехода температуры через 10°C известна, то еще более трудной является задача отыскания сумм осадков за период с температурой выше 10°C . За ранние годы по значительному числу станций сохранились сведения о месячных суммах осадков, а для некоторых районов и они отсутствуют, так что приходится пользоваться данными, интерполированными с карт [13]. Имея лишь месячные суммы осадков, практи-

чески невозможно определить, какая их часть соответствует периоду с температурой выше 10°C . Все эти замечания относятся к массовым материалам наблюдений на больших территориях за длинный ряд лет. Для отдельных районов и за более короткие периоды корректный расчет ГТК вполне возможен.

Следует отметить, что трудности с подбором метеорологических материалов для периодов со средней температурой выше 10°C возникали, естественно, и у других специалистов. Поэтому в многочисленных ранее опубликованных работах авторы имели дело с периодами, соответствующими нескольким календарным месяцам. Даже в работах Селянинова [20] ГТК нередко вычислялся за три летних месяца (июнь—август), хотя переход через 10°C в основных сельскохозяйственных районах СССР происходит намного раньше: в апреле—мае. В работах [18—19, 21—22 и др.] ГТК также рассчитывался в основном для календарных периодов: апрель—июнь, май—июнь и май—июль.

Чтобы представить себе, насколько часто рассчитанные нами ГТК отличаются от корректно рассчитанных ГТК Селянинова, по нашим материалам было подсчитано число случаев со средней месячной температурой мая ниже 10°C . Оказалось, что на юге ЕТС в 8% случаев, на Урале (кроме горных районов) и в Северном Казахстане в 10% случаев, а в Западной Сибири в 42% случаев средняя месячная температура мая была ниже 10°C .

Однако, как будет показано далее, эта некорректность не имеет принципиального значения.

Поскольку ГТК является отношением сумм осадков к суммам температур, важно знать, какова зависимость ГТК от каждой из его компонент. По материалам нескольких станций на ЕТС этот вопрос был рассмотрен Мирвис [19]. Ею показано, что коэффициент корреляции r между ГТК и суммой осадков за май—июль близок к единице. Этот результат был подтвержден авторами данной статьи для 104 административных районов СССР. Для исключения годового хода осадков сначала рассчитывалось их количество в процентах от нормы за каждый месяц, а затем осреднялось за май—июль. Вывод Мирвис о тесной связи ГТК с осадками подтвердился. За период май—июль коэффициент корреляции между ГТК и средним количеством осадков больше 0,9 во всех 104 районах. При этом можно отметить очень четкую тенденцию к усилению этой зависимости с севера на юг: на севере рассматриваемой территории значения r составляют 0,91—0,94, на юге—близки к единице (0,98—0,99).

Между ГТК и температурой зависимость обратная, что с очевидностью следует из факта обратной корреляционной связи между осадками и температурой весной и летом [17]. Для исключения годового хода температуры сначала рассчитывались ее отклонения от норм каждого месяца, затем осреднялись за май—июнь.

Карта коэффициентов корреляции между ГТК и средними аномалиями температуры за май—июль, рассчитанных за период с 1891 по 1975 г., представлена на рис. 1. Из этого рисунка

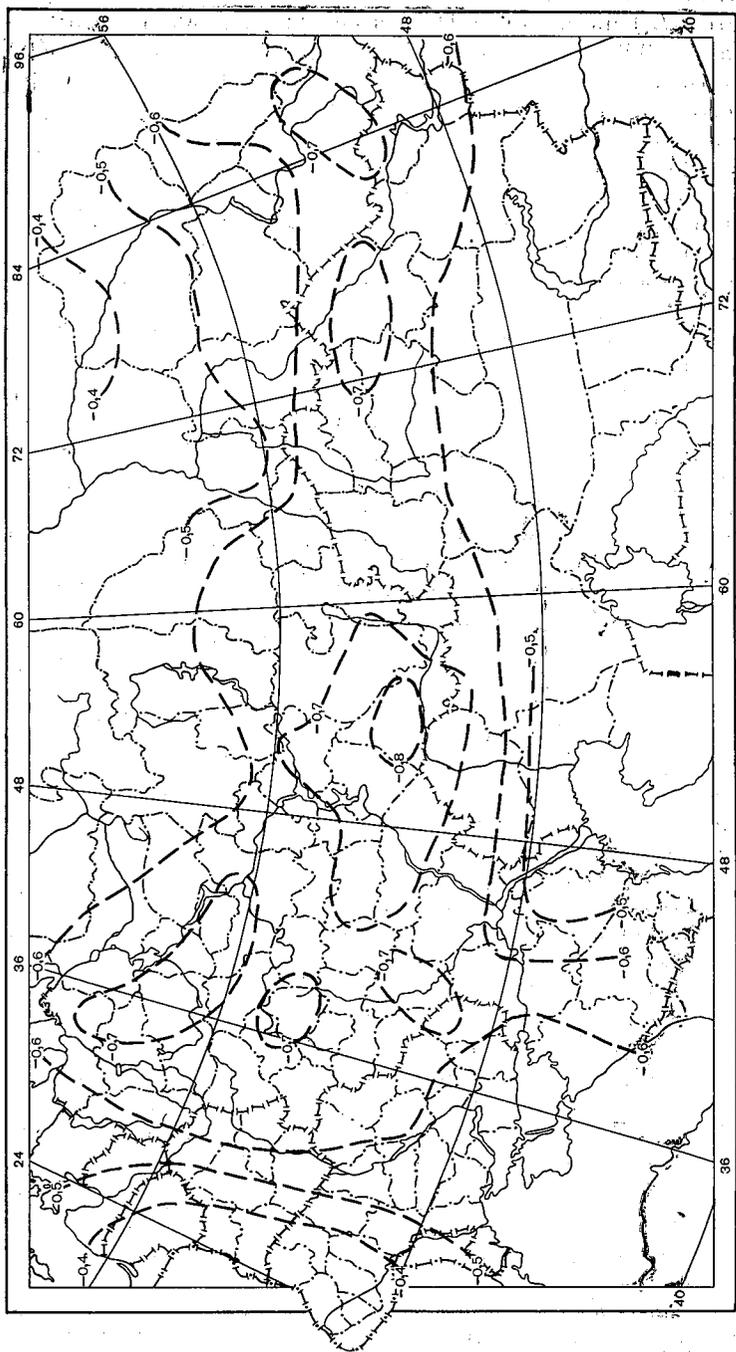


Рис. 1. Карта коэффициентов корреляции между ГТК и средними аномалиями температуры за май — июль за период с 1891 по 1975 г.

следует, что r между ГТК и средними аномалиями температуры колеблется от $-0,4$ на западе ЕТС и в северных районах Тюменской области до $-0,8$ в Среднем Поволжье и на Южном Урале. По абсолютным значениям r связь между ГТК и температурой намного слабее, чем между ГТК и осадками. Причиной этого [19] является малая относительная изменчивость сумм температур по сравнению с изменчивостью сумм осадков.

Почти функциональная связь ГТК с осадками отодвигает на задний план дискуссии о преимуществах активных или эффективных температур перед простой суммой положительных температур. Практически мало существенно, сумма положительных температур или сумма температур выше 10°C используется при расчете ГТК, поскольку основной вклад в ГТК вносят осадки.

В большинстве работ, касающихся связности ГТК с урожаем сельскохозяйственных культур, рассматриваются довольно короткие ряды, относящиеся в основном к некоторым локальным районам. Объясняется это в первую очередь ограниченностью архивов по урожайности.

В настоящее время А. И. Манелля, И. Н. Нагнибедова и др. опубликовали монографию [11], в которой приведены осредненные по административным областям ряды урожайности сельскохозяйственных культур с 1947 по 1969 г. Эти ряды урожайности, дополненные до 1975 г., положены в основу данной статьи.

Следует подчеркнуть, что ежемесячные значения ГТК рассчитывались нами, как и урожайность, для административных областей, и, следовательно, появилась возможность сопоставления областных значений ГТК со средней областной урожайностью.

Из многих работ [26, 27, 15, 16] известно, что в рядах урожайности сильно выражен тренд, обусловленный в основном ростом уровня агротехники. Для исследования зависимости урожайности от метеорологических факторов агрономический тренд по возможности исключают. С этой целью ряды урожайности аппроксимируют либо прямой (см., например, [15]), либо параболой [16] и находят отклонения урожайности от линии тренда. Предполагается, что найденные таким путем аномалии урожайности определяются метеорологическими условиями того или иного года. Заметим, что в дальнейшем для облегчения чтения текста под урожайностью будем иметь в виду аномалии урожайности.

Из работы [11] были выбраны ряды средней областной урожайности пяти сельскохозяйственных культур: яровой пшеницы, ярового ячменя, озимой пшеницы, озимой ржи и картофеля и рассчитаны отклонения областной урожайности от тренда, аппроксимированного параболой второго порядка. Полученные ряды аномалий урожайности положены в основу последующих расчетов.

