

А. А. РОДЕ

*ВОПРОСЫ
ВОДНОГО
РЕЖИМА
ПОЧВ*

А. А. РОДЕ

*ВОПРОСЫ
ВОДНОГО
РЕЖИМА
ПОЧВ*



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1978

Книга содержит две работы. Одна из них посвящена проблеме внутривековой изменчивости во времени количества атмосферных осадков и элементов водного баланса мощных типичных черноземов. Многолетние ряды осадков проанализированы методами скользящих средних, разложением рядов на серии и методом автокорреляционной и спектральной функций. Вводится понятие об элементарном цикле. Многолетний ряд элементов водного баланса черноземов проанализирован методами скользящих средних и разложения на серии.

В другой работе рассматривается проблема конденсации в почве парообразной влаги атмосферы, обсуждаются виды обогащения почвы водяным паром. Анализируется целесообразность постройки искусственных конденсаторов атмосферной влаги и возможный механизм их действия.

Рассчитана на научных работников в области почвоведения, агроклиматологии, гидрологии, агрономии.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВ

ВВЕДЕНИЕ

Изменчивость климатических явлений с давних пор — задолго до того, как она сделалась предметом научных исследований, — была хорошо известна людям, благосостояние которых непосредственно зависело от этих явлений.

А. В. Рождественский [14] говорит о том, что киргизы¹ с незапамятных времени вели счет годам с 11-летним периодом. Годы периода имели следующие названия (в их хронологическом порядке): **мышь, корова, тигр**, заяц, водяной жук, **змея, лошадь, баран**, водяной паук, курица, **собака** и свинья². В этом летосчислении благоприятными для сельского хозяйства считались годы: корова, тигр, змея, лошадь, баран и собака (выделены жирным шрифтом). Остальные годы считались неблагоприятными. Для последних характерны засухи летом, переменная погода зимой с гололедом и отсутствием корма для животных. Рождественский отмечает, что благоприятные (так же как и неблагоприятные. — А. Р.) годы группируются по 2—3. Особенно неблагоприятным считался год зайца, когда бывают гололед, вьюги и бураны, когда весна наступает поздно, когда после весенней оттепели в начале апреля снова повторяются бураны, лето бывает сухое, а осенью имеют место продолжительные дожди и ранние холода; весна холодная. Рождественский цитирует выдержку из журнала «Оренбургский листок» за 1892 г. № 10: «Особенно тяжелыми киргизы считают годы зайца: 1819, 1831, 1843, 1855, 1867, 1879. И в годы других животных не всегда легко жилось киргизам, особенно

¹ В современном понимании речь идет о казахах.

² Остается неясным, почему, говоря об 11-летнем цикле, Рождественский называет 12 различных лет. Впрочем, А. В. Шнитников [18] для западно-азиатской части СССР для фаз первого порядка в колебаниях водного режима озер находит также 12 лет, а для фаз второго порядка — от 6 до 7 лет.

в 1851 и 1864, но никогда бедствия не достигали таких размеров, как в 1855 и 1879 годах, когда вследствие суровой зимы и жестоких буранов пало много лошадей, коров, овец... Особенно памятен 1879 год, когда киргизы лишились 50% скота».

Обширный материал метеорологических наблюдений свидетельствует о том, что количество атмосферных осадков, выпадающих в какой-либо местности, их суточные, месячные, сезонные и годовые суммы обладают значительной изменчивостью во времени. Иллюстрировать эту изменчивость можно следующим случайно взятым примером, относящимся к метеостанции Земетчино (Пензенская область), к 1891—1959 гг. Варьирование месячных и годовых сумм осадков за этот срок выразилось следующими величинами:

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма за год
Максимум	73	88	62	73	107	125	156	167	120	90	91	97	742
Минимум	4	5	3	1	5	5	11	5	2	0	0	0	305
Среднее	27	23	24	31	44	52	63	55	46	43	34	36	478
Коэффициент вариации	0,74	0,76	0,69	0,63	0,54	0,53	0,57	0,66	0,59	0,55	0,64	0,71	0,25

Давно уже возник вопрос: являются ли эти колебания количеств осадков во времени случайными или они подчинены каким-то закономерностям и если да, то каким именно? Иными словами, существует ли какая-либо ритмичность в варьировании количеств осадков во времени, кроме их годового хода? Подчеркнем, что речь может идти именно о ритмичности, а не о периодичности. Термин «периодичность» предполагает постоянство длины периода, которого в данном случае не наблюдается. Понятие «ритмичность» тождественно понятию «цикличность», применяемому А. В. Шнитниковым [17, 18], О. А. Дроздовым и А. С. Григорьевой [12] и другими авторами. В дальнейшем и мы будем пользоваться термином «цикличность».

Вопрос о цикличности в ходе количеств атмосферных осадков подробно рассмотрен О. А. Дроздовым и А. С. Григорьевой [12]. Они указывают на то, что в рядах метеорологических величин, кроме суточного и годового хода, нет строгой периодичности. Однако в этих рядах могут наблюдаться все же колебания, в известной мере закономерные.

«В общем случае,—говорят эти авторы,—по характеру колебаний все временные ряды можно подразделить на бессвязные, когда последующие члены ряда не зависят от предшествующих, и связные, когда подобная зависимость существует. Если зависимость последующих значений от предыдущих характеризует функцию от непрерывно изменяющейся величины (времени), говорят

о наличии статистического процесса. Связность рядов может определяться как внутренней структурой самого ряда, так и влиянием внешних факторов... Если единственным источником связей являются корреляционные соотношения между членами ряда, то колебания ряда можно рассматривать как случайные, с кажущимися колебаниями уровня, которые в действительности вызваны случайными причинами».

Связь, характеризуемая коэффициентом корреляции, может существовать только между данным членом ряда и предыдущим (простая цепь Маркова). Она может существовать между данным членом и несколькими предыдущими (сложная цепь Маркова).

Цитируемые авторы указывают, что среди этой группы процессов выделяются стационарные, в которых вероятностные характеристики связи во времени однородны. Колебания, вызываемые данным типом связи, носят циклический характер. Однако эти колебания в общем случае аperiodичны, так как и фаза, и амплитуда цикла в процессе будут меняться от цикла к циклу.

«Для всех этих процессов — пишут далее Дроздов и Григорьева — характерно то, что они вызываются своего рода случайными причинами и положения максимумов и минимумов в ряду заранее полностью не предсказуемы. В связи с этим математическое ожидание уровня ряда, если временного хода установить нельзя, признается независимым от времени.

Кроме таких аperiodических колебаний, в рядах метеорологических величин могут возникать и квазипериодические колебания. Под квазипериодическими мы будем понимать колебания, которые за относительно короткое время мало отличаются от периодических, но постепенно амплитуда и средняя длина их периода меняются, т. е. одно периодическое колебание постепенно превращается в другое».

Необходимым условием для выведения тех или иных закономерностей из наблюдаемого ряда, по мнению Дроздова и Григорьевой, является, во-первых, устойчивость статистической характеристики ряда, что, вообще говоря, выполняется лишь приближенно. Во-вторых, необходимо наличие определенной регулярности в проявлении цикличности: в квазипериодических колебаниях закономерно чередование высоких и низких значений, в квазислучайных (статистических процессах) — хотя бы группировка высоких и низких значений членов ряда, отличная от случайной. В случайном бессвязном ряду средняя длина периода составляет тройной интервал между членами ряда [5]. Очевидно, что колебания большей частоты, чем случайные, можно отнести к коротким циклам, меньшей частоты — к длительным. Колебания с периодом времени, равным трем годам, представляют интерес лишь в том случае, если они отличаются повышенной регулярностью по сравнению со случайными.

Исходя из сказанного, Дроздов и Григорьева предлагают следующее определение цикличности: *«Циклическими колебаниями, или цикличностью, следует называть колебания связанных величин*

различной степени регулярности, при условии существования математических ожиданий параметров этих колебаний» (курсив авторов).

КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЦИКЛИЧНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Одной из первых работ по многолетней периодичности осадков является работа Е. А. Гейнца [7]. В ней мы находим средние годовые суммы осадков для бассейнов Верхней, Средней и Нижней Волги, Верхнего и Нижнего Днепра и Дона. Каждая из этих средних величин вычислена по данным 10 станций, расположенных более или менее равномерно в соответствующем бассейне. Средние по бассейнам суммы осадков вычислены для каждого года за период с 1861 по 1898 г.

Гейнец, анализируя эти данные, указывает на наличие значительных отклонений сумм осадков в отдельные годы от многолетних средних величин. Он отмечает, что за рассматриваемый период на большей части данной территории сухими были 1862, 1863, 1871, 1881, 1882, 1890, 1891 и 1897 гг. Наоборот, повышенным увлажнением отличались 1867, 1875, 1877, 1887 и 1893 гг.

Наконец, Гейнец подчеркивает, что сухие годы имеют тенденцию появляться группами по 2 или более подряд. «Это указывает, — говорит он, — на известную устойчивость причин, вызывающих значительные отклонения от нормального выпадения осадков».

Используя данные Гейнца, мы построили кривые по скользящим пятилетним средним суммам. Анализ этих кривых полностью подтвердил выводы Гейнца. Кроме того, эти кривые показали, что в изменчивости годовых сумм осадков имеется многолетняя цикличность. Все кривые оказались в общем неправильно-синусоидальной формы с чередованием максимумов и минимумов. Из этого мы вправе сделать вывод, что годы с высоким и годы с низким увлажнением не чередуются сколько-нибудь равномерно, а объединяются в группы, создавая таким образом многолетние циклы колебаний увлажнения.

Вопросу о многолетних колебаниях количества атмосферных осадков посвящена одна из работ А. И. Воейкова [6]. В ней анализируются многолетние данные по осадкам в Барнауле, где наблюдения велись с 1838 г. Воейков вычислил скользящие средние пятилетние суммы осадков для года, теплого периода (май—сентябрь) и холодного (октябрь—апрель). Он отметил наличие отчетливых и очень сильных многолетних колебаний количества осадков. Начиная с пятилетия 1838—1842 годовая сумма осадков прогрессивно уменьшается, причем это уменьшение идет сначала главным образом за счет летних осадков и лишь с пятилетия 1850—1854 начинает снижаться и зимняя сумма осадков. Минимального значения суммы осадков достигают около 1863—1864 гг., после чего они прогрессивно возрастают вплоть до пятилетия 1887—1891, после чего зимняя и годовая суммы снова снижаются,

в то время как летняя продолжает нарастать. Отметим, что главный минимум осадков в Барнауле наблюдался около 1864 г.

Воейков вычислил также средние годовые суммы по скользящим 20-летним периодам. Для двух 20-летий — самого сухого и самого влажного — эти суммы оказались равными 181 мм (1852—1871 гг.) и 456 мм (1880—1899 гг.). На основании этих цифр Воейков заключает, что «в Барнауле за целые двадцатилетние периоды осадки колеблются от величин аралокаспийской степи до тех, которые свойственны лучшей части черноземной степи Европейской России». В конце статьи подчеркивается огромное значение знания многолетних колебаний в увлажнении для развития сельского хозяйства новых областей.

Следует, однако, отметить, что ряд годовых сумм осадков по Барнаулу, которым пользовался Воейков, вероятно, неоднороден и что истинная амплитуда колебаний этих сумм меньше, чем та, о которой говорит Воейков. На вероятность такой неоднородности указывали А. В. Шнитников [17], О. А. Дроздов и А. С. Григорьева [12] и другие авторы.

За последние четверть века появился ряд новых работ, в которых рассматривается вопрос о цикличности в количестве выпадающих осадков. Таковы работы В. И. Рутковского [15], О. А. Дроздова [9, 10], А. В. Шнитникова [17, 18], О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [11, 12] и другие. Очень интересны две монографии А. В. Шнитникова [17, 18], в которых в широком плане с учетом разнообразного фактического материала рассматривается вопрос о циклических колебаниях общей увлажненности материков северного полушария. Особое внимание Шнитников уделяет многолетнему стоку рек и режиму уровней многочисленных озер в разных областях СССР в связи с цикличностью основных факторов этого режима. В монографии [18] подробно рассматривается цикличность атмосферных осадков и температуры воздуха в бассейне Ладожского озера, бассейнах рек Иловли и Хопра, в Приаралье и в Западной Сибири.

Непосредственно вопросу о многолетних — преимущественно внутривековых — колебаниях количества атмосферных осадков посвящены две монографии — Ф. З. Батталова [3] и О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [12].

Ф. З. Батталов [3] при обработке многолетних рядов атмосферных осадков пользовался преимущественно методом интегрально-разностных кривых, анализируя с их помощью ход модульных коэффициентов сумм осадков за холодное и теплое полугодия. Одним из важных и оригинальных результатов работы Батталова является составленная им для ЕТС и прилегающих к ней окраин Западной Сибири и Западного Казахстана карта районов, отличающихся характером колебаний атмосферных осадков. Таких районов для указанной территории Батталов выделил 17.

Вековые и многолетние колебания осадков в каждом районе имеют свои особенности. Батталов установил чередование маловодных лет почти на всей территории ЕТС, Западного Казахстана

и Западной Сибири через 10—11 лет. Маловодными годами по его данным были 1891, 1892, 1901, 1910, 1911, 1920, 1921, 1933, 1934, 1942, 1943, 1950, 1951, 1962 и 1963. При этом 1891, 1901, 1911, 1921, 1934, 1943, 1951 и 1963 гг. в основных сельскохозяйственных районах страны были малоурожайными из-за засух. В целом Батталов считает, что «на рассматриваемой территории осадки в различной степени подвержены циклическим колебаниям».

В монографии О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [12] вопрос о многолетней цикличности осадков рассматривается очень широко, при этом многолетняя цикличность осадков сопоставляется с цикличностью ряда других явлений, характеризующих циркуляцию атмосферы. Большое внимание уделено также методам выявления и анализа цикличности.

Главное внимание авторы уделили выявлению квазипериодических колебаний. В качестве основного они использовали метод автокорреляционных функций, а в качестве дополнительного — метод спектрального разложения. Были исследованы 70-летние (1891—1960) ряды по 76 станциям, охватывающим всю территорию СССР — отдельно для теплого (апрель—октябрь) и холодного (ноябрь—март) периодов. В результате этого исследования авторы установили главные циклы колебаний количеств осадков, которые мы приводим в табл. 1 (заимствована из работы [12]).

Основные выводы авторов заключаются в следующем. Строгой периодичности в рядах по количеству осадков не обнаруживается. Проявление цикличности в выпадении осадков оказалось территориально очень разнообразным при крайне ограниченном наборе циклических составляющих в каждом отдельном пункте в данный сезон. В каждом пункте в холодный и теплый периоды в ходе осадков обнаруживается от двух до пяти циклов различной длительности, в то время как для территории всего Советского Союза обнаруживаются циклы всевозможной длительности, от 2 до 100 лет и более.

Основными циклами в порядке уменьшения встречаемости являются: вековые, 14—15-, 2—3-, 9—10-, 12—13 (с его полупериодом 6—7)- и 4—5-летние.

Частота встречаемости некоторых циклов велика, а других — крайне редка. В то же время каждая частота циклов занимает определенный географический район, иногда довольно сложной формы, но с довольно четкими границами. Вблизи границ своего распространения продолжительность циклов меняется, а далее они либо распадаются на обертоны, либо объединяются в циклы вдвое большие, либо превращаются в систему без четкого периода. Аналогично ведут себя основные циклы и во времени.

Из содержащихся в табл. 1 данных видно также, что в общем частота встречаемости убывает с возрастанием цикла. Наибольшей частотой встречаемости отличаются наиболее короткие циклы от 2—3 до 6—7 лет. В дальнейшем повышенной частотой встречаемости отличаются циклы 9—10, 12—13, 14—15 и 19—20 лет.

Таблица 1

Характеристика циклов осадков, суммарная для территории СССР

Длина цикла (число лет)	Сумма частот			Плотность на один год			Средняя амплитуда			Плотность вероятности для 10%-ного интервала частот			Действие для 10%-ного интервала частот		
	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г
2-3	33,5	34,5	68,0	33,5	34,5	68,0	9,0	7,6	8,3	13	13	13	1,2	1,0	1,1
3-4	9,5	16,0	25,5	9,5	16,0	25,5	11,2	13,8	12,8	5	8	6	0,6	1,1	0,8
4-5	14,5	15,0	29,5	14,5	15,0	29,5	11,9	12,6	12,3	10	10	10	1,2	1,3	1,2
5-6	10,2	8,0	18,2	10,2	8,0	18,2	12,0	14,1	13,0	8	6	7	1,0	0,8	0,9
6-7	6,2	15,0	21,2	6,2	15,0	21,2	11,2	18,7	16,3	6	13	10	0,7	2,4	1,6
7-8	8,2	2,0	10,2	8,2	2,0	10,2	12,0	15,0	12,0	9	2	6	0,1	0,3	0,7
8-9	6,5	7,2	13,7	6,5	7,2	13,7	12,9	13,6	13,3	7	8	8	0,9	1,1	1,1
9-10	8,0	10,8	18,8	8,0	10,8	18,8	11,9	12,2	12,1	10	14	12	1,2	1,7	1,4
10-11	5,0	4,6	9,6	5,0	4,6	9,6	14,6	17,7	16,1	7	7	7	1,0	1,2	1,1
11-12	3,0	0,6	3,6	3,0	0,6	3,6	15,0	14,6	14,9	5	1	2	0,8	0,1	0,4
12-13	8,0	4,0	12,8	8,0	4,0	12,8	7,0	15,4	10,2	13	8	10	0,9	1,2	1,0
13-14	3,0	1,8	4,8	3,0	1,8	4,8	20,0	11,1	17,1	6	3	4	1,2	0,3	0,7
14-15	7,9	6,8	14,6	7,9	6,8	14,6	17,6	16,6	18,3	15	14	14	2,6	2,2	2,4
15-16	5,0	3,6	8,6	5,0	3,6	8,6	19,8	16,2	17,2	10	8	9	2,0	1,2	1,6
16-17	1,7	0,6	2,3	1,7	0,6	2,3	5,3	23,4	10,0	3	1	2	0,2	0,2	0,2
17-18	0,7	0,6	1,3	0,7	0,6	1,3	11,4	25,0	17,8	2	1	2	0,2	0,4	0,3
18-19	3,0	1,6	4,6	3,0	1,6	4,4	17,6	10,9	15,3	8	4	6	1,4	0,4	0,9
19-20	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	16,9	20,6	19,4	4	10	8	0,7	2,2	1,5
20-21	2,3	2,6	4,9	2,3	2,6	4,9	17,2	19,0	18,1	6	6	6	1,0	1,2	1,1
21-22	3,8	2,1	5,9	3,8	2,1	5,9	21,9	17,3	20,3	11	7	9	2,4	1,2	1,8
22-23	1,3	2,1	3,4	1,3	2,1	3,4	23,3	19,7	21,1	5	7	6	1,2	1,4	1,3
23-24	0,5	0,8	1,2	0,5	0,8	1,2	24,0	24,0	24,0	1	2	2	0,2	0,5	0,5
24-25	1,2	1,0	2,2	1,2	1,0	2,2	16,0	20,0	17,8	4	2	2	0,6	0,4	0,4
25-40	15,2	12,0	27,2	1,0	0,8	0,9	17,7	13,6	15,9	5	9	5	0,9	0,5	0,8
40-50	12,2	14,0	26,2	1,2	1,4	1,3	11,7	8,8	10,2	8	4	8	0,9	0,8	0,8
50-60	21,8	17,0	38,8	2,2	1,7	1,9	14,4	12,4	13,5	17	18	15	2,5	1,7	2,1
60-80	24,5	32,5	57,0	1,2	1,6	1,4	14,7	10,5	12,3	12	17	15	1,8	1,8	1,8
80-100	8,0	3,0	11,0	0,4	0,2	0,3	25,0	21,6	24,0	5	2	4	1,3	0,4	1,0
100	2,5	2,0	2,5	—	—	—	15,2	—	15,3	2	0	1	0,3	0,0	0,2
Сумма	229,2	224,7	453,9	150,9	152,9	303,8									

Встречаемость циклов одной длины в холодном и теплом периодах может быть почти одинаковой (циклы 2—3, 4—5, 8—9 лет), но может и сильно различаться (циклы 3—4, 6—7, 7—8 лет и др.).

Обращает на себя внимание тот факт, что суммы частот (из расчета на общую длину каждого из всех 98 циклов от 2—3 до 99—100 лет, табл. 4 в работе [12]) равны 224,2 за холодный период (ХП) и 224,8 за теплый период (ТП), что почти точно соответствует утроенному числу станций ($76 \times 3 = 228$), использованных авторами в их работе. Из этого напрашивается вывод, что среднее число циклов на каждой станции за исследованные периоды (ХП и ТП) равно трем, а за год — шести.

Кроме встречаемости, авторы оценивают значимость циклов, как это видно из табл. 1, еще и «по действию». Величина последней есть произведение амплитуды, находимой по коррелограмме, на плотность вероятности для 10%-ного интервала частот. С учетом «действия» циклы располагаются в несколько ином порядке, чем по частоте встречаемости, а именно: 14—15, вековой, 6—7, 21—22, 15—16, 5—6, 19—20, 9—10, 4—5, 8—9, 10—11 лет. Вводя в расчет плотность вероятности для 10%-ного интервала частот, авторы тем самым учитывают и влияние длительности периодов.

Авторы приходят к заключению, что обнаруженное ими пространственно-временное распределение циклов может быть обусловлено только автоколебаниями системы, на которую, однако, оказывают влияние и некоторые внешние факторы. Источник автоколебаний следует искать в системе суша—океан—полярные льды.

В монографии Дроздова и Григорьевой [12] впервые дана широкая, основанная на глубоком анализе обширного фактического материала картина закономерностей — временных и пространственных — квазипериодических колебаний количеств осадков раздельно для теплого и холодного периода года для всей территории СССР.

Однако во многих случаях, например при изучении водного режима почв в том или ином конкретном пункте, за тот или иной календарный период времени, мы нуждаемся в более подробном анализе квазипериодических колебаний количества атмосферных осадков в этом пункте и за этот период времени и притом за разные интервалы и сезоны года. Для этого необходимы иные методы, непосредственно и более подробно характеризующие закономерности временной изменчивости количества атмосферных осадков.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящем исследовании мы использовали три метода анализа многолетних рядов осадков: метод скользящих средних, метод разложения рядов сумм осадков на серии лет с положительными и отрицательными (по отношению к норме) отклонениями этих сумм и метод автокорреляционных и спектральных функций.

Как показало предварительное испытание, при применении метода скользящих средних наиболее целесообразно пользоваться 3-летними скользящими средними суммами, которые позволяют выявлять циклы колебаний длиной 4—5 лет и более. В зависимости от результатов, полученных с помощью 3-летних скользящих сумм, может оказаться целесообразным использовать также 6- и 12-летние средние скользящие суммы для более четкого выявления длинных циклов.

Применение 3-летних скользящих сумм для выявления циклов длиной 4—6 лет может вызвать сомнения. Скользящее сглаживание может создавать ложные циклы, в 2—3 раза превосходящие период осреднения. Однако анализ рис. 1—7, на которых изображены как кривые скользящих средних сумм, так и суммы за серии и годовые (или полугодовые) наблюдаемые суммы осадков, показывает, что интервалы между пиками одного знака на скользящих кривых в подавляющем большинстве случаев охватывают 4—6 (а также и более длинные) полных (т. е. слагающихся из положительных и отрицательных серий) циклов. Лишь в немногих случаях однолетние отклонения от средних с большой амплитудой вызывают появление пиков на скользящих кривых, создавая впечатление ложного 3-летнего цикла.

Анализу были подвергнуты полугодовые и годовые суммы осадков по данным 42 станций, перечисленных в табл. 2. Кроме того, были исследованы ряды месячных сумм за теплые полугодия (с апреля по сентябрь) по данным 10 метеостанций из числа тех же 42.

Для подавляющего большинства станций начальным, как это обычно и принято, был взят 1891 г., а последним — 1970 г. В некоторых рядах имелись пропуски, поэтому продолжительность рядов в большинстве случаев оказалась равной 70—80 годам. Исключение составили 5 станций, наблюдения на которых были начаты не в 1891 г., а позднее, и длины рядов на этих станциях составили 56—68 лет. Исходные материалы были выписаны из фондов гидрометслужбы и никакой предварительной обработке не подвергались.

Годовые суммы были подразделены на полугодовые: холодное полугодие ХП (октябрь—март) и теплое полугодие ТП (апрель—сентябрь). Ряды были подвергнуты статистической обработке, результаты которой представлены в табл. 2. Все исследуемые ряды подверглись испытанию на случайность несколькими методами. Простейшим из них является метод экстремумов. В случайном ряду суммарное число экстремумов (максимумов и минимумов) должно составлять $\frac{2}{3}$ общего числа членов ряда n , т. е. $\frac{2}{3}n$. Дисперсия этой величины [19] имеет выражение

$$\sigma^2 = \frac{1}{90} (16n - 29),$$

откуда

$$\sigma = \sqrt{\frac{16n - 29}{90}}.$$

Таблица 2

Статистическая характеристика полугодовых и годовых средних многолетних сумм атмосферных осадков (норм)

Станция	Число лет наблюдений	Статистические параметры														
		холодное полугодие (X—III)						теплое полугодие (IV—IX)						год		
		M мм	σ мм	m мм	P %	V %	M мм	σ мм	m мм	P %	V %					
1. Кишинев	72	186	66	8	4	36	295	102	12	4	34	481	120	14	3	25
2. Киев	80	254	84	9	4	33	355	94	10	3	26	609	130	14	2	21
3. Тула	70	190	58	7	3	30	327	83	9	3	25	517	105	13	2	20
4. Курск	74	239	64	7	3	27	338	77	9	3	23	577	90	10	2	15
5. Земетчино	80	171	56	6	4	33	288	78	9	3	27	459	98	11	2	21
6. Харьков	79	216	64	7	3	30	292	75	8	3	25	508	98	11	2	19
7. Вологда	79	170	50	6	3	29	340	67	8	2	20	510	89	10	2	17
8. Пермь	79	225	66	7	3	29	348	80	9	2	23	573	110	12	2	19
9. Пенза	80	222	65	7	3	29	299	74	8	3	25	521	108	12	2	21
10. Казань	80	170	45	5	3	26	284	75	8	3	26	454	84	9	2	18
11. Ворошиловград	78	170	53	6	3	31	261	72	8	3	28	431	88	10	2	20
12. Волгоград	79	171	65	7	4	38	170	61	7	4	36	341	100	11	3	29
13. Костычевская	77	118	46	5	4	38	176	67	7	4	38	295	85	10	3	29
14. Боровое Л-во	67	227	61	7	3	27	248	81	10	4	32	475	110	16	3	23
15. Эльтон	56	129	49	7	5	38	147	62	8	6	42	276	87	11	4	31
16. Астрахань	80	76	26	3	4	34	98	47	5	5	48	174	56	6	4	32
17. Свердловск	79	130	36	4	3	27	323	81	9	3	26	453	87	10	2	19
18. Уральск	80	133	45	5	4	34	149	54	6	4	36	282	69	8	3	24
19. Тобольск	79	133	35	4	3	26	306	74	8	3	24	439	82	9	2	18
20. Сургут	79	149	47	5	3	31	330	64	7	2	19	479	77	9	2	16
21. Томск	79	199	54	6	3	27	325	70	8	2	21	524	78	9	2	15
22. Красноярск	79	90	36	4	4	40	282	58	7	2	21	372	91	10	3	24

Станция	Статистические параметры															
	число лет наблюдений	холодное полугодие (X—III)					теплое полугодие (IV—IX)					год				
		M мм	σ мм	m мм	P %	V %	M мм	σ мм	m мм	P %	V %	M мм	σ мм	m мм	P %	
23. Иркутск	79	78	25	3	4	32	336	89	10	3	26	414	107	12	3	26
24. Улан-Удэ	70	38	20	2	6	53	216	54	6	3	25	254	54	6	3	21
25. Акимовск	78	101	59	7	7	59	191	65	7	4	34	292	94	11	4	32
26. Благовещенск	61	59	24	3	5	40	462	118	15	3	26	521	126	16	3	24
27. Николаевск-на-Амуре	73	175	77	9	5	44	321	76	9	3	24	496	106	12	2	21
28. Казалинск	80	70	22	2	4	32	54	30	3	6	56	124	34	4	3	28
29. Ташкент	79	282	76	9	3	27	109	48	5	5	45	391	101	11	3	26
30. Джамбул	74	176	57	7	4	33	130	58	7	5	45	306	89	10	3	29
31. Нерчинск	68	29	11	1	5	38	264	75	9	3	28	293	78	9	3	27
32. Чита	78	30	13	1	5	43	315	77	9	3	24	345	78	9	3	27
33. Кяхта	73	29	12	1	5	40	279	77	9	3	27	308	78	9	3	25
34. Вилуйск	73	66	14	2	3	22	168	48	6	3	29	234	48	6	2	21
35. Якутск	80	51	18	2	4	35	150	44	5	3	29	201	48	5	3	24
36. Верхоянск	74	38	17	2	5	45	110	35	4	4	32	148	41	5	3	28
37. Чердынъ	80	230	57	6	3	25	330	71	8	2	21	560	97	11	2	17
38. Шенкурск	80	202	51	6	3	25	326	80	9	3	24	528	110	12	2	21
39. Вильнюс	79	223	51	6	3	23	393	96	11	3	24	616	110	12	2	18
40. Тарту	80	213	45	5	2	21	356	80	9	3	22	569	103	12	2	18
41. Василевичи	80	220	62	7	3	28	383	85	9	2	22	603	120	13	2	22
42. Байрам-Али	80	101	41	5	5	41	35	20	3	6	57	136	46	5	4	34
Средние	76	147					260					407				

П р и м е ч а н и е. Символ M — арифметическое среднее, σ — среднее квадратическое отклонение, m — средняя ошибка среднего арифметического, P — показатель точности, V — коэффициент вариации.

Выражая через $\Delta\mathcal{E}$ найденное отклонение числа экстремумов от ожидаемого и задаваясь вероятностью 95%, которой соответствует нормированное отклонение $1,96\sigma$, находим, что при $\Delta\mathcal{E}/\sigma > 1,96$, или, приближенно, при $\Delta\mathcal{E}/\sigma > 2,0$, ряд не может считаться случайным.

Второй примененный критерий случайности — метод средней длины серии. Математическое ожидание (МО) средней длины серии l_0 равно 2,0 года. Из теории математической статистики [13, 19] известно, что доверительный интервал для отношения l_n/l_0 , где l_n — наблюдаемая средняя длина серии, при вероятности 0,95 характеризуется неравенством

$$\frac{1}{1 + 1,96 \sqrt{1/n}} \leq \frac{l_n}{l_0} \leq \frac{1}{1 - 1,96 \sqrt{1/n}}.$$

Следовательно, выражая l_n в годах и принимая во внимание, что $l_0 = 2$, получаем

$$\frac{2}{1 + 1,96 \sqrt{1/n}} \leq l_n \leq \frac{2}{1 - 1,96 \sqrt{1/n}} \text{ лет.}$$

Для наших рядов, когда $n = 56 \div 80$ лет, доверительный интервал для l_n оказался ограниченными величинами 1,6 и 2,6, т. е. l_n при случайности ряда должно лежать в пределах $1,6 \leq l_n \leq 2,6$.

Третий использованный критерий — наибольшая длина серий. Если ряд является случайным, то в нем не может появиться более одной серии [19], длина которой при вероятности 0,95 превышала бы

$$K \approx 3,3(\lg n + 1).$$

При $n = 80$ $K = 9,5$ лет, или, округленно, $K = 10$. Хальд указывает, однако, что эта формула дает несколько преуменьшенные результаты.

Четвертый критерий — общее число серий. При случайности ряда общее число серий R в нем при той же вероятности должно удовлетворять условию

$$R \geq \frac{1}{2}(n + 1 - 1,64 \sqrt{n - 1}).$$

При $n = 80$ $R = 33$.

Пятый критерий — метод последовательных разностей. Критерием δ в нем является выражение

$$\delta = \frac{\sum (y_{i+1} - y_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2},$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Как видно из формулы, числитель дроби представляет собой сумму квадратов последовательных разностей между соседними членами ряда, а знаменатель — величину дисперсии ряда, умноженную на $(n - 1)$.

Пределами изменений величины δ являются 0 и 2, а ее математическое ожидание при условии стохастической независимости членов ряда равно 1,0. Чем больше δ отличается от 1,0 в сторону

меньших значений, тем больше расхождение с гипотезой случайности.

Критическая область для величины δ при вероятности 0,95 характеризуется неравенством

$$\delta \leq 1 - \frac{1,64}{\sqrt{n+1}}.$$

При $n=80$ верхняя граница критической области характеризуется величиной 0,82.

Использованные нами ряды были испытаны с помощью всех этих пяти критериев. Результаты обработки рядов полугодовых и годовых сумм осадков отображены в табл. 3. В ней крестиками отмечены все случаи, когда критерий случайности для данной станции и данного полугодия или годового периода вышел за пределы доверительной области.

Рассматривая эту таблицу, мы видим, что метод экстремумов оказался весьма мало чувствительным. Поэтому в дальнейшем мы пользоваться им не будем.

Методы средней длины серий и общего числа серий дали результаты, почти полностью совпадающие. Это совпадение естественно, поскольку средняя длина серий и их общее число находятся в обратной зависимости.

Все случаи выхода за пределы доверительной области, обнаруженные методом общего числа серий, полностью охватываются случаями, выявленными методом наибольшей длины серий, за исключением станции Эльтон в годовом периоде и Вильнюса в теплом периоде. Однако общее число случаев, выявленных методом наибольшей длины серий, значительно больше. В холодном периоде оно является максимальным по сравнению с числом случаев, полученных всеми остальными методами, причем с его результатами в этом случае по большей части совпадают и результаты, полученные методом последовательных разностей. В то же время последний метод оказался наиболее чувствительным для теплого полугодия и для года, как это можно видеть в последней строке табл. 3. Некоторые случаи выхода за пределы доверительной области, обнаруженные этим методом, не совпадают с результатами, полученными методом наибольшей длины серий.

Сопоставленные между собой результаты, полученные четырьмя методами (исключен метод экстремумов), свидетельствуют о том, что почти все ряды, относящиеся к ТП, не противоречат гипотезе случайности. Случаи несоответствия этой гипотезе, выявленные методом наибольшей длины серий и методом последовательных разностей, за исключением трех (Красноярска, Кяхты и Чердыни), оказались лишь незначительно выходящими за границы доверительных областей, в силу чего можно допустить их случайность с принятой вероятностью 95%.

Совершенно иное мы получаем в отношении ХП. В половине всех рядов методы наибольшей длины серий и последовательных разностей выявили заметный выход рассчитанных критериев за

Таблица 3

Таблица 3

Станция	Метод экстремумов			Метод средней длины серий			Метод наибольшей длины серий			Метод общего числа серий			Метод последовательных разностей		
	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г	ХП	ТП	Г
22. Красноярск						+			+			+	++++		+
23. Иркутск														+	
24. Улан-Удэ												+			
25. Ақмолинск							+								
26. Благовещенск													+		
27. Николаевск-на-Амуре															
28. Казалинск			+												
29. Ташкент															
30. Джамбул													+	+	
31. Нерчинск							+								
32. Чита															
33. Кяхта									+						
34. Вилюйск															
35. Якутск													++		
36. Верхоянск										+		++		+	
37. Чердынь										++					
38. Шенкурск															
39. Вильнюс															
40. Тарту															
41. Василевичи															
42. Байрам-Али															
Сумма	3	3	4	11	2	6	22	4	7	12	2	12	20	8	16

границы доверительных областей. Следовательно, эти ряды сумм осадков за ХП не могут считаться случайными. К вопросу о том, в чем выявляется конкретно несоответствие этих рядов случайному распределению, мы вернемся ниже, после анализа этих рядов другими методами.

Что касается годового периода, то, как можно видеть из табл. 3, число случаев, в которых соответствующие показатели выходят за пределы доверительных границ, для годового периода значительно меньше, чем для холодного периода (8 и 21 соответственно по методу наибольшей длины серии и 17 и 21 по методу последовательных разностей). При этом все случаи такого выхода для годового периода соответствуют таким же случаям для холодного периода (за исключением только одной станции — Кяхты). Это, очевидно, является результатом влияния на годовую сумму осадков той составляющей ее доли, которая приходится на ХП. Когда же в рядах годовых сумм осадков примененные критерии не отвергают гипотезу случайности (при наличии такого противоречия в рядах сумм за ХП), очевидно, имеет место компенсация упорядочивающим влиянием сумм осадков за ТП на суммы осадков за ХП.