Ряды аномалий урожайности сами по себе не являются независимыми. Особенно тесно коррелированы ряды аномалий урожайности ярового ячменя и яровой пшеницы, а также ряды аномалий урожайности озимой ржи и озимой пшеницы. Для примера на рис. 2 приведена карта коэффициентов корреляции аномалий

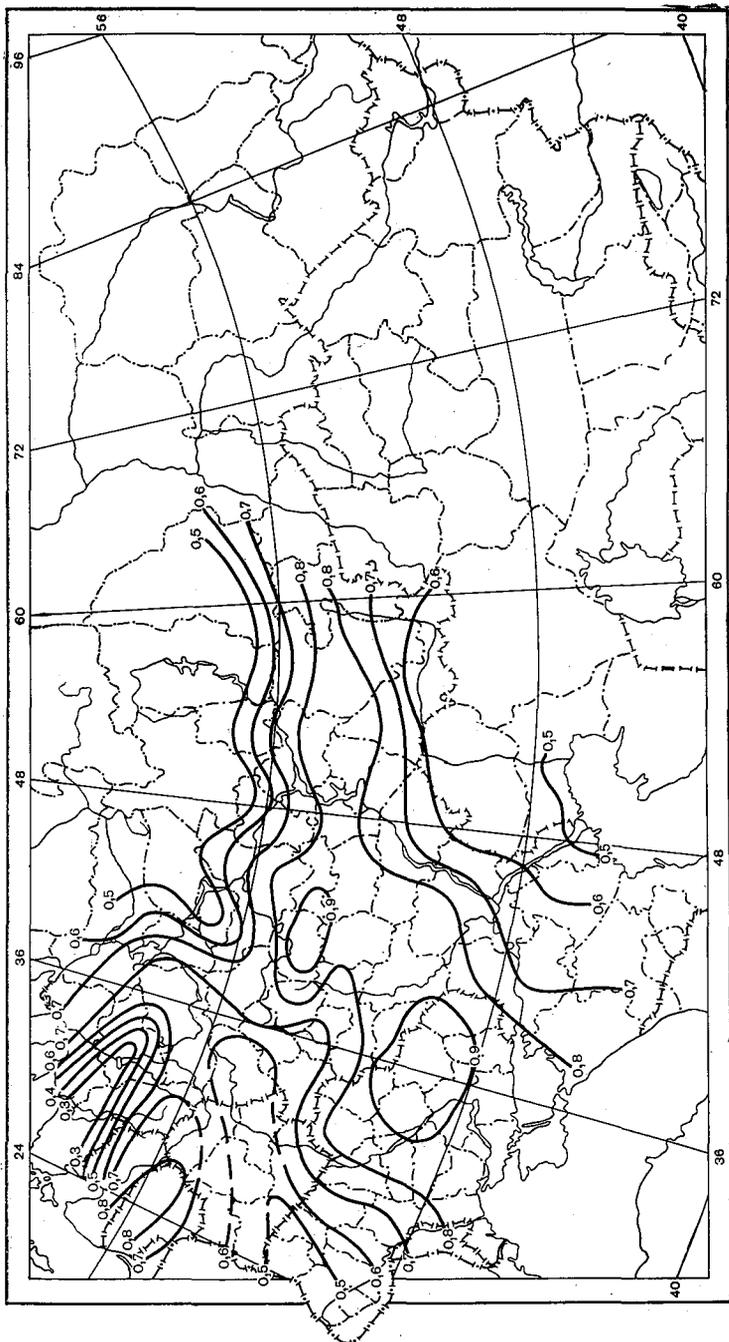


Рис. 2. Карта коэффициентов корреляции аномалий урожайности озимой ржи и озимой пшеницы (1947—1975 гг.).

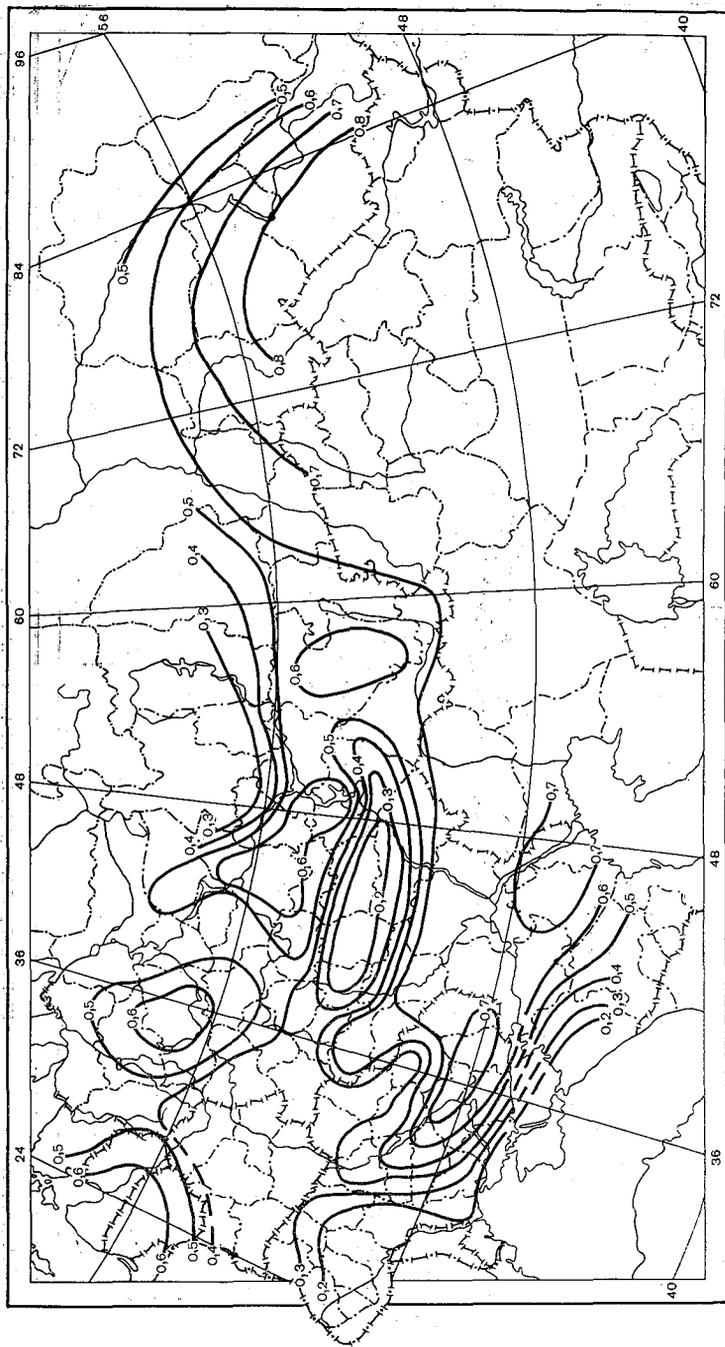


Рис. 3. Карта коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности яровой пшеницы и озимой ржи (1947—1975 гг.).

урожайности двух последних культур. Наибольшие коэффициенты корреляции между аномалиями урожайности озимой ржи и озимой пшеницы приходятся на Центрально-Черноземную область, южные и северо-восточные районы Украины и Среднее Поволжье, где они достигают 0,8—0,9. К северо-западу и юго-востоку от этого района корреляция урожайностей падает.

Аналогичное географическое распределение имеют коэффициенты корреляции между аномалиями урожайности яровой пшеницы и ярового ячменя.

Корреляция урожайности озимых культур с урожайностью яровых также положительна, но она значительно слабее. На рис. 3 представлено поле коэффициентов корреляции между урожайностью яровой пшеницы и урожайностью озимой ржи для ЕТС и Западной Сибири. Анализ этого рисунка показывает, что наиболее тесная зависимость между урожайностью указанных культур характерна для южных районов рассматриваемой территории, где достигает 0,6—0,8. Очевидно, в этих районах урожай как яровой пшеницы, так и озимой ржи в основном формируется под влиянием одних и тех же метеорологических факторов, а именно режима влаги и тепла весенне-летнего периода. В более северных районах с достаточным увлажнением и умеренной температурой зависимость урожайности от погоды весенне-летнего периода ослабевает. Вместе с тем ослабевает и корреляция аномалий урожайности озимых и яровых культур.

Отметим, что удвоенные ошибки расчетов коэффициентов корреляции, представленных на рис. 2 и 3, близки к 0,3 (среднее значение коэффициентов корреляции принято равным 0,4, длина рядов равна 29 годам).