Добавим еще, что для 9 станций из 42 (Кишинев, Курск, Харьков, Боровое лесничество, Астрахань, Благовещенск, Казалинск, Чита, Байрам-Али) ни одним методом, ни для одного периода не было получено показателей, исключающих гипотезу о случайности ряда. Ряды месячных сумм осадков были также испытаны на случайность. О результатах этих испытаний мы скажем ниже, в разделе об изменчивости месячных сумм.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛУГОДОВЫХ И ГОДОВЫХ СУММ ОСАДКОВ, ВЫЯВЛЯЕМАЯ МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩИХ СРЕДНИХ СУММ

Ряды полугодовых и годовых сумм осадков по всем 42 станциям, статистически охарактеризованных в табл. 2, были подвергнуты графической обработке (рис. 1—4).

На каждом рисунке помещены три графика: для холодного полугодия (ХП), теплого полугодия (ТП) и для года (Г). Графики построены следующим образом. На горизонтальной оси нанесен календарь (годы), на вертикальной оси — суммы осадков. Прямая горизонтальная линия, помеченная Ср., соответствует средней многолетней сумме осадков за весь исследуемый период. Тонкими линиями нанесены столбики, характеризующие наблюдаемые отклонения сумм от средних за каждое отдельное полугодие или год. Вверх от средней линии отложены положительные отклонения, а вниз отрицательные.

На тех же графиках жирными кривыми линиями показан ход средних полугодовых или годовых сумм по скользящим трехлетиям. Для краткости такие кривые мы будем называть просто скользящими трехлетними кривыми. Кроме того, жирными прямыми вертикальными и горизонтальными линиями очерчены серии,

т. е. совокупности смежных полугодий или лет с отклонениями одинакового знака. Высота столбиков, очерченных этими жирными линиями, характеризует среднюю величину отклонения за данную серию, а ширина столбиков — длину этой серии. К анализу этих серий мы вернемся ниже. Такие графики мы приводим для семи станций (Казань, Ташкент, Нерчинск, Пермь, Пенза, Земетчино и Чита), выбранных по тем или иным характерным чертам форм 3-летних скользящих кривых или по особенностям внутригодового распределения осадков.

Рассматривая эти рисунки, мы находим, что соответствие между пиками на скользящих кривых и наблюдаемыми ежегодными отклонениями имеет место только в тех случаях, когда эти отклонения объединяются в серии длиной не менее двух лет. Однолетние отклонения почти всегда располагаются антибатно по отношению к соответствующим пикам на скользящих кривых. Исключение составляют лишь случаи экстремально больших однолетних отклонений.

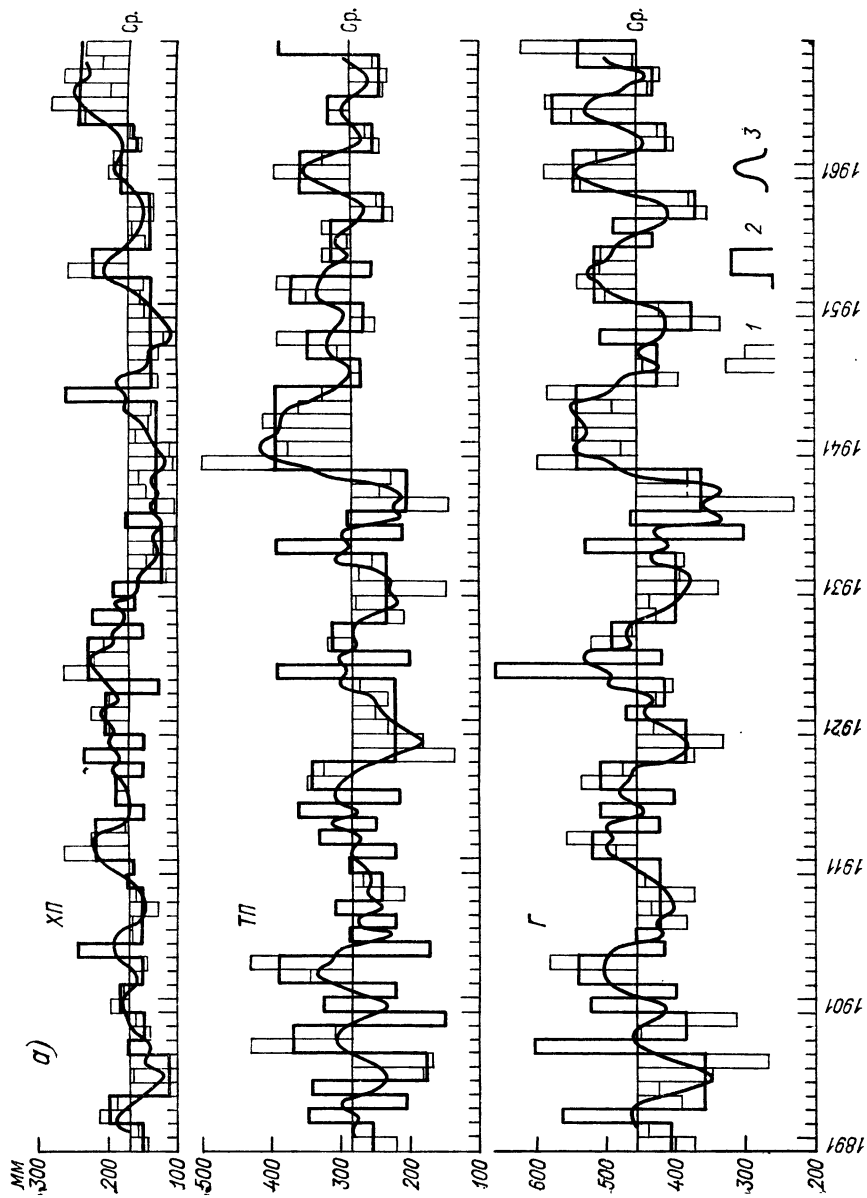
Скользящие кривые чаще всего имеют неправильно-синусоидальную форму, указывающую на цикличность в количествах выпадающих осадков.

Анализ 3-летних кривых для всех 42 станций показал, что из числа выявляемых этими кривыми наиболее широко распространенными и наиболее устойчивыми являются циклы со средней продолжительностью 5—7 лет. Примером могут служить ряды метеостанции Казань¹ (рис. 1). Выпишем интервалы в годах между положительными и между отрицательными пиками на кривых:

Интервалы между пиками (число лет)	Сумма лет	Число интервалов	Средняя длина интервала
Холодное полугодие			
+пики 9, 4, 7, 5, 5, 4, 4, 7, 9, 8, 7	69	11	6,3
—пики 7, 5, 7, 4, 4, 6, 4, 9, 9	61	10	6,1
сумма и среднее	130	21	6,2
Теплое полугодие			
+пики 5, 4, 8, 7, 11, 9, 7, 7, 4, 4, 5	71	11	6,5
—пики 5, 5, 7, 7, 10, 7, 10, 5, 7, 6, 4	73	11	6,7
сумма и среднее	144	22	6,6
Год			
+пики 6, 5, 9, 9, 4, 8, 8, 6, 6, 8	69	10	6,9
—пики 5, 7, 7, 5, 12, 5, 10, 4, 8	63	9	7,0
сумма и среднее	132	19	7,0

Из этих данных видно, что как в полугодовых, так и в годовых суммах наблюдаются большие колебания в длине последовательных циклов: от 4 до 9 лет в ХП, от 4 до 11 лет в ТП и от 4 до 12 лет в году. При этом в ТП и в году имеется тенденция

¹ Профессор О. А. Дроздов обратил наше внимание на то, что ряд осадков за ХП в Казани с 60-х годов утерял однородность. Поэтому последнюю декаду (1961—1970) мы из расчета для ХП и для года исключили.



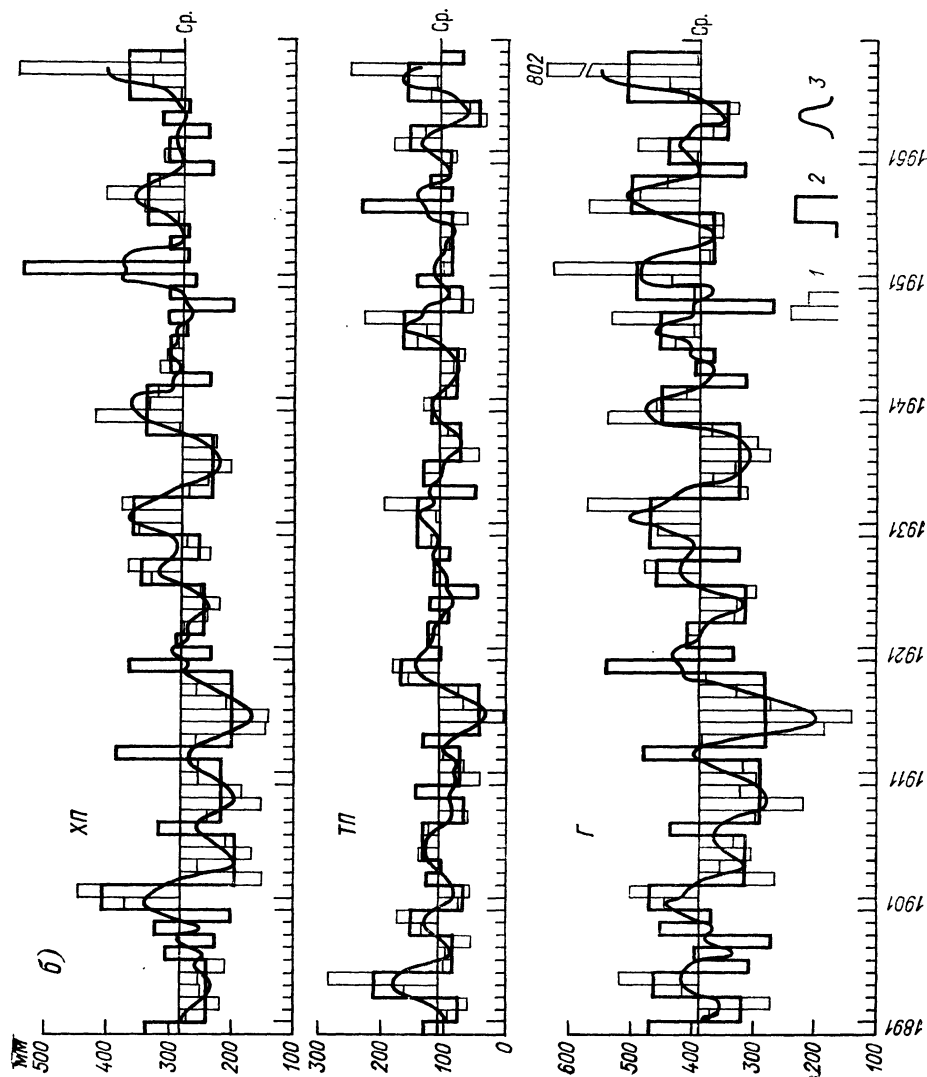


Рис. 1. Ход во времени сумм атмосферных осадков за холодное полугодие (ХП), теплое полугодие (ТП) и год (Г). Казань (а), Ташкент (б).

1 — наблюдаемые полугодичные или годовые суммы; 2 — суммы за series лет одного знака; 3 — кривая скользящих средних 3-летних сумм. Ср. — средние суммы осадков за весь период наблюдений.

к увеличению длины интервалов (а следовательно, и циклов) в середине исследованного периода (в 3—6-й декадах) и к уменьшению ее в начале и в конце периода. Однако средние длины интервалов весьма близки: 6,2 в ХП, 6,3 в ТП и 6,6 в году.

Хорошо выражен этот цикл и в Ташкенте (рис. 1 б), где суммы осадков за ХП, в отличие от Казани, значительно превосходят суммы за ТП. В Ташкенте циклы за ХП варьируют от 6 до 12 лет, а за год — от 4 до 9 лет, в среднем они составляют соответственно 7,5 и 6,0 лет. Теплое полугодие с малыми количествами осадков отличается меньшими амплитудами отклонений. Интервалы между положительными пиками варьируют от 4 до 12 лет, в среднем составляя 6,6 года, а между отрицательными пиками — от 5 до 13 лет при среднем, равном 6,7 года. Характерной чертой для Ташкента является наличие в годовом ряду и в ряду за ХП экстремных однолетних максимумов, отчетливо выявляющихся на рис. 1 б в виде «частокола» однолетних столбиков годовых сумм, превышающих 500 мм. Интервалы между столбиками варьируют от 4 до 13 лет при средней величине, равной 6 годам. Эти столбики являются как бы «стержнями» пиков, образуемых скользящими кривыми. Такие же пики мы увидим на графиках, относящихся и к другим станциям, но в Ташкенте они выражены наиболее отчетливо и регулярно. Описанным столбикам на графике годовых сумм отвечают такие же столбики на графиках за ХП. Это свидетельствует о том, что ответственными за годовые максимумы являются в данном случае максимумы осадков за ХП.

Рисунок 2 а относится к Нерчинску с его муссонным типом внутригодового распределения осадков. Здесь суммы осадков за ХП в среднем составляют лишь около 0,1 доли годовой суммы осадков, и годовая кривая и кривая за ТП почти совпадают. В Нерчинске цикличность выражена исключительно отчетливо, интервалы между пиками на кривой варьируют значительно меньше, чем в Казани или в Ташкенте: от 5 до 9 лет, причем особенно часто повторяются 6-летние интервалы. Средняя их длина равна 6,4 года.

Рисунок 2 б относится к Перми. Здесь заметны различия в ходе скользящих 3-летних кривых в ХП и ТП. До 1930 г. общий характер кривых, относящихся к обоим полугодиям и к году, в общем почти одинаков, хотя годы появления пиков обоих знаков взаимно сдвинуты — иногда (например, в 1916 г.) до полной противоположности. Интервалы в этих четырех декадах (1891—1930 гг.) варьируют в знакомых нам уже пределах 6—7 лет. После 1930 г. кривые существенно расходятся. Кривая за ХП начинает прогрессивно снижаться вплоть до глубокого минимума в 1945 г., когда полугодовая сумма осадков за ХП упала до 110 мм, т. е. до половины нормы. Далее эта кривая столь же медленно поднимается и в 1954 г. достигает нормы. Таким образом, в ХП создается более чем 20-летний непрерывный период с пониженной полугодовой суммой осадков, которая в среднем за период более чем на 80 мм ниже нормы.

Интервалы между пиками за весь 80-летний период в ХП изменяются от 4 до 31 года. Вычисление средних интервалов за весь 80-летний период здесь теряет смысл. В то же время в ТП общий ход кривой не меняется в течение всего этого периода. Интервалы между положительными пиками варьируют от 4 до 11 лет, а между отрицательными — от 4 до 12 лет. Средние величины в обоих случаях равны 6,6 года. Кривая, относящаяся к году, воспроизводит в 1930—1956 гг. тот же «провал», который имеется на кривой ХП. Однако 6—7-летнее варьирование осадков в ТП вызывает появление пиков на годовой кривой в ходе и этого «провала». Интервалы между положительными пиками варьируют от 6 до 15 лет при средней величине 8,9 года, а между отрицательными пиками — от 5 до 14 лет при средней 8,7 года.

Ход 3-летних кривых, относящихся к Пензе (рис. 3а), имеет две особенности. Во-первых, при знакомой нам уже квазисинусоидальной их форме интервалы между пиками здесь заметно больше, чем в рассмотренных ранее случаях. Они варьируют от 6 до 18 лет при средней величине 9,8 года. Вторая особенность заключается в наличии восходящего тренда, который замечен в ХП и ТП и особенно отчетлив в году. Он выявляется, во-первых, в постепенном восходящем перемещении вершин пиков, преимущественно отрицательных. Во-вторых, в ХП и особенно в году, в последних трех декадах (после 1940 г.), наблюдается резкое преобладание числа положительных отклонений над отрицательными, в то время как до 1940 г. имело место обратное соотношение. Для годового периода это иллюстрируется следующими цифрами:

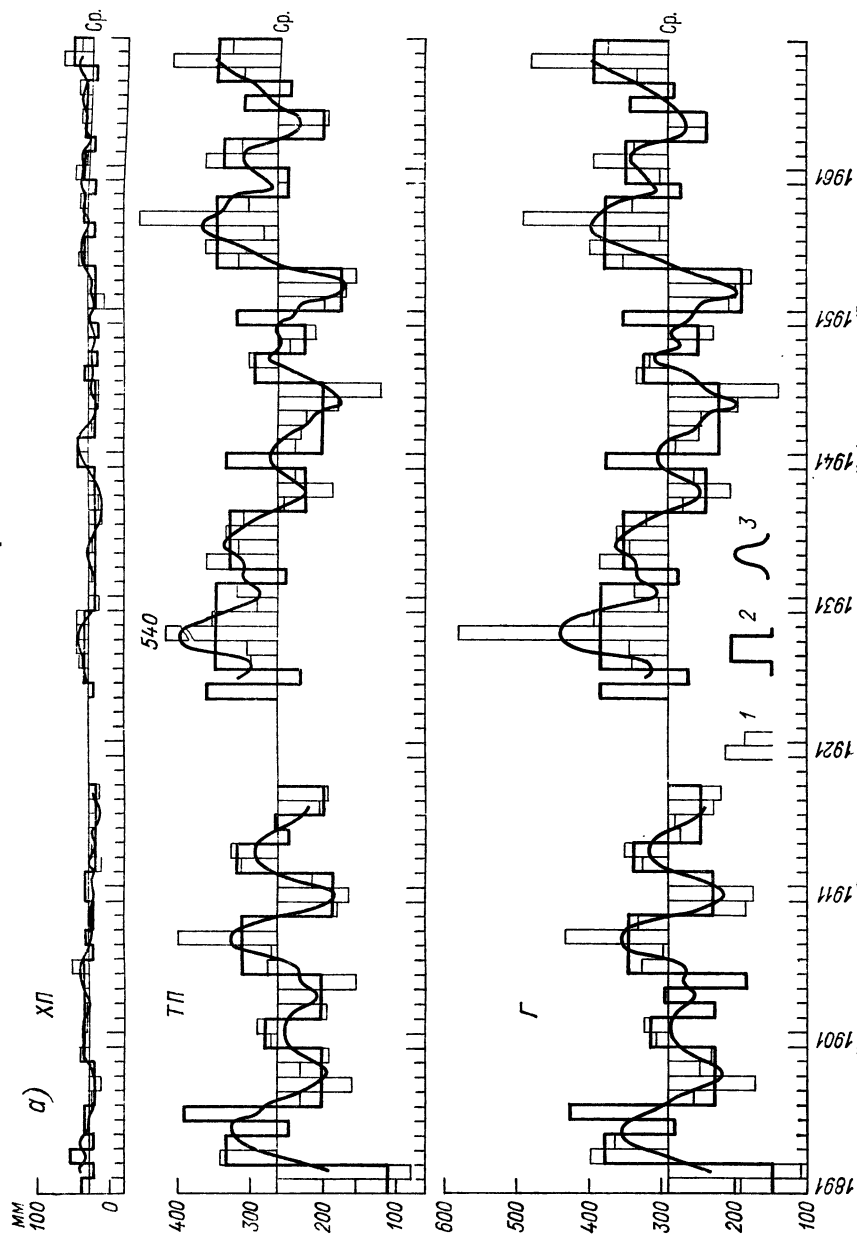
Период (годы)	Число отклонений	
	положительных	отрицательных
1891—1940	12	38
1941—1970	24	6

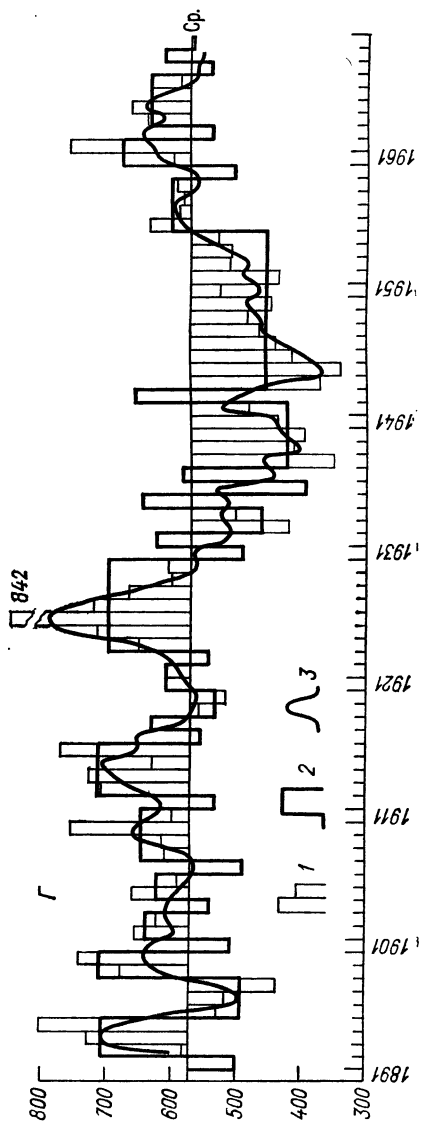
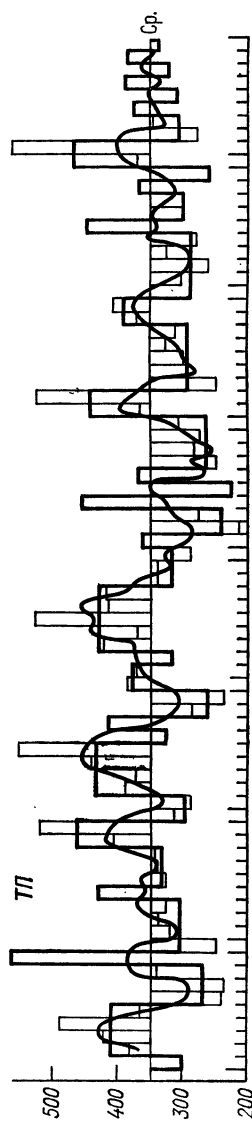
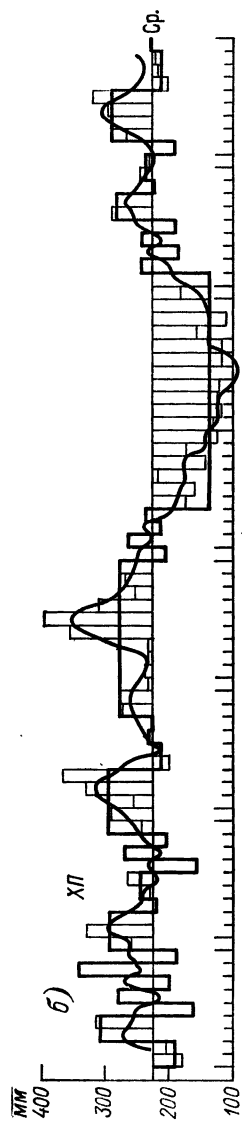
Это позволяет предположить существование какого-то длительного цикла, для выявления которого 80-летний ряд недостаточен.

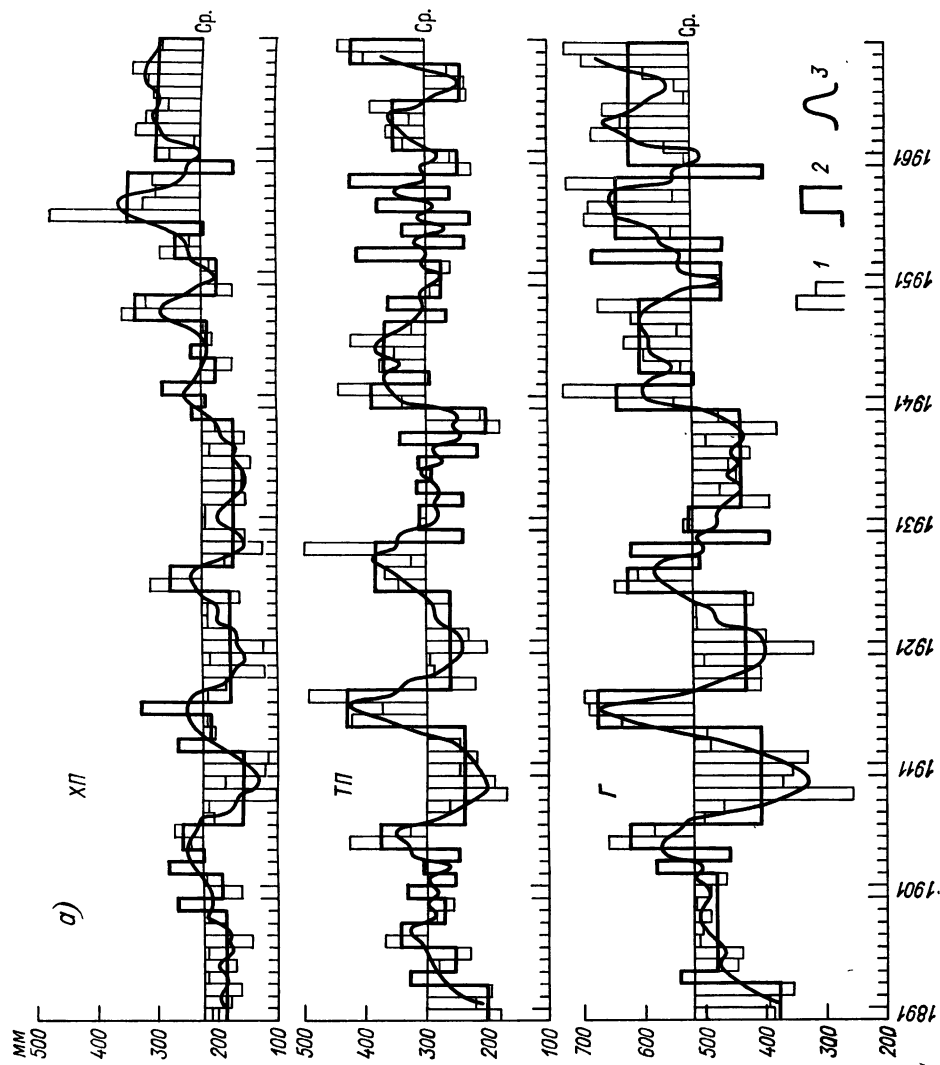
Иными своеобразными чертами отличаются кривые на графиках, относящихся к Заметчино (рис. 3б). В ХП в течение первых декад осадки близки к норме и варьируют мало. Затем следует период с почти плоским (на кривой) максимумом длительностью несколько менее двух декад, сменяемый более длинным минимумом. Обычная синусоидальная форма начинает возникать лишь в последних трех декадах. В ТП эта форма выражена отчетливо, за исключением периода 1895—1907 гг., который характеризуется плосковершинным минимумом. Интервалы между положительными пиками варьируют от 4 до 11 лет при средней 7,6 года, а между отрицательными — от 5 до 13 лет при средней 7,9 года. Годичная кривая в общем близка по форме к кривой ТП, однако на нее

Рис. 2. Ход во времени сумм атмосферных осадков за холодное полугодие, теплое полугодие и год. Нерчинск (а), Пермь (б).

Усл. обозначения см. рис. 1.







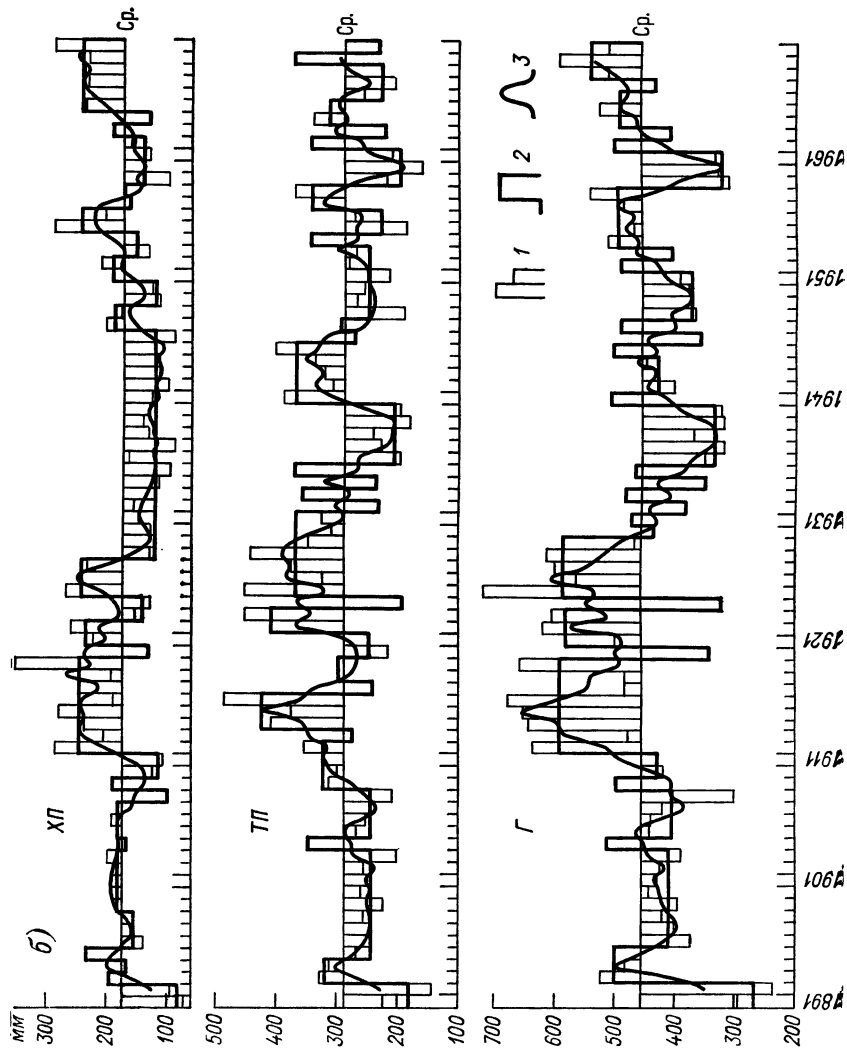


Рис. 3. Ход во времени сумм атмосферных осадков за холодное полугодие, теплое полугодие и год. Пенза (а), Земетчино (б).

Усл. обозначения см. рис. 1.

существенное влияние оказывает ХП. В результате этого на кривой выделяется крупный общий максимум, приходящийся на 3- и 4-ю декады, и такой же минимум, приходящийся на 5- и 6-ю декады.

Совокупность этих общих многолетних максимумов и минимума позволяет предположить существование цикла продолжительностью 40—45 лет. На его фоне наблюдаются пики кривой с интервалами от 4 до 18 лет между положительными пиками и от 4 до 14 лет между отрицательными пиками. Соответствующие средние равны 10,6 и 10,7 года.

В Чите (рис. 4) суммы осадков за ХП, как и в Нерчинске, ничтожны. Поэтому кривые для года и для ТП почти совпадают. Для них характерна обычная неправильно-синусоидальная форма. Интервалы между положительными пиками варьируют от 4 до 13 лет, а между отрицательными пиками — от 4 до 11 лет. Соответствующие средние равны 7,9 и 7,5 года. При этом в 3- и 4- и 5-й декадах интервалы между пиками короче (4—8 лет), чем в крайних декадах (10—13 лет).

Результаты анализа кривых скользящих 3-летних годовых сумм осадков по всем 42 станциям представлены в табл. 4. Из данных этой таблицы видно, что в целом интервалы колеблются в довольно значительных пределах: от 4 до 14 лет, но средние их величины в подавляющем большинстве случаев укладываются в интервалы 6—7 лет (55%) и 5—6 лет (25%). Средняя величина равна 6,5 года. Напомним, что Дроздов и Григорьева [12] в числе часто встречающихся обнаружили 4—5- и 6—7-летние циклы. Рождественский [14] наиболее широко распространенным циклом в колебаниях речного стока считает 5—6-летний.

Для шести станций были обнаружены более длинные средние интервалы: Земетчино (7,6 года), Уральск (7,4 года), Красноярск (7,4 года), Улан-Удэ (7,3 года), Пенза (9,7 года) и Чердынь (9,1 года). Только три станции из 42 — Николаевск-на-Амуре, Вилюйск и Верхоянск — оказались обладающими сглаженными нехарактерными кривыми, на которых сколько-нибудь отчетливая цикличность вообще не улавливается.

Анализ всех кривых показывает, что везде, где сумма осадков за ТП превышает сумму осадков за ХП, ход скользящих годовых кривых (в особенности 6-летнего цикла) определяется осадками за ТП и их 6—7-летней (в среднем) цикличностью. Особенно ярко это проявляется в тех случаях, когда сумма осадков за ТП значительно превосходит сумму осадков за ХП, как это имеет место при внутригодовом распределении осадков муссонного типа (например, Нерчинск, рис. 2а). Кривые же за ХП по отношению к кривым за ТП и годовичным могут быть при этом как симбатными, так и антибатными, не влияя существенно на общий ход годовичных кривых. Но в тех случаях, когда в ХП наблюдается значительное и длительное отклонение средних многолетних величин, последнее может оказать влияние на годовые суммы (например, Пермь, рис. 2б).

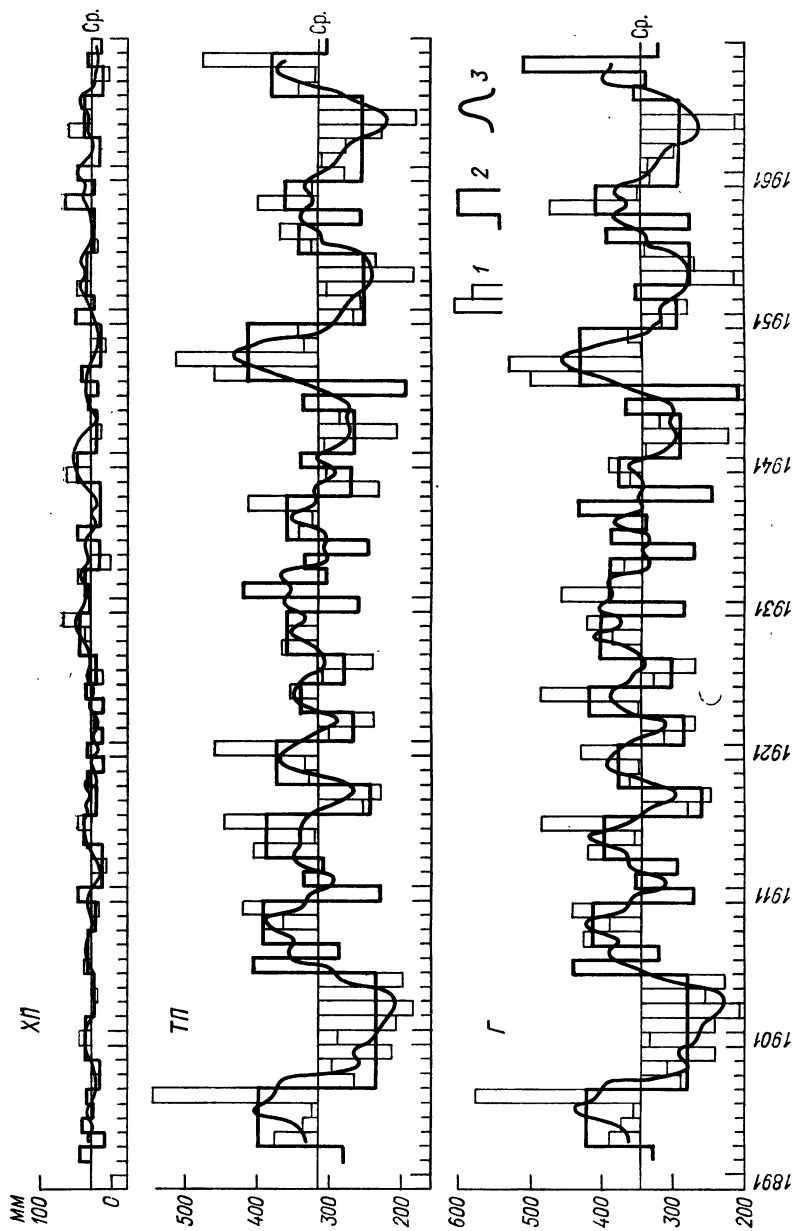


Рис. 4. Ход во времени сумм атмосферных осадков за холодное полугодие, теплое полугодие и год. Чита.
Усл. обозначения см. рис. 1.

Таблица 4

Цикличность годовых сумм осадков по данным метеостанций, выявляемая пиками на кривых скользящих средних 3-летних сумм

Станция и период наблюдений (годы)	Знаки пиков	Число пиков	Длительность периодов между пиками (число лет)			Примечание
			от	до	среднее	
1. Кишинев, 1891—1970 (перерыв 1941—1945)	+	12	4	8	5,6	Очень отчетливо
	—	13	3	9	5,1	
2. Киев, 1891—1970	+	14	3	9	5,8	Очень отчетливо. Общее понижение годовых сумм осадков с 1942 по 1964 г.
	—	13	4	8	5,5	
3. Тула, 1897—1970	+	10	3	10	6,7	Очень отчетливо
	—	10	3	10	6,6	
4. Курск, 1897—1970	+	10	3	8	5,6	Очень отчетливо. С 1953 по 1959 г. три 2-летних цикла
	—	12	3	8	5,7	
5. Заметчино, 1891—1970	+	7	4	18	10,6	Отчетливо. Кроме того, та же критерия выявляет более длительную цикличность с периодами от 10 до 19 лет, в среднем 12,5 года. По скользящим 12-летним намечается еще 40-летний цикл
	—	6	4	14	10,7	
6. Харьков, 1892—1970	+	12	4	8	5,9	Очень отчетливо
	—	12	3	8	5,7	
7. Вологда, 1892—1970	+	13	4	9	6,0	Отчетливо. В 1937—1952 гг. общее понижение годовых сумм
	—	12	4	10	6,2	
8. Пермь, 1892—1970	+	11	3	11	8,9	Очень отчетливо. В 1924—1930 гг. общее повышение, а в 1938—1955 гг. общее понижение годовых сумм
	—	10	5	12	8,7	
9. Пенза, 1891—1970	+	7	6	15	9,8	Очень отчетливо
	—	7	6	14	9,5	

Станция и период наблюдений (годы)	Знаки пиков	Число пиков	Длительность периодов между пиками (число лет)			Примечание
			от	до	среднее	
10. Казань, 1892—1970	+ —	10 9	4 4	9 12	6,9 7,0	Очень отчетливо. В 1932—1953 гг. общее понижение годовых сумм
11. Ворошиловград, 1892—1970	+ —	11 11	3 4	9 8	6,5 6,0	Отчетливо, за исключением периода 1900—1920 гг. общего повышения годовых сумм, когда частные пики менее отчетливы
12. Волгоград, 1892—1970	+ —	11 11	5 4	10 15	6,8 6,7	Отчетливость удовлетворительная. С 1910 по 1920 г. резко выраженное повышение годовых сумм
13. Костячевская, 1897—1970	+ —	11 11	3 4	13 12	6,8 6,6	Отчетливо, но на фоне 13—14-летнего цикла
14. Боровое, 1904—1970	+ —	11 13	3 3	9 9	5,4 5,0	Отчетливо. Неясно выражен 12—15-летний цикл. По 12-летним скользящим — общее понижение в 1923—1943 гг.
15. Эльтон, 1915—1970	+ —	7 7	4 4	9 8	6,2 5,7	Отчетливо
16. Астрахань, 1891—1970	+ —	11 11	4 5	11 8	7,0 6,3	Отчетливо. Кроме того, неясно выражен цикл с периодами 14—25 лет
17. Свердловск, 1891—1970	+ —	11 12	4 3	10 8	6,1 5,4	Отчетливо
18. Уральск, 1892—1970	+ —	11 10	5 6	14 14	7,3 7,5	Отчетливо. По 12-летним скользящим в 1894—1918 гг. общее повышение, в 1919—1943 гг. общее понижение годовых сумм (~24-летний цикл?)

Станция и период наблюдений (годы)	Знаки пиков	Число пиков	Длительность периодов между пиками (число лет)			Примечания
			от		среднее	
			до			
19. Тобольск, 1892—1970	+	12	3	13	5,9	Отчетливо
	—	11	4	8	6,2	
20. Сургут, 1892—1970	+	14	4	6	4,9	
	—	14	3	7	5,2	Отчетливо
21. Томск, 1892—1970	+	10	5	12	6,7	Отчетливо
	—	10	5	9	6,6	
22. Красноярск, 1892—1970	+	9	5	10	7,6	Отчетливо. Кроме того, неясно выра- женный 12—17-летний цикл
	—	10	4	11	7,3	
23. Иркутск, 1892—1970	+	12	4	10	6,2	Отчетливо
	—	12	4	9	6,0	
24. Улан-Удэ, 1900—1970	+	8	6	11	7,5	Отчетливо
	—	8	5	9	7,1	
25. Акимолинск, 1893—1970	+	12	4	8	6,2	Менее отчетливо. 12-летние скользя- щие дают максимум в 1899—1921 гг. и минимум в 1930—1956 гг., обу- словленные такими же максимумом и минимумом в ХП, в котором после 1932 г. варьирование ослабевает
	—	12	4	10	5,9	
26. Благовещенск, 1911—1970	+	10	3	7	5,2	Менее отчетливо
	—	10	4	7	5,3	
27. Николаевск-на-Амуре, 1891—1970						Неотчетливая кривая. Крупные мак- симумы в 1942—1946 и 1955— 1960 гг. На их фоне много 2— 3-летних циклов
28. Казалинск, 1891—1970	+	12	4	10	6,8	Отчетливо
	—	11	4	12	6,1	

Станция в период наблюдений (годы)	Знаки пиков	Число пиков	Длительность периодов между пиками (число лет)			Примечания
			от	до	среднее	
29. Ташкент, 1892—1970	+ —	13 13	4 4	9 9	6,1 6,0	Исключительно отчетливо. 12-летние скользящие выявляют общее понижение в 1903—1923 гг.
30. Джамбул, 1892—1970	+ —	10 9	4 4	8 9	6,4 6,3	Отчетливо. Общее понижение годовых сумм в 1935—1950 гг.
31. Нерчинск, 1891—1970 (перерыв 1919—1924)	+ —	11 10	6 6	9 8	6,5 6,3	Исключительно отчетливо
32. Чита, 1893—1970	+ —	9 8	4 4	13 11	7,9 7,5	Отчетливо
33. Кяхта, 1892—1970 (перерыв 1919—1924)	+ —	7 7	5 5	8 10	6,8 7,5	До 1955 г. отчетливо. Далее идет прогрессивное повышение (тренд) с шестью слабо выраженными 2-летними циклами
34. Вилуйск, 1898—1970						Очень невыразительная «размазанная» кривая. Намечается 3-летняя цикличность с малыми амплитудами
35. Якутск, 1891—1970	+ —	12 12	4 4	9 9	6,8 6,5	Отчетливо
36. Верхоянск, 1892—1970	+ —	10 8	4 4	10 11	6,6 7,2	Неотчетливая кривая. Малые амплитуды

Станция и период наблюдений (годы)	Знаки пиков	Число пиков	Длительность периодов между пиками (число лет)			Примечания
			от	до	среднее	
37. Чердынь, 1891—1970	+ —	8 9	6 5	12 12	9,6 8,2	Отчетливо. В 1891—1922 гг. минимумы с постепенным возрастанием. Общ. максимум до 1947 г. Приблизительно 35-летний цикл. Вначале может быть 11-летний цикл
38. Шенкурск, 1891—1970	+ —	13 13	4 4	9 14	4,8 5,8	Отчетливо. В 1891—1911 гг. наметился 13-летний цикл
39. Вильнюс, 1891—1970						На кривой три массивных максимума: 1895—1905, 1920—1935, 1943—1964, разделенных двумя массивными минимумами, что позволяет предположить наличие 27-летнего цикла. На их фоне примерно 3,5-летняя цикличность с варьированием циклов от 2 до 9 лет
40. Тарту, 1891—1970	+ —	12 12	4 4	9 10	6,3 6,5	Отчетливо. По 12-летним скользящим крупным максимум в 1922—1938 гг. и такой же минимум от 1953 г. до конца
41. Василевци, 1891—1970	+ —	13 12	4 4	9 11	5,9 5,7	Довольно отчетливо. В 1895—1920 гг. общий максимум, обусловленный главным образом осадками за ТП. В 1920—1939 гг. группа 2-летних циклов. В 1939—1965 гг. общий минимум, обусловленный осадками как ТП, так и ХП
42. Байрам-Али, 1891—1970	+ —	12 12	4 4	9 10	6,5 6,5	Отчетливо
Среднее						

Таблица 5

Результаты анализа кривых скользящих средних 6-летних сумм осадков за холодное и теплое полугодие и за год

Станция	Длина выявленных циклов, лет								
	ХП			ТП			Г		
	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее
1. Кишинев	Нерегулярно		15	10	24	13	10	33	16
2. Киев	То же		23	7	12	9	6	10	9
3. Тула	То же		12	7	12	9	7	12	9
4. Курск	8	16	12	11	18	13	7	13	9
5. Земетчино	Нерегулярно		35	12	19	16	8	21	15
6. Харьков	9	13	11	9	20	14	9	19	14
7. Вологда	14	21	10	9	23	17	11	23	17
8. Пермь	9	31	17	8	18	12	8	22	16
9. Пенза	9	17	13	8	17	12	10	20	13
10. Казань	9	16	10	9	16	12	9	15	12
11. Ворошиловград	Нерегулярно		16	Нерегулярно		22	Нерегулярно		22
12. Волгоград	14	30	24	14	30	24	14	30	24
13. Костычевская	8	20	14	8	18	14	9	18	14
14. Боровое	9	17	14	9	21	15	10	15	15
15. Эльтон	11	24	10	12	16	14	14	19	16
16. Астрахань	Нерегулярно		23	8	27	15	8	27	19
17. Свердловск	10	15	13	Кривые монотонные					
18. Уральск	Нерегулярно		12	8	19	13	9	21	15
19. Тобольск	7	17	12	Нерегулярно		20	Нерегулярно		20
20. Сургут	Нерегулярно		50	9	22	13	9	22	13
21. Томск	Кривые нерегулярные								
22. Красноярск	Нерегулярно			11	20	15	11	20	15
23. Иркутск	То же			8	15	11	8	15	11
24. Улан-Удэ	То же			9	36	21	9	36	21
25. Акмолинск	17	28	22	13	21	17	13	21	17
26. Благовещенск	Нерегулярно			13	18	17	13	18	17
27. Николаевск-на-Амуре	То же		(25)	Нерегулярно		(22)	Нерегулярно		(12)
28. Казалинск	Кривые монотонные								
29. Ташкент	8	13	11	Монотонная			8	20	11
30. Джамбул	8	14	11	8	20	13	9	13	11
31. Нерчинск	Монотонная			9	24	14	9	24	14
32. Чита	То же			10	11	11	10	11	11
33. Кяхта	То же			10	20	17	10	20	17
34. Вилуйск	Кривые монотонные								
35. Якутск	Монотонная			18	30	22	18	30	22
36. Верхоянск	То же			8	14	11	8	14	11
37. Чердынь	Намечается 45-летний цикл								
38. Шенкурск	Монотонная			11	24	17	11	24	17
39. Вильнюс	Нерегулярно		(30)	25	28	27	25	28	27
40. Тарту	6	15	12	8	16	12	8	16	12
41. Василевичи	Монотонная			8	15	13	8	9	13
42. Байрам-Али	7	15	13	Монотонная			8	16	11

Примечание. Нерегулярными рядами названы такие, на кривых которых некоторые пики отделены друг от друга участками монотонных кривых (т. е. кривых с нечетко выраженными пиками). Цифрами в скобках в этих случаях обозначено число лет между наиболее выдающимися пиками.

В тех же пунктах, где суммы осадков за ХП превышают суммы осадков за ТП, как это имеет место, например, в Средней Азии, ход годовой суммы осадков определяется осадками ХП. Этот случай иллюстрируется рис. 16 (Ташкент). Здесь мы видим полную симбатность кривых: годичной и за ХП, в то время как кривая за ТП малохарактерна вообще и ее ход местами симбатен годичной кривой и кривой за ХП, местами же антибатен.

Рассмотренные нами рисунки свидетельствуют о том, что при выраженности указанных выше закономерностей каждая станция имеет «свое лицо», т. е. характеризуется индивидуальной кривой, отличающей ее от других станций.

Нами были использованы также скользящие 6-летние средние суммы. Мы не будем приводить здесь кривые, построенные по этим суммам, а ограничимся лишь результатами их анализа (табл. 5). Из данных этой таблицы видно, что кривые в большинстве исследованных рядов выявили наличие интервалов, позволяющих предположить существование циклов длиной от 9 до 27 лет, среди которых преобладают циклы длиной 11, 12—13, 14—15 и 16—17 лет. Первые три из них были обнаружены Дроздовым и Григорьевой [12] с помощью коррелограмм.

Циклы указанной длины значительно лучше выражены в ТП и в годовом периоде. В ХП они выражены значительно слабее, а часто не выражены вовсе.

Варьирование длины указанных интервалов значительное — их крайние пределы отличаются друг от друга иногда втрое. Возможность существования таких циклов следует считать лишь предположительной.

В некоторых случаях кривые за ХП, а иногда и за ТП оказались монотонными, т. е. не имеющими отчетливо выраженных пиков. Чаще всего это полугодия с малыми суммами осадков (20—30 мм). В других случаях кривые оказались нерегулярными — пики на них имеются, но отделены друг от друга довольно длинными участками почти ровных линий. В этих случаях в табл. 5 цифры даны в скобках, они характеризуют расстояния между наиболее четко выраженными пиками.

РАЗЛОЖЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ ПОЛУГОДОВЫХ И ГОДОВЫХ СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СЕРИИ

Ряды годовых и полугодовых сумм, относящиеся к каждой станции, были разложены на непрерывные отрезки с одинаковыми — положительными или отрицательными — отклонениями наблюденных сумм от средней многолетней нормы. Такие отрезки мы будем называть, как это принято в математической статистике (см. [19]), сериями. Затем для каждой станции было подсчитано число серий различной длины (1, 2, 3, ... года) — отдельно положительных и отрицательных — и их сумма.

Поясним, что независимо от того, идет ли речь о полугодовых или годовых суммах осадков (или даже месячных, которые будут

рассматриваться ниже), длины серий и циклов везде выражаются в годах, так как они состоят из годовых или полугодовых или месячных сумм, разделенных промежутками всегда в один год.

Общее число годовых и полугодовых сумм для каждой станции дается в табл. I—III приложения, относящихся соответственно к ХП, ТП и Г, а в табл. 6 приводится обобщение этих данных. В табл. I—III отдельно дано число серий длиной от 1 до 8 лет. Серии же, длина которых превышает 8 лет, объединены, при этом в последних графах этих таблиц указаны длины серий. Более подробно длинные серии охарактеризованы в особой табл. IV приложения.

Из анализа табл. I—III непосредственно вытекает качественный вывод о том, что, во-первых, число серий разной длины в общем быстро убывает с возрастанием этой последней, во-вторых, что различные станции значительно отличаются друг от друга как по общему числу серий, так и по числу серий одной и той же длины, и, в-третьих, что предельные (наибольшие) длины серий на разных станциях в одинаковых по знаку группах и в одних и тех же периодах (ХП, ТП и Г) различны.

Прежде всего было выявлено число станций с сериями определенной предельной длины. Оно представлено в табл. 7. В ее верхней половине приведено число станций из всех 42, на которых отдельно по периодам (ХП, ТП и Г) длина положительных и отрицательных серий, а также их совокупностей не превышает определенной предельной величины. Так, например, из первой горизонтальной строки мы видим, что в ХП нет ни одной станции, где длина положительных серий ограничивалась бы одним или двумя годами. Но уже на двух станциях в ХП предельная длина положительных серий равна 3 годам, на семи станциях — 4 и т. д. Самой длинной в этом случае является положительная серия длиной 20 лет, которая наблюдалась на одной станции, а вообще максимальная наблюдавшаяся длина серии в ХП равна 21 году. В нижней половине той же таблицы те же числа приведены в процентах от их суммы (42 станции). Данные, содержащиеся в таблице, позволяют сделать следующие выводы.

Холодное и теплое полугодия резко отличаются друг от друга тем, что на первое из них приходится значительно большее число станций с длинными (свыше 8 лет) сериями. При этом именно на холодное полугодие приходятся самые длинные серии из всех наблюдавшихся — до 21 года включительно. В теплом полугодии серий, длина которых превышает 13 лет, нет вообще, а в году таких серий было только две.

Как показывают исходные данные, наиболее длинные серии возникали по преимуществу в Сибири и на Дальнем Востоке. Этот последний вывод вытекает из анализа табл. IV приложения.

Холодное полугодие характеризуется значительно большим числом станций с длинными (свыше 8 лет) сериями, в особенности сериями с отрицательным знаком, т. е. сериями таких лет, в которых наблюденные суммы осадков за ХП были ниже нормы.

Таблица 6

Число серий различной длины и различного знака по данным 42 метеостанций

Показатель	Длина серий (число лет) и их знаки											
	1			2			3			4		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
Холодное полугодие (ХП)												
Минимум	4	1	6	0	1	2	0	0	2	0	0	0
Максимум	15	13	28	6	7	11	4	6	12	3	5	4
Среднее	8,7	7,7	16,5	3,8	3,2	7,0	2,0	2,0	4,0	0,8	2,0	1,1
V%	34	33	29	41	54	35	54	63	54	47	56	56
Теплое полугодие (ТП)												
Минимум	4	4	9	1	0	4	0	0	0	0	0	0
Максимум	16	14	28	8	9	15	7	7	10	3	5	4
Среднее	9,7	8,7	18,4	4,6	4,6	9,2	2,1	2,2	4,3	1,1	2,5	1,4
V%	33	29	29	49	35	32	61	55	50	43	37	52
Год (Г)												
Минимум	2	2	6	0	0	2	0	0	1	0	0	0
Максимум	13	13	26	8	7	14	6	4	7	4	6	4
Среднее	7,5	7,8	15,3	4,0	3,6	7,6	2,6	2,2	4,8	1,4	2,6	1,6
V%	36	37	32	44	42	39	46	35	39	45	44	38

Показатель	Длина серий (число лет) и их знаки									
	6		7		8		> 8		суммы	
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	с

Холодное полугодие (ХП)

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17
Максимум	2	2	2	1	2	1	2	3	22	22	44
Среднее	0,3	0,3	0,7	0,2	0,4	0,1	0,2	0,8	1,0	16	33
V%	31	33	35	Не определяется	Не определяется	Не определяется	44	58	56	17	17

Теплое полугодие (ТП)

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	27
Максимум	2	2	2	1	2	1	2	1	2	23	45
Среднее	0,3	0,4	0,7	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	19	37
V%	28	35	36	Не определяется	Не определяется	Не определяется	13	14	14	15	15

Год (Г)

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20
Максимум	2	2	2	1	1	4	2	1	3	22	44
Среднее	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	17	35
V%	36	36	36	36	37	Не определяется	40	45	51	17	17

38 При м е ч а н и е. с — общее число серий данной длины; V — коэффициент вариации.

Таблица 7

В % от суммы

В ТП число длинных серий значительно меньше, в особенности положительных.

Наиболее часто предельная длина серий в холодном полугодии следующая: положительных 4—6 лет (около 60%), отрицательных 5—8 лет (40%, максимум нечеткий, растянутый). Теплое полугодие обладает более резко выраженными максимумами предельной длины серий: положительных 4—6 лет (около 80%) и отрицательных 5—6 лет (50%). Последнее относится и к полугодию в целом (свыше 50% серий длиной 5—6 лет).

В годовом периоде предельная длина положительных серий имеет резко выраженный максимум в области длин 4—6 лет (около 60%), отрицательных серий — в области длин 5—7 лет (60%), а совокупность серий обоих знаков имеет несколько более растянутый максимум в области длин 5—8 лет (70%).

В целом предельные длины серий варьируют от 3 до 21 года, причем наиболее часто наблюдаются станции с предельной длиной серий от 4 до 8 лет.

По данным, содержащимся в табл 1—III приложения, была составлена обобщенная табл. 8, в которой приведены полугодовые и годовые минимальные, максимальные и средние величины долей серий разной длины и разных знаков и их сумм.

Самая последняя строка табл. 8 содержит величины математических ожиданий (МО) чисел серий, соответствующие гипотезе их случайного (биномиального) распределения. Величины МО были вычислены по формуле (см. [19])

$$R \approx \frac{1}{2^n},$$

или, в процентном выражении,

$$R \approx \frac{1}{2^n} \cdot 100,$$

где R — число серий, а n — длина серии, т. е. число членов в ней.

Данные, содержащиеся в табл. I—III, были использованы также для вычисления еще одного показателя, оценивающего долю участия серий каждой длины в суммарной длительности ряда (см. табл. V—VII приложения).

Показатель этот был получен следующим образом. Числа серий различной длины, наблюдавшиеся в каждом из периодов (ХП, ТП, и Г), были умножены на их длины. Затем эти произведения просуммированы и выражены в % от их общей суммы. Полученные результаты обобщены в табл. 9. В ее последней строке приведены величины МО названного показателя, рассчитанные так, как это показано в табл. 8а.

Данные, содержащиеся в табл. 8 и 9, показывают, что доли чисел серий разной длины обладают значительным варьированием. Об этом свидетельствуют как коэффициенты вариации, так и соотношения между максимальными и минимальными долями.

Доли чисел серий разной длины (см. табл. 8) в подавляющем большинстве случаев закономерно убывают с ее увеличением. При

Доля серий различной длины и различного знака (% от общей суммы)

Показатели	Длина серий (число лет) и знаки отклонений											
	1		2		3		4		5			
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	
Холодное полугодие												
Минимум	24	13	35	0	6	8	0	0	3	0	0	0
Максимум	71	76	65	47	36	33	36	29	29	15	22	20
Среднее	51,1	46,6	48,4	23,9	19,8	20,7	13,1	11,9	14,7	6,0	2,2	3,9
V%	26	28	16	51	52	37	69	70	49	67	179	129
												3,0
												89
Теплое полугодие												
Минимум	21	25	30	6	6	14	0	0	0	0	0	0
Максимум	73	61	62	53	50	45	41	35	24	15	13	22
Среднее	52,3	46,4	49,3	24,7	24,9	24,7	11,4	12,0	11,8	6,3	2,7	4,7
V%	23	27	18	45	32	28	78	82	54	58	121	101
												0
												11
												3,7
												7,4
Год												
Минимум	27	20	23	0	0	6	0	0	3	0	0	0
Максимум	73	72	68	53	43	40	31	30	23	28	21	15
Среднее	45,1	46,4	45,7	25,0	21,7	23,5	14,5	13,5	13,9	7,9	4,2	5,2
V%	20	27	19	46	45	33	52	54	32	82	120	95
												65
Математическое ожидание при биномиальном распределении												
	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0	25,0	12,5	12,5	12,5	6,2	3,1	3,1
												3,1

Показатели	Длина серий (число лет) и знаки отклонений												Суммы		
	6				7				8				> 8		
	+	-	с		+	-	с		+	-	с		+	-	с

Холодное полугодие

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	18	25	12	12	9	9	6	12	10	11	22	11	—	—	—
Среднее	1,9	2,4	2,1	1,0	1,2	0,7	1,1	0,9	0,9	1,4	5,2	3,0	100	100	100
V%	193	222	135	274	201	146	261	191	191	Не определялся	—	—	—	—	—

Теплое полугодие

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
Максимум	10	13	6	11	6	5	10	5	5	7	12	6	—	—	—
Среднее	1,7	2,1	1,9	0,5	0,5	0,1	0,7	0,4	0,4	0,3	1,5	0,9	100	100	100
V%	197	174	123	300	369	265	320	287	287	Не определялся	—	—	—	—	—

Год

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
Максимум	20	11	10	7	7	33	17	17	17	9	9	9	—	—	—
Среднее	1,7	1,6	1,6	0,4	0,5	1,4	1,0	1,0	1,0	0,7	1,2	0,9	100	100	100
V%	243	200	148	320	310	163	290	290	290	Не определялся	—	—	—	—	—

Математическое ожидание при биномиальном распределении

1,6	1,6	1,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	100	100	100
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 8а

Расчет математических ожиданий величин произведений длины каждой отдельной серии на математическое ожидание ее появления

Показатель	Длина серий (число лет)					
	1	2	3	4	5	6
МО серии	0,500	0,250	0,125	0,062	0,031	0,016
Произведение	0,500	0,500	0,375	0,250	0,155	0,096
МО произведения, % от суммы	25,0	25,0	18,8	12,5	7,8	4,8

Показатель	Длина серий (число лет)					Сумма
	7	8	9	10	> 10	
МО серии	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001	1,000
Произведение	0,056	0,032	0,018	0,010	0,008	2,000
МО произведения, % от суммы	2,8	1,6	0,9	0,5	0,4	100,0

этом и средние величины их долей и средние величины общих длительностей (см. табл. 9) в общем близки к величинам соответствующих МО. Особенно отчетливо эта близость выражена в ТП, где отклонения совокупности долей серий (без учета их знаков) от МО не превышают несколько долей процента. Следует отметить, что в ТП доля даже длинных (более 8 лет) серий отличается от соответствующих МО незначительно.

Иное мы видим в ХП. Здесь доли серий длиной в 1 и в особенности 2 года заметно ниже МО этих величин. Доли серий длиной 3, 4 и 5 лет в ХП почти не отличаются от соответствующих своих МО. Доли же серий более длинных (от 6 до 8 лет) в ХП заметно (до двукратного) превышают величины соответствующих МО. Доля же наиболее длинных серий (свыше 8 лет), равная 3,2%, значительно — в 8 раз — превышает МО, равное 0,4%. Еще резче для длинных серий это превышение выражено в табл. 9, где учтено не только число серий, но и их длина и где оно достигает 10-кратного увеличения по сравнению с МО.

Сказанное о ХП может быть отнесено и к годовому периоду, в котором доля серий длиной в 1 год значительно меньше своего МО. Превышение в годовом периоде начинается уже с серий длиной в 3 года, причем в сериях 7 и 8 лет оно достигает 2—2,5-кратного.

Сказанное относилось к суммам серий разной длины, без различия их знаков. Рассмотрение данных, относящихся к сериям с разными знаками, показывает, что при малой длине серий число положительных серий превышает число отрицательных.

Таблица 9

Общая длительность серий различной длины и разных знаков (% от их общей длительности)

Показатель	Длина серий (число лет) и знаки отклонений									
	1		2		3		4		5	
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+
Холодное полугодие										
Минимум	10	2	8	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	50	34	38	45	34	46	32	35	25	39
Среднее	25,3	17,9	21,1	21,8	15,0	13,8	9,6	11,1	10,4	6,0
V%	39	37	33	49	58	57	106	81	72	158
Теплое полугодие										
Минимум	5	6	13	3	13	0	0	0	0	0
Максимум	64	32	36	46	25	55	33	50	29	31
Среднее	28,5	21,7	24,8	26,6	25,1	15,5	12,7	13,3	13,1	6,7
V%	30	26	24	46	39	72	76	82	51	116
Год										
Минимум	10	4	14	0	5	0	0	0	0	0
Максимум	33	38	34	55	34	33	47	37	34	42
Среднее	20,9	20,0	20,5	23,0	19,1	17,2	15,2	11,5	13,2	9,2
V%	34	38	32	47	50	58	78	97	61	127
Математическое ожидание при биномиальном распределении										
	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	18,8	12,5	12,5	12,5	7,8

Показатель	Длина серий (число лет) и знаки отклонений												Сумма		
	6			7			8			>8					
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с

Холодное полугодие

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	32	26	30	23	18	17	26	35	20	61	48	57
Среднее	5,8	3,9	4,8	2,6	3,7	3,2	2,4	3,8	3,2	7,8	23,4	16,6
V%	162	183	118	26	188	152	30	232	172	Не определялся		
										100,0	100,0	100,0

Теплое полугодие

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	35	30	15	23	33	18	20	36	20	26	32	26
Среднее	4,3	5,9	5,2	2,5	1,7	2,1	0,6	2,9	1,8	1,5	4,4	3,1
V%	313	167	129	268	378	236	632	323	284	Не определялся		
										100,0	100,0	100,0

Год

Минимум	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	46	29	21	23	33	19	26	68	40	59	37	42
Среднее	4,1	5,4	4,7	1,4	6,2	4,0	2,2	4,6	3,5	3,7	5,4	4,4
V%	217	178	135	320	178	156	300	310	245	Не определялся		
										100,0	100,0	100,0

Математическое ожидание при биномиальном распределении

	4,8	4,8	4,8	2,8	2,8	2,8	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7
										100,0	100,0	100,0

С увеличением длины серий преобладание становится отрицательным. Переход совершается в ХП начиная с серий длиной в 4 года, а в ТП — начиная с серий длиной в 2 года. В ХП в самых длинных сериях (свыше 8 лет) доля отрицательных серий почти в 4 раза

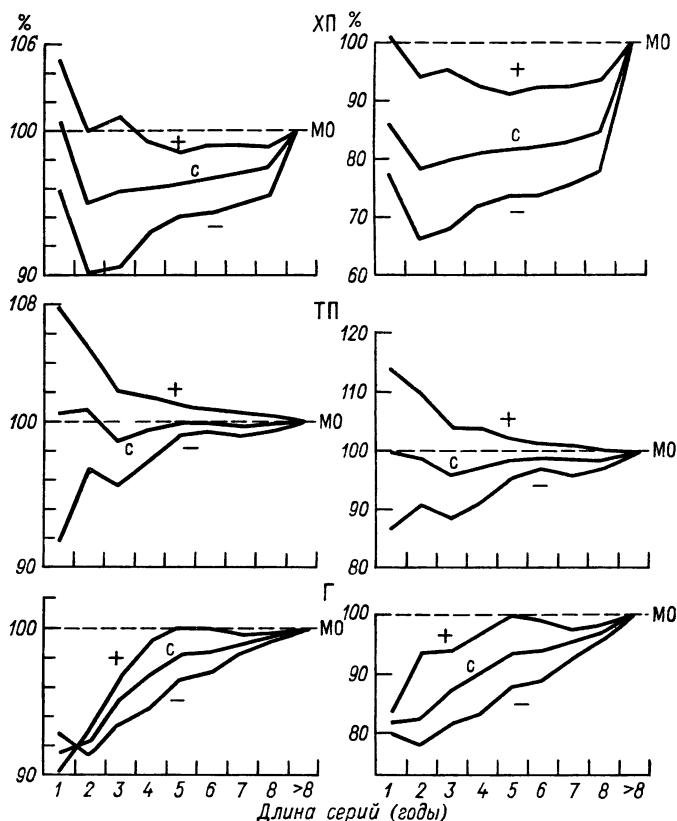


Рис. 5. Кумулятивная кривая отклонений средних величин положительных (+) и отрицательных (—) серий различной длины и их сумм (с) от величин математических ожиданий (МО) при биномиальном распределении.

ХП, ТП и Г — соответственно холодное, теплое полугодия и год. Слева — доли чисел серий, справа — доли величин суммарной длительности.

превышает долю положительных (5,2 против 1,4) при одновременном превышении МО в 13 раз (5,2 против 0,4).

Для сопряженного анализа данных, относящихся к сериям разной длины, разным периодам и имеющих разные знаки, был составлен рис. 5. В его левой части сопоставлены отдельно для ХП, ТП и года отклонения средних величин долей участия серий различной длины от величин МО. Для построения этого графика нарастающие суммы средних величин положительных и отрицательных

отклонений и их сумм были выражены в процентах от нарастающих сумм МО. В правой части рисунка сделано то же с нарастающими суммами общей длительности, исходный материал для которых был взят из табл. V, VI и VII приложения.

На рис. 5 мы отчетливо видим, что в холодном полугодии положительные (начиная с серий длиной в 4 года) и отрицательные (начиная с серий длиной в 1 год) серии и их суммы (начиная с серий длиной в 2 года) отклоняются от МО в сторону меньших значений — как по своему участию в общем числе серий (левая часть рисунка), так и в особенности (начиная с серий длиной в 1 год) по суммарной длительности (правая часть рисунка). При этом наибольшие отрицательные отклонения приходится на серии длиной в 2 года. В сериях более длинных отклонения сначала медленно убывают, а затем скачком сравниваются с нулем при переходе к самым длинным сериям. Превышения этих кумулятивных кривых над МО не наблюдается вследствие того, что повышенные общие длительности длинных серий лишь компенсируют их низкие величины, свойственные коротким сериям.

Совершенно иное мы видим в теплом полугодии. Положительные серии здесь несколько выше МО, а отрицательные — несколько ниже, в то время как совокупности серий обоих знаков почти не отличаются от МО. С переходом от коротких серий к длинным все отличия от МО постепенно сходят на нет. При этом весь график в целом имеет довольно симметричную форму.

Наконец, кривые, относящиеся к годовому периоду, несут, как и следует ожидать, промежуточный характер. Однако они ближе по форме к кривым ХП. Все три кривые расположены ниже линии, соответствующей МО, причем наибольшее отклонение соответствует сериям наименьшей длины. В дальнейшем все три кривые устремляются вверх, причем линия, соответствующая положительным сериям, начиная уже с серий длиной в 5 лет, совмещается с линией, соответствующей МО, не превосходя ее, в то время как две другие линии, характеризующие отрицательные серии и совокупность серий, лишь постепенно приближаются к линии МО.

Для более полной характеристики варьирования рассматриваемых величин в табл. 10 приведены отдельно для ХП и ТП доли серий различной длины для семи наиболее контрастных по строению своих рядов станций: Курска, Тулы, Свердловска, Читы, Пензы, Вилюйска и Красноярска. Для сравнения в той же таблице приведены величины МО и средние для положительных и отрицательных серий и их сумм ($\bar{c}$ — среднее число обоих знаков).

Из этих шести станций Курск характеризует более или менее «средний» ряд, полностью лишенный серий длиннее 6 лет. Тула — станция с пониженной долей серий длиной в 1 год, но с повышенной долей 4-летних серий в ХП и 2-летних серий в ТП и с небольшой долей серий длиной в 8 лет в ХП. Свердловск в ТП отличается повышенной долей 3-летних серий и отсутствием серий длиннее 5 лет. В то же время в ХП имеется небольшая доля серий длиннее 8 лет. Обратное наблюдается в Чите, где в ХП нет серий

Таблица 10

Доли серий различной длины и разного знака

Длина серии (число лет)	МО	Знак	Средние	Курск	Тула	Свердловск	Чита	Пенза	Вилуйск	Красноярск
Холодное полугодие										
1	50	+	51	68	31	38	57	54	53	56
		—	46	59	38	53	38	31	67	13
		с	49	64	35	46	48	42	60	35
2	25	+	23	23	38	37	14	31	18	11
		—	19	9	15	7	29	31	16	13
		с	21	16	27	23	21	31	11	12
3	12,5	+	14	9	16	19	29	0	12	23
		—	12	18	8	7	29	8	11	13
		с	13	14	11	13	29	4	11	18
4	6,2	+	5	0	15	0	0	8	12	0
		—	8	5	23	13	4	0	5	0
		с	6	2	19	6	2	4	9	0
5	3,1	+	2,4	0	0	0	0	0	5	0
		—	4,0	9	8	7	0	0	6	0
		с	3,3	4	4	3	0	0	6	0
6	1,6	+	1,9	0	0	6	0	8	0	0
		—	2,1	0	0	7	0	4	0	25
		с	2,1	0	0	6	0	0	0	12
7	0,8	+	1,0	0	0	0	0	0	0	0
		—	1,4	0	0	0	0	0	0	12
		с	1,3	0	0	0	0	0	0	6
8	0,4	+	0,7	0	0	0	0	0	0	0
		—	1,5	0	0	0	0	0	0	0
		с	1,1	0	0	0	0	0	0	0
>8	0,4	+	1,6	0	0	0	0	7	0	11
		—	6,0	0	8	6	0	22	5	12
		с	3,6	0	4	3	0	10	3	17
Теплое полугодие										
1	50	+	54	53	40	66	35	55	59	56
		—	47	47	25	30	61	55	50	31
		с	50	50	32	48	49	55	54	44
2	25	+	25	6	40	14	12	25	27	19
		—	26	30	50	25	17	20	32	25
		с	25	18	45	20	14	23	30	22
3	12,5	+	11	18	7	14	41	5	9	13
		—	11	6	0	35	6	15	3	25
		с	11	12	4	24	3	10	11	19
4	6,2	+	6,0	12	7	0	12	15	5	6
		—	7,3	5	6	10	0	0	5	13
		с	6,6	9	6	5	6	7	6	9
5	3,1	+	2,5	6	0	6	0	0	0	0
		—	4,6	12	19	0	6	0	0	0
		с	3,6	9	10	3	3	0	0	0

Длина серии (число лет)	МО	Знак	Средние	Курск	Тула	Сверд- ловск	Чита	Пенза	Ви юйск	Красно- ярск
6	1,6	+	1,3	6	6	0	0	0	0	0
		—	2,1	0	0	0	5	0	0	0
		с	1,7	3	3	0	3	0	0	0
7	0,8	+	0,7	0	0	0	0	0	0	0
		—	0,5	0	0	0	0	0	0	0
		с	0,6	0	0	0	0	0	0	0
8	0,4	+	0,1	0	0	0	0	0	0	0
		—	0,8	0	0	0	5	10	0	0
		с	0,5	0	0	0	2	5	0	0
> 8	0,4	+	0,1	0	0	0	0	0	0	6
		—	1,0	0	0	0	0	0	0	6
		с	0,6	0	0	0	0	0	0	6

длиннее 4 лет, но в ТП имеется небольшая доля серий длиной в 8 лет. Кроме того, в Чите в обоих полугодиях особенно высоки доли 3-летних серий. В Пензе в ХП очень высока доля серий длиной более 8 лет за счет понижения долей серий от 2 до 8 лет. Для Вилюйска в ТП характерно отсутствие серий длиннее 4 лет, а в ХП — пониженная доля 2-летних серий и небольшая доля серий длиннее 8 лет. Для Красноярска характерно полное отсутствие серий длиной в 4 и 5 лет в ХП и 4—8 лет в ТП при наличии серий длиннее 8 лет. Таким образом, по общему числу серий варьирование весьма велико.