Построенные карты коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности разных культур сопоставлялись с аналогичными картами Н. С. Четверикова [28] для ЕТС, относящимися к периоду с 1883 по 1915 г. Можно считать вполне удовлетворительным качественное соответствие карт Четверикова нашим картам. В дальнейшем, по-видимому, целесообразно это сопоставление сделать более детально.

Рассмотрим теперь зависимости урожайности разных культур от ГТК. Материалом для анализа служили поля коэффициентов корреляции между урожайностью пяти отобранных культур и ГТК, вычисленных за периоды май—июнь, май—июль и апрель—июнь.

Некоторые результаты расчетов сведены в табл. 1. Вычисления сделаны отдельно для административных районов ЕТС и Западной Сибири. По Северному Казахстану удалось найти ряд данных только по областной урожайности яровой пшеницы и то слишком короткий (с 1956 г.) для уверенных выводов. Поэтому в табл. 1 для этой территории значения r не приводятся. Для расчета использовались данные только тех административных районов, для которых за все периоды коэффициенты корреляции были одного знака (либо положительные, либо отрицательные).

Таблица 1

Средние значения положительных (r_+) и отрицательных (r_-) коэффициентов корреляции между ГТК и урожайностью, а также число коэффициентов корреляции (n) разных знаков для разных культур в зависимости от периода, за который вычислены ГТК и осадки

Культура	ГТК за															
	апрель—июнь				май—июль				май—июнь				Осадки за май—июнь			
	r_+	n_+	r_-	n_-	r_+	n_+	r_-	n_-	r_+	n_+	r_-	n_-	r_+	n_+	r_-	n_-
ЕТС																
Яровая пшеница	0,39	51	-0,09	2	0,38	51	-0,06	2	0,44	51	-0,12	2	0,39	51	-0,12	2
Яровой ячмень	0,41	54	-0,14	3	0,39	54	-0,18	3	0,44	54	-0,05	3	0,38	54	-0,12	3
Озимая рожь	0,41	45	-0,25	5	0,35	45	-0,18	4	0,44	45	-0,10	4	0,41	45	-0,19	4
Озимая пшеница	0,34	48	—	—	0,29	48	—	—	0,38	48	—	—	0,36	48	—	—
Картофель	0,30	15	-0,35	12	0,49	15	-0,24	12	0,36	15	-0,44	12	0,33	15	-0,40	12
Западная Сибирь																
Яровая пшеница	0,52	22	-0,02	1	0,50	22	-0,12	1	0,52	22	-0,05	1	0,48	22	-0,06	1
Яровой ячмень	0,49	16	-0,25	3	0,54	16	-0,18	3	0,51	16	-0,16	3	0,46	16	-0,14	3
Озимая рожь	0,28	16	-0,34	5	0,48	16	-0,27	5	0,47	16	-0,23	5	0,44	16	-0,21	5
Картофель	0,36	12	-0,38	8	0,46	12	-0,41	8	0,37	12	-0,48	8	0,33	12	-0,39	8

Примечание. Полу жирным шрифтом даны максимальные значения.

Поэтому положительные коэффициенты корреляции между аномалиями урожайности и ГТК вычислялись по одинаковому числу областей для одной культуры за все три периода. То же относится и к отрицательным r .

Анализ табл. 1 показывает, что, во-первых, на обеих территориях преобладают положительные связи между урожайностью зерновых культур и ГТК. Только для картофеля число положительных и отрицательных коэффициентов корреляции почти одинаково. Во-вторых, значения положительных r между урожайностью и ГТК, вычисленные для одной культуры, но за разные периоды, довольно близки. Тем не менее на ЕТС аномалии урожайности всех четырех зерновых культур теснее связаны с ГТК за май — июнь, что хорошо согласуется с результатами С. М. Агафоновой [1]. Для этого периода положительный коэффициент корреляции между ГТК и аномалиями урожайности яровой пшеницы, ярового ячменя и озимой ржи равен 0,44, а между ГТК и урожайностью озимой пшеницы $r=0,38$. На втором месте по значимости для урожайности всех зерновых на ЕТС оказался режим тепла и влаги в апреле — июне, на третьем — в мае — июле. Хотя разность коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности и ГТК за разные периоды составляет всего несколько сотых (до 0,09), тот факт, что все зерновые культуры на ЕТС дают согласованные результаты, повышает надежность сделанных выводов.

Для Западной Сибири выводы получились менее четкими, что отчасти связано с более ограниченным объемом исходного материала: если на ЕТС коэффициенты корреляции между областной урожайностью зерновых и ГТК рассчитывались по данным 45—51 области, то в Западной Сибири по данным только 16—22 областей. Материалы по урожайности озимой пшеницы в Западной Сибири отсутствовали вообще.

По нашим расчетам (табл. 1), урожайность яровой пшеницы в Западной Сибири в равной мере зависит от ГТК за май — июнь и апрель — май. Среднее значение положительного коэффициента корреляции между урожайностью и ГТК за эти периоды равно 0,52, за май — июль 0,50.

Урожайность ярового ячменя и озимой ржи несколько теснее связана с ГТК за май — июль: средний коэффициент корреляции равен соответственно 0,54 и 0,48. На втором месте по значимости для урожайности оказались метеорологические условия в мае — июне. Но с учетом малого числа случаев можно считать оба периода почти эквивалентными. Число отрицательных коэффициентов корреляции между урожайностью зерновых и ГТК на обеих территориях мало, и потому мы их здесь не анализируем.

Для развития картофеля наиболее важен период с мая по июль. Среднее значение положительных коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности картофеля и ГТК за май — июль составило 0,49 на ЕТС и 0,46 в Западной Сибири. Этот вывод достаточно очевиден, поскольку картофель относится к поздно

созревающим культурам. Известно, что для картофеля важен режим тепла и влаги не только июля, но и августа. Однако ГТК за август в данной работе не рассматривался. Наряду с положительными коэффициентами корреляции между урожайностью картофеля и ГТК имеют место отрицательные коэффициенты корреляции, составляющие чуть меньше половины всех случаев. Они приходится в основном на северные районы рассматриваемой территории. Максимальные по абсолютному значению отрицательные коэффициенты корреляции между урожайностью и ГТК соответствуют периоду с мая по июнь как на ЕТС, так и в Западной Сибири.

В табл. 1 приведены также средние значения и повторяемость коэффициентов корреляции разных знаков между урожайностью и средними значениями осадков за май—июнь. Осадки за май—июнь по сравнению с ГТК за май—июнь слабее коррелируют с аномалиями урожайности всех культур. Разница коэффициентов корреляции невелика, но она везде одинакова по знаку: ГТК во всех случаях дает несколько более высокие связи с урожайностью, чем осадки. Таким образом, преимущество остается за ГТК, хотя и небольшое.

Рассмотрим теперь распределение по территории основных сельскохозяйственных районов СССР коэффициентов корреляции между рядами аномалий урожайности и ГТК за наиболее показательные периоды май—июнь и май—июль. Выше было отмечено, что аномалии урожайности яровой пшеницы и ярового ячменя, а также аномалии урожайности озимой пшеницы и озимой ржи неплохо между собой связаны. Поэтому приведем здесь только карты коэффициентов корреляции для яровой пшеницы как представительницы яровых культур и для озимой ржи как представительницы озимых культур. Кроме того, рассмотрим поля коэффициентов корреляции ГТК с аномалиями урожайности картофеля, поскольку эта культура предъявляет свои, особые требования к погодным условиям.

Коэффициенты корреляции между урожайностью яровой пшеницы и ГТК за май—июнь (рис. 4) положительны на всей рассматриваемой территории за исключением Белоруссии и Прибалтики. Наиболее тесная корреляция между урожайностью яровой пшеницы и ГТК приходится на Нижнее и Среднее Поволжье и юг Западной Сибири, где значения коэффициентов корреляции составляют 0,7—0,8. К северу корреляция ГТК за май—июнь с урожайностью яровой пшеницы быстро падает.

Результаты расчетов тесноты связей урожайности яровой пшеницы с ГТК для некоторых районов можно сравнить с данными других авторов. Так, Мирвис [19] для Тамбовской и Рязанской областей получила значения корреляционных отношений между ГТК за май—июль и урожайностью яровой пшеницы по данным госсортоучастков равными соответственно 0,35 и 0,40, а для группы станций Ростовской области коэффициент корреляции между урожайностью яровой пшеницы и ГТК за май—июль равным 0,54.