Кроме того, сильно варьирует и соотношение положительных и отрицательных серий. Серии одного знака могут отсутствовать полностью, в то время как серии другого знака имеются. Примером таких соотношений являются в ХП 3-, 4- и 6-летние серии в Пензе, 4-летние в Чите, 5-летние в Курске и Туле и т. д.

В ТП таковы же 4-летние серии в Свердловске, Чите и Пензе, 5-летние в Туле, Свердловске и Чите и т. д.

В то же время в очень многих случаях значительно отличаются величины долей и от их средних значений, и от МО (например, в ХП 3-летние серии в Чите, 4-летние в Туле, 6-летние в Свердловске, 6- и 7-летние в Красноярске, в ТП 2-летние в Туле, 5-летние в Курске и Туле и т. д.). О существенных отличиях средних величин долей некоторых серий, в особенности длинных, от их МО мы уже говорили (серии длиннее 8 лет в ХП).

Для того чтобы охарактеризовать крайние отличия в возможном распределении годовых сумм осадков по сериям различной длины, были построены еще два графика, которые изображены на рис. 6. В левой части рисунка показано, какая доля приходится на годовые серии разной длины (% от их общей суммы). Данные взяты из табл. III приложения. На рисунке нанесена линия, соответствующая МО, и линия, соответствующая средним по всем 42 станциям величинам долей серий различной длины. Мы видим,

что эти линии легли довольно близко друг к другу. Однако отчетливо заметно все же, что средние величины долей серий малой длины (1—3 года) меньше, чем МО, а большей длины — превы-

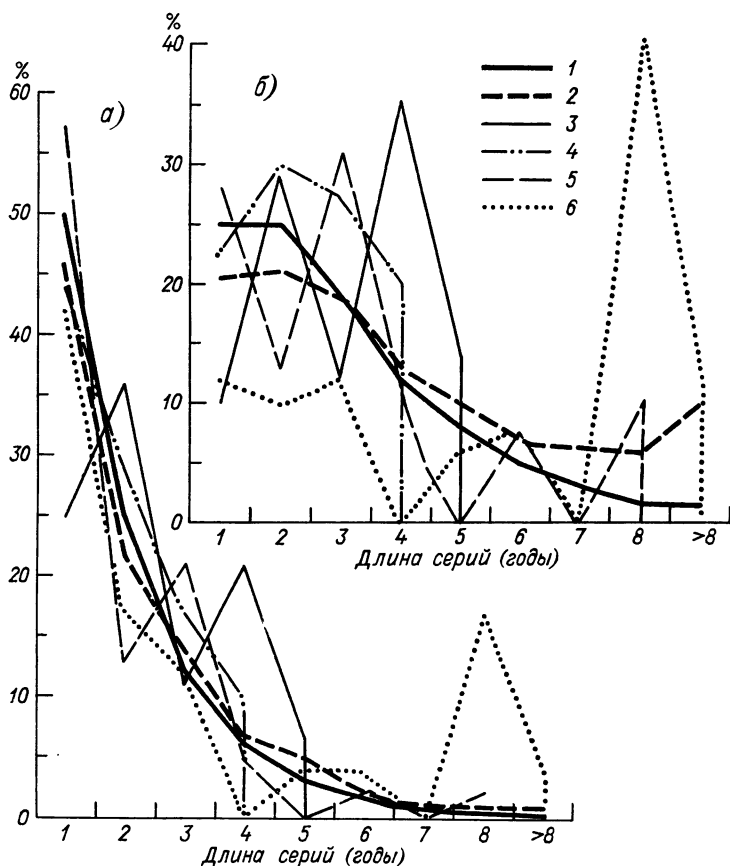


Рис. 6. Доли чисел серий отклонений обоих знаков различной длины в годовых рядах отклонений (а) и доли отклонений величин общей длительности серий (б) (% от их суммарной длины).

1 — математическое ожидание при биномиальном распределении, 2 — средние по 42 станциям, 3 — Тула, 4 — Свердловск, 5 — Чита, 6 — Пенза.

шают МО. Кроме того, на том же графике нанесены линии, относящиеся к Туле, Свердловску, Чите и Пензе. Эти линии весьма убедительно иллюстрируют резкую разницу в величинах долей серий различной длины отдельных станций.

В правой части того же рисунка изображены изменения общей длительности серий для тех же станций, их МО и их средняя величина. Резкие отличия данных отдельных конкретных станций от МО и общих средних величин здесь видны еще сильнее. Этот график в целом свидетельствует о том, что в то время как средние

доли серий разной длины близки к МО, в отдельных географических пунктах они сильно от него отличаются. При этом никаких закономерностей в варьировании величины долей не обнаруживается, они характеризуют особенности, присущие именно данному пункту. В этом отношении особенно показателен ход линий, относящихся к Туле, Чите и Пензе (правая часть рисунка).

На рис. 7 и 8 для шести станций кумулятивными кривыми показаны крайние пределы возможного (для исследованных 42 станций) варьирования числа серий различной длины и их общей длительности в каждом полугодии отдельно.

Из рис. 7 (верхняя часть) видно, что в ХП средние доли (в процентах от общей суммы) числа серий длиной в 1 год совпадают с МО. Для всех же остальных серий (от 2 лет и более) наблюдается не резкое, но все же заметное отклонение от МО в меньшую сторону, т. е. средние величины меньше МО.

Из числа рассматриваемых станций только Курск дал кривую, лежащую над кривой МО; это означает, что в Курске преобладают короткие серии. Кривые всех остальных станций лежат под кривой МО, что свидетельствует о повышенном количестве длинных серий.

В ТП (нижняя часть рисунка) кривая, относящаяся к средним, почти полностью совпадает с кривой, относящейся к МО. Кривые, относящиеся к отдельным станциям, тоже мало отклоняются от кривой МО.

Рисунок 8 еще резче подчеркивает — по суммарной длительности серий различной длины — различия между отдельными станциями. В ХП экстремные положения занимают кривые Курска и Красноярска. Они (как на рис. 7, так и на рис. 8) являются границами находящегося между ними поля, в пределах которого и происходит (для исследованных 42 станций) варьирование числа и суммарной длительности серий. При этом поле резко асимметрично по отношению к кривой средних величин и еще более асимметрично по отношению к кривой МО. Это указывает на наличие неслучайных причин, повышающих число длинных серий в ХП. В ТП все поле сильно сжато и расположено почти симметрично по отношению к кривым средних величин и МО. Однако и здесь для двух станций из числа изображенных (Пенза и Красноярск) имеет место существенное отклонение числа длинных серий. Верхняя граница поля здесь очерчена кривой Вилюйска.

Переходим к вопросу о соотношении между длиной серий и количеством осадков. Упомянутые выше материалы были обработаны таким образом, чтобы для каждой из 42 станций можно было найти средние за полугодия или за год отклонения от норм количеств осадков, выпадавших за эти периоды, а также за одну серию лет данной длины. Эти данные приведены в табл. VIII, IX и X приложения, а их обобщенные сведения даются в табл. 11.

Из соотношения максимумов и минимумов в табл. 11 видно, что варьирование полугодовых и годовых амплитуд отклонений за серию той или иной длины очень велико. Причиной является,

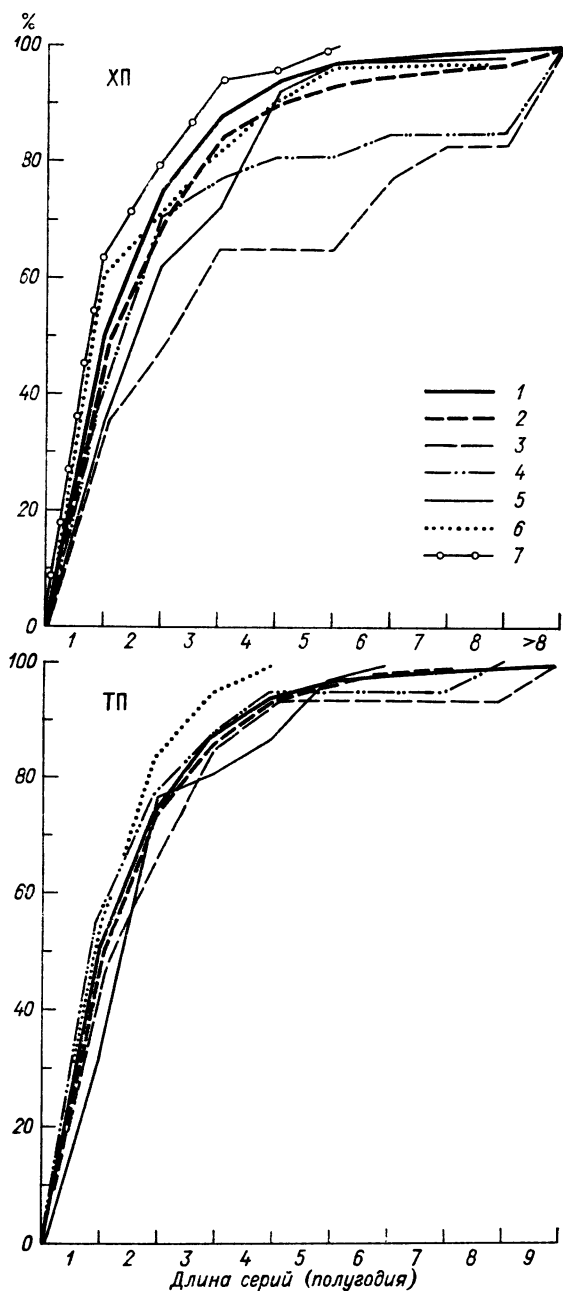


Рис. 7. Кумулятивные кривые долей чисел серий отклонений различной длины (% от их сумм).

1 — математическое ожидание при биномиальном распределении, 2 — средние по 42 станциям, 3 — Красноярск, 4 — Пенза, 5 — Тула, 6 — Вилюйск, 7 — Курск.

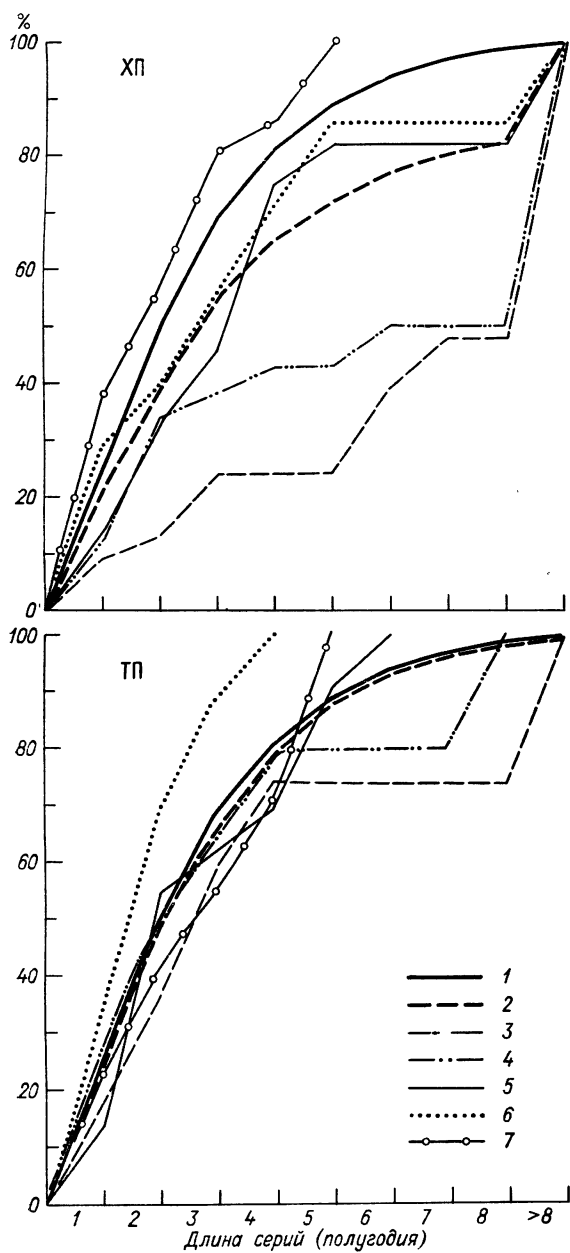


Рис. 8. Кумулятивные кривые долей серий отклонений от общей длительности серий.

Усл. обозначения см. рис. 7.

Таблица 11

Амплитуды отклонений (мм) в сериях разной длины и различных знаков (минимальные, максимальные и средние величины)

Длина серий (число лет)	Показатель	За холодное полугодие			За теплое полугодие			За год		
		За холодное полугодие			За теплое полугодие			За год		
		+	-	с	+	-	с	+	-	с
1	Минимум	9	0	9	17	15	22	18	23	21
	Максимум	104	92	79	183	151	167	193	142	166
	Среднее V%	35 69	29 58	32 56	56 53	49 43	54 44	65 53	59 38	62 40
2	Минимум	10	3	8	16	20	21	10	27	31
	Максимум	94	59	70	140	112	122	188	138	150
	Среднее V%	38 56	25 61	32 52	61 42	50 38	56 34	72 51	67 40	67 35
3	Минимум	4	5	4	21	18	18	22	18	23
	Максимум	104	58	68	138	151	136	145	223	158
	Среднее V%	41 60	26 60	29 57	73 49	55 50	62 46	74 43	75 48	74 35
4	Минимум	7	5	8	20	24	26	11	26	24
	Максимум	120	61	120	94	100	89	162	117	107
	Среднее V%	44 48	31 58	39 52	55 39	54 36	55 34	71 46	69 35	68 30
5	Минимум	10	9	8	11	15	18	23	23	23
	Максимум	70	60	70	82	157	157	194	230	155
	Среднее V%	27 58	35 55	33 55	54 35	50 56	52 48	75 53	76 59	76 46

Длина серий (число лет)	Показатель	За холодное полугодие			За теплое полугодие			За год		
		+	—	с	+	—	с	+	—	с
6	Минимум	12	19	12	27	23	23	30	41	38
	Максимум	123	144	123	133	83	133	117	92	104
	Среднее V%	49	39	42	66	51	57	78	65	70
7	Минимум	48	30	41	58	36	47	38	28	28
	Максимум	7	17	7	17	24	17	20	24	24
	Среднее V%	46	74	74	79	53	79	121	120	121
8	Минимум	57	40	54	42	39	39	79	72	73
	Максимум	38	50	68	60	37	56	66	41	45
	Среднее V%	30	9	9	30	44	40	41	42	41
>8	Минимум	76	56	76	73	79	79	179	109	179
	Максимум	41	41	35	57	63	57	122	70	91
	Среднее V%	50	46	46	33	22	26	48	36	44
Среднее взвешен- ное для всех се- рий	Минимум	18	8	8	68	44	44	60	35	35
	Максимум	86	85	133	68	102	113	100	117	149
	Среднее V%	58	40	45	68	60	68	85	75	80
	Минимум	18	33	42	0	32	37	21	31	41
	Максимум	9	8	8	26	23	25	28	24	26
	Среднее V%	86	55	67	119	77	94	114	100	106
	Минимум	40	31	32	59	51	54	70	67	69
	Максимум	50	45	46	34	33	32	32	31	30
	Среднее V%									

очевидно, то, что использованные нами станции относятся к весьма различным климатическим условиям и их годовые и полугодовые нормы осадков различаются очень сильно (см. табл. 2). В то же время, как можно видеть из табл. 11, варьирование средних по всем станциям амплитуд отклонений, относящихся к сериям различной длины, в пределах каждого периода (ХП, ТП и года) в общем невелико. Это варьирование средних амплитуд укладывается в следующие пределы:

Холодное полугодие

+серии	от 27 до 53, среднее 40 мм
—серии	от 25 до 59, среднее 31 мм
серии обоих знаков	от 31 до 48, среднее 32 мм

Теплое полугодие

+серии	от 42 до 73, среднее 59 мм
—серии	от 39 до 60, среднее 51 мм
серии обоих знаков	от 39 до 62, среднее 54 мм

Год

+серии	от 65 до 122, среднее 70 мм
—серии	от 59 до 76, среднее 67 мм
серии обоих знаков	от 62 до 91, среднее 69 мм

Заслуживает внимания тот факт, что коэффициенты вариации, приведенные в табл. 11, какой-либо отчетливой зависимости от длины серий не имеют.

В то же время, как видно из рис. 9, величины отклонений обнаруживают тесную связь с нормами осадков. Эта связь характеризуется следующими уравнениями регрессии, где x означает норму осадков, y — среднюю величину отклонения за полугодие или год, z — за среднюю серию, R — коэффициент корреляции:

в холодном полугодии

$$\begin{aligned} y &= 0,196x + 6,1, & R &= 0,91 \pm 0,03; \\ z &= 0,437x + 20,3, & R &= 0,79 \pm 0,06; \end{aligned}$$

в теплом полугодии

$$\begin{aligned} y &= 0,129x + 20,6, & R &= 0,89 \pm 0,03; \\ z &= 0,302x + 34,8, & R &= 0,88 \pm 0,03; \end{aligned}$$

в году

$$\begin{aligned} y &= 0,110x + 23,3, & R &= 0,87 \pm 0,04; \\ z &= 0,274x + 49,0, & R &= 0,73 \pm 0,07. \end{aligned}$$

Теперь мы переходим к общей характеристике группировок осадков в серии по показателям, приведенным в табл. XI, XII, XIII. Эти показатели обобщены в табл. 12.

В графах 4, 5, 6 табл. 12 дается общее число серий. Количества положительных и отрицательных серий, как и следовало ожидать, одинаковы. Поэтому об их варьировании можно судить по их

Таблица 12

Общая характеристика серий

Показатель	Длительность периода наблюде- ний (число лет)	Норма осадков (мм)			Общее число серий			Общая длительность всех серий (число лет)			Средняя длина всех серий (число лет)			Средний за полугодие или за год размер отклонений (мм)					Средний размер отклонений за среднюю серию (мм)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				

Холодное полугодие

Минимум	56	29	5	5	10	21	30	56	1,4	1,9	1,7	9	8	8	17	18	18
Максимум	80	282	22	22	44	42	51	80	3,7	5,7	4,6	86	55	67	155	149	147
Среднее	76	142	16	16	32	34	42	76	2,1	2,6	2,4	40	31	32	80	75	77
V%	7	50	20	21	20	14	10	7	27	42	33	40	45	46	63	63	63

Теплое полугодие

Минимум	56	54	14	13	27	24	27	56	1,5	1,7	1,7	26	23	25	48	48	48
Максимум	80	575	22	23	45	46	48	80	2,8	2,9	2,5	119	77	94	191	192	191
Среднее	76	264	18	19	37	36	40	76	1,9	2,2	2,0	59	51	54	115	109	112
V%	7	40	12	13	12	10	11	8	15	12	10	34	33	32	33	32	32

Годовой период

Минимум	56	124	10	11	20	26	30	56	1,7	1,5	1,6	28	24	26	63	61	62
Максимум	80	728	22	22	44	48	48	80	3,3	4,0	3,3	114	100	106	291	287	287
Среднее	76	406	17	17	34	37	39	76	2,2	2,4	2,3	70	67	69	158	156	157
V%	7	35	17	17	17	11	10	8	13	23	16	32	31	30	33	32	32

суммам. Это варьирование велико в холодном полугодии (от 10 до 44), значительно меньше в теплом (от 27 до 45) и снова несколько возрастает в годовом периоде (от 20 до 44). Средние величины в обоих полугодиях и в году очень близки (соответственно 32, 37 и 34), будучи численно несколько меньше половины средней длины ряда (76 лет) или равняясь ей.

В следующих трех графах приведены средние величины общей длительности серий. Эти величины варьируют значительно меньше, чем все остальные, что объясняется взаимной компенсацией уменьшения варьирования и увеличения длины серий. Их максимальные и минимальные значения — как положительные, так и отрицательные в разных полугодиях и в году — отличаются незначительно. Средние отрицательные величины при этом несколько превышают средние положительные, в особенности в холодном полугодии.

Далее идут три графы (10, 11, 12), в которых приведены средние длины серий. Эти величины в каждом полугодии и в году варьируют в общем довольно мало, колеблясь около средней величины, несколько превосходящей свое МО, равное 2 годам. В то же время разница средних длин серий на отдельных станциях значительно больше. В холодном полугодии средняя длина серий варьирует наиболее сильно. Пределами колебаний являются 1,4 и 5,7 лет при средних 2,1—2,6.

Однако просмотр табл. XI, XII, XIII приложения показывает, что за пределы 3 лет средняя длина серий выходит только на очень немногих станциях. Средняя длина и положительных, и отрицательных серий в ХП превышает 3,0 года на двух станциях — Сургут и Красноярск. Отрицательные серии незначительно (до 3,1 года) превышают 3,0 года в Туле, Вологде, Свердловске, Якутске и Чердыни и только в Пензе это превышение достигает 3,9 года, а в Красноярске 5,7 года. В теплом полугодии варьирование средней длины серий находится в пределах 1,5—2,9 года. В годовом периоде такими пределами являются 1,5—4,0 года,

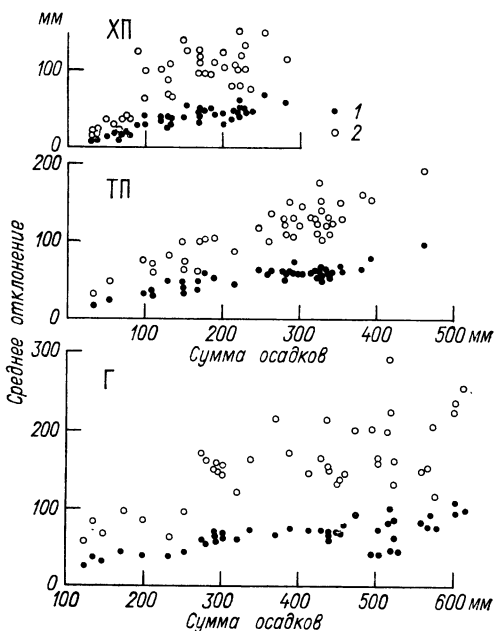


Рис. 9. Зависимость средних отклонений количества осадков за среднее полугодие или год (1) и за среднюю серию (2) от средних многолетних сумм осадков за те же периоды.

причем за пределы 3 лет средняя длина серий выходит только в Пензе, Красноярске и Чердыни. При этом в большинстве случаев в обоих полугодиях и в году средние длины отрицательных серий несколько превосходят среднюю длину положительных серий, хотя в отдельных случаях наблюдается обратное соотношение.

В графах 13, 14, 15 табл. 12 приведен средний размер отклонений за полугодие или за год, выраженный в миллиметрах водного слоя. В соответствии с тем, что сказано о средней длине серий в положительных сериях их средний размер несколько превышает средний размер в отрицательных сериях — как в отдельных полугодиях, так и в году. Общее варьирование этих размеров очень велико вследствие различий в климатических условиях отдельных станций. Сопоставляя размеры серий с полугодовыми и годовыми нормами, приведенными в графе 3 табл. 12, мы видим, что общая средняя амплитуда колебаний (т. е. сумма средних положительных и отрицательных отклонений) по сравнению с этими нормами довольно велика. По средним величинам она составляет 50% нормы для холодного полугодия, свыше 40% для теплого и около 35% для годового периода.

В трех последних графах табл. 12 приведен средний размер средних серий по расчету за всю длину серии. Он, естественно, от знака не зависит, так как различия в длине серии компенсируются обратными различиями в размере серий и эти величины на каждой данной станции очень близки между собой.

Обратимся теперь к вопросу: в каком соотношении находятся результаты разложения на серии отклонений сумм осадков с установленной выше методом скользящих средних трехлетних сумм цикличностью в величинах полугодовых и годовых сумм осадков? Напомним, что для подавляющего большинства станций была обнаружена средняя длина цикла, близкая к 6 годам, для 5 станций — от 7 до 9 лет и только на трех станциях из 42 цикличность обнаружена не была.

Для ответа на этот вопрос возвратимся к рис. 1—4 и сопоставим ход скользящих кривых с чередованием серий. Это сопоставление показывает, что как положительные, так и отрицательные пики на кривой скользящих средних в подавляющем большинстве случаев совпадают с сериями тех же знаков длиной от 2 лет и более, причем каждой серии соответствует, как правило, один пик. Эта закономерность наблюдается на всех графиках, но особенно отчетливо она видна на рис. 1 б, 2 а и 4, относящихся к Ташкенту, Нерчинску и Чите. В некоторых редких случаях пик может соответствовать серии из 1 года, если размер ее особенно большой. Такие случаи часто встречаются на рис. 1 б, относящемуся к Ташкенту, в годовом ряду и в ряду за ХП.

На рис. 2 б и 3 а, относящихся к Перми и Пензе, исключительно отчетливо видно, что расстояния между пиками (по которым мы судим о длине циклов) сопряжены с длинами серий, которым соответствуют пики.

Указанное преобладающее соответствие пиков на кривых сериям того же знака длиной от 2 лет и выше послужило основанием для сопоставления числа пиков обоих знаков с числом серий указанной длины и их суммарной продолжительностью по всем 42 станциям. Такое сопоставление для годового периода сделано в табл. 13. Из нее мы видим, что число пиков лишь незначительно превышает число серий (средние величины равны соответственно 21,6 и 18,2).

В соответствии с этим расстояния между пиками (т. е. средние величины полуциклов, поскольку учитывались пики обоих знаков) и средние длины серий оказались почти одинаковыми (3,2 и 3,3 года). Удвоение последних величин дает 6,4 и 6,6 года, т. е. величины, очень близкие между собой и одновременно близкие к средней величине длины цикла, которую мы нашли в табл. 4 (6,5 года). Это дает нам право предположить, что в 6,5-летней цикличности, помимо других причин, существенную роль может играть и случайное чередование группировок лет с положительными и отрицательными отклонениями от нормы. При этом более длинным циклам (при определении их с помощью кривых скользящих 3-летних сумм) соответствуют, как это особенно хорошо видно на рис. 2 б и 3 а, и более длинные серии.

В последней строке табл. 13 приводятся МО числа серий с длиной от 2 лет и более, суммарной длительности этих серий и средней длины таких серий. Эти величины МО рассчитаны следующим образом. В 100-летнем ряду при МО средней длины серии, равном 2,0 года, общее число серий равно 50. Из них число серий длиной в 1 год составляет 25. Таково же и число серий, длина которых превышает 1 год ($50 - 25 = 25$). Общая же длительность этих серий равна $100 - 25 = 75$ лет. Таким образом, общая длина всех серий длиной от 2 лет и более равна $75 : 25 = 3$ годам. Удваивая эти цифры, получаем 6 лет, т. е. величину, очень близкую к найденной (6,5 лет).

Таким образом, результаты, полученные с помощью 3-летних скользящих кривых и разложенные на серии, как будто удовлетворительно согласуются. Однако в обоих случаях допущена условность: 3-летнее осреднение и исключение 1-летних серий, обладающих, как мы видели, наибольшей встречаемостью. Поэтому удовлетвориться изложенным выводом было бы неправильно.

Как мы уже знаем, многолетние ряды полугодовых и годовых сумм осадков группируются в чередующиеся серии различной длины с противоположными знаками отклонений от соответствующих норм. Это чередование позволяет выдвинуть представление об элементарных циклах (ЭЦ), каждый из которых представляет собой пару смежных серий с различными знаками разной или одинаковой длины. Длина каждого ЭЦ равна сумме длин слагающих его серий. ЭЦ одной и той же длины могут возникать из сочетаний серий различной длины и иметь поэтому различные величины МО.

Таблица 13

Сопоставление числа пиков обоих знаков на кривых скользящих средних 3-летних сумм и средних межпиковых расстояний с числом серий обоих знаков, имеющих длину от 2 лет и более. Годовой период

Станция	Число пиков обоих знаков	Среднее расстояние между пиками (число лет)	Серии длиной от 2 лет и более		
			число серий	общая длитель- ность	средняя длина лет
1. Кишинев	25	2,7	22	64	2,9
2. Киев	27	2,8	21	65	3,1
3. Тула	20	3,3	21	63	3,0
4. Курск	22	2,8	18	48	2,7
5. Земетчино	21	3,8	15	61	4,1
6. Харьков	24	2,9	19	58	3,0
7. Вологда	25	3,0	18	62	3,4
8. Пермь	21	3,5	16	60	3,7
9. Пенза	14	4,8	14	70	5,0
10. Казань	22	3,5	22	62	2,8
11. Ворошиловград	22	3,1	17	61	3,6
12. Волгоград	22	3,4	20	63	3,1
13. Костычевская	22	3,4	19	66	3,5
14. Боровое	24	2,6	15	52	3,5
15. Эльтон	14	3,0	14	50	3,6
16. Астрахань	22	3,3	20	63	3,1
17. Свердловск	23	2,9	23	61	2,7
18. Уральск	21	3,7	18	70	3,9
19. Тобольск	23	3,0	20	62	3,1
20. Сургут	28	2,5	23	72	3,1
21. Томск	20	3,3	20	62	3,1
22. Красноярск	19	3,7	14	72	5,1
23. Иркутск	24	3,0	20	60	3,0
24. Улан-Удэ	16	3,7	14	60	4,3
25. Акмолинск	24	3,0	17	62	3,6
26. Благовещенск	20	2,8	16	50	3,1
27. Николаевск-на-Амуре	Не отчетливо		16	60	3,7
28. Казалинск	23	3,2	22	66	3,0
29. Ташкент	26	3,0	19	63	3,3
30. Джамбул	19	3,2	19	59	3,1
31. Нерчинск	21	3,2	19	57	3,0
32. Чита	22	3,3	17	56	3,3
33. Кяхта	14	3,6	15	59	3,9
34. Виллюйск	Не отчетливо		21	50	2,4
35. Якутск	24	3,3	18	62	3,4
36. Верхоянск	18	3,5	21	59	2,8
37. Чердынь	21	3,3	15	69	4,6
38. Шенкурск	24	3,0	18	71	4,0
39. Вильнюс	Не ясно		17	54	3,2
40. Тарту	24	3,2	22	64	2,9
41. Василевичи	26	3,1	15	65	4,3
42. Байрам-Али	24	3,1	18	63	3,5
Средние	21,6	3,2	18,2	60,5	3,3
МО			250/0	750/0	3,0

В табл. 14 приводятся возможные сочетания серий в ЭЦ и расчет МО элементарных циклов различной длины, соответствующих гипотезе биномиального распределения. В этих расчетах учтены не только комбинации серий различной длины, но и порядок их чередования. Например, ЭЦ длиной в 3 года может состоять из серий длиной в 1 и 2 года двояко: (1+2) и (2+1). Поэтому сочетания серий различной длины взяты в удвоенном количестве. Расчет доведен до ЭЦ длиной в 10 лет. Превышение этой длины бывает очень редко.

Взвешивая с помощью найденных величин МО доли циклов различной длины, мы находим, что МО длины одного ЭЦ равно 4 годам. Очевидно, что минимальная длина ЭЦ равна 2 годам.

В табл. 14 вычислены также МО участия ЭЦ различной длины в общей длительности ряда.

Из данных табл. 14 мы видим, что величины МО числа ЭЦ длиной в 2 и 3 года одинаковы и в сумме составляют половину всего возможного числа ЭЦ, а в совокупности с ЭЦ длиной в 4 года — $\frac{2}{3}$ того же числа. Что же касается общей длительности ряда, то ЭЦ длиной в 3 и 4 года обладают одинаковыми и наибольшими величинами МО. Совокупность ЭЦ длиной от 2 до 6 лет охватывает почти $\frac{4}{5}$ общей длительности ряда.

На основе исходных рядов наблюдаемых отклонений от норм за ХП, ТП и Г всех 42 станций были составлены хронологические ряды серий, а по ним — хронологические ряды ЭЦ. В каждом таком ряду было вычислено число ЭЦ различной длины. Обобщенные результаты этого расчета приведены в табл. 15.

Из этих данных видно, что число ЭЦ убывает, как это и следовало ожидать, с возрастанием их длины гораздо медленнее, чем число серий (см. табл. 6). Минимальные, максимальные и средние величины, характеризующие число циклов, мало отличаются друг от друга при сравнении данных ХП, ТП и Г. Однако и здесь обнаруживается знакомая уже нам тенденция — число коротких ЭЦ несколько меньше, а длинных (начиная от шестилетних) — несколько больше, чем МО их численности, в особенности число ЭЦ с длиной свыше 10 лет.

Эта тенденция находит свое выражение и в том, что средняя длина ЭЦ во всех случаях несколько превышает соответствующую величину МО (4,0). Однако здесь эта тенденция выражена менее резко, чем в отношении серий, что, вероятно, объясняется взаимной компенсацией коротких и длинных серий при их сочетании в ЭЦ. Иными словами, ряды ЭЦ лучше удовлетворяют гипотезе случайности распределения, нежели ряды серий.

Для иллюстрации крайних случаев распределения числа ЭЦ мы приводим табл. 16, в которой рассматриваем ЭЦ для четырех наиболее резко отличающихся друг от друга и от МО станций. Для Курска характерно наиболее значительное превышение коротких ЭЦ в ХП и в Г над их МО. Для Красноярска и Чердыни характерно обратное — повышенное число длинных ЭЦ, в том числе свыше 10 лет, особенно в ХП и в Г. В Чите в ХП и ТП

Таблица 14

Сочетания серий в элементарные циклы различной длины, расчет МО появления этих циклов, расчет МО средней длины элементарного цикла и МО долей участия элементарных циклов различной длины в суммарной длительности ряда

Длина цикла (таб. обозн.)	Возможные сочетания серий в элементарные циклы	Расчет МО числа элементарных циклов (%)	Сумма произведений	В % от общей суммы произведений	Произведение цикла на МО его появления (доли единицы)	МО долей участия циклов различной длины в суммарной длительности ряда (%)
2	(1+1)	50×50	2 500	25	0,50	13
3	2(1+2)	$2(50 \times 25)$	2 500	25	0,75	19
4	2(1+3), (2+2)	$2(50 \times 12,5) + (25)^2$	1 875	18,75	0,75	19
5	2(1+4), 2(2+3)	$2(50 \times 6,25) + 2(25 \times 12,5)$	1 250	12,50	0,625	15
6	2(1+5), 2(2+4), (3+3)	$2(50 \times 3,12) + 2(25 \times 6,25) + 2(12,5)^2$	780	7,80	0,468	12
7	2(1+6), 2(2+5), 2(3+4)	$2(50 \times 1,56) + 2(25 \times 3,12) + 2(12,5 \times 6,25)$	468	4,68	0,328	8
8	2(1+7), 2(2+6), 2(3+5), (4+4)	$2(50 \times 0,78) + 2(25 \times 1,56) + 2(12,5 \times 3,12) + (6,25)^2$	273	2,73	0,218	5
9	2(1+8), 2(2+7), 2(3+6), 2(4+5)	$2(50 \times 0,39) + 2(25 \times 0,78) + 2(12,5 \times 1,56) + 2(6,25 \times 3,12)$	156	1,56	0,140	4
10	2(1+9), 2(2+8), 2(3+7), 2(4+6), (5+5)	$2(50 \times 0,2) + 2(25 \times 0,39) + 2(12,5 \times 0,78) + 2(6,25 \times 1,56) + (3,12)^2$	90	0,90	0,090	2
>10	По разности		108	1,08	0,131	3
Суммы			10 000	100,00	4,000	100

Таблица 15

Характеристика элементарных циклов по данным 42 станций

Показатель	Число элементарных циклов различной длины										сумма	Длина ЭЦ (средняя взвешенная)
	длина цикла (число лет)											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10		
Холодное полугодие												
Минимум	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	3,4
Максимум	15	14	12	10	6	5	3	3	4	4	42	8,6
Среднее	7,5	7,0	5,1	4,0	2,8	1,9	2,0	1,5	1,7	2,4	32	4,6
% от суммы	24	22	16	12	6	5	4	2	2	5	100	—
Теплое полугодие												
Минимум	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	26	3,1
Максимум	17	18	12	10	7	7	6	3	2	3	44	5,5
Среднее	8,4	8,6	7,0	4,7	3,0	2,5	1,8	1,4	1,2	1,8	36	4,2
% от суммы	23	24	20	13	7	6	3	1	1	2	100	—
Годовой период												
Минимум	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	19	3,4
Максимум	19	16	12	9	7	6	4	3	4	5	44	6,1
Среднее	7,4	6,7	6,2	4,8	3,4	2,3	1,9	1,6	1,5	2,7	33	4,5
% от суммы	22	20	19	14	10	5	4	3	1	2	100	—
МО	25,0	25,0	18,7	12,5	7,8	4,7	2,7	1,6	0,9	1,1	100	4,0

Таблица 16

Доли чисел элементарных циклов различной длины (% от их суммы)

Станция	Период	Общее число ЭЦ	Средняя длина ЭЦ лет	Длина элементарных циклов (число лет)										Сумма
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
Курск	ХП	42	3,3	38	19	28	3	12	0	0	0	0	0	100
	ТП	32	4,1	19	25	19	16	9	9	0	0	3	0	100
	Г	42	3,4	38	19	19	17	7	0	0	0	0	0	100
Красноярск	ХП	16	8,6	13	6	13	0	6	25	0	6	13	18	100
	ТП	31	4,4	19	27	19	10	16	0	3	0	3	3	100
	Г	26	5,7	12	19	12	19	7	5	7	7	0	12	100
Чита	ХП	41	3,8	25	17	29	20	7	2	0	0	0	0	100
	ТП	34	4,6	24	9	28	21	0	3	3	9	0	3	100
	Г	44	3,5	43	18	23	7	0	0	2	5	0	2	100
Чердынь	ХП	27	5,4	19	22	22	0	4	7	0	0	15	11	100
	ТП	29	5,4	10	17	22	17	10	14	0	3	0	7	100
	Г	23	6,1	22	18	4	13	13	0	0	4	4	22	100
МО		39	4,0	25	25	18,7	12,5	7,8	4,7	2,7	1,6	0,9	1,1	100

имеет место значительное превышение по сравнению с МО доли ЭЦ длиной в 4 года и понижение доли ЭЦ длиной в 3 года. В годовом периоде имеет место резкое превышение доли 2-летних ЭЦ за счет всех остальных.