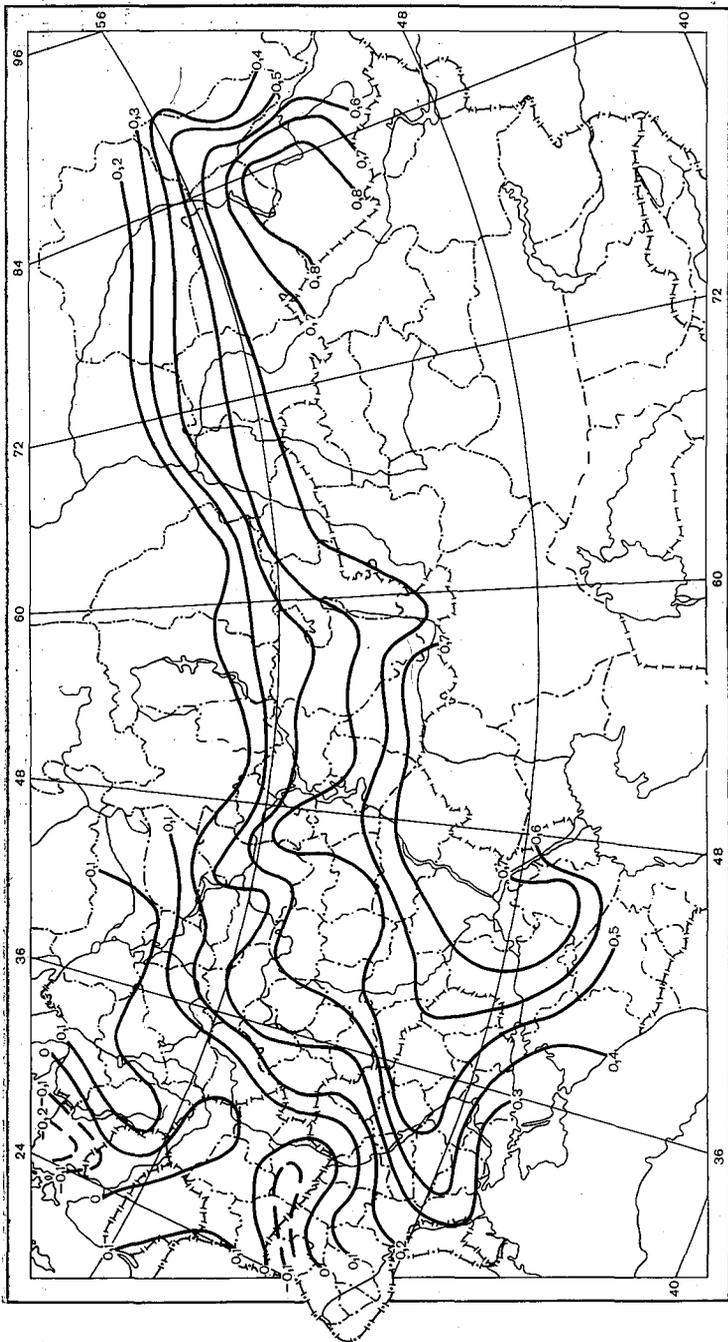


Рис. 4. Карта коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности яровой пшеницы и ГТК за май — июнь (1947—1975 гг.).

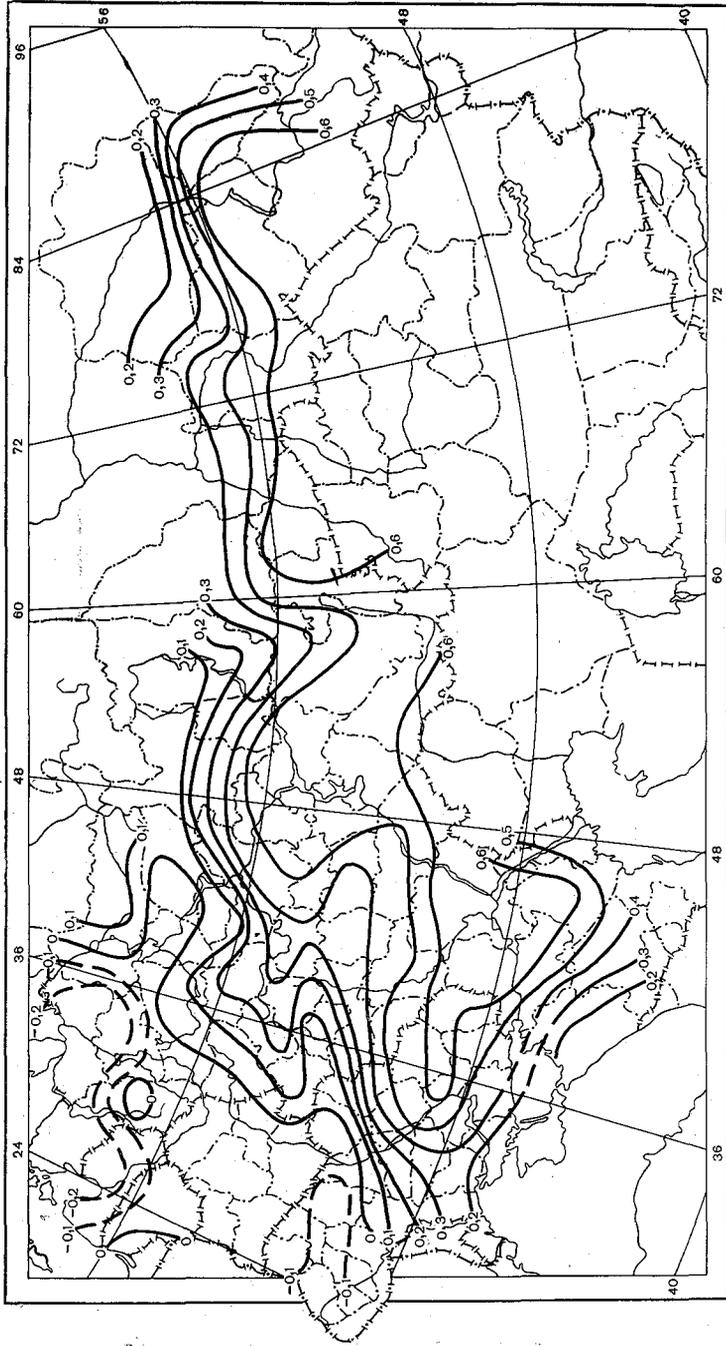


Рис. 5. Карта коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности озимой ржи и ГТК за май — июнь (1947—1975 гг.).

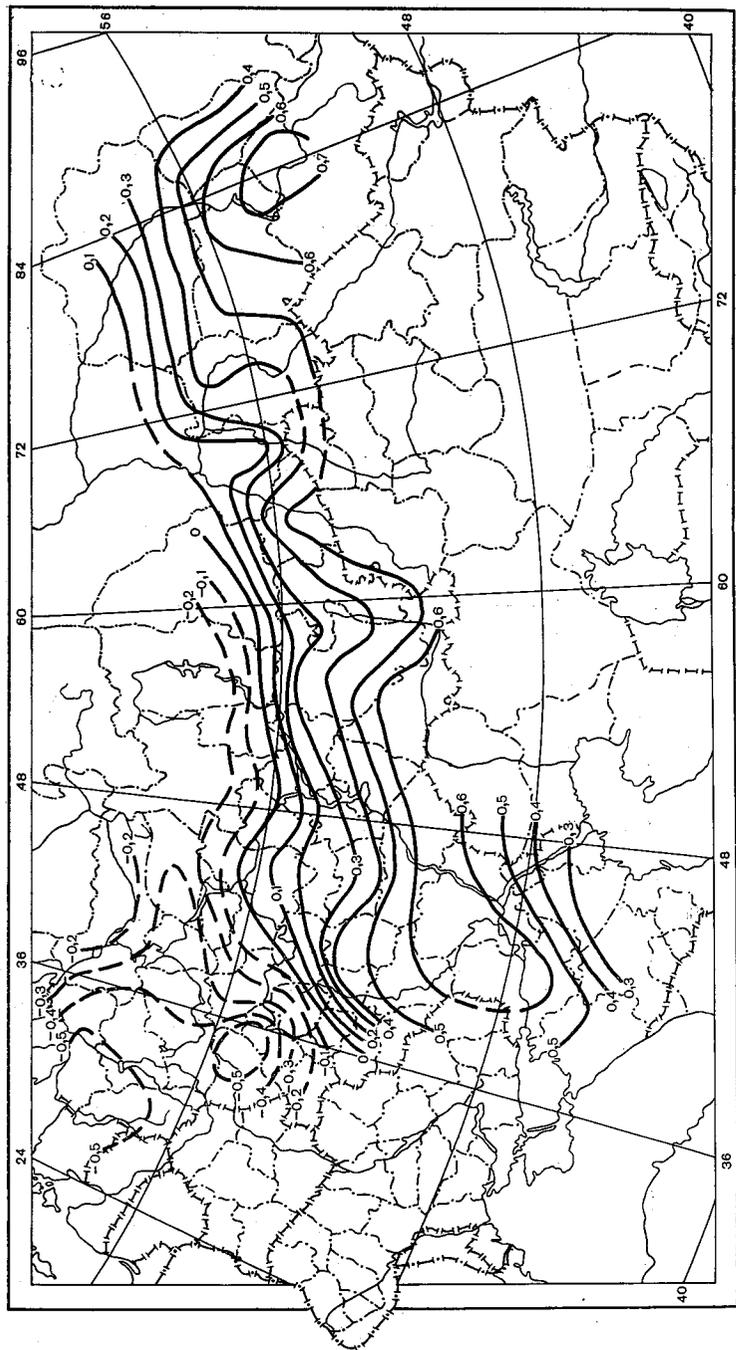


Рис. 6. Карта коэффициентов корреляции между аномалиями урожайности картофеля и ГТК за май—июль (1947—1975 гг.).