Подбирать станцию, на которой во все три периода (ХП, ТП и Г) распределение долей ЭЦ были бы близко к МО, оказалось невозможно, настолько сильно варьируют эти доли, в особенности коротких (2—5 лет) элементарных циклов.

Сказанное следует дополнить еще одним фактом, который обнаружился при просмотре исходных хронологических рядов. Он заключается в том, что в некоторых рядах наблюдаются более или менее длинные непрерывные отрезки следующих друг за другом коротких (2 и 3 года) ЭЦ. Таковы, например, в холодном полугодии 11-летний в Ворошиловграде, 13-летний в Астрахани, 19-летний в Акмолинске, 13-летний в Вилуйске; в теплом полугодии это 11-летний в Туле, 21-летний в Казани, 11-летний в Ворошиловграде.

В итоге, как показывает анализ табл. XIV (приложения) и табл. 15, хотя число ЭЦ убывает с увеличением их длины, но ЭЦ длиной в 2, 3, 4 и 5 лет очень часто меняются местами и в сумме составляют около $\frac{4}{5}$ всего числа ЭЦ.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕСЯЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ ТЕПЛОГО ПОЛУГОДИЯ

Описанными выше методами была исследована многолетняя изменчивость месячных сумм осадков в теплом полугодии (IV—IX) по данным 10 станций, для которых в табл. 17 приведены средние месячные суммы за весь период наблюдений и их коэффициенты вариации.

Ряды месячных сумм были испытаны на случайность методами средней и наибольшей длины серий и общего числа серий. Уровень значимости был принят 0,05. Результаты испытания приведены в табл. 18. Из этих данных видно, что для подавляющего большинства рядов может быть допущена гипотеза об их случайности. Встречающиеся в отдельных немногих случаях отклонения от доверительных границ ничтожны. Исключением является Ташкент, где в летние месяцы наблюдаются значительные отклонения как по критерию средней длины серий, так и по общему числу серий. Эти отклонения объясняются, вероятно, весьма малыми абсолютными месячными суммами осадков.

Повышенное число выходящих за пределы доверительной области серий с наибольшей длиной наблюдается в Нерчинске во все месяцы, кроме июня и августа. В этом случае гипотеза о случайном распределении должна быть отвергнута.

Ряды месячных сумм были подвергнуты анализу методом построения кривых скользящих трехлетних средних сумм. И в этом случае кривые оказались имеющими неправильно-синусоидальную

Таблица 17

Средние месячные суммы осадков (мм) за весь период наблюдений
на 10 метеостанциях и их коэффициенты вариации V

Станция	Число лет наблюдений	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
		мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
1. Кишинев	80	35	61	48	56	66	53	61	78	46	64	33	71
4. Курск	75	39	52	56	59	68	53	78	59	60	50	44	82
5. Земетчино	80	29	63	44	57	55	60	62	55	54	66	47	53
9. Пенза	80	32	55	50	58	56	54	63	51	54	62	47	55
10. Казань	80	29	78	38	60	53	52	59	57	56	61	45	50
29. Ташкент	80	57	54	32	67	12	121	4	192	2	255	3	184
31. Нерчинск	80	10	88	21	71	40	58	85	44	73	48	38	64
37. Чердынь	80	28	60	49	40	55	50	68	45	67	47	67	43
38. Шенкурск	80	31	62	42	51	61	45	68	51	63	55	61	47
41. Василевичи	80	45	55	55	47	73	43	87	48	71	45	51	50

Таблица 18

Случаи несоответствия рядов наблюдаемых месячных сумм
критериям случайности

Станция	Критерий: средняя длина серии I Доверительная область: $1,6 < I < 2,6$	Критерий: наибольшая длина серии K Доверительная область: $K \leq 9,6$	Критерий: общее число серии N Доверительная область: $N \geq 33$
1. Кишинев	VII: -4,5; с 3,2	VII: 10	V: 31; VII: 25
4. Курск	V: +1,5; IX: с 3,0	Нет	VII: 32
5. Земетчино	VI: -2,8	VI: 11; VII: 11	VI: 32
9. Пенза	VII: -3,2; с 2,7	Нет	VII: 31
10. Казань	IV: +1,5; VI: +1,5; IX: -2,8	Нет	Нет
29. Ташкент	VI: +1,4; VII: +1,4; VIII: +1,1 VIII: с 2,7; IX: -1,5; +4,0; с 3,0	Нет	VII: 28; VIII: 28; IX: 27
31. Нерчинск	IV: +1,2; -3,3	IV: 12; IV: 14; V: 14; VII: 11; IX: 14	VIII: 32
37. Чердынь	Нет	Нет	Нет
38. Шенкурск	Нет	V: 10; VI: 10	Нет
41. Василевичи	IV: -2,9	V: 11; IX: 11	V: 31; VII: 32

Примечание. Римскими цифрами обозначены месяцы; знаки +, - и «с» — соответственно положительные и отрицательные серии и их совокупности; арабские цифры — критерияльные величины, выходящие за пределы доверительных областей.

форму с четко выраженными по большей части положительными и отрицательными (по отношению к норме) пиками.

Анализ кривых показал, что интервалы между пиками одного знака (т. е. длины элементарных циклов) варьируют во все месяцы и по всем станциям от 4 до 15 лет, причем верхний предел редко превышает 11 лет. Средние же месячные интервалы варьируют в очень узких пределах: от 5,3 до 8,8, по большей же части от 6,0 до 8,0.

Имеется тенденция к уменьшению средних величин интервалов от 7,2 в апреле к 6,3 в июле и к обратному возрастанию до 7,4 в сентябре. Общая средняя величина интервалов равна 7,0, что весьма близко к найденной для полугодовых и годовых периодов (см. табл. 4).

Ряды месячных сумм были разложены на серии. В табл. 19 приведено число станций с различными предельными длинами серий. Из этих данных видно, что предельное число положительных серий по большей части лежит в пределах 3—6 лет, а отрицательных — в пределах 4—7 лет. В ТП в целом (см. табл. 6) соответствующие числа равны 4—6 и 5—8 годам. Серии длиннее 7 лет встречаются единично. Максимальная длина достигает 14 лет. Такие длинные серии встречаются трижды в Нерчинске — в апреле, мае и в сентябре.

В табл. 20 сведены основные характеристики серий — по отдельным станциям и отдельным месяцам. При сравнении между собой как данных станций, так и месяцев обнаруживается, что показатели изменяются незначительно. Отметим, что средняя длина одной положительной серии (1,9) несколько меньше, а отрицательной (2,4) — больше МО этих величин (2,0). Аналогичное соотношение мы видим в ТП (см. табл. 12), в то время как в ХП и в году этот параметр превышает МО при обоих знаках серий.

Можно обнаружить заметную связь между средними величинами отклонений за один месяц и за одну среднюю серию, с одной стороны, и месячной нормой осадков — с другой. С увеличением нормы возрастают и средние отклонения. Эти зависимости представлены на рис. 10, построенном по 60 точкам для каждой из двух зависимостей (10 станций по 6 месяцев). Из рисунка видно, что, в отличие от соответствующих связей для ХП и ТП (см. рис. 9), здесь наблюдается зависимость, близкая к линейной, которая выражается уравнениями регрессии:

$$y_1 = 0,91x \text{ и } y_2 = 0,44x,$$

где y_1 и y_2 — соответственно отклонения за среднюю серию и за средний месяц, а x — месячная норма осадков. Таким образом, первая из средних величин названных отклонений почти равна норме, а вторая близка к половине этой величины.

Следует, однако, отметить, что при малых нормах осадков ($x < 10$ мм) связь между y_1 и x отклоняется от указанного уравнения и y_1 превышает x . Аналогичное явление имеет место и на рассмотренном выше рис. 9 — величины отклонений и за полугодие,

Таблица 19
Число станций с предельной длиной серий, не превышающей
определенной величины

Месяц	Знак серии	Предельная длина серии (число лет)														Суммы
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Апрель	+ -	0	0	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Май	-	0	0	0	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	1	10
	+	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	-	0	0	0	1	5	2	0	0	1	1	0	0	0	1	10
Июнь	+	0	0	2	2	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	10
	-	0	0	0	1	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	10
	+	0	0	0	1	3	1	0	2	2	1	0	0	0	0	10
Июль	+	0	0	1	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	10
	-	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	+	0	0	0	0	2	2	3	0	0	2	0	0	0	0	10
Август	+	0	1	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	10
	-	0	0	0	1	2	4	2	0	1	0	0	0	0	0	10
	+	0	0	0	0	2	2	3	0	1	0	0	0	0	0	10
Сентябрь	+	0	0	0	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10
	-	0	0	2	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	10
	+	0	0	0	1	1	4	1	0	0	1	0	0	0	1	10
Сумма	+	0	1	11	13	19	9	5	1	1	0	0	0	0	0	60
	-	0	0	0	8	16	10	3	3	3	5	0	0	0	3	60
	+	0	0	0	3	12	14	3	4	4	5	0	0	0	3	60
% от суммы	+	0	2	18	22	31	15	8	2	2	0	0	0	0	0	100
	-	0	0	0	13	27	15	5	5	5	8	0	0	0	5	100
	+	0	0	0	5	20	23	5	7	7	8	0	0	0	5	100

Таблица 20

Общая характеристика месячных серий за теплое полугодие по средним для отдельных станций и отдельных месяцев

Станция или месяц	Месячная норма осадков (мм)	Среднее число серий			Средняя длина серий (число лет)			Среднее отклонение				
		+		с	+	-	с	за одну среднюю серию			за один месяц	
		+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-

По станциям												
1. Кишинев	48	18	17	35	1,8	2,6	2,2	56	56	28	21	24
4. Курск	58	19	19	38	1,7	2,2	2,0	52	50	30	22	25
5. Земетчино	48	20	20	40	1,9	2,3	2,1	47	48	25	21	23
9. Пенза	50	18	19	37	2,0	2,4	2,2	48	47	25	20	22
10. Казань	47	20	21	41	1,7	2,3	2,0	41	42	24	18	21
29. Ташкент	18	17	18	35	1,4	3,2	2,4	23	21	15	19	11
31. Нерчинск	38	18	19	37	1,7	2,5	2,1	40	40	22	18	19
37. Чердынь	56	19	19	38	1,9	2,2	2,1	42	41	22	19	21
38. Шенкурск	54	19	19	38	2,0	2,2	2,1	46	46	22	21	22
41. Василевичи	64	18	18	36	1,9	2,5	2,2	53	52	27	21	24
Среднее	48	18	19	37	1,9	2,4	2,1	45	45	24	20	21

По месяцам												
Апрель, мм	33	20	20	40	1,7	2,3	2,0	30	30	18	14	16
1%	34	Не определялся			1,9	2,3	2,1	28	25	28	29	27
Май, мм	43	18	18	36	1,9	2,3	2,1	41	40	22	17	19
1%	24	Не определялся			1,8	2,1	2,0	23	22	27	23	23
Июнь, мм	54	19	20	39	1,8	2,1	2,0	46	46	17	19	18
1%	32	Не определялся			1,9	2,9	2,4	29	30	22	27	25
Июль, мм	64	16	17	33	1,9	2,9	2,4	63	63	33	23	26
1%	36	Не определялся			1,8	2,3	2,1	37	38	37	35	33
Август, мм	55	19	20	39	1,8	2,3	2,1	48	48	27	22	32
1%	37	Не определялся			1,8	2,6	2,2	33	32	30	33	32
Сентябрь, мм	44	18	18	36	1,8	2,6	2,2	39	39	21	16	18
1%	40	Не определялся						25	27	31	34	30

и за среднюю серию при малых x «запаздывают» в своем приближении к нулю.

Были вычислены также доли серий различной длины (% от их сумм) и сопоставлены с их МО, соответствующими биномиальному распределению (табл. 21). Из этих данных видно, что средние по отдельным станциям и отдельным месяцам довольно мало отклоняются от соответствующих величин МО. Наибольшие отклонения средних, хотя и незначительные по величине, имеют место для

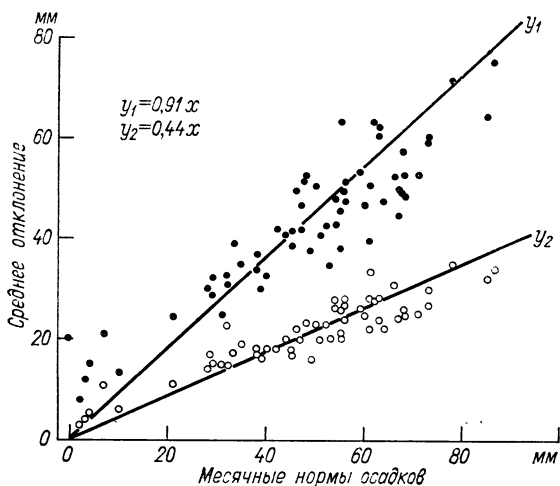


Рис. 10. Зависимость средних отклонений месячных сумм осадков за летние месяцы (апрель—сентябрь) от месячных норм осадков (по 10 станциям).

y_1 — за среднюю серию, y_2 — за средний месяц.

более длинных серий, число которых больше, чем то, которое отвечает гипотезе случайного распределения.

Обращает на себя внимание полное отсутствие в месячных рядах циклов 12—13 и 14—15 лет, которые (в особенности второй) отчетливо выражены в полугодовых рядах. Возможно, что это объясняется неудачным подбором станций, для которых были проанализированы месячные ряды.

В то же время, однако, на отдельных станциях и в отдельные месяцы имеют место значительные отклонения долей серий от их МО.

Ряды месячных сумм осадков, подразделенные на серии в их хронологическом порядке, были сгруппированы в ЭЦ, как это сделано выше для рядов полугодовых и годовых сумм. В табл. 22 приведены средние месячные доли ЭЦ различной длины за каждый месяц и их МО. В нижней части той же таблицы приведены примеры для отдельных месяцев на различных станциях, характеризующие экстремные случаи их сочетаний в ЭЦ различной длины.

Таблица 21

Средние доли серий месячных сумм осадков за теплое полугодие различной длины и разного знака (% от их общего числа) по отдельным станциям и отдельным месяцам

Станция или месяц	Норма осадков (мм)	Длина серий (число лет) и их знаки											
		1		2		3		4		5			
		+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
По отдельным станциям													
1. Кишинев	48	60	40	50	22	23	23	9	16	12	2	5	4
4. Курск	58	56	34	45	25	30	28	10	22	16	5	6	6
5. Земетчино	48	60	48	51	18	25	22	13	14	13	3	2	3
9. Пенза	50	50	40	44	27	27	27	8	18	13	9	5	4
10. Казань	47	60	37	49	23	29	26	13	19	16	2	4	2
29. Ташкент	18	67	40	52	23	23	23	8	11	10	2	7	4
31. Нерчинск	45	59	44	50	22	30	26	10	12	11	7	6	9
37. Чердынь	56	55	43	49	23	19	21	10	18	14	5	5	3
38. Шенкурск	54	50	50	50	22	23	23	16	9	12	6	5	3
41. Василевичи	64	53	38	44	21	32	27	14	13	14	5	4	4
Среднее	49	57	41	48	23	26	25	11	15	13	5	5	4
По отдельным месяцам													
Апрель	33	62	46	54	21	28	25	10	10	10	5	3	2
Май	45	55	36	46	20	29	25	12	20	16	4	6	6,5
Июнь	54	53	49	51	27	23	25	11	12	12	4	5	4
Июль	63	56	32	44	21	25	23	14	18	16	4	7	5,3
Август	55	57	47	52	24	21	23	9	15	12	5	2,4	3,9
Сентябрь	44	56	35	46	22	26	24	14	20	16	6	4,3	2,9
Среднее	49	57	41	48	23	25	24	12	16	14	5	6,2	4,1
МО	—	50	50	50	25	25	25	12,5	12,5	12,5	6,2	3,1	3,1

Станция или месяц	Длина серий (число лет) и их знаки														Сумма			
	Норма осадков (мм)						> 8											
	6			7			8			+		-		с				
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	число	длина лет	число	длина лет	число	длина лет			
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	число	длина лет	число	длина лет	число	длина лет	+	-	с

По отдельным станциям

1. Кишинев	48	3	1	5	4	1	0	0	1	0	0	1	10	1	100
4. Курск	58	1	1	5	4	3	1	0	0	0	0	0	11	0	100
5. Змеетчино	48	0	5	2	1	3	2	0	0	0	0	1	11	1	100
9. Пенза	50	2	3	4	2	1	1	0	1	0	0	1	11	1	100
10. Казань	47	0	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0	—	0	100
29. Ташкент	18	0	2	1	1	3	2	0	1	1	0	5	9	2	100
31. Нерчинск	45	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	4	14	2	100
37. Чердынь	56	2	1	1	1	0	1	0	0	0	10	0	—	1	100
38. Шенкурск	54	1	4	2	0	2	1	0	0	0	2	2	10	1	100
41. Василевичи	64	2	5	3	3	0	1	0	1	0	—	2	11	1	100
Среднее	49	1	3	2	2	0,6	1,6	1,2	0	0,4	0,4	1,6	11	1,0	100

По отдельным месяцам

Апрель	33	0,6	1,2	4,0	2,4	0,6	2,1	1,2	0	1,1	0,6	0	12	0,8	100
Май	45	1,2	1,1	1,2	1,2	0,6	0,5	0,5	0	0	0	0	12	0,9	100
Июнь	54	0,6	1,2	0,9	0	0	0	0	0	0,6	0,3	1	10	1	100
Июль	63	1,4	5,5	3,4	3,4	1,0	1,9	1,5	0	0,8	0,4	0	10	1,4	100
Август	55	2,1	4,9	3,5	0,5	0,5	1,0	0,8	0	0	0	0	9	0,3	100
Сентябрь	44	0,6	1,2	0,9	0,6	0,6	3,5	2,1	0	1,4	0,7	0	12	0,4	100
Среднее	49	1,1	3,0	2,1	0,5	0,5	1,5	1,0	0	0,6	0,3	0,2	11	0,8	100
МО	—	1,6	1,6	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	100	0,4	100

Таблица 22

Доли месячных элементарных циклов различной длины (% от суммы)
и общее число циклов

Месяц и станция	Длина цикла (число лет)										Сумма	Общее число циклов
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10		
Средние месячные ¹												
Апрель	25	26	17	13	7	6	3	2	1	0	100	35
Май	21	25	21	11	12	5	4	1	0	0	100	36
Июнь	27	25	20	12	7	2	1	1	1	4	100	39
Июль	15	22	21	14	11	6	6	1	1	3	100	30
Август	26	26	17	13	8	4	3	2	1	0	100	35
Сентябрь	22	24	20	15	7	4	4	2	1	1	100	33
Среднее за 6 месяцев	23	25	19	13	9	5	3	1	1	1	100	35
Отдельные месяцы на различных станциях												
Апрель — Шенкурск	45	23	9	5	9	2	5	2	0	0	100	44
Май — Чердынь	14	14	25	7	17	14	3	0	0	6	100	29
Май — Кишинев	4	4	18	11	35	14	7	7	0	0	100	28
Июль — Казань	21	18	21	18	13	9	0	0	0	0	100	38
Июль — Василевичи	12	28	12	12	15	6	9	6	0	0	100	33
Август — Земетично	44	29	17	6	0	4	0	0	0	0	100	52
МО (округленно)	25	25	18	12	8	5	3	2	1	1	100	

¹ Вследствие малых месячных сумм осадков при вычислении средних за апрель был исключен Нерчинск, а за июль, август и сентябрь — Ташкент.

Из данных этой таблицы видно, что по средним величинам среди месяцев теплого полугодия отчетливо выделяется июль — значительно пониженной по сравнению с МО долей ЭЦ длиной в 2 года и повышенной долей ЭЦ длиннее 5 лет. В июне значительно повышена доля ЭЦ длиной свыше 10 лет. Остальные месяцы по средним величинам довольно близки друг к другу и доли ЭЦ в них мало отличаются от МО. Средние же за все 6 месяцев от МО почти не отличаются.

В то же время, как видно из данных, помещенных в нижней части табл. 22, в отдельные месяцы на различных станциях доли числа ЭЦ различной длины могут варьировать очень сильно, вплоть до того, что на первое место могут выйти ЭЦ длиной в 6 лет (май — Кишинев) или, наоборот, доля наиболее коротких ЭЦ может вдвое превзойти их МО (апрель — Шенкурск, август — Земетчино).

АНАЛИЗ РЯДОВ ОСАДКОВ С ПОМОЩЬЮ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

По примеру Дроздова и Григорьевой [12] мы проанализировали рассмотренные ряды полугодовых и месячных сумм осадков с помощью автокорреляционной функции и спектрального разложения. Сдвиг в автокорреляционных функциях был задан равным четверти длины всего ряда (т. е. 20 лет). Обработка была выполнена на ЭВМ в лаборатории математических методов Почвенного института им. В. В. Докучаева. Уровень значимости при анализе коррелограмм был выбран 0,05. Результаты анализа полугодовых сумм изложены в табл. 23 и 24. В табл. 24 приведена частота встречаемости циклов различной длины — как в полугодовых рядах, так и в месячных. В полугодовых рядах первое место по частоте занимает самый короткий цикл — 2—3-летний, второе — 3—4-летний, третье — 4—5-летний. Частота встречаемости более длинных циклов продолжает убывать с увеличением их длины¹, но неравномерно. Выделяются циклы более частой встречаемости — длиной 6—7 лет в обоих полугодиях, 8—9 лет в ТП, 9—10 лет в обоих полугодиях. В ТП большей частотой встречаемости отличаются еще циклы 15—16 и 19—20 лет.

Этот нисходящий ряд частот встречаемости во многом совпадает с соответствующим рядом у Дроздова и Григорьевой ([12, с. 63—65], см. нашу табл. 1), но в некоторых случаях и отличается от него. В нашем ряду не выделяется цикл 12—13 лет, гораздо слабее выделяется цикл 14—15 лет, особенно в ХП. Наоборот, в нашем ряду, преимущественно в ТП, сильно выделяется цикл 15—16 лет и еще сильнее цикл 19—20 лет.

¹ Убывание повторяемости циклов при увеличении их длительности связано с тем, что каждая реализация цикла проявляется в числе лет, соответствующем его длине, и потому влияние любого цикла на структуру ряда пропорционально не только его амплитуде, частоте появления, но и длительности цикла. С учетом этого обстоятельства [12] роль более длительных циклов вовсе не всегда оказывается меньше роли коротких.— *Прим. ред.*

Таблица 23

Число циклов различной длины, выявленных с помощью автокорреляционных функций и спектрального разложения

Полугодовые суммы по 42 станциям					Месячные суммы по 10 станциям													
Длина цикла (число лет)	холодное полугодие		теплое полугодие		IV	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма
	число циклов	% от суммы	число циклов	% от суммы														
2-3	59	41	45	27	10	4	7	7	7	4	9	24	11	18	18	20	24	19
3-4	21	41	15	9	9	8	4	4	4	6	43	21	22	23	18	11	16	19
4-5	12	8	13	8	7	2	2	2	3	1	16	3	6	16	5	9	5	13
5-6	8	6	9	5	1	2	6	3	1	0	9	3	6	5	8	3	0	4
6-7	9	6	13	8	1	2	1	4	0	6	15	0	6	3	11	0	0	2
7-8	2	1	11	2	0	0	2	0	0	0	5	5	0	5	0	16	8	7
8-9	6	4	11	7	2	2	0	7	3	3	18	3	11	0	18	9	3	8
9-10	11	8	11	7	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	5	9	11	5
11-12	6	4	9	5	1	2	0	2	3	4	12	3	6	0	0	0	0	0
12-13	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	2	1	4	2	7	6	3	1	2	5	24	17	15	7	3	6	14	11
14-15	2	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	3	2	9	5	0	2	0	1	2	0	5	0	6	0	3	6	0	2
16-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	1
17-18	0	0	6	3	1	0	0	1	0	1	3	3	0	0	3	0	3	1
18-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	3	2	13	8	0	0	2	1	0	0	3	0	0	5	3	0	0	1
Суммы	147	100	169	100	40	36	39	38	35	37	227	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 24

Цикличность атмосферных осадков в отдельных пунктах, выявляемая с помощью автокорреляционной и спектральной функций

Станция	Длина циклов (число лет)	
	холодное полугодие	теплое полугодие
1. Кишинев	2—3, 3—4, 4—5, 9—10	2—3, 3—4, 8—9, 17—18
2. Киев	2—3, 3—4	2—3, 6—7
3. Тула	2—3, 14—15, 20	2—3, 6—7, 8—9, 9—10, 15—16
4. Курск	4—5, 13—14, 20	2—3, 3—4, 8—9, 13—14
5. Земетчино	2—3, 3—4	2—3, 3—4, 6—7, 9—10, 11—12
6. Харьков	3—4	2—3, 3—4, 4—5, 9—10, 19—20
7. Вологда	2—3, 4—5	8—9, 9—10, 15—16
8. Пермь	2—3	2—3, 5—6, 15—16, 19—20
9. Пенза	2—3, 9—10	2—3, 11—12, 17—18
10. Казань	2—3, 3—4, 9—10	2—3, 8—9, 9—10, 17—18
11. Ворошиловград	2—3, 5—6, 14—15	2—3, 4—5, 6—7, 8—9, 14—15
12. Волгоград	2—3, 3—4, 5—6, 8—9, 12—13	2—3, 3—4, 4—5
13. Костычевская	2—3	2—3, 4—5, 11—12, 13—14, 17—18
14. Боровое	2—3, 6—7, 8—9	3—4, 4—5, 8—9, 11—12, 19—20
15. Эльтон	2—3, 5—6	2—3, 3—4, 9—10, 11—12, 15—16, 17—18
16. Астрахань	2—3, 4—5, 12—13, 13—14	2—3, 4—5, 6—7, 19—20
17. Свердловск	2—3	2—3, 5—6
18. Уральск	2—3, 6—7	2—3, 9—10, 13—14, 19—20
19. Тобольск	2—3, 4—5, 6—7, 8—9	2—3, 6—7, 7—8, 19—20
20. Сургут	2—3, 3—4	4—5, 14—15, 20
21. Томск	2—3, 4—5	2—3, 4—5, 8—9, 9—10, 15—16
22. Красноярск	2—3, 4—5	2—3, 6—7, 11—12, 17—18
23. Иркутск	2—3, 3—4, 8—9	2/3, 5—6, 7—8, 14—15
24. Улан-Удэ	3—4, 6—7, 11—12	2—3, 3—4, 8—9, 19—20
25. Акмолинск	2—3, 4—5, 9—10	2—3, 4—5, 6—7, 11—12, 20
26. Благовещенск	2—3, 3—4, 5—6, 12—13, 19—20	2—3, 4—5, 6—7, 19—20
27. Николаевск-на-Амуре	2—3, 4—5, 6—7, 11—12	2—3, 3—4, 5—6
28. Казалинск	3—4, 4—5, 9—10	2—3, 4—5, 12—13
29. Ташкент	2—3, 5—6, 6—7, 9—10, 11—12, 15—16	2—3, 5—6, 11—12, 15—16
30. Джамбул	2—3, 3—4, 6—7, 9—10, 11—12	2—3, 5—6, 11—12
31. Нерчинск	2—3, 5—6, 7—8	2—3, 3—4, 6—7
32. Чита	3—4, 4—5	3—4, 11—12, 12—13, 19—20
33. Кяхта	3—4, 4—5, 6—7, 9—10	2—3, 5—6, 9—10, 15—16
34. Вилуйск	2—3, 9—10	2—3, 4—5, 7—8, 9—10
35. Якутск	9—3, 3—4	2—3, 4—5, 6—7, 7—8, 14—15, 19—20

Станция	Длина циклов (число лет)	
	холодное полугодие	теплое полугодие
36. Верхоянск	2—3, 3—4	2—3, 5—6, 9—10, 15—16
37. Чердынъ	3—4, 9—10	2—3, 3—4, 8—9, 14—15
38. Шенкурск	2—3, 3—4, 6—7	2—3, 5—6, 13—14, 15—16
39. Вильнюс	2—3, 4—5, 15—16	2—3, 4—5
40. Тарту	2—3, 5—6, 7—8, 11—12	2—3, 6—7, 19—20
41. Василевичи	2—3, 3—4, 8—9, 11—12	2—3, 4—5, 9—10
42. Байрам-Али	2—3, 3—4, 5—6, 8—9, 9—10, 15—16	2—3, 3—4, 6—7

Эти различия могут быть объяснены иным набором и иным числом метеостанций в сравниваемых рядах. В нашем ряду, состоящем из 42 станций, только 23 входят в ряд Дроздова и Григорьевой, состоящий из 76 станций. Кроме того, известную роль могло сыграть и то обстоятельство, что у авторов [12] сдвиг в коррелограммах составлял $\frac{5}{7}$ всего ряда, а у нас только $\frac{1}{4}$.

В табл. 24 приведены те циклы, которые с вероятностью 95% были обнаружены в отдельных пунктах в ХП и ТП. Сравнение этих данных с аналогичными данными в работе Дроздова и Григорьевой (приложение I к их книге) полностью подтвердило их вывод о том, «... что в осадках обнаруживаются циклы самой различной длительности, от 2 до 100 лет и более...», однако вследствие меньшей величины сдвига в наших результатах надежными можно считать лишь циклы, длина которых не превышает 20 лет. Циклы 10—11, 16—17 и 18—19 лет в наших результатах отсутствуют полностью, возможно, вследствие иного набора станций и меньшего их числа.

По исследованиям Дроздова и Григорьевой, в каждом отдельном пункте «... число выявленных циклов редко превышает 3—4, а статистически значимых и того меньше». В нашей же табл. 24 число циклов варьирует от 1 до 6, в среднем составляя около 4, в то время как у авторов [12] это среднее число равно 3. Возможно, что это различие объясняется более высоким уровнем значимости, принятым нами, т. е. более мягким критерием выделения циклов.

Сопоставление отдельных пунктов, общих в обоих рядах, показало, что во многих случаях мы нашли те же циклы, что и Дроздов и Григорьева, но во многих случаях наши результаты разошлись. Это может быть объяснено тоже различиями в величине сдвига в коррелограммах.

Большой сдвиг в коррелограммах у авторов [12], вероятно, способствовал отсеиванию менее достоверных циклов.

Сопоставляя результаты, полученные Дроздовым и Григорьевой и нами методами автокорреляции и спектрального разложения, с одной стороны, и ряды ЭЦ, полученные путем анализа хроноло-

гических рядов серий — с другой, мы видим, что общая закономерность — уменьшение числа циклов с увеличением их длины — в обоих случаях одна и та же. Однако доля более длинных циклов, выявляемых с помощью коррелограмм, значительно больше, чем выявляемая путем сочетания серий различного знака в ЭЦ и значительно отличается от величин МО при биномиальном распределении, к которому доли ЭЦ, особенно в ТП, очень близки.

В табл. 23, кроме рядов полугодических сумм, имеются также ряды месячных сумм за теплое полугодие (апрель—сентябрь) по 10 станциям, перечисленным в табл. 17. И здесь с увеличением длины циклов частота их встречаемости убывает, но ее изменение несколько отличается от изменений в теплом полугодии в целом. Циклы 2—3 и 3—4 года в среднем обладают одинаковой частотой, хотя в отдельные месяцы они чередуются. Циклы 8—9, 9—10 и 11—12 лет занимают такое же выдающееся положение, как и в ТП в целом. Значительно резче в месячных рядах выдается цикл 13—14 лет, в то время как его обертоны 6—7 лет здесь почти отсутствуют, в отличие от ТП в целом.

Среднее число циклов на один пункт в месяц здесь составляет около 4 ($227 : 60 = 3,8$), в то время как в ТП оно равно $169 : 42 = 4,0$. Отдельные месяцы отличаются друг от друга: частота циклов 4—5 и 13—14 лет убывает от апреля к июлю, а затем снова возрастает. Число циклов 9—10 лет имеет обратный ход.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВ¹

Используемые нами материалы представляют собой 27-летние (1947—1973) ряды наблюдений за различными элементами водного баланса мощных типичных черноземов под целинной степью и дубовым лесом. Наблюдения велись на территории Центрально-Черноземного государственного заповедника (ЦЧГЗ), расположенного в 20 км к югу от Курска, совместно Заповедником и Почвенным институтом им. В. В. Докучаева. Наблюдениями была охвачена 3-метровая почвенно-грунтовая толща. Изучались: режим влажности, весенний и осенний запасы влаги, весеннее приращение запаса, расход влаги на эвапотранспирацию (суммарный и отдельно из весеннего запаса влаги в почве), осенний дефицит влаги, суммы атмосферных осадков за ХП и ТП и испаряемость. Последняя вычислялась по формуле Н. Н. Иванова² за

¹ Раздел составлен по материалам, опубликованным в совместной работе автора с В. В. Герцык [8].

² Эта формула дала нам лучшую сходимость хода максимального испарения в лесу и на лесной поляне за период с 1947 по 1976 г. при сравнении ее с результатами расчета по величине радиационного баланса по графику связи, имеющемуся в монографии Л. И. Зубенок (Зубенок Л. И. Испарение на континентах. Л., Гидрометеиздат, 1976. 262 с.), и по эмпирической формуле $E_0 = 0,18 \sum t > 10^\circ\text{C}$.

период апрель—октябрь. Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом с пятикратной повторностью в первом метровом слое, трехкратной во втором и двукратной в третьем.

Генетические особенности почв, их состав, водно-физические и иные свойства, а также их водный режим за некоторые отрезки указанного 27-летнего периода освещены в фундаментальных работах Е. А. Афанасьевой [1, 2] и А. Ф. Большакова [4]. Никаких существенных различий в строении профилей почв под лесом и под степью нет, но степь расположена на слабо выпуклом водоразделе, а лес — на середине его пологого склона южной экспозиции.

В табл. 25 приводятся минимальные и максимальные величины изучавшихся элементов водного баланса, их амплитуда и средние значения за 27-летний период. При просмотре этой таблицы прежде всего бросается в глаза то, что величина влагооборота в почве под лесом гораздо больше, чем под степью. Разность средних значений весеннего и осеннего запасов продуктивной влаги составляет $251 - 154 = 97$ мм под степью и $353 - 108 = 245$ мм под лесом.

Далее, обращает на себя внимание тот факт, что средняя величина весеннего приращения запаса влаги в почве под лесом (251 мм) выше средней суммы осадков за холодный период (226 мм). Это явление впервые было отмечено А. Ф. Большаковым [4]. В то же время под степью весеннее приращение запаса влаги (108 мм) значительно меньше, чем сумма осадков за ХП (224 мм).

Последнее соотношение без труда объясняется ветровым сносом снега зимой с открытой, слегка выпуклой поверхности водораздела, на котором расположена степь. Этот снос происходит, несмотря даже на наличие нескашиваемой целинной растительности на степном участке. К сожалению, точного количественного учета снега на тех площадках, на которых определялась влажность почв, не было.

Что же касается леса, то указанное превышение весеннего приращения объясняется прежде всего сохранностью под пологом леса всего выпавшего снега от сноса его ветром. Расход же снега на испарение в лесу невелик. Кроме того, лес получает дополнительно некоторое количество снега, сносимого с открытых степных участков. Наконец, известно, что осадкомеры улавливают далеко не все количество твердых осадков. Поэтому сумма осадков, учитывавшаяся на метеостанции ЦЧГЗ, несколько преуменьшена. Возможно, однако, что лес получает и некоторое количество талых вод поверхностным и почвенным (внутрипочвенным) стоком с лежащих выше по склону безлесных участков. Но последнее предположение требует экспериментальной проверки.

Многолетний временной ход указанных выше элементов водного баланса черноземов изображен в знакомом уже нам графическом виде на рис. 11—14 в форме серий отклонений от средних величин и скользящих 3-летних кривых тех же отклонений. На

Таблица 25

Пределы колебаний элементов водного баланса (мм водного слоя в 3-метровой толще) типичных мощных черноземов Центрально-Черноземного государственного заповедника за 27 лет (1947—1973)

Элемент водного баланса	Степь				Лес			
	мин.	макс.	разность	ср.	мин.	макс.	разность	ср.
Сумма осадков за ХП	+152	+394	242	+224	+152	+408	+256	+226
Сумма осадков за ТП	+181	+488	307	+329	+181	+478	+297	+325
Испаряемость (по формуле Н. Н. Иванова)	-407	-723	-316	-544	-407	-723	-316	-544
Разность (испаряемость минус сумма осадков за ТП)	+74	-475	-549	-215	+74	-475	-549	-219
Весеннее приращение запаса влаги	-4	+261	+265	+108	+84	+422	+338	+251
Весенний запас влаги (общий)	+611	+967	+356	+780	+640	+1073	+433	+848
Весенний запас продуктивной влаги	+82	+438	+356	+251	+145	+578	+433	+353
Расход влаги за теплое полугодие из запаса	+82	-279	-361	-97	-15	-429	-414	-245
Расход влаги суммарный	-326	-623	-297	-426	-369	-797	-428	-570
Осенний запас влаги (общий)	+560	+845	+285	+683	+473	+744	+271	+603
Осенний запас продуктивной влаги	+31	+316	+285	+154	-22	+249	+271	+108
Осенний дефицит влаги	-143	-328	-185	-305	-270	-541	-271	-411

Примечание. Суммы осадков за ХП за 1947—1956 гг. даны по наблюдениям Курской ГМО вследствие того, что метеостанция Заповедника оказалась в зоне влияния разросшейся группы тополей и измерявшиеся на станции количества осадков оказались заниженными. В 1956 г. метеостанция была перенесена на новое, открытое место.

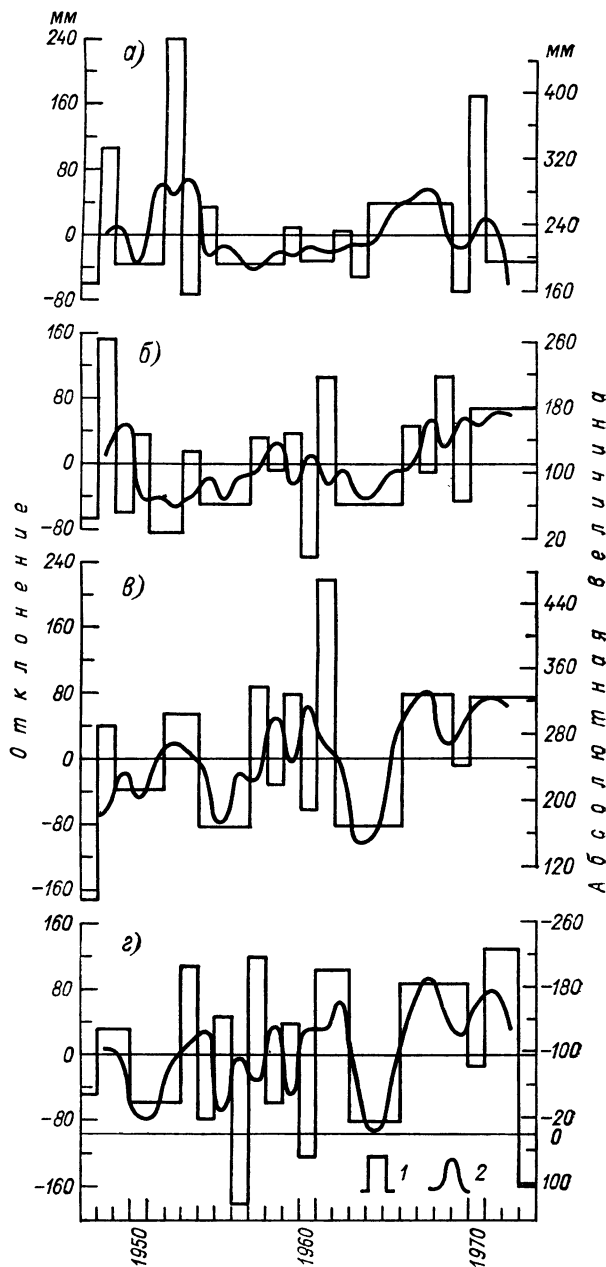


Рис. 11. Ход во времени элементов водного баланса мощного чернозема под степью.

а — сумма осадков за холодное полугодие; б — весеннее приращение запаса влаги в почве; в — весенний запас продуктивной влаги в почве; г — расход влаги из запаса ее в почве. 1 — суммы за серии одного знака, 2 — кривая скользящих средних 3-летних сумм.

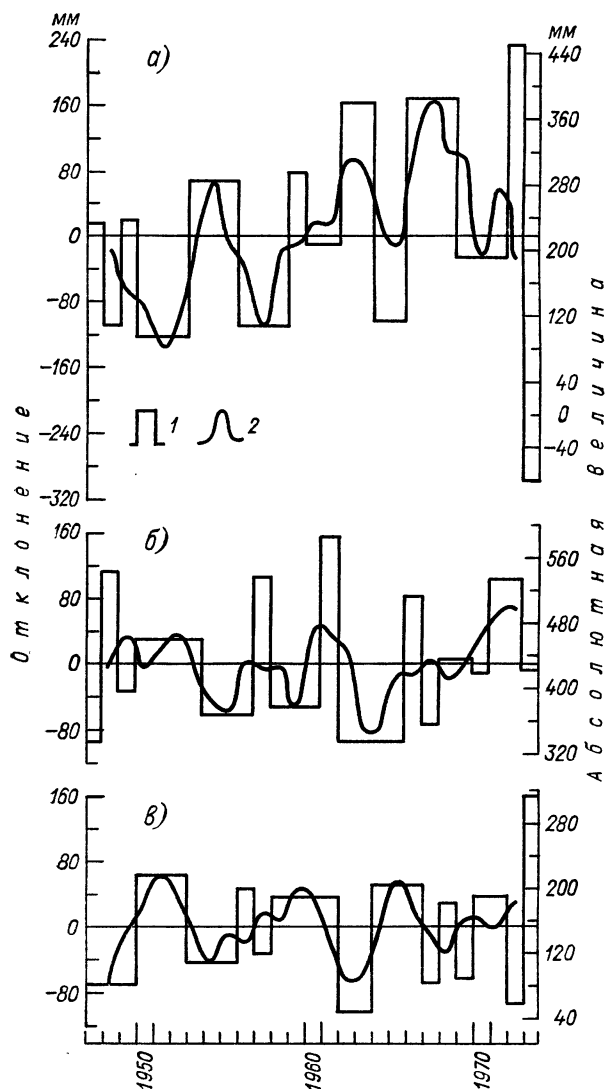


Рис. 12. Ход во времени элементов водного баланса мощного чернозема под степью.

а — разность: испаряемость минус сумма осадков за теплый период; б — суммарный расход влаги из почвы; в — осенний запас продуктивной влаги в почве. 1 и 2 — то же, что на рис. 11.

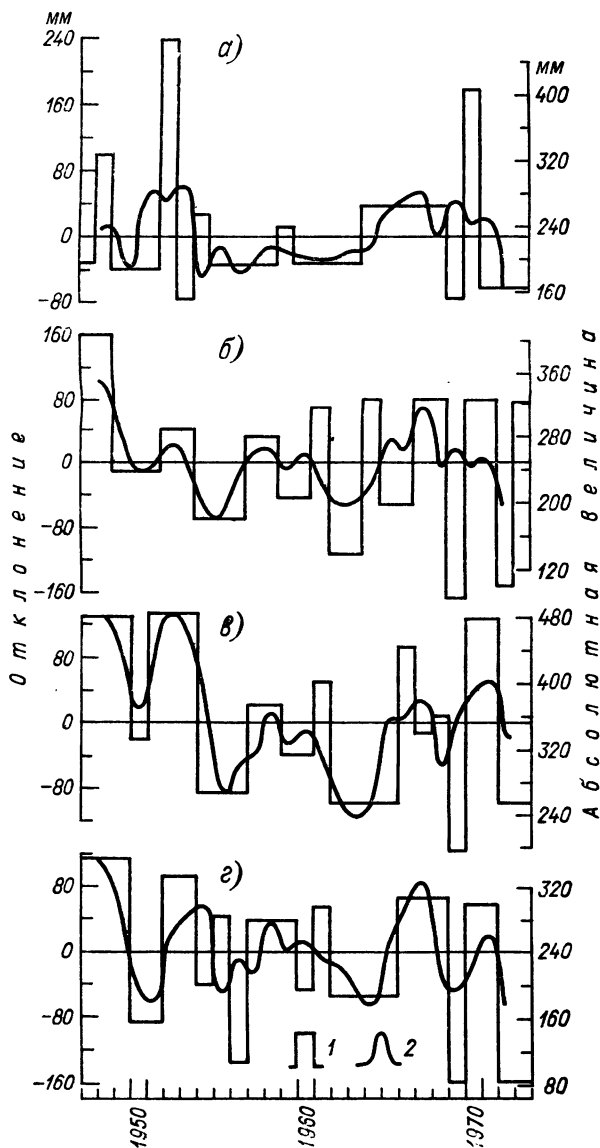


Рис. 13. Ход во времени элементов водного баланса мощного чернозема под дубовым лесом.

а — сумма осадков за холодное полугодие; б — весеннее приращение запаса влаги в почве; в — весенний запас продуктивной влаги в почве; г — расход влаги из запаса ее в почве. 1 и 2 — то же, что на рис. 11.

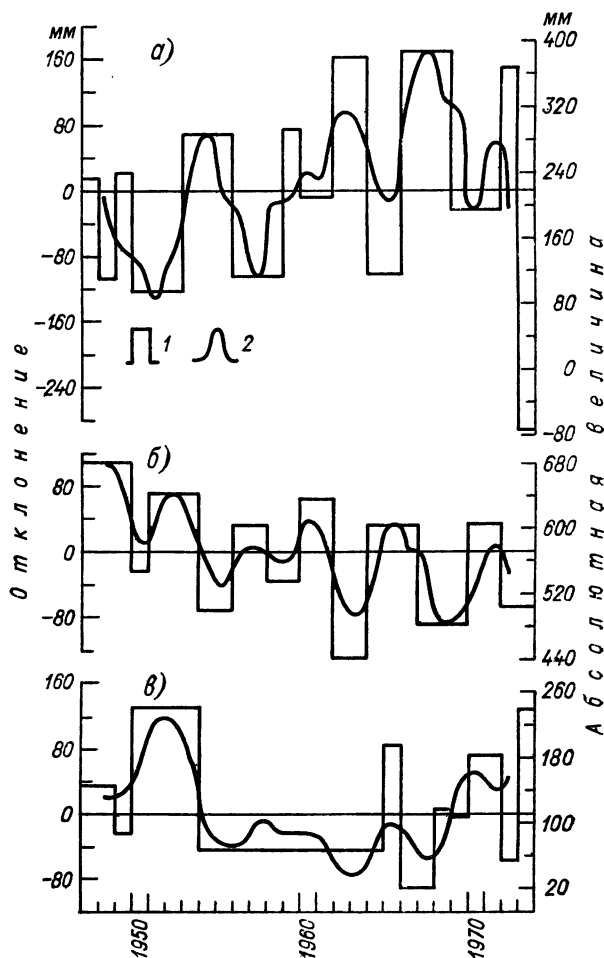


Рис. 14. Ход во времени элементов водного баланса мощного чернозема под дубовым лесом.

а — разность: испаряемость минус сумма осадков за теплый период; б — суммарный расход влаги; в — осенний запас продуктивной влаги в почве. 1 и 2 — то же, что на рис. 11.

этих рисунках в качестве факторов водного режима и баланса почв фигурируют суммы осадков за ХП и разность между испаряемостью и суммой осадков за ТП. Осенний дефицит влаги на этих рисунках не изображен. Его ход представляет собой зеркальное отражение хода осеннего запаса влаги.

Из этих рисунков видно, что отклонения наблюдаемых величин от 27-летних средних и в этом случае группируются в серии длиной от 1 до 11 лет. Однако длина подавляющей части серий не превышает 4 лет, а серии длиной 5 и 11 лет встречаются по одной только в двух рядах.

Следовательно, для временного хода элементов водного баланса почв характерно стремление к более частому (по сравнению с ходом осадков) чередованию отклонений разного знака, а следовательно, и меньшей длине серий и ЭЦ.

Испытание этих рядов на случайность по критериям средней и наибольшей длины серий и общего числа серий показало, что ни один ряд не противоречит гипотезе случайности, за исключением только одного — ряда величин осеннего запаса влаги в лесу, в котором имеется одна серия длиной в 11 лет.

В табл. 26 приведены доли чисел серий разной длины обоих знаков в исследованных рядах. Общая закономерность — уменьшение числа серий с возрастанием их длины — остается прежней, соответствующей ряду величин МО (нижняя строка в табл. 26). Однако величины долей всех серий значительно отличаются в обе стороны от соответствующих значений МО. При этом бросается в глаза одна особенность. Ряды, относящиеся к почве под лесом, существенно отличаются от ряда величин МО тем, что в них во всех, кроме двух, доли серий длиной в 1 год меньше 50%, в то время как в рядах, относящихся к почве под степью, они почти все больше этой величины. Под лесом в двух рядах на первое место по доле выходят серии, имеющие длину в 2 года. Доли всех серий длиной в 2 и 3 года превышают их МО. Такие же отклонения имеются и в рядах, относящихся к степи, но там они выражены менее резко. Эти особенности, вероятно, сопряжены с инерционным влиянием влаги, содержащейся в почве.

В табл. 27 дана общая характеристика исследованных рядов. Из этих данных видно, что, в соответствии с тем, что было сказано выше о группировке величин водного баланса в серии, в лесу общее число серий почти во всех рядах меньше, чем в степи. Поэтому и средние длины серий этих элементов в рядах, относящихся к почве под степью, ниже МО, равного 2 годам, в то время как в рядах, относящихся к почве под лесом, они или близки к 2,0 или даже выше этой величины. По-видимому, лесной фитоценоз оказывает большее упорядочивающее влияние на водный режим почвы, что и проявляется в меньшем числе серий и их большей средней длине.

Хронологические ряды серий были сгруппированы, как описано выше, в ряды ЭЦ. Средние длины ЭЦ содержатся в той же табл. 27. И здесь выявляется та же закономерность — эти величины для

леса, как правило, длиннее, чем для степи, и превышают иногда 5 лет при МО, равном 4 годам.

Таблица 26

Доли чисел серий разной длины обоих знаков в рядах величин элементов водного баланса мощных черноземов под степью и под лесом (% от сумм чисел серий)

Элемент водного баланса	Степь						
	длина серий (число лет)						
	1	2	3	4	5	< 5	сумма
Сумма осадков за ХП	66	7	12	7	7	0	100
Разность (испаряемость минус сумма осадков за ТП)	43	21	36	0	0	0	100
Весеннее приращение запаса влаги в почве	77	6	6	11	0	0	100
Весенний запас продуктивной влаги	57	7	22	14	0	0	100
Расход влаги из почвенного запаса	64	18	12	6	0	0	100
Расход влаги суммарный	61	13	13	13	0	0	100
Осенний запас влаги	50	14	29	7	0	0	100
МО при биномиальном распределении	50	25	12,5	6,3	3,1	3,1	100

Элемент водного баланса	Лес							
	длина серий (число лет)							
	1	2	3	4	5	6—10	11	сумма
Сумма осадков за ХП	62	0	15	15	8	0	0	100
Разность (испаряемость минус сумма осадков за ТП)	43	21	36	0	0	0	0	100
Весеннее приращение запаса влаги в почве	33	54	13	0	0	0	0	100
Весенний запас продуктивной влаги	43	29	21	7	0	0	0	100
Расход влаги из почвенного запаса	43	29	21	7	0	0	0	100
Расход влаги суммарный	8	59	33	0	0	0	0	100
Осенний запас влаги	55	27	0	9	0	0	9	100
МО при биномиальном распределении	50	25	12,5	6,2	3,1	3,1	0,05	100

Далее приведены средние отклонения различных элементов от их 27-летних норм — средние за полугодие и за одну среднюю серию. Обращает на себя внимание относительно небольшое варьирование этих величин при сравнении между собой разных элементов водного баланса. Для этих шести элементов оно укладывается в интервалы: за одно полугодие 59—87 мм в степи и

Общая характеристика временных колебаний элементов водного баланса мощных типичных черноземов

Элемент водного баланса	Степь					
	среднее за 27 лет (мм)	общее число серий	средняя длина серий (число лет)	средняя дли- на ЭЦ (число лет)	среднее отклонение	
					за одно полу- годие (мм)	за одно полу- годие (% от среднего)
Сумма осадков за ХП	224	15	1,80	3,50	66	29
Разность (испаряемость минус сумма осадков за ТП)	212	14	1,93	4,00	99	47
Весеннее приращение запаса влаги в почве	108	18	1,50	3,85	59	55
Весенний запас продуктивной влаги в почве	251	14	1,93	3,78	71	58
Расход влаги из почвенного запаса	97	17	1,59	3,44	87	90
Расход влаги суммарный	427	15	1,80	3,79	62	15
Осенний запас продуктивной влаги	154	14	1,93	3,69	59	38
Осенний дефицит запаса влаги	305	14	1,93	3,69	59	19

Элемент водного баланса	Лес					
	среднее за 27 лет (мм)	общее число серий	средняя длина серий (число лет)	средняя дли- на ЭЦ (число лет)	среднее отклонение	
					за одно полу- годие (мм)	за одно полу- годие (% от среднего)
Сумма осадков за ХП	226	13	2,08	4,17	66	29
Разность (испаряемость минус сумма осадков за ТП)	212	14	1,93	4,00	99	47
Весеннее приращение запаса влаги в почве	251	15	1,80	3,64	70	28
Весенний запас продуктивной влаги в почве	353	14	1,93	3,77	87	25
Расход влаги из почвенного запаса	245	14	1,93	3,85	79	32
Расход влаги суммарный	570	12	2,25	4,50	66	12
Осенний запас продуктивной влаги	108	11	2,46	5,10	55	51
Осенний дефицит запаса влаги	411	11	2,46	5,10	55	13

55—87 мм в лесу, а за одну среднюю серию 111—138 мм в степи и 126—168 мм в лесу. Единственным исключением оказалась пониженная средняя величина отклонения весеннего приращения запаса влаги в степи, равная 88 мм за одну среднюю серию.

Близость значений этих величин отклонений тем более примечательна, что они относятся к столь различным по своей природе явлениям, как, например, весеннее приращение запаса влаги, в основе которого лежит процесс инфильтрации влаги в почву, суммарный расход влаги из почвы, который происходит путем испарения и десукции влаги из почвы, испаряемость, определяемая главным образом величиной радиационного баланса, и т. д. При этом средние отклонения не коррелируют со средними 27-летними величинами самих элементов, как это видно из последних граф обеих половин табл. 27. Эти относительные оценки варьируют чрезвычайно сильно: от 12 до 90%.

Указанная близость величин отклонений дала нам основание сопоставить отдельно в табл. 28 амплитуды отклонений разных величин за разные периоды времени в различных географических пунктах. Как видно из данных этой таблицы, средние амплитуды отклонений величин, столь разных по своей природе, географической приуроченности, длительности периодов наблюдений и абсолютным средним многолетним значениям, оказались лежащими в пределах 59—68 мм за полугодие и 112—139 мм за одну среднюю серию. Изменчивость, как видим, очень небольшая. Вопрос о причине незначительной изменчивости заслуживает внимания и дальнейшего изучения.

Для того чтобы проследить ход элементов водного баланса во времени, обратимся еще раз к рис. 11—14. Мы видим, что пики на скользящих кривых и здесь сопряжены преимущественно с сериями длиной от 2 лет и более. И только в редких случаях, когда в рядах встречаются группы идущих подряд однолетних серий, ход скользящих кривых делается антибатным по отношению к расположению серий. Такие группы (от 5 до 8) однолетних серий встречаются почти исключительно только на рис. 11 в рядах величин весеннего приращения запаса влаги, величин весеннего запаса и расхода влаги из запаса в степи. Во всех остальных случаях (на рис. 12—14) однолетние серии встречаются либо короткими группами, либо поодиночке и ход скользящих кривых управляется расположением серий длиной от 2 лет и более. Интервалы между пиками одного знака на скользящих кривых колеблются от 5 до 8 лет, в среднем составляя 6—7 лет, т. е. ту же величину, которую мы нашли для полугодовых и годовых сумм осадков (см. с. 28).

Анализ графиков позволяет выявить, кроме указанных выше коротких колебаний, еще более длительные. Так, сумма осадков за ХП (рис. 11а и 12а) обнаруживает длительное понижение в середине рассматриваемого периода (в 1954—1964 гг.) и в конце его (в 1971—1973 гг.).

Таблица 28

**Максимальные, минимальные и средние амплитуды отклонений
(мм водного слоя) совокупности шести элементов водного баланса почв,
сумм осадков и испаряемости за теплое полугодие**

Показатель	Средняя за весь период наблюдений (норма)	Сравниваемые величины	Средние амплитуды отклонений					
			за одно полугодие			за одну среднюю линию		
			+	—	с	+	—	с
Совокупность шести элементов водного баланса почв под степью и лесом в ЦЧГС, 1947—1973 гг.	Не определялась	Мин.	47	46	55	89	88	88
		Макс.	93	88	87	172	164	168
		Ср.	69	67	68	132	131	131
Сумма осадков в ЦЧГС, 1947—1973 гг. за ХП за ТП	236 327	Ср.	85	54	66	122	123	123
		Ср.	85	54	66	145	135	139
		Ср.	71	57	63	143	121	131
Испаряемость в ЦЧГС за IV—X, 1947—1973 гг.	542	Ср.	71	57	63	143	121	131
Суммы осадков за ТП по данным ст. Курск за 1891—1970 гг.	338	Ср.	56	62	59	129	130	130
Сумма осадков за ТП по данным 42 метеостанций на территории СССР за 1891—1970 гг.	260	Мин.	26	23	25	48	48	48
		Макс.	119	77	94	191	192	191
		Ср.	56	62	59	115	109	112

Очень отчетливый тренд обнаруживается в ходе разности между испаряемостью и суммой осадков за ТП (рис. 12 а и 14 а); амплитуда тренда превышает 100 мм, причем на его фоне имеются ЭЦ длиной от 4 до 6 лет с амплитудой свыше 200 мм.

В величине весеннего приращения запаса влаги в степи (рис. 11 б) можно заметить прогрессивное возрастание (восходящий тренд), амплитуда которого достигает почти 100 мм. То же может быть сказано и о величине расхода из запаса (рис. 11 г), где амплитуда достигает 60 мм.

В лесу отчетливо заметен нисходящий тренд в ходе весеннего приращения запаса влаги, самого весеннего запаса, расхода из запаса (рис. 13 б, в, г) и суммарного расхода (рис. 14 б). Осенний запас имеет длительный 11-летний минимум в 1958—1968 гг.

Вполне возможно, что все отмеченные тренды являются отрезками каких-то длиннопериодных циклов, для точного выявления которых 27-летний ряд данных является слишком коротким.

Таким образом, в многолетних рядах элементов водного баланса почв выявляются те же общие закономерности, что и в многолетнем ходе осадков. Ежегодные величины этих элементов группируются в серии длиной по большей части 1—3, реже 4 года. Более длинные серии в данном конкретном случае встречались лишь единично. Серии сочетаются в ЭЦ длиной от 2 до 8 лет. Средние длины и серий и ЭЦ под лесом больше, чем под степью, а число серий под лесом соответственно меньше. Сочетания серий длиной от 2 лет и более создают циклы длиной от 5 до 8 лет при среднем 6—7 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходным материалом для работы послужили: 1) 80-летние (1891—1970) ряды полугодовых и годовых сумм атмосферных осадков по данным 42 метеостанций, расположенных в разных частях территории СССР; 2) 80-летние ряды месячных сумм осадков за теплое полугодие (апрель—сентябрь) по данным 10 метеостанций из числа тех же 42; 3) 27-летние ряды (1947—1973) различных элементов водного баланса типичных мощных черноземов под целинной степью и под дубовым лесом.

Анализу подверглись ряды отклонений наблюдаемых величин от их средних за весь период наблюдений. Анализ этих рядов был произведен методом построения кривых скользящих средних 3- и 6-летних сумм, методом разложения рядов на серии и методом автокорреляционных функций и спектрального разложения.

Исходные ряды были подвергнуты предварительной проверке на случайность пятью методами. Наиболее чувствительными из них оказались критерии наибольшей длины серий и метод последовательных разностей. Было установлено, что в исследованных рядах сумм осадков за холодное полугодие свыше половины всех рядов не удовлетворяют гипотезе случайного распределения. За теплое полугодие все методы почти не дают выхода за 95%-ный доверительный интервал, что указывает на близость временного хода осадков к случайному. В дальнейшем применение весьма чувствительного спектрального метода показало, что последний вывод, касающийся осадков за теплое полугодие, не точен и что и для этого полугодия число выходов за указанный доверительный интервал может быть значительным.

Кривые скользящих средних 3-летних сумм имеют неправильно-синусоидальную форму. Интервалы между пиками одинакового знака на кривой, характеризующие цикличность, варьируют от 4 до 14 лет со средним, укладывающимся по большей части в интервал 5—7 лет.

Кривые скользящих средних 6-летних сумм обычно имеют тоже неправильно-синусоидальную форму, выявляющую наличие циклов длиной от 9 до 27 лет, среди которых преобладают циклы

длиною 11, 12—13, 14—15, 16 и 17 лет. В некоторых случаях эти кривые оказались монотонными.

Разложение рядов на серии показало, что в исследованных рядах встречаются серии длиной от 1 до 21 года. Количество серий различной длины убывает с возрастанием последней. Число серий длиной не более 9 лет (предельная возможная величина при случайном распределении в рядах данной длины) в ХП составило лишь 45% их общего числа, а в ТП — свыше 85% их общего числа. Серии длиной от 13 лет и более встречаются только в ХП и то лишь единично и на немногих станциях.

Доли серий различной длины, средние по всем 42 станциям, выраженные в процентах от их общих сумм, близки к величинам математического ожидания (МО) при биномиальном (случайном) распределении. Однако в ХП даже средние величины по 42 станциям заметно отличаются от этого ряда МО. Средняя доля коротких (1—2 года) серий в ХП меньше ее МО, доля серий средней длины (3—5 лет) очень близка к МО, а доля длинных серий (от 6 лет и более) больше ее МО. Особенно значительное превышение над МО свойственно сериям длиннее 9 лет. На некоторых отдельных станциях наблюдаемые доли серий очень сильно отличаются от их МО в ХП (Пенза, Красноярск). В ТП подобные отличия тоже наблюдаются, но редко и выражены очень слабо.

Среди коротких серий (от 1 до 3 лет) число положительных серий в среднем превышает число отрицательных. Среди серий более длинных имеет место обратное соотношение, что особенно характерно для серий, длины которых превышают 8 лет.

Средняя длина всех серий, МО которой равно 2,0 годам, варьирует в ХП от 1,7 до 4,6 лет, в среднем составляя 2,4 года. В ТП эти величины варьируют от 1,7 до 2,5, в среднем равняясь 2,0. Средняя длина отрицательных серий, как правило, превышает среднюю длину положительных.

Средние наблюдаемые отклонения от норм, выраженные в миллиметрах водного слоя, варьируют слабо и не обнаруживают какой-либо зависимости от длины серий, достигая ± 32 мм в ХП, ± 54 мм в ТП и ± 69 мм в годовом периоде, или соответственно ± 22 , ± 20 и $\pm 17\%$ норм. За среднюю серию средние величины отклонений в ХП достигают ± 77 мм, в ТП ± 112 мм и в годовом периоде ± 157 мм, что соответствует ± 54 , ± 42 и $\pm 39\%$ норм.

Сопоставление результатов исследования скользящих 3-летних кривых и разложения рядов на серии показало, что чередование пиков на скользящих кривых хорошо согласуется с чередованием серий длиной от 2 лет и выше. Удвоенный средний интервал между пиками разных знаков оказался равным 6,4 года, а удвоенная средняя длина серий длиной от 2 лет и более — 6,6 года. Удвоение МО этой длины дает 6,0 лет.

Пары смежных серий любой длины, разных знаков образуют наиболее короткие возможные циклы, которые могут быть названы элементарными циклами. Наименьшая длина одного ЭЦ

равна 2,0 годам, а его МО — 4,0 годам. Математическое ожидание числа ЭЦ в процентах от их общей суммы для ЭЦ длиной 2 и 3 года одинаково и равно 25%. С увеличением длины ЭЦ их доли уменьшаются, но медленнее, чем доли серий. Математическое ожидание суммарной длительности ЭЦ длиной от 2 до 5 лет равно 80% общей длины ряда.

Анализ исследуемых рядов показал, что средние величины долей ЭЦ различной длины близки к их МО. Однако число коротких ЭЦ все же несколько ниже соответствующих величин МО, а длинных — выше, в особенности в ХП. Среднее взвешенное число ЭЦ в исследованных рядах в ХП равно 32, в ТП — 36, а в годовом периоде — 33 с варьированием соответственно от 16 до 42, от 18 до 44 и от 19 до 44.

Длина ЭЦ в исследованных рядах колеблется по большей части в пределах 2—6 лет (85% всех случаев). Средние взвешенные длины ЭЦ оказались равными 4,6 года в ХП, 4,2 года в ТП и 4,5 года в годовом периоде при МО, равном 4,0 года. Названные наблюдаемые длины ЭЦ составляют около 0,7 длин циклов, выявленных с помощью кривых скользящих 3-летних средних сумм. Такое несоответствие объясняется тем, что скользящими 3-летними кривыми выявляются только те ЭЦ, длина которых не менее 4 лет. Поэтому для полного выявления всех возможных ЭЦ необходимо пользоваться разложением рядов на серии с последующим сочетанием их в ЭЦ. Скользящие кривые позволяют выявлять циклы длиной от 4—5 лет и более.

Исследование теми же методами рядов осадков за шесть месяцев ТП по данным 10 станций (всего шестьдесят 80-летних рядов) показало, что и месячные ряды подчинены тем же закономерностям, что и полугодовые. Почти все ряды оказались не противоречащими гипотезе случайного распределения. Длины серий варьируют от 1 до 14 лет, причем в 98% всех случаев они не превышают 6 лет.

Доли серий разной длины весьма близки к их МО при биномиальном распределении. Однако и здесь доля коротких серий несколько ниже МО, а длинных — несколько выше. Особенно сильно это выражено в июле. В июне значительно повышена доля серий длиннее 10 лет.

Средняя длина серий колеблется от 2,0 до 2,4 года при общей средней 2,1 и МО, равном 2,0. Средняя амплитуда отклонений за один месяц составила ± 21 мм, что соответствует 44% месячной нормы осадков. Для средней серии те же величины равны ± 45 мм и 91% нормы. Числа ЭЦ разной длины очень близко соответствуют их МО. Около 90% всех наблюдаемых ЭЦ по длине не превышает 6 лет. Их средняя длина равна 4,2 года.

Анализ рядов полугодовых сумм осадков с помощью автокорреляционных функций и спектрального разложения показал, что в этих рядах встречаются почти все циклы длиной от 2 до 20 лет (предел надежности при вероятности 95% и принятом сдвиге в $\frac{1}{4}$ ряда).

Частота встречаемости циклов различной длины равномерно убывает с увеличением их длины, начиная с самого короткого — 2—3 года до 4—5 лет. С увеличением длины частота продолжает убывать, но не равномерно, так как некоторые циклы (например, 6—7, 8—9, 9—10, 15—16, 19—20 лет) отличаются повышенной встречаемостью.

Доля длинных циклов, выявленных с помощью автокорреляционной функции, значительно больше, а доля коротких — значительно меньше, чем выявленных путем группировки серий в ЭЦ и чем величины соответствующих МО при биномиальном распределении. В отдельных пунктах из числа 42 исследованных может встретиться от 1 до 6 циклов разной длины.

Эти же закономерности относятся и к рядам месячных сумм осадков. В этих рядах некоторые циклы (например, 3—4, 13—14 лет) оказались обладающими значительно большей частотой встречаемости, чем в рядах полугодовых сумм. Частота других циклов (например, 4—5, 8—9, 9—10, 13—14 лет) при переходе от месяца к месяцу может изменяться в несколько раз.

В целом и результаты анализа рядов осадков с помощью автокорреляционных функций, и скользящие кривые показали, что при общей выраженности изложенных выше закономерностей каждая метеостанция имеет свои особенности временного хода осадков — как бы свое «лицо».

Анализ 27-летних рядов шести элементов водного баланса мощных типичных черноземов под целинной степью и дубравой был выполнен с помощью кривых скользящих средних 3-летних сумм и путем разложения на серии. Анализ показал, что отклонения и этих элементов от их средних значений группируются в чередующиеся серии с различными знаками. Длина серий варьировала от 1 до 11 лет, причем подавляющая их часть не превышала 4 лет, а длина пар смежных серий, образующих ЭЦ, — от 2 до 5 лет. Распределение пиков на кривых 3-летних скользящих средних сумм и здесь оказалось сопряженным с сочетаниями серий разных знаков длиной от 2 лет и более. Интервалы между пиками оказались варьирующими от 5 до 8 лет, в среднем равняясь 6—7 годам.

Средние длины и серий и ЭЦ в рядах, относящихся к лесной почве, длиннее относящихся к степной почве, а число серий соответственно меньше. Доли чисел серий разной длины обоих знаков в рядах, относящихся к степной почве, ближе к МО этих величин при биномиальном распределении, в отличие от данных для лесной почвы, где они различаются. Следовательно, лесной фитоценоз оказывает более сильное упорядочивающее действие на временной ход элементов водного баланса почв.

Ряды величин, характеризующих элементы водного баланса почв, сильнее отличаются от ряда величин МО при биномиальном распределении, чем ряды осадков. Это свидетельствует об инерционном влиянии запаса влаги в почве на временной ход элементов водного баланса. Кроме того, в этом ходе как в степной, так и

в лесной почве в некоторых элементах водного баланса почв обнаруживаются тренды различного направления, свидетельствующие о наличии длинных циклов, точное выявление которых требует более длинных рядов наблюдений.

Из сказанного видно, что различные методы анализа временного хода количества атмосферных осадков привели к несколько отличающимся результатам в отношении выявления цикличности этого хода. Необходимо попытаться установить, в каком соотношении между собой находятся эти результаты. Мы сделаем это раздельно для осадков холодного и теплого полугодий.

Как мы видели, ряды полугодовых сумм осадков за ТП могут считаться с вероятностью, равной 95%, не противоречащими гипотезе случайного распределения. Доли серий различной длины в этих рядах лишь в немногих случаях и незначительно отличаются от МО при биномиальном (т. е. случайном) распределении. Это позволяет допустить, что в ТП распределение осадков во времени определяется по преимуществу случайными причинами при незначительном участии других, неслучайных причин.

Пары смежных серий любой длины с разными знаками в этих рядах образуют элементарные циклы, длина которых колеблется по большей части от 2 до 6 лет. Сочетания смежных серий длиной от 2 лет и более лежат в основе 6—7-летней (гораздо реже 8—9-летней) цикличности, обнаруживаемой кривыми скользящих средних 3-летних сумм.

В каком соотношении обе эти формы цикличности, в особенности вполне реальные ЭЦ, могут находиться с теми циклами, которые выявляются с помощью автокорреляционной функции и спектрального разложения?

Для точного ответа на этот вопрос у нас данных пока нет. Можно допустить, что короткие циклы на коррелограммах длиной 2—3, 3—4, 4—5 и 5—6 лет, суммарное количество которых в ТП охватывает около половины всего ряда, — это преимущественно элементарные циклы, образуемые смежными сериями разных знаков. Весьма вероятно, что и среди других более длинных циклов, находимых с помощью коррелограмм, тоже встречаются ЭЦ. Но несомненно, что большая часть циклов длиннее 6 лет не относится к числу ЭЦ, так как МО совокупности ЭЦ длиной от 2 до 6 лет уже достигает 90% всей длины ряда. Из этого следует, что коррелограммы, наряду с элементарной цикличностью, выявляют вторичную цикличность, т. е. циклическую повторяемость элементарных циклов различной длины, причем сочетания ЭЦ могут быть многостепенными.