Результаты наших расчетов для этих трех областей близки к данным Мирвис: коэффициенты корреляции между урожайностью яровой пшеницы в перечисленных областях и ГТК за май—июль равны соответственно 0,42, 0,38 и 0,57. Что касается периода май—июнь, то коэффициенты корреляции оказались более высокими: 0,44 для Тамбовской, 0,46 для Рязанской и 0,69 для Ростовской областей.

Рисунок 5 позволяет проанализировать пространственные связи ГТК за май—июнь с урожайностью озимой ржи. Теснота связей ГТК за май—июнь с урожайностью озимых культур несколько слабее, чем с яровыми, поскольку на формирование озимых культур оказывают существенное влияние метеорологические условия не только весенне-летнего периода, но и предшествующих осени и зимы. Тем не менее коэффициенты корреляции ГТК за май—июнь с урожайностью озимой ржи (за исключением западных и северо-западных районов ЕТС) на всей рассматриваемой территории также положительны. Распределение r отличается значительной пестротой. Наибольшие r (до 0,6—0,7) характерны для восточной части Украины и Среднего Поволжья, а также для юга Западной Сибири.

Совсем иное распределение представляет карта r между урожайностью картофеля и ГТК за май—июль (рис. 6). На ЕТС видно четкое разделение поля r на две половины: северную и южную, граница между которыми проходит примерно через Тульскую, Рязанскую, Горьковскую области и Чувашскую АССР. К северу от этой границы зависимость между ГТК и урожайностью картофеля обратная, т. е. большие осадки и пониженная температура приводят здесь к снижению урожая картофеля. К югу зависимость урожая от ГТК прямая, как и для зерновых культур: большие осадки и пониженная температура способствуют хорошему урожаю картофеля.

На рис. 6 Украина и Белоруссия остались белыми пятнами, так как авторы не располагали материалами по урожайности картофеля для этих республик.

Хотя в принципиальном плане рассмотренные зависимости урожайности различных культур от ГТК достаточно известны, представленные на рис. 4, 5 и 6 карты коэффициентов корреляции позволяют проследить эти связи на больших площадях, что значительно облегчает их анализ и повышает надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова С. М. Режим увлажнения весенне-летнего периода в основных сельскохозяйственных районах Советского Союза. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. геогр. наук Л., ГГО, 1975, 20 с.
2. Алпатыев А. М. О показателе засухи.—«Метеорология и гидрология», 1955, № 4, с. 21—24.
3. Алпатыев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распределение засух.— В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А. И. Руденко, Л., Гидрометеиздат, 1958, с. 31—45.

4. Бова Н. В. Об агрометеорологическом показателе засушливости юго-востока СССР—«Социалистическое зерновое хозяйство», 1941, № 3, с. 176—184.
5. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеиздат, 1956, 254 с.
6. Иванов Н. Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара.—«Записки Всесоюзного географического общества. Новая серия», 1948, т. 1, 233 с.
7. Кельчевская Л. С. Сравнительная проверка агроклиматических показателей по оценке условий увлажнения вегетационного периода сельскохозяйственных культур.—«Труды ИЭМ», 1971, вып. 22, с. 33—47.
8. Кельчевская Л. С. Учет в агроклиматических исследованиях поглощения почвой осенне-зимних осадков.—«Труды ИЭМ», 1969, вып. 8.
9. Колосков П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. Л., Гидрометеиздат, 1971, 327 с.
10. Константинов А. Р., Свирина В. В. К вопросу о гидрометеорологической оценке засушливых явлений.—«Труды УкрНИГМИ», 1967, вып. 10, с. 3—10.
11. Манелля А. И., Нагнибедова Н. Н. и др. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР. М., «Статистика», 1972, 192 с.
12. Мамаева Л. Г. Агроклиматические показатели по оценке эффективности минеральных удобрений под яровую пшеницу в различных природных зонах.—«Труды ИЭМ», 1971, вып. 22, с. 123—131.
13. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. К оценке некоторых методических положений физико-статистического метода.—«Труды ГГО», 1974, вып. 329, с. 54—65.
14. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей аномалий осадков. См. наст. сб.
15. Мещерская А. В., Пасов В. М. К применению физико-статистического метода для долгосрочного прогноза урожая ярового ячменя.—«Труды ГГО», 1974, вып. 329, с. 117—125.
16. Мещерская А. В., Леднева К. В., Пасов В. М. Опыт физико-статистического прогноза урожая ярового ячменя с большой заблаговременностью.—«Труды ГГО», 1975, вып. 353, с. 70—80.
17. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей комплекса осадки—температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. См. наст. сб.
18. Мель М. И. Опыт изучения связи урожайности яровой пшеницы с климатическими условиями места возделывания.—«Труды НИИАК», 1958, вып. 6, с. 52—64.
19. Мирвис В. М. О характере временных и пространственных зависимостей между природными факторами.—«Труды ГГО», 1973, вып. 306, с. 147—159.
20. Мировой агроклиматический справочник. Под ред. Г. Т. Селянинова. Л., Гидрометеиздат, 1937, 411 с.
21. Петунин И. М., Караева А. П. Об использовании гидротермических коэффициентов для характеристики влагообеспеченности и урожайности сельскохозяйственных культур.—«Труды ЦИП», 1957, вып. 53, с. 95—104.
22. Сапожникова С. А. Опыт агроклиматического районирования территории СССР.—В кн.: Вопросы агроклиматического районирования СССР. Под ред. Ф. Ф. Давитая и А. И. Шульгина. М., Изд. Министерства сельского хозяйства СССР, 1958, с. 14—37.
23. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата.—«Труды по сельскохозяйственной метеорологии», 1928, вып. 20, с. 165—177.
24. Симицына Н. И., Гольцберг И. А., Струнникова Э. А. Агроклиматология. Л., Гидрометеиздат, 1973, 342 с.
25. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., «Колос», 1967, 334 с.
26. Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л., Гидрометеиздат, 1975, 298 с.
27. Федоров Е. К. Погода и урожай. Л., Гидрометеиздат, 1973, 56 с.
28. Четвериков Н. С. Статистические исследования. М., «Наука», 1975, 387 с.

А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич, И. В. Ильинская

ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ И КАТАЛОГИ АНОМАЛЬНЫХ ЛЕТ

В статье [5] были рассмотрены связи областной урожайности сельскохозяйственных культур с гидротермическими коэффициентами (ГТК), рассчитанными для тех же областей. Поскольку систематизированные сведения об областной урожайности опубликованы лишь с 1947 г., анализ этих связей был сделан для относительно коротких рядов в 25—29 лет.

Найденные зависимости интересно проследить в целом для основных сельскохозяйственных районов СССР. При этом открывается возможность проверить полученные связи на длинном ряде (с 1891 по 1975 г.), для которого имеются как данные по ГТК, так и по урожайности.

В ряде работ урожайность сельскохозяйственных культур за длинный ряд лет осреднялась для основной земледельческой зоны Европейской территории СССР [2, 6, 8, 9], а также для Азиатской территории СССР [8]. Поэтому было целесообразно рассчитать ГТК для этих же территорий.

Для обобщения метеорологических условий по таким крупным районам был использован метод [4] разложения метеорологических полей по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.).

С этой целью областные значения ГТК для 33 районов ЕТС за период с 1891 по 1975 г. с помощью программы [7] были представлены в виде коэффициентов разложения по е.о.ф. При расчете не учитывались северо-западные и северные районы ЕТС, где связь урожайности с ГТК слаба. Для разложения был взят период май — июнь в соответствии с результатами проработки [5], где по материалам 1947—1975 гг. было показано, что урожайность зерновых теснее всего коррелирует с ГТК именно за этот период. Аналогичные расчеты коэффициентов разложения ГТК были сделаны для 36 районов Северного Казахстана и Западной Сибири.

Особый интерес представляет первый коэффициент разложения a_1 ГТК по е.о.ф., так как временной ход первого коэффициен-

та разложения любого метеорологического поля тесно коррелирует с временным ходом средних по полю значений ГТК.

На рис. 1 представлен временной ход a_1 ГТК для юга ЕТС и Северного Казахстана с прилегающими районами Западной Сибири. Следует отметить, что во временном ходе a_1 ГТК на ЕТС отсутствует четко выраженный тренд: значения a_1 ГТК колеблются около нулевой линии.

Во временном ходе a_1 для Северного Казахстана можно выделить периоды направленного изменения ГТК; так, с 1931 по 1945 г. намечается тенденция к росту ГТК, а с 1947 по 1956 г. — тенденция к его уменьшению.

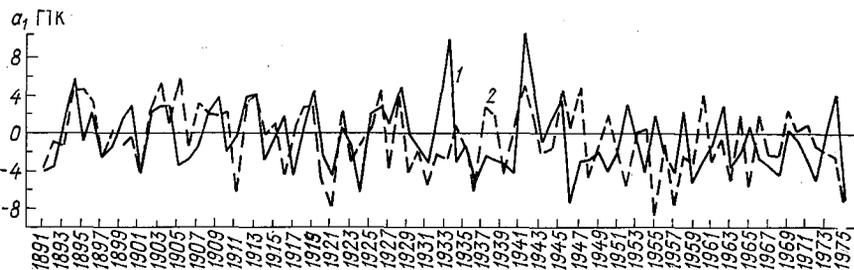


Рис. 1. Временной ход a_1 ГТК для юга ЕТС (1) и Северного Казахстана с прилегающими районами Западной Сибири (2).

Наряду с a_1 ГТК при расчете использованы многолетние данные по урожайности, заимствованные из работ [6, 8—10]. В настоящей работе использованы материалы, приведенные в статье Ю. Л. Раунера [8], впервые опубликовавшего длинные ряды данных по урожайности зерновых (в процентах от многолетнего тренда). Эти данные, собранные из различных источников, относятся к периоду с 1801 по 1974 г. на Европейской территории СССР и с 1880 по 1973 г. на Азиатской территории СССР.

Для ЕТС за период с 1891 по 1931 г. взяты первоисточники, а именно: ряд урожайности В. М. Обухова [6] с 1891 по 1915 г. и ряд Г. Т. Селянинова [9] с 1916 по 1919 г.

Для Северного Казахстана использовались данные об урожайности яровой пшеницы, собранные А. С. Утешевым [10], с уточнениями и дополнениями, сделанными Т. В. Покровской. Как и в [8], урожайность дана не в абсолютных значениях, а в процентах от многолетнего тренда.

На рис. 2—4 представлены корреляционные графики, отражающие зависимость урожая зерновых от a_1 ГТК за май—июнь.

Для ЕТС графики построены для трех отрезков общего ряда: для периода с 1891 по 1931 г. (рис. 2), с 1932 по 1944 г. (рис. 3 а) и с 1945 по 1975 г. (рис. 3 б). Первый отрезок соответствует данным по урожайности, опубликованным Обуховым [6] и Селяниновым [9], второй и третий — данным Раунера. По надежности сведений об урожайности особые опасения вызывает второй период,

включающий, в частности, годы войны, за которые Раунеру удалось восстановить урожайность лишь весьма ориентировочно.

На рис. 2 хорошо видна четкая линейная зависимость между урожайностью зерновых злаков с 1891 по 1931 г. и a_1 ГТК на ЕТС за май — июнь. Этому графику соответствует коэффициент корреляции, равный 0,75 при удвоенной ошибке коэффициента корреляции 0,14.

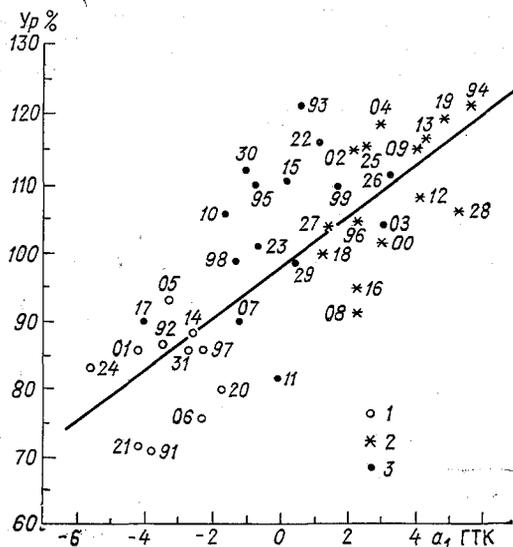


Рис. 2. Зависимость между a_1 ГТК и урожайностью зерновых злаков с 1891 по 1931 г. на ЕТС.

1 — засушливые годы, выделенные по площадям распространения в мае — июле комплекса З [3]; 2 — влажные и холодные годы, выделенные по площадям распространения в мае — июле комплекса В [3]; 3 — годы, близкие к норме. Здесь, а также на рис. 3 и 4 даны две последние цифры года. Например, 1945 г. — 45.

Близок к нему коэффициент корреляции между a_1 ГТК и урожайностью за период с 1945 по 1975 г. ($r = 0,64$). Такие достаточно тесные связи позволяют, по-видимому, корректировать значения урожайности по известным значениям a_1 ГТК. Возможность и необходимость корректировки урожайности видна, например, из рис. 3 а. Коэффициент корреляции между рядами урожайности и a_1 ГТК на этом графике равен 0,57 (удвоенная ошибка коэффициента корреляции 0,39), что связано в первую очередь с ненадежностью данных по урожайности за некоторые годы этого периода.

Анализ рис. 3 а показывает, что некоторые точки на этом графике слишком далеко лежат от линии регрессии. По-видимому, несколько завышена урожайность в 1937 и 1940 гг. и несколько занижена в 1941 г.

Зависимость между урожайностью и a_1 ГТК в основных земледельческих районах Северного Казахстана и Западной Сибири представлена на рис. 4. По урожайности Северного Казахстана использовались ряды урожайности Раунера и Утешева — Покровской. Ряд Раунера относится к АТС и включает материалы по основным зерновым районам не только Северного Казахстана, но и Западной Сибири. Расчет ГТК и разложение его по е.о.ф. были сделаны для этих же двух территорий. Вместе с тем был испытан и ряд Утешева — Покровской, относящийся только к территории Северного Казахстана (за период с 1941 по 1951 г. ряд урожайности включает только территорию целинных районов Северного Казахстана). Тем не менее расчеты показали лучшее соответствие

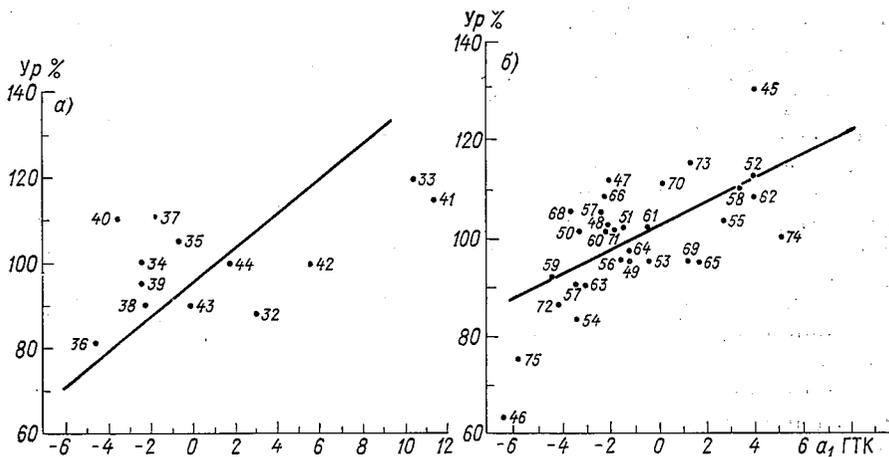


Рис. 3. Зависимость между a_1 ГТК и урожайностью зерновых на ЕТС с 1932 по 1944 г. (а), с 1945 по 1975 г. (б).

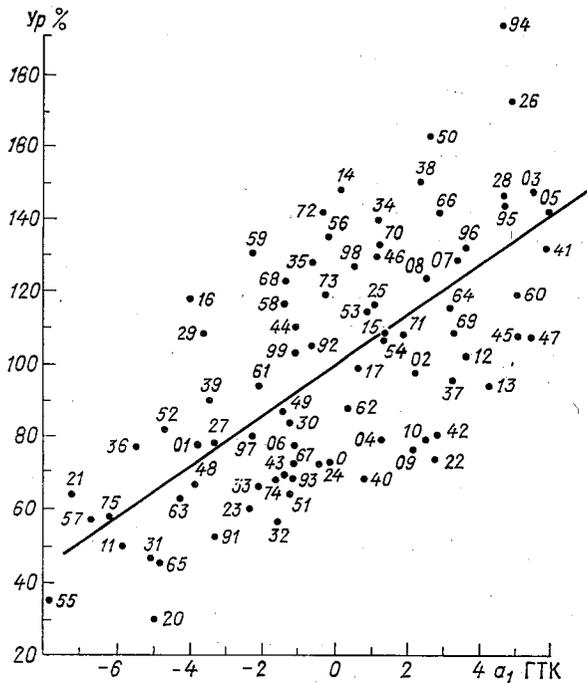


Рис. 4. Зависимость между a_1 ГТК и урожайностью яровой пшеницы в Северном Казахстане.

a_1 ГТК ряду урожайности Утешева — Покровской, чем ряду Раунера. Коэффициенты корреляции равны соответственно 0,65 и 0,55.