Переходя к ХП, напомним, что ряды за это полугодие оказались отчетливо противоречащими гипотезе случайного распределения. Конкретно это противоречие выражается в том, что более чем в половине этих рядов встречается немало длинных (свыше 9 лет) серий длиной до 21 года. Появление этих серий обязано своим происхождением каким-то неслучайным, вероятно внешним, причинам. Входить в рассмотрение их природы мы не имеем

возможности. Такими причинами могут быть, например, те, на которые указывают Дроздов и Григорьева [12]: колебания солнечной активности, автоколебания системы атмосфера—океан—полярные льды и др.

Однако, как показало разложение на серии рядов осадков за ХП и сопоставление долей серий с величинами их МО при биномиальном распределении, и в этом случае вклад случайности во временной ход осадков, т. е. их цикличность, тоже не мал. Этим фактором и объясняется возникновения ЭЦ, комбинация которых кладет начало возникновению более длинных циклов, выявляемых с помощью коррелограмм. Но в данном случае наличие более длинных серий, во-первых, порождает и более длинные ЭЦ, а во-вторых, само по себе может быть причиной возникновения в ходе осадков длинных циклов, состоящих из простых или многостепенных сочетаний ЭЦ.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить глубокую признательность профессору О. А. Дроздову за ценные советы и дружескую критику, полученные от него в процессе выполнения работы.

Большую благодарность автор выражает старшему научному сотруднику Почвенного института им. В. В. Докучаева Ф. И. Козловскому за полезные консультации в области применения математических методов, заведующему лабораторией математических методов того же института В. А. Рожкову за руководство расчетами на ЭВМ и старшему лаборанту того же института З. П. Поповой за выполнение большого объема графических и вычислительных работ.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ТАБЛИ

ДОЛЯ СЕРИИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ И РАЗНОГО ЗНАКА

Станции	Длина серий														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	70	47	59	20	26	23	0	5	3	5	17	10	0	0	
2. Киев	61	33	47	22	33	28	6	6	6	6	17	10	0	0	
3. Тула	31	38	35	38	15	27	16	8	11	15	23	19	0	0	8
4. Курск	68	59	64	23	9	16	9	18	14	0	5	2	0	0	9
5. Земетчно	36	43	39	29	36	32	14	7	11	0	7	4	7	0	
6. Харьков	61	24	43	28	29	29	6	18	11	0	12	6	0	0	6
7. Вологда	46	38	41	21	16	18	8	15	11	7	15	11	7	0	0
8. Пермь	52	76	65	24	12	17	6	6	6	6	0	3	6	0	
9. Пенза	54	31	42	31	31	30	0	8	4	8	0	4	0	0	
10. Казань	46	40	45	24	24	22	24	6	15	0	18	9	0	0	
11. Ворошиловград	39	53	46	33	12	23	22	18	20	6	12	9	0	0	
12. Волгоград	66	46	56	22	24	23	6	6	6	0	6	3	0	6	
13. Костычевская	58	36	46	14	29	21	7	7	7	7	7	7	7	0	
14. Боровое	63	45	54	13	31	22	12	6	9	6	6	6	6	0	
15. Эльтон	50	58	54	0	17	8	33	17	25	17	0	8	0	0	
16. Астрахань	70	48	59	10	24	17	10	19	14	0	0	0	5	5	
17. Свердловск	38	53	46	37	7	23	19	7	13	0	13	6	0	0	
18. Уральск	29	58	43	28	7	17	7	7	7	14	7	11	22	0	
19. Тобольск	46	52	50	12	6	8	24	12	18	18	12	15	0	12	
20. Сургут	37	46	41	18	9	14	9	27	18	0	0	0	0	9	
21. Томск	43	50	46	39	36	32	14	0	70	0	7	4	0	0	
22. Красноярск	56	13	35	11	13	12	22	13	18	0	0	0	0	0	
23. Иркутск	35	55	46	35	11	23	24	6	14	0	17	9	0	5	
24. Улан-Удэ	67	27	47	13	33	23	20	13	17	0	7	3	0	13	
25. Акмолинск	63	63	62	25	19	23	6	6	6	0	6	3	0	0	
26. Благовещенск	70	55	63	12	11	11	12	22	17	6	6	6	0	6	
27. Николаевск-на-Амуре	50	38	44	25	25	25	19	25	22	0	0	0	6	0	
28. Казалинск	39	42	40	39	16	27	11	26	19	11	6	8	0	5	
29. Ташкент	53	61	57	16	6	11	16	0	8	15	11	13	0	17	
30. Джамбул	56	47	51	22	12	17	11	24	17	0	12	6	6	0	
31. Нерчинск	40	65	52	47	7	28	0	14	7	7	7	7	0	0	
32. Чита	57	38	48	14	29	21	29	29	0	4	2	0	0	0	
33. Кяхта	47	38	43	41	25	33	0	19	9	6	6	6	0	6	
34. Вилюйск	53	67	60	18	6	11	12	11	11	12	5	9	5	6	
35. Якутск	40	40	40	40	20	30	7	20	13	6	6	7	0	0	
36. Верхоянск	24	53	38	41	24	32	29	0	15	0	18	9	0	5	
37. Чертынь	57	57	57	7	14	11	21	7	14	0	0	0	0	0	
38. Шенкурск	33	46	40	40	20	30	20	7	13	0	7	3	0	0	
39. Вильнюс	60	45	52	5	35	20	25	10	17	5	0	3	5	5	
40. Тарту	44	47	46	17	18	17	22	6	14	6	17	11	6	12	
41. Василевичи	71	38	55	11	27	19	6	6	6	6	6	6	6	17	
42. Байрам-Али	55	59	56	30	10	20	10	11	10	0	5	3	0	5	
Средние	51,1	46,6	48,4	23,9	19,8	20,7	13,1	11,9	14,7	4,7	7,7	6,0	2,2	3,9	

ЦА I

(% ОТ ИХ ОБЩЕГО ЧИСЛА). ХОЛОДОЕ ПОЛУГОДИЕ

(число лет) и их знаки

Общее число
серий,
соответст-
вующее
100%

												> 8								
6			7			8														
с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	+		-		с		+	-	с
												длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)			
0	5	5	5	0	0	0	0	0	0				0		0			20	19	39
0	5	0	3	0	0	0	0	5	3				0		0			18	18	36
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	13	8			4	13	26
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0			0	22	44
4	7	0	4	0	0	0	7	0	3				0	19	7			3	14	28
3	5	6	4	0	5	2	0	0	0				0	0	0			0	18	35
4	0	8	4	7	0	4	7	0	4				0	11	8			4	14	27
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			12	6	18	6			6	17	34
0	0	8	4	0	0	0	0	0	0			10	7	9, 12	22			10	13	26
0	6	0	3	0	0	0	0	0	6				0	0	0			0	17	34
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	13	5			2	18	35
3	0	0	0	0	0	0	0	6	0				0	9, 11	12			6	18	35
4	0	7	4	0	7	4	0	0	0			9	7	11	7			7	14	28
3	0	6	3	0	0	0	0	0	6				0	0	0			0	16	32
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	13	17			8	12	24
5	0	0	0	5	5	5	0	0	0				0	0	0			0	20	41
7	3	6	7	6	0	0	0	0	0				0	14	6			3	16	31
11	0	7	4	0	7	4	0	0	0				0	12	7			3	14	28
6	0	0	0	0	0	0	0	6	3				0	0	0			0	17	34
5	18	0	9	9	0	5	9	0	4				0	20	9			4	11	22
0	7	0	4	0	0	0	0	0	0			16	7	16	7			7	14	28
0	0	25	12	0	12	6	0	0	0			20	11	11	12			11	9	17
3	6	0	3	0	0	0	0	0	0				0	9	6			3	18	37
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	13	7			3	17	35
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			13	6	21	6			6	16	32
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0			0	17	35
3	0	0	0	0	0	0	0	6	3				0	9	6			3	16	32
													0		0			0	18	37
3	0	0	0	0	5	3	0	0	0				0	0	0			0	20	39
3	5	0	3	0	5	3	0	0	0				0	0	0			0	18	35
0	0	0	0	6	0	3	0	0	0				0	16	7			3	15	29
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0			0	21	42
3	0	0	0	6	0	3	0	6	3				0	0	0			0	17	33
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	10	5			3	17	35
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			9	7	9, 12	14			10	15	30
3	0	0	6	0	3	0	0	0	0				0	0	0			0	17	34
0	7	0	4	0	0	0	0	0	0				7		22			14	14	28
0	0	13	7	0	0	0	0	0	0				7		7			7	15	30
5	0	0	0	0	5	3	0	0	0				0	0	0			0	20	40
9	5	0	3	0	0	0	0	0	0				0	0	0			0	18	35
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	6			3	18	36
3	0	5	3	5	0	3	0	5	2				0	0	0			0	20	39
3,0	1,9	2,4	2,1	1,0	1,4	1,2	0,7	1,1	0,9				1,4		5,2			3,0	17	34

ТАБЛИ

ДОЛЯ СЕРИЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ И РАЗНОГО ЗНАКА

Станция	Длина серий													
	1			2			3			4			5	
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-
1. Кишинев	55	40	47	30	45	38	10	10	10	0	0	0	0	5
2. Киев	33	44	39	39	22	31	22	6	14	6	11	8	0	11
3. Тула	40	25	32	40	50	45	7	0	4	7	6	6	0	19
4. Курск	53	47	50	6	30	18	18	6	12	12	5	9	6	12
5. Земетчино	45	46	46	31	18	24	6	12	9	6	6	6	6	6
6. Харьков	59	61	60	23	17	20	9	9	9	5	9	7	4	4
7. Вологда	53	55	54	21	25	23	16	5	10	0	10	5	5	0
8. Пермь	58	40	49	26	25	26	0	15	8	11	10	10	5	10
9. Пенза	55	55	55	25	20	23	5	15	10	15	0	7	0	0
10. Казань	55	50	52	32	32	32	9	9	9	0	0	0	0	5
11. Ворошиловград	73	52	62	14	30	22	9	9	9	4	0	2	0	5
12. Волгоград	67	37	51	17	31	24	0	5	3	6	11	8	0	16
13. Костычевская	50	33	42	33	28	30	6	17	11	11	0	6	0	22
14. Боровое	72	50	61	11	22	16	11	17	14	0	0	0	0	6
15. Эльтон	57	46	51	7	31	18	14	0	8	14	15	15	8	8
16. Астрахань	47	55	51	24	17	20	6	11	9	12	0	6	6	0
17. Свердловск	66	30	48	14	25	20	14	35	24	0	10	5	6	0
18. Уральск	70	52	61	10	24	17	0	5	2	15	5	10	5	4
19. Тобольск	38	47	42	37	20	29	0	0	0	6	13	10	13	0
20. Сургут	65	53	59	25	11	18	0	16	8	10	0	5	0	5
21. Томск	44	44	44	39	17	28	11	22	17	0	0	0	6	11
22. Красноярск	56	31	44	19	25	22	13	25	19	6	13	9	0	0
23. Иркутск	55	43	49	35	29	32	5	5	5	0	19	10	5	0
24. Улан-Удэ	47	56	51	29	6	17	18	28	23	0	0	0	6	5
25. Акмолинск	58	50	54	6	25	16	21	10	15	5	15	10	5	0
26. Благовещенск	60	47	53	27	27	27	7	0	4	6	20	13	0	0
27. Николаевск-на-Амуре	61	41	51	11	24	17	11	23	17	11	6	9	6	0
28. Казалинск	66	38	53	19	38	29	10	10	10	0	5	2	0	5
29. Ташкент	40	40	40	40	30	35	15	15	15	5	10	8	0	5
30. Джамбул	59	56	58	36	26	31	0	4	2	5	9	7	0	5
31. Нерчинск	33	27	30	40	33	37	7	27	18	13	7	10	7	6
32. Чита	35	61	49	12	17	14	41	6	23	12	0	6	0	6
33. Кяхта	61	53	57	11	29	20	17	0	9	11	6	8	0	6
34. Виллюйск	59	50	54	27	32	30	9	13	11	5	5	5	0	0
35. Якутск	50	54	52	36	23	30	9	5	7	5	13	9	0	0
36. Верхоянск	65	53	59	18	29	23	12	0	6	0	0	0	0	6
37. Чердынь	47	27	37	13	27	20	13	27	20	20	13	17	0	0
38. Шенкурск	33	29	32	7	22	14	46	14	31	0	21	10	7	7
39. Вильнюс	50	60	55	35	20	26	5	15	10	5	0	3	0	0
40. Тарту	21	47	34	53	16	34	16	26	21	5	11	8	5	0
41. Василевичи	25	56	41	32	13	22	25	13	19	12	6	9	0	0
42. Байрам-Али	60	52	57	25	14	20	5	14	10	5	10	7	0	5
Средние	52,3	46,4	49,3	24,7	24,9	24,7	11,4	12,0	11,8	6,3	7,1	6,8	2,7	4,7

(число лет) и их знаки

Общее число
серий,
соответст-
вующее
100%

												соответст- вующее 100%							
6				7			8			/ 8									
с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с		+	-	с	
										длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)				
3	5	0	2	0	0	0	0	0	0	9	0		0		0	20	20	40	
6	0	0	0	0	6	2	0	0	0		0	0		0		0	18	18	36
10	6	0	3	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	15	16	31
9	6	0	2	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	17	17	34
6	0	6	3	6	0	3	0	0	0		0	0	9	6	3	0	16	17	33
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	22	23	45
3	5	0	3	0	0	0	0	0	0		0	0	9	5	2	0	19	20	39
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	19	20	39
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		10	5	0	0	0	0	20	20	40
2	4	4	5	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	22	22	44
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	9	4	3	0	22	23	45
8	0	0	6	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	18	19	37
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	18	18	36
3	0	5	3	6	0	3	0	0	0		0	0		0		0	18	18	36
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	14	13	27
3	5	6	6	0	11	5	0	0	0		0	0		0		0	17	18	35
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	21	20	41
5	0	10	5	0	0	0	0	0	0		0	0		0		0	20	21	41
7	0	13	6	6	7	6	0	0	0		0	0		0		0	16	15	31
3	0	10	5	0	0	3	0	5	2		0	0	10	6	3	0	20	19	39
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	6	0	16	16	32	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	20	21	41	
2	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	17	17	34	
6	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	19	20	39	
3	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	3	0	15	15	30	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3		0		0	18	17	35	
3	0	0	0	0	0	0	0	6	3										
2	0	4	2	5	0	2	0	0	0	0	0		0		0	21	21	42	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	20	20	40	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	22	23	45	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	15	15	30	
8	0	5	3	0	0	0	0	0	5	2	0		0		0	17	18	35	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	6	3	0	18	17	35	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	22	22	44	
0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	22	21	43	
3	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9,12	12	6	0	17	17	34	
0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	15	14	29	
7	7	0	3	0	0	0	0	7	3	0	0	11	5	3	0	20	20	40	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	19	19	38	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		6	3	0	16	16	32	
0	6	5	3	0	0	0	0	6	3	0	0		0		0	20	21	41	
2	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0				
3,7	1,7	2,1	1,9	0,5	0,6	0,5	0,1	0,7	0,4	0,3	1,5	0,9	18	19	37				

ТАБЛИ

ДОЛЯ СЕРИЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ И РАЗНЫХ ЗНАКОВ

Станция	Длина серий														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	27	27	27	53	27	40	20	27	23	0	0	0	0	7	5
2. Киев	44	39	42	28	17	22	11	17	14	11	22	17	6	0	15
3. Тула	29	21	25	29	43	36	14	7	11	28	14	21	0	5	0
4. Курск	59	59	59	18	27	23	9	14	11	9	0	5	5	0	6
5. Земетчино	59	53	56	0	12	6	24	12	18	0	12	6	12	6	0
6. Харьков	45	60	52	20	20	20	20	10	15	10	5	8	0	0	0
7. Вологда	39	59	49	39	18	29	17	6	10	0	12	6	0	0	0
8. Пермь	35	72	54	29	11	20	6	6	6	24	0	11	0	6	0
9. Пенза	34	50	42	34	0	17	8	12	12	0	0	0	8	0	10
10. Казань	55	35	45	30	35	33	5	15	10	5	5	5	0	0	0
11. Ворошиловград	47	53	50	35	18	26	0	12	6	12	6	9	0	0	0
12. Волгоград	61	28	44	11	33	22	17	22	19	6	6	6	0	11	7
13. Костычевская	27	47	38	47	20	33	7	0	3	13	7	10	6	7	7
14. Боровое	60	40	50	13	20	18	13	27	20	7	0	3	0	7	0
15. Эльтон	40	20	30	30	20	25	0	30	15	10	20	15	0	0	0
16. Астрахань	44	47	46	22	16	19	17	16	16	16	16	11	11	11	0
17. Свердловск	52	35	44	24	35	29	14	20	17	10	10	10	0	0	0
18. Уральск	29	43	36	36	29	32	7	7	7	7	0	4	21	0	6
19. Тобольск	47	44	46	16	33	24	21	11	16	0	0	0	16	6	13
20. Сургут	28	20	23	33	41	37	13	13	13	13	13	13	0	13	6
21. Томск	53	39	47	21	33	27	16	6	11	5	6	5	5	6	0
22. Красноярск	44	38	40	14	15	15	21	15	18	7	23	15	7	0	0
23. Иркутск	53	45	49	21	25	23	21	10	15	0	15	8	5	0	0
24. Улан-Удэ	53	66	60	18	6	11	18	17	17	0	0	0	6	11	0
25. Акмолинск	44	52	49	19	18	18	19	12	15	6	0	3	6	0	0
26. Благовещенск	39	43	41	15	29	22	31	0	15	15	14	15	0	14	15
27. Николаевск-на-Амуре	47	43	45	13	21	17	20	7	14	13	7	10	0	15	11
28. Казалинск	39	47	43	33	16	24	17	21	19	11	0	6	0	11	6
29. Ташкент	39	53	46	28	6	17	22	12	17	11	12	11	0	6	0
30. Джамбул	35	50	43	35	22	29	12	17	14	0	11	6	12	0	7
31. Нерчинск	33	40	37	33	20	27	13	20	17	13	13	13	8	7	0
32. Чита	47	65	57	11	15	13	32	10	21	10	0	5	0	0	0
33. Кяхта	47	50	48	0	29	14	27	0	14	20	7	14	6	7	0
34. Вилюйск	50	54	52	36	27	32	9	19	14	5	0	2	0	0	6
35. Якутск	44	55	50	28	0	14	11	22	17	11	6	8	6	6	11
36. Верхоянск	33	50	42	39	33	36	17	6	11	6	0	3	0	15	23
37. Чердынь	47	38	43	15	23	19	8	0	4	15	8	11	0	0	0
38. Шенкурск	14	53	33	29	8	19	36	8	22	0	0	0	0	23	0
39. Вильнюс	62	57	60	14	24	19	5	14	10	14	0	7	5	0	0
40. Тарту	37	47	42	32	16	24	21	21	0	16	8	10	0	0	0
41. Василевичи	60	40	50	7	13	10	0	20	10	7	20	14	12	0	0
42. Байрам-Али	55	40	48	6	18	12	27	18	22	6	6	6	0	12	0
Средние	44,0	45,7	45,2	24,2	21,4	22,8	15,0	13,4	13,9	8,1	7,2	7,8	4,1	5,8	

ЦА III

(% ОТ ИХ ОБЩЕГО ЧИСЛА). ГОДОВОЙ ПЕРИОД

(число лет) и их знаки

Общее число
серий,
соответст-
вующее
100%

														соответст- в ющее 100%						
6				7			8			> 8										
с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с		+	-	с		
										длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)					
3	0	0	0	0	12	7	0	0	0	10	0	16	0	0	15	15	30			
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	18	18	36	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	14	14	28	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	22	22	44	
9	0	0	0	0	0	0	0	5	5		5		0		0	0	0	17	17	34
0	5	5	5	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	0	20	20	40
0	5	0	3	0	0	0	0	0	0		0		0		5	3	3	18	17	35
3	0	0	0	6	0	3	0	0	0		33		17		12	5	4	12	12	24
4	8	0	4	0	0	0	0	0	0		0		0		8	0	0	20	20	40
5	5	0	2	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	0	17	17	34
0	0	6	3	0	5	3	0	0	0	12	6	0	0	3	17	17	34			
6	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	18	18	36			
7	0	7	3	0	6	3	0	6	3	0	0	0	0	0	15	15	30			
3	0	0	0	7	0	3	0	6	3	0	0	0	0	0	15	15	30			
0	20	0	10	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	20			
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	19	37			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	20	41			
11	0	0	0	0	14	7	0	0	0	0	0	13	7	3	14	14	28			
11	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	18	37			
7	13	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	30			
5	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	19	18	37			
4	0	0	0	0	0	0	7	0	4	0	0	10	9	4	12	12	24			
3	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	19	20	39			
9	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	17	17	34			
3	6	6	6	0	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	16	17	33			
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14	27			
7	0	0	0	0	7	4	0	0	0	9	7	0	0	3	15	14	29			
5	0	0	0	5	3	0	0	0	0	9	0	13	0	18	18	36				
3	0	11	6	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	18	17	35	
6	6	0	2	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	17	17	34	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	15	15	30	
0	5	2	0	0	0	0	5	2	2		0		0	0	0	0	19	20	39	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	13	7	3	15	14	29	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	22	22	44	
6	0	11	5	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	18	18	36	
6	0	0	5	0	2	0	0	0	0		0		0	0	0	0	13	13	26	
8	0	8	4	0	0	0	0	0	0		15		8	15	8	11	14	13	27	
11	7	0	4	7	8	7	7	0	4		0		0		0	2	21	21	42	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		5		0	2	19	19	38	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0	0	15	15	30	
7	0	0	0	7	0	3	7	0	3		0		7		0	3	18	17	35	
6	0	6	3	6	0	3	0	0	0		0		0		0	0	17	17	35	
4,9	1,9	1,9	1,9	0,9	2,0	1,4	0,9	1,3	1,1		0,9		1,3		1,0	17	17	34		

ДОЛЯ СЕРИЙ ДЛИНОЙ СВЫШЕ 8 ЛЕТ С РАЗНЫМИ ЗНАКАМИ (% ОТ ОБЩЕГО ЧИСЛА СЕРИЙ)

Станция	Холодное полугодие						Теплое полугодие						Год			
	+			—			+			—			+		—	
	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)	длина серии (число лет)	доля (%)
3. Тула		0	13	8		4		0		0		0		0		0
5. Земетчино		0	19	7		3		0	9	6		3		0		0
7. Вологда		0	11	8		4		0	9	5		2		0	16	5
8. Пермь	12	6	18	6		6		0		0		0		0	12	5
9. Пенза	10	7	9	11		9		0		0		0	10	8		0
11. Ворошиловград		0	17	11		6		0		0		0		0		0
12. Волгоград		0	13	5		2		0	9	4		3	12	6		0
		0	9	6		3		0		0		0		0		0
		0	11	6		3		0		0		0		0		0
13. Костычевская		7	11	7		7		0		0		0		0		0
15. Эльгон		0	13	17		8		0		0		0		0		0
17. Свердловск		0	14	6		3		0		0		0		0		0
18. Уральск		0	12	7		3		0		0		0		0	13	7
20. Сургут		0	20	9		4		0		0		0		0		0
21. Томск	16	7	16	7		7		0	10	6		3		0		0

Станция	Холодное полугодие						Теплое полугодие						Год					
	+			-			+			-			+			-		
	длина серии (число лет)	доля (%)		длина серии (число лет)	доля (%)		длина серии (число лет)	доля (%)		длина серии (число лет)	доля (%)		длина серии (число лет)	доля (%)		длина серии (число лет)	доля (%)	
22. Красноярск	20	11		11	12	11	9	6		12	6			0		10	9	4
23. Иркутск		0		9	6	3		0			0			0			0	0
24. Улан-Удэ		0		13	7	3		0			0			0			0	0
25. Аквилинск	13	6		21	6	6		0			0			0			0	0
26. Благовещенск		0			0	0		0		10	6			0			0	0
27. Николаевск-на-Амуре		0		9	6	3		0			0		9	7			0	3
31. Нерчинск		0		16	7	3		0			0			0			0	0
33. Кяхта		0			0	0		0		13	6			0		13	7	3
34. Вилюйск		0		10	5	3		0			0			0			0	0
35. Якутск	9	7		9	7	7		0			0			0			0	0
		0		12	7	3		0			0			0			0	0
36. Верхоянск		0			0	0		0		9	6			0			0	0
		0			0	0		0		12	6			0			0	0
37. Чердынь	9	7		9	7	5	13	7			0		9	7		9	7	8
		0		11	7	5		0			0		10	7			0	4
				11	7	5		0			0			0			0	0
38. Шенкурск		7		9	7	7		0			0			0			0	0
39. Вильнюс	11	0			0	0		0		11	5			0		9	5	2
41. Василевичи		0		12	6	3		0		9	6			0		9	7	3

ОБЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СЕРИЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

Станция	Длина серий														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	
1. Кишинев	14	9	23	8	10	18	0	3	3	4	12	16	0	0	
2. Киев	11	6	17	8	12	20	3	3	6	4	12	16	0	0	
3. Тула	4	5	9	10	4	14	6	3	9	8	12	20	0	5	
4. Курск	15	13	28	10	4	14	6	12	18	0	4	4	0	10	
5. Земетчино	5	6	11	8	10	18	6	3	9	0	4	4	5	0	
6. Харьков	11	4	15	10	10	20	3	9	12	0	8	8	0	5	
7. Вологда	6	5	11	6	4	10	3	6	9	4	8	12	5	0	
8. Пермь	9	13	22	8	4	12	3	3	6	4	0	4	5	0	
9. Пенза	7	4	11	8	8	16	0	3	3	4	0	4	0	0	
10. Казань	8	7	15	8	8	16	12	3	15	0	12	12	0	0	
11. Ворошиловград	7	9	16	12	4	16	12	9	21	4	8	12	0	0	
12. Волгоград	12	8	20	8	8	16	3	3	6	0	4	4	0	5	
13. Костычевская	8	5	13	4	8	12	3	3	6	4	4	8	5	0	
14. Боровое	10	7	17	4	10	14	6	3	9	4	4	8	5	0	
15. Эльтон	6	7	13	0	4	4	12	6	18	8	0	8	0	0	
16. Астрахань	14	10	24	4	10	14	6	12	18	0	0	0	5	5	
17. Свердловск	6	8	14	12	2	14	9	3	12	0	8	8	0	5	
18. Уральск	4	8	12	8	2	10	3	3	6	8	4	12	15	0	
19. Тобольск	8	9	17	4	2	6	12	6	18	12	8	20	0	10	
20. Сургут	4	5	9	4	2	6	3	9	12	0	0	0	0	5	
21. Томск	6	7	13	8	10	18	6	0	6	0	4	4	0	0	
22. Красноярск	5	1	6	2	2	4	6	3	9	0	0	0	0	0	
23. Иркутск	7	11	18	12	6	18	19	6	15	4	4	8	0	5	
24. Улан-Удэ	11	5	16	6	14	20	6	9	15	0	4	4	5	10	
25. Акмолинск	10	10	20	8	6	14	3	3	6	0	4	4	0	0	
26. Благовещенск	12	10	22	4	4	8	6	12	18	4	4	8	0	5	
27. Николаевск-на-Амуре	8	6	14	8	8	16	9	12	21	0	0	0	5	0	
28. Казалинск	7	8	15	14	6	20	6	15	21	8	4	12	0	5	
29. Ташкент	12	12	24	6	2	8	6	0	6	12	8	20	0	15	
30. Джамбул	10	8	18	8	4	12	6	12	18	0	8	8	5	0	
31. Нерчинск	6	9	15	14	2	16	0	6	6	4	4	8	0	0	
32. Чита	12	8	20	6	12	18	18	18	36	0	4	4	0	0	
33. Кяхта	8	6	14	14	8	22	0	9	9	4	4	8	0	5	
34. Вилуйск	9	12	21	6	2	8	6	6	12	8	4	12	5	5	
35. Якутск	6	6	12	12	6	18	3	9	12	4	4	8	0	0	
36. Верхоянск	11	9	20	6	10	16	6	0	6	0	0	0	0	5	
37. Чердынь	8	8	16	2	4	6	9	3	12	6	0	0	0	0	
38. Шенкурск	5	7	12	12	6	18	9	3	12	6	4	4	0	0	
39. Вильнюс	12	9	21	2	14	16	15	6	21	4	0	4	5	5	
40. Тарту	8	8	16	6	6	12	12	3	15	4	12	16	5	10	
41. Василевичи	13	7	20	4	10	14	3	3	6	4	4	8	5	15	
42. Байрам-Али	11	11	22	12	4	16	6	6	12	0	4	4	0	5	
Средние (% от суммы)	25,3	17,9	21,1	21,8	15,0	18,0	18,7	13,3	15,9	9,6	11,1	10,4	6,0	7,4	
МО (%)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	18,8	18,8	18,8	12,5	12,5	12,5	7,8	7,8	

107

ОБЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СЕРИЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

Станция	Длина серий														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	11	8	19	12	18	30	6	6	12	0	0	0	0	5	
2. Киев	6	8	14	14	8	22	12	3	15	4	8	12	0	10	
3. Тула	6	4	10	12	16	28	3	0	3	4	4	8	0	15	
4. Курск	9	8	17	2	10	12	9	3	12	8	4	12	5	10	
5. Земетчино	7	8	15	10	6	16	3	6	9	4	4	8	5	5	
6. Харьков	13	14	27	10	8	18	6	6	12	4	8	12	5	5	
7. Вологда	10	11	21	8	10	18	9	3	12	0	8	8	5	0	
8. Пермь	11	8	19	10	10	20	0	9	9	8	8	16	5	10	
9. Пенза	11	11	22	10	8	18	3	9	12	12	0	12	0	0	
10. Казань	12	11	23	14	14	28	6	6	12	0	0	0	0	5	
11. Ворошиловград	16	12	28	6	14	20	6	6	12	4	0	4	0	5	
12. Волгоград	12	7	19	6	12	18	0	3	3	4	8	12	0	15	
13. Костычевская	9	6	15	12	10	22	3	9	12	8	0	8	0	20	
14. Боровое	13	9	22	4	8	12	6	9	15	0	0	0	0	5	
15. Эльтон	8	6	14	2	8	10	6	0	6	8	8	16	5	5	
16. Астрахань	8	10	18	8	6	14	3	6	9	8	0	8	5	0	
17. Свердловск	14	6	20	6	10	16	9	21	30	0	8	8	5	0	
18. Уральск	14	11	25	4	10	14	0	3	3	12	4	16	5	5	
19. Тобольск	6	7	13	12	6	18	0	0	0	4	8	12	10	0	
20. Сургут	13	10	23	10	4	14	0	9	9	8	0	8	0	5	
21. Томск	8	8	16	14	6	20	6	12	18	0	0	0	5	10	
22. Красноярск	9	5	14	6	8	14	6	12	18	4	8	12	0	0	
23. Иркутск	12	9	21	12	12	24	3	3	6	0	16	16	5	0	
24. Улан-Удэ	8	10	18	10	0	10	9	12	21	0	0	0	5	10	
25. Акмолинск	11	10	21	2	10	12	12	12	18	4	12	16	5	0	
26. Благовещенск	9	7	16	8	8	16	3	6	3	4	12	16	0	0	
27. Николаевск-на-Амуре	11	7	18	4	8	12	6	0	18	8	4	12	5	0	
28. Казалинск	14	8	22	18	16	24	6	12	12	0	4	4	0	5	
29. Ташкент	8	8	16	16	12	28	9	9	18	4	8	12	0	5	
30. Джамбул	13	13	26	16	12	28	0	3	3	4	8	12	0	5	
31. Нерчинск	5	4	9	12	10	22	3	12	15	8	4	12	5	5	
32. Чита	6	11	17	4	6	10	21	3	24	8	0	8	0	5	
33. Кяхта	11	9	20	4	10	14	9	0	9	8	4	12	0	5	
34. Вилуйск	13	11	24	12	14	26	6	9	15	4	4	8	0	0	
35. Якутск	12	12	24	16	8	24	6	3	9	4	12	16	0	0	
36. Верхоянск	4	9	13	14	8	22	15	0	15	0	12	12	0	5	
37. Чердынь	7	4	11	4	8	12	6	12	18	12	8	20	0	0	
38. Шенкурск	5	4	9	2	6	8	21	6	27	0	12	12	5	5	
39. Вильнюс	10	12	22	14	8	22	3	9	12	4	0	4	0	0	
40. Тарту	4	9	13	20	6	26	9	15	24	4	8	12	5	0	
41. Василевичи	4	9	13	10	4	14	12	6	18	8	4	12	0	0	
42. Байрам-Али	12	11	23	10	6	16	3	9	12	4	8	12	0	5	
Средние (% от суммы)	28,5	21,7	24,8	26,6	23,8	25,1	16,6	15,5	16,0	17,7	13,3	13,1	6,7	10,8	
МО (%)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	18,8	18,8	18,8	12,5	12,5	12,5	7,8	7,8	

И РАЗНЫХ ЗНАКОВ. ТЕПЛОЕ ПОЛУГОДИЕ

(число лет) и их знаки																			Сумма		
6				7			8			9			10			> 10					
с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
5	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	37	72
10	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	44	80
15	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	35	70
15	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	35	74
10	0	6	6	7	0	7	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	36	44	80
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	41	79
5	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	34	45	79
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	45	79
0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	36	44	80
5	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42	80
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	32	46	78
15	12	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	45	79
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	45	77
5	0	6	6	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	37	67
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	27	56
5	6	6	12	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42	80
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	45	79
5	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	45	80
10	0	12	12	7	7	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	40	79
5	0	12	12	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	48	79
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	33	46	79
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	9	0	0	0	12	12	34	45	79
5	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	47	79
15	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	38	70
5	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	38	78
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	24	37	61
5	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	39	73
5	0	6	6	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	45	80
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	42	79
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	41	74
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	35	68
5	0	6	6	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	39	78
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	32	41	73
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	38	73
0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42	80
5	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	34	74
0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	42	38	80
10	6	0	6	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	41	80
0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	11	11	39	40	79
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	38	80
0	6	0	6	0	0	0	0	8	8	0	9	9	0	0	0	0	0	0	40	40	80
5	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	51	80
8,8	4,3	5,9	5,2	2,5	1,7	2,1	0,6	2,9	1,8	0,6	1,7	1,2	0,0	1,2	0,7	0,9	1,5	1,2	100	100	100
7,8	4,8	4,8	4,8	2,8	2,8	2,8	1,6	1,6	1,6	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	100	100	100

ОБЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СЕРИЙ РАЗНОЙ

Станция	Длина серий														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	4	4	8	16	8	24	9	12	21	0	0	0	0	5	
2. Киев	8	7	15	10	6	16	6	9	15	8	16	24	5	5	
3. Тула	4	3	7	8	12	20	6	3	9	16	8	24	0	10	
4. Курск	13	13	26	8	12	20	6	9	15	8	0	8	5	0	
5. Земетчно	10	9	19	0	4	4	12	6	18	0	8	8	10	5	
6. Харьков	9	12	21	8	8	16	12	6	18	8	4	12	0	0	
7. Вологда	7	10	17	14	6	20	9	3	12	0	8	8	0	0	
8. Пермь	6	13	19	10	4	14	3	3	6	16	0	16	0	5	
9. Пенза	4	6	10	8	0	8	3	6	9	0	0	0	5	0	
10. Казань	11	7	18	12	14	26	3	9	12	4	4	8	0	10	
11. Ворошиловград	8	9	17	12	6	18	0	6	6	8	4	12	0	0	
12. Волгоград	11	5	16	4	12	16	9	12	21	4	4	8	0	10	
13. Бостычевская	4	7	11	14	6	20	3	0	3	8	4	12	5	5	
14. Боровое	9	6	15	4	6	10	6	12	18	4	0	4	0	5	
15. Эльтон	4	2	6	6	4	10	0	9	9	4	8	12	0	0	
16. Астрахань	8	9	17	8	6	14	9	9	18	4	12	16	10	5	
17. Свердловск	11	7	18	10	14	24	9	12	21	8	8	16	0	0	
18. Уралск	4	6	10	10	8	18	3	3	6	4	0	4	15	0	
19. Тобольск	9	8	17	6	12	18	12	6	18	0	0	0	15	5	
20. Сургут	4	3	7	10	12	22	6	6	12	8	8	16	0	10	
21. Томск	10	7	17	8	12	20	9	3	12	4	4	8	5	5	
22. Красноярск	5	2	7	4	6	10	6	6	12	8	8	16	0	0	
23. Иркутск	10	9	19	8	10	18	12	6	18	0	12	12	6	0	
24. Улан-Удэ	9	11	20	6	0	6	9	12	21	0	0	0	5	10	
25. Акмоллинск	7	9	16	6	6	12	9	6	15	4	0	4	5	0	
26. Благовещенск	5	6	11	4	8	12	12	0	12	8	8	16	0	10	
27. Николаевск-на-Амуре	7	6	13	4	6	10	9	3	12	8	4	12	0	10	
28. Казалинск	6	8	14	14	6	20	9	12	21	8	0	8	0	10	
29. Ташкент	7	9	16	10	2	12	12	6	18	8	8	16	0	5	
30. Джамбул	6	9	15	12	8	20	6	9	9	0	8	8	10	0	
31. Нерчинск	5	6	11	10	6	16	6	9	15	8	8	16	5	5	
32. Чита	9	13	22	4	6	10	18	6	24	8	0	8	0	0	
33. Кяхта	7	7	14	0	8	8	12	0	12	12	4	16	5	5	
34. Вилуйск	11	12	23	16	12	28	6	12	18	4	0	4	0	0	
35. Якутск	8	10	18	10	0	10	6	12	18	8	4	12	5	5	
36. Верхоянск	6	9	15	14	12	26	9	3	12	4	0	4	0	10	
37. Чердынь	6	5	11	4	6	10	3	0	3	8	4	12	0	10	
38. Шенкурск	2	7	9	8	2	10	15	3	18	0	0	0	0	15	
39. Вильнюс	13	12	25	6	10	16	3	9	12	12	0	12	5	0	
40. Тарту	8	8	16	10	8	18	12	12	24	0	12	12	10	0	
41. Васплевичи	9	6	15	2	4	6	0	9	9	4	12	16	10	0	
42. Байрам-Али	10	7	17	2	6	8	15	9	24	4	4	8	0	10	
Средние (% от суммы)	20,9	20,0	20,5	23,0	19,1	20,9	20,7	17,2	18,9	15,2	11,5	13,2	9,2	10,5	
МО (%)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	18,8	18,8	18,8	12,5	12,5	12,5	7,8	7,8	