На этом основании ряд урожайности Утешева — Покровской был взят в качестве основного.

На рис. 4 приведена зависимость между a_1 ГТК и урожайностью яровой пшеницы в Северном Казахстане. Эта зависимость выражена достаточно четко.

Следует обратить внимание на то, что на рис. 4 можно заметить тренд, обусловленный погодными условиями. Так, почти все 50-е годы (1950, 1952, 1953, 1956—1959) лежат выше линии регрессии, что указывает на необходимость учета в исходных данных не только агрономического, но и климатического тренда. Этот последний вопрос в настоящее время разрабатывается О. А. Дроздовым.

Остановимся теперь на возможности использования первого коэффициента разложения ГТК по е.о.ф. для составления каталогов аномальных лет. Действительно, a_1 ГТК, отражая фон температурно-влажностного режима за наиболее важный период май—июнь, тесно связан и с урожайностью. Поэтому представляется вполне обоснованной попытка использовать a_1 ГТК для выделения аномальных лет. Для этого 85-летний ряд a_1 ГТК отдельно для ЕТС и Северного Казахстана с Западной Сибирью был ранжирован по значению a_1 . По аналогии с осадками принимаем примерно равночисленными три градации ГТК (ниже нормы, норма и выше нормы) и отнесем первые 29 лет к аномально теплым и сухим, а последние 29 лет к аномально холодным и влажным (табл. 1).

В статье [3] было рассмотрено несколько каталогов аномальных лет, выделенных по площади распространения комплексных показателей осадки—температура за три периода (апрель—июнь, май—июнь, май—июль). В данной статье предложен каталог аномальных лет, основанный на величине a_1 ГТК (табл. 1), а также каталог, основанный на расчете площади распространения ГТК, меньшего 0,6. Дело в том, что в свое время А. М. Алпатыев [1] нашел, что в степной зоне СССР ГТК, меньший 0,6, соответствует засухам. Контрастными к этим будут и метеорологические условия, соответствующие значениям ГТК более 1,2. Поэтому были рассчитаны также площади распространения ГТК, больших 1,2, и составлены каталоги холодных и влажных лет.

Имея в распоряжении целый комплекс каталогов аномальных лет, можно, естественно, поставить вопрос о том, каким каталогам следует отдать предпочтение. Критерием здесь может служить урожайность зерновых, наиболее важных культур. Из каталогов засух лучшим следует признать тот, для которого минимально число случаев несоответствия засушливых лет урожайности (высокая урожайность в засушливом году). Из каталогов холодных и влажных лет лучшим можно считать тот, для которого будет минимальным число случаев низкого урожая для лет, включенных в каталог. Вторым критерием может служить число слу-

Таблица 1

Ранжированный ряд значений a_1 ГТК за май — июнь

Юг ЕТС					Северный Кавказ и Западная Сибирь						
засушливые годы	годы, близкие к нормальным условиям		влажные хо- лодные годы		засушливые годы	годы, близкие к нормальным условиям		влажные и хо- лодные годы			
1946	-6,4	1948	-1,9	1899	1,6	1955	-7,9	1930	-1,3	1909	2,1
1924	-5,7	1920	-1,8	1965	1,7	1921	-7,2	1951	-1,3	1902	2,2
1975	-5,6	1937	-1,8	1944	1,7	1957	-6,7	1967	-1,3	1938	2,4
1936	-4,7	1910	-1,7	1896	2,3	1975	-6,2	1893	-1,2	1910	2,5
1959	-4,3	1971	-1,7	1902	2,3	1911	-5,9	1899	-1,1	1908	2,5
1904	-4,3	1951	-1,4	1916	2,3	1936	-5,5	1906	-1,1	1950	2,6
1921	-4,1	1956	-1,4	1908	2,4	1920	-4,9	1944	-1,1	1942	2,7
1972	-4,0	1898	-1,3	1925	2,5	1965	-4,9	1892	-0,7	1922	2,8
1917	-3,9	1907	-1,2	1955	2,8	1931	-4,9	1973	-0,7	1966	2,9
1891	-3,8	1964	-1,2	1932	2,9	1952	-4,8	1935	-0,6	1964	3,2
1940	-3,6	1949	-1,1	1900	3,0	1963	-4,2	1924	-0,4	1969	3,3
1968	-3,5	1930	-1,0	1903	3,0	1916	-4,0	1972	-0,3	1937	3,3
1892	-3,4	1895	-0,8	1904	3,0	1948	-3,9	1900	-0,2	1919	3,3
1957	-3,4	1923	-0,7	1926	3,3	1901	-3,8	1956	-0,2	1918	3,3
1905	-3,3	1935	-0,6	1958	3,4	1929	-3,6	1914	0,2	1907	3,4
1954	-3,3	1961	-0,4	1962	3,9	1939	-3,5	1962	0,4	1912	3,5
1950	-3,2	1943	-0,2	1945	4,0	1927	-3,4	1898	0,5	1896	3,6
1963	-2,9	1911	0	1952	4,1	1891	-3,3	1917	0,6	1913	4,3
1931	-2,6	1953	0	1912	4,1	1923	-2,4	1940	0,8	1894	4,6
1906	-2,5	1915	0,2	1909	4,1	1897	-2,3	1925	1,0	1928	4,7
1939	-2,5	1970	0,3	1913	4,3	1959	-2,3	1953	1,0	1895	4,7
1914	-2,5	1929	0,4	1919	4,9	1933	-2,1	1946	1,2	1926	4,9
1934	-2,5	1893	0,6	1974	5,1	1961	-2,1	1904	1,3	1960	5,0
1897	-2,3	1922	1,1	1928	5,3	1932	-1,7	1970	1,3	1945	5,2
1967	-2,3	1918	1,2	1942	5,5	1974	-1,5	1934	1,3	1947	5,5
1938	-2,2	1969	1,3	1894	5,7	1949	-1,4	1954	1,4	1903	5,5
1960	-2,1	1927	1,4	1933	10,3	1943	-1,4	1915	1,4	1941	5,9
1947	-2,0	1973	1,4	1941	11,4	1958	-1,4	1971	1,9	1905	6,0
1966	-2,0					1968	-1,4				

Примечание. Наиболее засушливым годам соответствуют наибольшие отрицательные значения a_1 ; наиболее влажным и холодным годам соответствуют наибольшие положительные значения a_1 .

чаев соответствия между аномальными годами и урожайностью: чем оно больше, тем лучше каталог.

Попытка обобщить результаты каталогизации аномальных лет и выделить лучшие каталоги сделана в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Число случаев с урожайностью в различных пределах для разных вариантов каталогов засушливых лет

Показатель, по которому составлены каталоги	Период	Урожайность, % от нормы				
		<90	>100	<80	<90	>100
		юг ЕТС		Северный Казахстан		
a_1 ГТК	V—VI	16	5	19	23	5
Площадь ГТК $\leq 0,6$	V—VI	16	6	23	24	4
	V—VII	17	5	22	24	5
Площадь комплексного показателя З	V—VI	14	4	19	23	4
	V—VII	17	4	21	25	3
	IV—VI	13	9	19	22	5

Таблица 3

Число случаев с урожайностью в различных пределах для разных вариантов каталогов влажных и холодных лет

Показатель, по которому составлены каталоги	Период	Урожайность, % от нормы					
		>100	>110	<100	>100	>110	<100
		юг ЕТС			Северный Казахстан		
a_1 ГТК	V—VI	25	15	4	21	15	8
Площадь ГТК $> 1,2$	V—VI	24	14	5	22	19	7
Площадь комплексного показателя В	V—VI	26	14	3	23	18	6
	V—VII	23	12	6	24	20	5
	IV—VI	23	13	6	25	19	4

Остановимся сначала на каталогах засушливых лет.

В табл. 2 для ЕТС приведено число случаев (из 29 возможных), когда урожайность была менее или равна 90% и более или равна 100%. Предполагается, что снижение урожая на ЕТС на 10% и более является показателем засушливости года. Отметим, что в Северном Казахстане колебания урожайности больше, и поэтому дополнительно был введен более жесткий предел по урожай-

ности: подсчитывалось число случаев с урожайностью 80% нормы и менее. В табл. 2 приведено также число случаев, когда урожай составил более 100%, т. е. случаи несоответствия погодных условий урожайности.

Анализ табл. 2, во-первых, показывает, что все каталоги примерно равноценны, поскольку число случаев соответствия и несоответствия урожайности мало различается. Но все же лучшим каталогом засух для ЕТС является каталог, основанный на площадях распространения в мае—июле комплексного показателя засушливости Z —засухи (осадки менее 80% нормы, аномалии температуры более 1°C). Только в четырех случаях из 29, вошедших в этот каталог, урожайность была более 100%; в 17 случаях урожай был 90% и менее.

Для Северного Казахстана различия в качестве разных каталогов также невелики. По принципу расчета лучшим каталогом засушливых лет для Северного Казахстана оказался тот же, что и для ЕТС: площадь распространения в мае—июле комплексного показателя Z . Из 29 лет этого каталога лишь в трех урожайность была более 100%; в 25 годах она составила 90% нормы и менее, а в 21 случае менее 80% нормы. Близок по качеству к нему каталог, основанный на площадях, где ГТК менее 0,6.

Следует отметить, что полученный вывод несколько не соответствует выводам, сделанным в статье [5]. Согласно [5], по материалам 1947—1975 гг. наиболее тесная корреляция урожайности получилась с ГТК за май—июнь. По материалам 1891—1975 гг. лучшие каталоги засушливых лет соответствуют периоду май—июль. По-видимому, эти расхождения следует отнести за счет различий в длине использованных рядов исходных данных.

Таблица 3 позволяет выделить лучшие каталоги влажных и холодных лет. Здесь для каждого каталога приведено число случаев с урожайностью более (равно) 100%, более (равно) 110% и менее 100% нормы.

На ЕТС лучшим оказался каталог, составленный по площади распространения в мае—июне комплексного показателя B —влажный (осадки более 120% нормы, отрицательные аномалии температуры менее —1°C). Для этого каталога лишь в трех случаях из 29 урожайность была менее 100% нормы, а в остальных 26 случаях она превышала 100%.

Для Северного Казахстана на первое место вышел каталог, основанный на расчете площадей распространения в апреле—июне комплексного показателя B . Близок к нему по качеству каталог площадей распространения комплексного показателя B в мае—июле.

Обращает на себя внимание тот факт, что во всех случаях каталоги, основанные на расчете площадей распространения комплексных показателей Z и B , оказались несколько лучше каталогов, основанных на a_1 ГТК и площади распространения ГТК в определенных пределах.

Вместе с тем каталоги, построенные на учете ГТК, не очень сильно отличаются от каталогов, построенных на расчете площадей комплексных показателей. С точки зрения прогнозов это очень важное обстоятельство, так как прогноз гидротермических коэффициентов является более простой и статистически более обоснованной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатъев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распространение засух.— В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., Гидрометеоздат, 1958, с. 31—46.
2. Дроздов О. А. Временная структура частоты засух и ее связь с урожайностью.— «Труды ГГО», 1976, вып. 378, с. 53—74.
3. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталоги площадей комплекса осадки—температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. См. наст. сб.
4. Мещерская А. В. и др. Естественные составляющие метеорологических полей. Л., Гидрометеоздат, 1970, 199 с.
5. Мещерская А. В., Блажевич В. Г., Житорчук Ю. В. Гидротермический коэффициент и его связь с урожайностью сельскохозяйственных культур. См. наст. сб.
6. Обухов В. М. Урожайность и метеорологические факторы. М., Госпланиздат, 1949, 315 с.
7. Поляк И. И., Мещерская А. В., Яковлева Н. И. Вычисление главных компонент системы случайных векторов.—«Труды ГГО», 1971, вып. 289, с. 11—19.
8. Раунер Ю. Л. Приложение стохастической модели первичной продуктивности к анализу колебаний урожайности зерновых.— «Изв. АН СССР, сер. геогр.», 1976, № 2, с. 13—30.
9. Селянинов Г. Т. Происхождение и динамика засух.— В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., Гидрометеоздат, 1958, с. 5—31.
10. Утешев А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, «Наука», 1972, 174 с.
11. Федоров Е. К. Погода и урожай. Л., Гидрометеоздат, 1973, 56 с.

СОДЕРЖАНИЕ

А. В. Мещерская, К. М. Лугина, К. В. Леднева. Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади	7
А. В. Мещерская, К. М. Лугина, К. В. Леднева. К сравнению осадков, осредненных по площади, с осадками отдельных станций	28
К. М. Лугина, А. В. Мещерская. О пространственной корреляции точечных и осредненных по площади месячных сумм осадков	40
А. В. Мещерская, И. Е. Чувашина. К оценке точности расчетов норм осредненных по площади осадков и осадков на станциях	54
Н. А. Болдырева. Разложение полей осадков, осредненных по площади, по естественным ортогональным составляющим	73
А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич. Многолетние колебания общей увлажненности в основных сельскохозяйственных районах ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири	87
А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич. Каталоги площадей аномалий осадков	99
А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич. Каталоги площадей комплекса осадки—температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири	113
А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич, Ю. В. Житорчук. Гидротермический коэффициент и его связь с урожайностью сельскохозяйственных культур	134
А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич, И. В. Ильинская. Гидротермические коэффициенты и каталоги аномальных лет	150

ТРУДЫ ГГО, вып. 400

Статистический анализ длинных рядов осадков,
осредненных по площади, и их применение
для оценки засух и урожайности

Редактор Л. В. Царькова. Техн. редактор М. И. Брайнина. Корректоры: Т. В. Алексеева,
Л. И. Хромова

ИБ № 907

Сдано в набор 15. 12. 1977 г. Подписано к печати 25. 04. 1978 г. М-09427. Формат 60×90^{1/16}.
Бум. тип. № 1. Лит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 10,25. Уч.-изд. л. 12,45. Тираж 650 экз. Индекс
МЛ-175. Заказ 61. Заказное. Цена 85 коп.

Гидрометеоздат, 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

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

Анализ статистических характеристик длинных рядов осадков, осредненных по площади. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Труды ГГО, 1978, вып. 400, с. 7—27.

Приведены оценки точности осреднения по площади месячных сумм осадков в основных сельскохозяйственных районах юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири. Показано, что на юге ЕТС при наличии одной станции на административный район средняя по площади месячная сумма осадков в апреле—июле рассчитывается с погрешностью 31—35%. При наличии двух станций на район погрешности составляют 21—25%, трех 17—20%, шести 12—14%, десяти 9—10%, двадцати 6—7%.

В Северном Казахстане и Западной Сибири погрешности расчета среднего слоя месячных сумм осадков больше. При наличии одной станции на административный район относительная средняя квадратическая погрешность равна 37—44%, двух 25—31%, трех 21—25%, шести 14—17%, десяти 10—13%.

Рассмотрен вопрос о том, в какой мере уменьшение точности расчета средних по площади осадков проявляется в их статистических характеристиках. С этой целью сравнивались дисперсии и коэффициенты вариации за два 34-летних периода. Как дисперсии, так и коэффициенты вариации в раннем периоде (1905—1938 гг.) оказались несколько большими, чем в позднем (1939—1972 гг.). Значимые различия дисперсий за четыре месяца составили 17% общего числа случаев, значимые разности коэффициентов вариации обнаружены лишь в июле (30% общего числа).

Рассмотрены карты норм, дисперсий и коэффициентов вариаций районных осадков с 1891 по 1972 г., полученные путем осреднения средних месячных характеристик за апрель—июль. Показано, что в полях коэффициентов вариации и особенно дисперсий несколько выделяются районы с большим числом интерполированных данных.

Сделан вывод о возможности использования длинных рядов районных осадков для решения большого круга вопросов, связанных с выделением крупномасштабных составляющих общей циркуляции атмосферы, колебаниями климата и долгосрочными прогнозами погоды.

Табл. 5. Илл. 6. Библ. 22.

К сравнению осадков, осредненных по площади, с осадками отдельных станций. Мещерская А. В., Лугина К. М., Леднева К. В. Труды ГГО, 1978, вып. 400, с. 28—39.

Сравниваются средние многолетние нормы, дисперсии и коэффициенты вариации осадков на отдельных станциях и осредненных по площади (районных осадков) за период с 1891 по 1972 г. Показано, что нормы точечных и районных осадков за этот период различаются мало. Дисперсий точечных осадков, как правило, больше, чем районных. Различия дисперсий точечных и районных осадков существенно. При 5%-ном уровне значимости разности дисперсий точечных и районных осадков неслучайны в 99 районах из 160.

Коэффициенты вариации точечных осадков больше, чем районных. Различия коэффициентов вариации точечных и районных осадков значимы, поскольку средние разности коэффициентов вариации превосходят утроенные ошибки расчета коэффициентов вариации.