ДЛИНЫ И РАЗНЫХ ЗНАКОВ. ГОДОВОЙ ПЕРИОД

(число лет) и их знаки																				Сумма		
6				7			8			9			10			> 10						
с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	
5	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	43	72	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	43	80	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	36	70	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	34	74	
15	0	0	0	0	0	0	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	80	
0	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	36	79	
0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	36	43	79	
5	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	42	37	79	
5	6	0	6	0	0	0	0	32	32	0	0	0	0	10	0	10	0	0	36	44	80	
10	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	44	80	
0	0	6	6	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12	40	38	78	
10	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	3	79	
10	0	6	6	0	7	7	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	43	77	
5	0	0	0	7	0	7	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	37	67	
0	12	0	12	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	30	56	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	41	80	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	41	79	
15	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	36	44	80		
20	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	37	79	
10	12	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	39	79	
10	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	43	79	
0	0	6	6	0	0	0	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	12	12	31	48	79	
5	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	44	79	
15	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	33	70	
5	6	6	12	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	41	78	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	32	61	
10	0	0	0	0	7	7	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	37	36	73	
10	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	43	80	
5	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	42	79	
10	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	34	74	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	34	68	
0	0	6	6	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	39	78	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	36	37	73		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	36	73	
10	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	43	80	
10	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	34	74	
10	0	6	6	0	0	0	0	0	0	9	9	18	10	0	10	0	0	0	40	40	80	
15	6	0	6	7	7	14	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	34	80	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	39	40	79	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	80	
10	0	0	0	7	0	7	8	0	8	0	9	9	0	0	0	0	0	0	40	40	80	
10	0	6	6	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42	80	
9,9	4,1	5,4	4,7	1,4	6,2	4,0	2,2	4,6	3,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,0	0,3	0,2	4,9	3,5	100	100	100	
7,8	4,8	4,8	4,8	2,8	2,8	2,8	1,6	1,6	1,6	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	100	100	100	

СРЕДНИЙ ЗА ПОЛУГОДИЕ РАЗМЕР ОТКЛОНЕНИЙ (мм) В СЕРИЯХ

Станция	Длина серий (число														
	1			2			3			4			5		
	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с
1. Кишинев	52	49	51	49	59	55	0	20	20	62	51	66	0	0	0
2. Киев	97	47	79	82	53	65	43	36	39	39	60	55	0	0	0
3. Тула	77	36	54	23	30	25	61	42	54	69	37	50	0	27	27
4. Курск	49	44	47	60	21	49	65	40	48	0	28	28	0	48	48
5. Земетчино	24	26	26	42	50	48	41	18	33	0	34	34	10	0	0
6. Харьков	65	34	57	50	36	43	62	38	45	0	42	42	0	60	60
7. Вологда	35	23	29	39	17	30	87	20	42	20	35	30	41	0	41
8. Пермь	36	28	31	44	23	37	69	11	25	66	0	66	67	0	67
9. Пенза	48	15	36	57	20	39	0	24	24	120	0	120	0	0	0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10. Казань	39	20	30	29	15	22	41	54	43	0	30	30	0	0	0
11. Ворошиловград	37	30	33	55	25	47	52	45	49	44	29	34	0	0	0
12. Волгоград	33	50	40	48	15	31	104	58	81	0	34	34	0	45	45
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13. Костычевская	23	36	27	30	33	32	26	10	18	28	34	31	57	0	57
14. Боровое	51	60	54	71	39	48	64	25	51	31	26	28	70	0	70
15. Эльтон	55	30	42	0	38	38	26	10	21	53	0	53	0	0	0
16. Астрахань	16	25	20	33	12	17	32	14	20	0	0	0	26	22	24
17. Свердловск	10	21	15	40	27	38	41	13	34	0	30	30	0	24	24
18. Уральск	18	35	29	27	27	27	36	37	36	45	23	38	50	0	50
19. Тобольск	28	29	29	29	16	22	35	14	28	28	26	27	0	26	26
20. Сургут	30	24	27	55	42	51	32	22	24	0	0	0	0	40	40
21. Томск	41	32	35	39	28	33	48	0	48	0	31	31	0	0	0

РАЗНОЙ ДЛИНЫ И РАЗЛИЧНЫХ ЗНАКОВ. ХОЛОДНОЕ ПОЛУГОДИЕ

лет) и их знаки																Средний взвешенный размер (мм)		
6			7			8			> 8						+	-	с	
+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с					
									длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)				
81	144	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	45	51	
123	0	123	0	74	74	0	47	47	0	0	0	0	0	0	86	55	67	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	34	13	34	52	34	41	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	40	46	
69	0	69	0	0	0	76	0	76	0	0	19	50	19	50	49	43	45	
79	0	79	22	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	37	47	
0	48	48	39	0	39	42	0	42	0	0	11	66	11	66	41	40	40	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	48	18	85	30	133	50	53	52	
0	68	68	0	0	0	0	0	0	10	72	9	38	19	110	68	38	49	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	48	12	48	—	—	—	
66	0	66	0	0	0	0	39	39	0	0	0	0	0	0	42	30	35	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	53	13	53	49	40	44	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	48	9	48	63	39	48	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	37	11	37	—	—	—	
0	32	32	0	30	30	0	0	0	9	70	11	33	20	103	43	31	36	
0	31	31	0	0	0	0	56	56	0	0	0	0	0	0	56	43	49	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	48	13	48	41	35	38	
0	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	18	20	
25	22	23	0	0	0	0	0	0	0	0	14	49	14	49	32	22	26	
0	25	25	0	28	28	0	0	0	0	0	12	54	12	54	39	36	38	
0	0	0	0	0	0	0	38	38	0	0	0	0	0	0	31	27	28	
45	0	45	46	0	46	30	0	30	0	0	20	49	20	49	41	38	39	
35	0	35	0	0	0	0	0	0	16	45	16	70	32	115	42	47	44	

Станция	Длина серий (число)														
	1			2			3			4			5		
	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с
22. Красноярск	11	36	15	10	34	11	38	0	38	0	0	0	0	0	0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23. Иркутск	14	16	15	15	3	11	21	15	19	0	15	15	0	12	12
24. Улан-Удэ	9	14	11	12	9	10	14	6	9	0	9	9	16	6	10
25. Акмолинск	21	25	23	62	22	45	14	33	24	0	27	27	0	0	0
26. Благовещенск	24	14	19	27	15	21	17	18	18	15	8	12	0	22	22
27. Николаевская-Амуре	104	25	70	40	53	46	70	42	54	0	0	0	43	0	43
28. Казалинск	12	14	13	30	9	23	10	47	14	14	14	14	0	14	14
29. Ташкент	57	38	47	71	27	57	50	0	50	69	61	66	0	52	52
30. Джамбул	35	92	40	47	13	36	33	43	40	0	49	49	56	0	56
31. Нерчинск	9	6	7	10	6	10	0	9	9	7	8	8	0	0	0
32. Чита	9	6	8	13	8	10	9	10	10	0	9	9	0	0	0
33. Кяхта	7	6	6	10	10	10	0	10	10	12	5	9	0	8	8
34. Вилуйск	14	10	12	12	3	10	4	5	4	12	10	11	10	20	15
35. Якутск	8	10	9	20	11	17	5	10	9	14	13	14	0	0	0
36. Верхоянск	11	6	9	10	8	8	5	0	5	0	0	0	0	9	9
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37. Чердынь	44	17	30	80	28	54	38	29	34	0	0	0	0	0	0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38. Шенкурск	27	26	26	36	11	24	35	22	68	29	0	49	49	0	0
39. Вильнюс	33	30	31	30	38	37	49	44	48	23	0	23	60	58	59
40. Тарту	20	33	26	30	24	27	40	24	37	44	41	42	45	46	36
41. Василевичи	57	52	55	18	36	27	57	33	45	58	50	54	115	26	70
42. Байрам-Али	39	24	32	37	48	42	38	27	32	0	18	18	0	35	35
Среднее	35	29	31	38	25	31	40	26	32	40	29	35	39	35	39

лет) их знаки															Средний взвешенный размер (мм)		
6			7			8			> 8						+	-	с
+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с				
									длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)			
0	19	19	0	26	26	0	0	0	20	46	9	29	29	75	31	23	27
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	20	12	20	—	—	—
42	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	9	36	9	36	19	8	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	8	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	69	21	49	34	118	48	37	42
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	16	18
0	0	0	0	0	0	0	43	43	0	0	9	61	9	61	67	46	54
0	0	0	0	17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	14	16
0	81	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	52	57
40	0	40	0	55	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	44	46
0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	16	8	16	8	9	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	9	9
12	0	12	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	10	9	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12	10	12	11	11	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	18	9	10	18	18	15	13	14
35	0	35	—	—	—	—	—	—	—	—	9	10	9	10	14	9	11
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	10	12	10	—	—	—
69	0	69	0	0	0	0	0	0	9	64	9	42	9	53	55	40	47
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	50	11	50	—	—	—
0	32	32	0	0	0	0	0	0	11	61	9	73	10	67	39	37	38
0	0	0	0	31	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	38	40
0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	35	35
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	33	12	33	62	35	49
0	35	35	18	0	18	0	23	23	0	0	0	0	0	0	34	29	31
53	59	48	27	35	33	49	39	42	0	58	0	40	0	45	41	31	35

ТАБЛИ

СРЕДНИЙ ЗА ПОЛУГОДИЕ РАЗМЕР ОТКЛОНЕНИЙ (мм) В СЕРИЯХ

Станция	Длина серий (число)														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	38	39	38	99	90	93	41	70	55	0	0	0	0	31	31
2. Киев	54	44	49	60	50	57	115	151	121	55	79	74	0	56	56
3. Тула	74	27	55	67	53	57	117	0	117	84	63	73	0	72	72
4. Курск	73	57	65	16	49	44	39	95	53	84	100	89	41	52	49
5. Земетчино	88	51	69	49	68	56	136	67	90	34	45	40	61	81	71
6. Харьков	53	56	55	68	77	72	112	57	85	20	62	47	64	36	50
7. Вологда	73	57	65	47	38	42	56	81	62	0	47	47	77	0	77
8. Пермь	65	48	57	78	67	72	0	41	41	73	63	68	79	52	61
9. Пенза	48	49	48	66	56	62	128	61	78	67	0	67	0	0	0
10. Казань	53	74	63	63	43	53	50	62	56	0	0	0	0	52	52
11. Ворошиловград	69	48	60	80	50	59	91	46	69	33	0	33	0	34	34
12. Волгоград	43	35	40	34	40	38	0	18	18	62	51	55	0	45	45
13. Костычевская	43	60	50	81	32	59	37	57	52	53	0	53	0	35	35
14. Боровое	92	46	73	85	72	76	57	45	50	0	0	0	0	59	59
15. Эльтон	28	58	41	54	37	50	91	0	91	38	34	36	27	58	42
16. Астрахань	28	46	38	66	34	53	26	25	26	26	0	26	33	0	33
17. Свердловск	87	59	79	52	38	43	66	44	50	0	79	79	45	0	45
18. Уральск	38	40	39	62	38	45	0	39	39	54	24	47	38	15	26
19. Тобольск	61	64	63	45	46	45	0	0	0	63	60	61	72	0	72
20. Сургут	47	35	41	86	34	71	0	51	51	69	0	69	0	27	27
21. Томск	61	55	58	62	47	58	100	36	56	0	0	0	50	57	55
22. Красноярск	34	54	41	58	34	45	76	43	54	54	41	45	0	0	0
23. Иркутск	66	46	56	85	48	67	138	57	97	0	53	53	49	0	49
24. Улан-Удэ	49	33	38	43	0	43	45	28	35	0	0	0	61	52	55
25. Акмолинск	51	58	54	50	58	57	50	63	55	55	41	44	59	0	59
26. Благовещенск	112	69	93	134	61	98	136	0	136	94	72	77	0	0	0
27. Николаевск-на-Амуре	46	71	56	93	61	71	70	44	52	86	71	81	60	0	60
28. Казалинск	35	31	34	24	20	21	21	20	21	0	28	28	0	20	20
29. Ташкент	33	27	30	39	39	39	44	34	39	26	45	36	0	19	19
30. Джамбул	55	37	46	54	42	49	0	37	37	56	53	54	0	52	52
31. Нерчинск	62	15	41	51	64	57	88	66	70	59	61	60	82	65	73
32. Чита	47	51	49	38	56	49	57	46	55	89	0	89	0	65	65
33. Кяхта	70	47	60	36	50	46	79	0	79	77	72	76	0	57	57
34. Вилуйск	31	36	34	44	28	35	41	52	48	54	30	42	0	0	0
35. Якутск	26	31	29	50	22	41	33	33	33	29	46	39	0	0	0
36. Верхоянск	17	24	22	26	39	31	33	0	33	0	28	28	0	29	29
37. Чердынъ	44	46	45	70	55	62	59	70	65	51	47	49	0	0	0
38. Шенкурск	47	55	51	37	34	35	69	28	48	0	40	40	34	75	55
39. Вильнюс	106	48	75	63	83	70	91	104	93	54	0	54	0	0	0
40. Тарту	47	39	41	55	38	51	73	95	87	26	54	45	64	0	64
41. Василевичи	106	44	75	62	79	70	59	82	70	55	0	55	0	0	0
42. Байрам-Али	14	14	14	19	17	18	20	19	20	9	11	10	0	18	18
Среднее	58	49	54	61	49	56	73	55	62	55	54	54	54	50	52

РАЗНОЙ ДЛИНЫ И РАЗЛИЧНЫХ ЗНАКОВ. ТЕПЛОЕ ПОЛУГОДИЕ

лет) и их знаки															Средний взвешенный размер (мм)		
6			7			8			8						+	-	с
+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с				
									длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)			
133	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	70	73
0	0	0	0	39	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	62	68
72	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	58	66
50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	62	59
0	60	60	79	0	79	0	0	0	0	0	9	44	9	44	70	53	62
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	59	61
28	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	9	54	9	54	57	52	54
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	55	62
0	0	0	0	0	0	0	51	51	0	0	0	0	0	0	66	54	59
107	67	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	58	61
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	61	9	61	71	50	58
74	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	41	47
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	42	49
0	65	65	33	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	56	63
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	49	47
27	26	26	0	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	31	33
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	51	59
0	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	36	40
0	57	57	56	53	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	57	58
0	50	50	0	0	0	0	44	44	0	0	0	0	0	0	65	42	51
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	47	10	47	67	48	56
0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	68	12	45	21	113	57	43	49
0	83	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	54	63
0	52	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	39	43
37	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	53	52
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	102	10	102	119	77	94
0	0	0	0	0	0	0	60	60	0	0	0	0	0	0	67	58	62
0	23	23	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	23	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	34	36
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	44	49
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	59	61
0	59	59	0	0	0	0	79	79	0	0	0	0	0	0	60	60	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	57	13	57	70	54	61
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	36	38
0	29	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	32	34
0	0	0	17	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	30	28
0	45	45	0	0	0	0	0	0	13	43	0	0	0	0	50	53	52
96	0	96	0	0	0	0	96	96	0	0	0	0	0	0	64	61	62
0	0	0	0	0	0	73	0	73	0	0	11	73	11	73	77	75	76
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	64	61
63	0	63	0	0	0	0	99	90	0	0	9	64	9	64	64	65	65
32	9	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	14	16
66	51	57	42	39	39	73	58	61	0	68	0	60	0	55	61	52	56

ТАБЛИ

СРЕДНИЙ ЗА ГОД РАЗМЕР ОТКЛОНЕНИЙ (мм) В СЕРИЯХ

Станция	Длина серий (число)														
	1			2			3			4			5		
	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	105	54	80	108	95	78	112	71	88	0	0	0	0	43	43
2. Киев	86	67	77	133	88	116	59	115	93	111	101	104	194	112	153
3. Тула	21	57	36	64	74	70	66	49	60	111	63	95	0	103	103
4. Курск	54	70	62	93	66	77	46	103	80	81	0	81	57	0	57
5. Земетчино	35	74	54	0	110	110	70	81	74	0	66	66	83	120	95
6. Харьков	70	92	83	84	92	88	81	79	80	50	97	66	0	0	0
7. Вологда	76	60	67	65	35	56	78	132	92	0	48	48	0	0	0
8. Пермь	52	56	55	76	75	76	132	79	105	71	0	71	0	149	149
9. Пенза	85	63	72	83	0	83	156	93	115	0	0	0	120	0	120
10. Казань	70	55	64	72	55	63	91	75	80	60	95	77	0	47	47
11. Ворошиловград	80	77	78	74	69	72	0	73	73	70	80	76	0	0	0
12. Волгоград	56	43	52	80	56	62	41	70	58	36	115	76	0	68	68
13. Костычевская	131	31	68	69	43	61	50	0	50	60	58	59	48	58	53
14. Боровое	96	70	85	152	77	107	105	76	85	62	0	62	0	70	70
15. Эльтон	97	38	77	51	46	49	0	50	50	143	54	83	0	0	0
16. Астрахань	28	50	40	63	47	56	52	34	43	11	42	34	53	39	48
17. Свердловск	77	89	80	54	73	65	77	58	66	78	46	62	0	0	0
18. Уральск	62	24	39	64	40	53	70	45	58	38	0	38	66	0	66
19. Тобольск	42	81	60	48	64	53	66	81	71	0	0	0	80	49	72
20. Сургут	21	65	39	75	46	60	22	105	64	55	49	52	0	66	66
21. Томск	60	38	51	68	55	60	84	55	77	79	78	78	48	74	61
22. Красноярск	43	63	48	59	51	54	85	49	67	66	62	64	0	0	0
23. Иркутск	78	64	71	76	54	64	76	62	74	0	69	69	116	0	116
24. Улан-Удэ	35	36	36	50	0	50	54	50	52	0	0	0	29	55	46
25. Акмолинск	97	69	81	28	67	47	75	56	67	83	0	83	50	0	50
26. Благовещенск	111	84	96	164	70	101	85	0	85	96	117	106	0	100	100
27. Николаевск-на-Амуре	41	55	47	54	75	67	145	83	130	44	105	65	0	61	61
28. Казалинск	28	25	26	29	76	31	31	18	23	24	0	24	0	23	23
29. Ташкент	65	67	66	61	66	62	90	54	78	102	46	74	0	96	96
30. Джамбул	24	68	50	52	50	51	80	89	83	0	78	78	103	0	103
31. Нерчинск	67	36	50	45	80	58	80	76	77	76	53	64	86	68	77
32. Чита	53	52	52	47	61	55	55	60	57	83	0	83	0	0	0
33. Кяхта	54	54	54	0	63	63	87	0	87	62	73	65	23	66	45
34. Вилюйск	30	42	36	35	27	32	40	45	43	58	0	58	0	0	0
35. Якутск	48	27	36	43	0	43	30	35	33	45	26	39	33	31	32
36. Верхоянск	18	23	21	39	39	39	35	56	38	29	0	29	0	31	31
37. Чердынъ	62	86	74	82	53	68	123	0	123	59	82	71	0	66	66
38. Шенкурск	25	63	44	23	31	27	79	72	75	0	0	0	0	65	65
39. Вильнюс	109	62	86	90	60	72	43	132	110	86	0	86	61	0	61
40. Тарту	62	70	66	93	70	83	51	100	75	0	56	56	95	0	95
41. Василевичи	81	113	97	55	108	82	0	109	109	101	63	82	10	0	10
42. Байрам-Али	31	29	30	47	32	40	37	41	39	55	26	40	0	33	33
Среднее	65	59	62	72	66	67	74	75	74	71	69	68	75	76	71

лет) и их знаки															Средний взвешен- ный размер (мм)		
6			7			8			> 8						+	-	с
+	-	с	+	-	с	+	-	с	+		-		с				
									длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)	длина серии (число лет)	размер (мм)			
0	0	0	0	79	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109	73	88
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	100	106
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	76	79
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	78	72
0	0	0	0	0	0	131	45	88	0	0	0	0	0	0	77	77	77
91	76	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	88	81
104	0	104	0	0	0	0	0	0	0	0	16	75	16	75	77	65	70
0	0	0	121	0	121	0	0	0	0	0	12	117	12	117	82	92	87
79	0	79	0	0	0	0	78	78	10	96	0	0	10	96	54	97	87
88	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	61	67
0	89	89	0	54	54	0	0	0	12	60	0	0	12	60	70	73	71
0	0	0	0	0	0	179	0	179	0	0	0	0	0	0	80	67	73
0	60	60	0	69	69	0	65	65	0	0	0	0	0	0	70	55	61
0	0	0	96	0	96	109	109	0	0	0	0	0	0	0	101	81	90
38	0	38	0	84	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	57	61
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	42	44
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	66	68
0	0	0	0	50	50	0	0	0	0	0	13	68	13	68	62	50	55
0	75	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	70	66
80	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	62	61
0	58	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	57	62
0	41	41	0	0	0	136	42	89	0	12	63	12	63	83	58	65	65
0	0	0	0	70	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	64	72
0	0	0	0	0	0	41	0	41	0	0	0	0	0	0	43	47	45
117	48	82	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	67	71
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	94	98
0	0	0	0	117	117	0	0	0	9	84	0	0	9	84	79	80	80
0	0	0	0	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	24	26
0	85	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	70	74
30	92	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	72	66
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63	64
0	51	51	0	0	0	82	82	0	0	0	0	0	0	0	60	61	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	59	13	59	63	61	62
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	38	38
0	45	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	35	38
0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	34	32
0	109	109	0	0	0	0	0	0	9	92	9	95	9	93	81	81	81
87	0	87	92	231	162	68	0	68	0	0	0	0	0	0	73	97	85
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	95	9	35	87	85	86
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75	75
0	0	0	76	0	76	92	0	92	0	0	9	79	9	79	90	89	90
0	45	45	43	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	35	36
78	69	70	79	72	73	122	70	91	0	86	0	74	0	78	72	68	70

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОДНОГО ПОЛУГОДИЯ

Станция	Длительность периода наблюдения (число лет)	Многолетняя норма осадков за полугодие (мм)	Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина средней серии (число лет)			Средний размер отклонений размер отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонения за среднюю серию (мм)		
			+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с
1. Киншас	72	186	20	19	39	32	40	72	1,6	2,1	1,8	58	45	51	93	95	94
2. Кисв	80	254	18	18	36	32	48	80	1,8	2,7	2,2	86	55	67	155	149	147
3. Тула	40	190	13	13	26	28	42	70	2,2	3,2	2,7	52	34	41	114	109	111
4. Курск	74	239	22	22	44	31	43	74	1,4	2,0	1,7	56	40	46	78	80	79
5. Земетчино	80	171	14	14	28	38	42	80	2,6	3,0	2,8	49	43	45	127	129	126
6. Харьков	79	216	18	17	35	30	49	79	1,7	2,9	2,3	62	37	47	105	107	106
7. Вологда	79	170	14	13	27	39	40	79	2,8	3,1	2,9	41	40	40	115	124	116
8. Пермь	79	225	17	17	34	41	38	79	2,4	2,2	2,3	50	53	52	120	117	119
9. Пенза	80	222	13	13	26	29	51	80	2,2	3,9	3,1	68	38	49	150	148	149
10. Казань	80	170	17	17	34	34	46	80	2,0	2,6	2,4	42	30	35	84	78	82
11. Ворошиловград	78	170	18	17	35	35	43	78	1,9	2,5	2,2	49	40	44	93	100	97
12. Волгоград	79	171	18	17	35	31	48	79	1,7	2,8	2,3	63	39	48	107	109	108
13. Костычевская	77	119	14	14	28	33	44	77	2,4	3,1	2,8	43	31	36	103	96	101
14. Боровое	67	227	16	16	32	29	38	67	1,8	2,4	2,1	56	43	49	101	103	102
15. Эльтон	56	129	12	12	24	26	30	56	2,2	2,5	2,3	43	35	38	90	87	88
16. Астрахань	80	76	20	21	41	36	44	80	1,8	2,1	2,2	21	18	20	41	38	40
17. Свердловск	79	130	16	15	31	33	46	79	2,1	3,1	2,5	32	22	26	68	68	68
18. Уральск	80	133	14	14	28	38	42	80	2,7	3,0	2,9	39	36	38	106	108	107
19. Тобольск	79	133	17	17	34	36	43	79	2,1	3,5	2,3	31	27	28	65	67	66
20. Сургут	79	149	11	11	22	38	41	79	3,5	3,7	3,6	41	38	39	143	141	140
21. Томск	79	199	14	14	28	42	37	79	3,0	2,6	2,8	42	47	44	126	122	123
22. Красноярск	79	90	9	8	17	33	46	79	3,7	5,7	4,6	31	23	27	115	131	124

Станция	Длительность периода наблюдений (число лет)	Многолетняя норма осадков за полугодие (мм)			Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина средней серии (число лет)			Средний размер отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонения за среднюю серию (мм)		
		+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
23. Иркутск	79	78	17	18	35	38	41	79	2,2	2,3	19	17	18	42	39	40	42	39	40
24. Улан-Удэ	70	38	17	18	35	23	47	70	1,4	2,6	12	8	10	17	21	20	17	21	20
25. Асмолинск	78	101	16	16	32	34	44	78	2,1	2,7	48	37	42	101	100	101	101	100	101
26. Благовещенск	61	59	17	18	35	26	35	61	1,5	1,9	22	16	18	33	29	31	33	29	31
27. Николаевск-на-Амуре	73	175	16	16	32	30	43	73	1,9	2,7	67	46	54	124	124	124	124	124	124
28. Казалинск	80	70	18	19	37	35	45	80	1,9	2,4	19	14	16	36	34	35	36	34	35
29. Ташкент	79	282	20	19	39	37	42	79	1,8	2,2	62	52	57	112	115	114	112	115	114
30. Джамбул	74	176	18	17	35	35	39	74	1,9	2,3	48	44	46	91	101	97	91	101	97
31. Нерчинск	68	29	15	14	29	31	37	68	2,1	2,6	9	8	8	19	21	20	19	21	20
32. Чита	78	30	21	21	42	36	42	78	1,7	2,0	10	9	9	17	18	18	17	18	18
33. Кяхта	73	29	17	16	33	33	40	73	1,9	2,5	10	8	9	19	20	20	19	20	20
34. Вилуйск	73	66	17	18	35	34	39	73	2,0	2,2	11	11	11	22	24	23	22	24	23
35. Якутск	80	51	15	15	30	34	46	80	2,3	3,1	15	13	14	34	40	38	34	40	38
36. Верхоянск	74	38	17	17	34	40	34	74	2,4	2,2	14	9	11	34	18	24	34	18	24
37. Чердынь	80	230	14	14	28	34	46	80	2,4	3,3	55	40	46	133	130	132	133	130	132
38. Шенкурск	80	202	15	15	30	38	42	80	2,5	2,8	41	37	39	104	103	104	104	103	104
39. Вильноск	79	223	20	20	40	38	41	79	1,9	2,1	42	38	40	80	80	80	80	80	80
40. Таргу	80	213	18	17	35	41	39	80	2,3	2,3	35	35	35	80	80	80	80	80	80
41. Василевичи	80	220	18	18	36	29	51	80	1,6	2,7	62	35	45	99	100	100	99	100	100
42. Байрам-Али	80	101	20	19	39	36	44	80	1,8	2,3	34	29	31	61	67	64	61	67	64
Среднее	76	147	16	16	32	34	42	76	2,1	2,6	40	31	32	80	75	77	80	75	77
Коэффициент вариации V%	9	50	20	27	20	14	10	7	27	42	50	45	46	63	63	63	63	63	63

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОГО ПОЛУГОДИЯ

Станция	Длительность периода наблюдений (лет)	Многолетняя норма осадков за полугодие (мм)	Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина одной серии (число лет)			Средние за полугодие размеры отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонения за среднюю серию (мм)		
			+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
1. Кишинев	72	295	20	20	40	35	37	72	1,8	1,8	1,8	76	70	73	137	126	131
2. Киев	80	355	18	18	36	36	44	80	2,0	2,4	2,2	77	62	68	154	150	150
3. Тула	70	327	15	16	31	31	39	70	2,1	2,4	2,3	75	58	66	157	139	152
4. Курск	74	338	17	17	34	39	35	74	2,3	2,1	2,2	56	62	59	129	130	130
5. Земетчино	80	288	16	17	33	36	44	80	2,2	2,6	2,4	70	53	62	154	138	149
6. Харьков	79	292	22	23	45	38	41	79	1,7	1,8	1,7	64	59	61	109	106	107
7. Вологда	79	340	19	20	39	38	41	79	2,0	2,0	2,0	57	52	54	114	104	108
8. Пермь	79	348	19	20	39	34	45	79	1,8	2,2	2,0	66	54	59	119	119	119
9. Пенза	80	299	20	20	40	36	44	80	1,8	2,2	2,0	66	54	59	110	110	110
10. Казань	80	284	22	22	44	38	42	80	1,7	1,9	1,8	65	58	61	106	103	97
11. Ворошиловград	78	261	22	23	45	32	46	78	1,5	2,0	1,7	71	50	58	104	98	99
12. Волгоград	79	170	18	19	37	34	45	79	1,9	2,4	2,1	55	41	47	104	98	103
13. Костычевская	77	176	18	18	36	32	45	77	1,9	2,5	2,1	59	42	49	112	105	103
14. Боровое	67	248	18	18	36	30	37	67	1,7	2,1	1,9	70	56	63	119	118	119
15. Эльтон	56	147	14	13	27	29	27	56	2,1	2,1	2,1	43	49	47	90	103	97
16. Астрахань	80	98	17	18	35	38	42	80	2,2	2,3	2,3	36	31	33	79	71	76
17. Свердловск	79	323	21	20	41	34	45	79	1,6	2,2	1,9	65	51	59	104	112	110
18. Уральск	80	149	20	21	41	35	45	80	1,8	2,2	2,5	46	36	40	83	78	76
19. Тобольск	79	306	16	15	31	39	40	79	2,4	2,7	1,9	58	57	58	139	154	145
20. Сургут	79	330	20	19	39	31	48	79	1,5	2,5	2,0	65	52	51	98	105	102
21. Томск	79	325	18	18	36	33	46	79	1,8	2,6	2,2	67	48	56	121	125	123
22. Красноярск	79	282	16	16	32	34	45	79	2,1	2,8	2,5	57	43	49	120	126	122

Станция	Длительность периода наблюдения (число лет)	Многолетняя норма осадков за полугодие (мм)	Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина одной серии (число лет)			Средние за полугодие размеры отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонений за среднюю серию (мм)		
			+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
23. Иркутск	79	336	20	21	41	32	47	79	1,6	2,2	1,9	78	54	63	125	119	120
24. Улан-Удэ	70	216	17	17	34	32	38	70	1,9	2,2	2,1	47	39	43	89	86	88
25. Аквилинск	78	191	19	20	39	40	38	78	2,1	1,9	2,0	50	53	52	105	101	104
26. Благоевск	61	462	15	15	30	24	37	61	1,6	2,5	2,0	119	77	94	191	192	191
27. Николаевск- на-Амуре	73	321	18	17	35	34	39	73	1,9	2,3	2,1	67	58	62	127	133	130
28. Казалинск	80	54	21	21	42	35	45	80	1,7	2,1	1,9	28	23	25	48	48	48
29. Ташкент	79	109	20	20	40	37	42	79	1,9	2,1	2,0	38	34	36	72	72	72
30. Джамбул	74	130	22	23	45	33	41	74	1,5	1,8	1,7	55	44	49	83	79	82
31. Нерчинск	68	264	15	15	30	33	35	68	2,2	2,3	2,3	63	59	61	138	136	137
32. Читта	78	315	17	18	35	39	39	78	2,3	2,2	2,2	60	60	60	138	132	132
33. Кяхта	73	279	18	17	35	32	41	73	1,8	2,4	2,1	70	54	61	126	130	128
34. Видюйск	73	168	22	22	44	35	38	73	1,6	1,7	1,7	39	36	38	62	61	62
35. Якутск	80	150	22	21	43	38	42	80	1,7	2,0	1,9	36	32	34	61	64	64
36. Верхоянск	74	110	17	17	34	40	34	74	2,3	2,0	2,2	26	30	28	60	60	60
37. Чердынъ	80	333	15	15	30	42	38	80	2,8	2,5	2,7	50	56	53	141	141	141
38. Шенкурск	80	326	15	14	29	39	41	80	2,6	2,9	2,8	64	61	63	167	179	173
39. Вильнюс	79	393	20	20	40	39	40	79	2,0	2,0	2,0	77	75	76	154	150	152
40. Тарту	80	356	19	19	38	42	38	80	2,2	2,0	2,1	57	64	61	125	128	128
41. Василевичи	80	383	16	16	32	40	40	80	2,5	2,5	2,5	65	65	65	161	161	161
42. Байрам-Али	80	35	20	21	41	35	45	80	1,7	2,4	2,0	16	19	17	32	31	32
Среднее	76	259	18	19	37	36	40	76	1,9	2,2	2,0	59	51	54	115	109	112
Коэффициент вариации V%	7	40	12	13	12	10	11	8	15	12	10	34	33	32	33	32	32

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОДОВОГО ПЕРИОДА

Станция	Длительность периода наблюдений (лет)	Многолетняя норма осадков за год (мм)	Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина одной серии (число лет)			Средние за год размеры отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонения за среднюю серию (мм)		
			+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с	+	—	с
1. Кишинев	72	481	15	15	30	29	43	72	1,9	2,9	2,4	109	73	88	207	211	211
2. Киев	80	609	18	18	36	37	43	80	2,1	2,4	2,2	114	100	106	240	240	233
3. Тула	70	517	14	14	28	34	36	70	2,4	2,6	2,5	81	76	79	194	198	197
4. Курск	74	577	22	22	44	40	34	70	1,8	1,5	1,6	67	78	72	120	117	115
5. Земетчино	80	459	17	17	34	40	40	80	2,4	2,4	2,4	77	77	77	185	185	185
6. Харьков	79	508	20	20	40	43	36	79	2,1	1,8	2,0	75	88	81	158	158	162
7. Вологда	79	510	18	17	35	36	43	79	2,0	2,5	2,3	77	65	70	154	162	161
8. Пермь	79	573	17	18	35	42	37	79	2,5	2,1	2,3	82	92	87	205	193	200
9. Пенза	80	521	12	12	24	36	44	80	3,0	3,7	3,3	97	78	87	291	287	287
10. Казань	80	454	20	20	40	36	44	80	1,8	2,2	2,0	75	61	67	135	134	134
11. Ворошиловград	78	431	17	17	34	40	38	78	2,3	2,2	2,3	70	73	71	161	161	163
12. Волгоград	79	341	18	18	36	36	43	79	2,0	2,4	2,2	80	67	73	160	161	160
13. Костычевская	77	295	15	15	30	34	43	77	2,3	2,9	2,5	70	55	61	161	159	159
14. Боровое	67	275	15	15	30	30	37	67	2,0	2,5	2,2	101	81	90	202	202	298
15. Эльгон	56	476	10	10	20	26	30	56	2,6	3,0	2,8	66	57	61	172	171	171
16. Астрахань	80	174	18	19	37	39	41	80	2,2	2,2	2,2	45	42	44	99	92	97
17. Свердловск	79	453	21	20	41	38	41	79	1,8	2,1	1,9	71	66	68	128	139	129
18. Уральск	80	282	14	14	28	36	44	80	2,6	3,1	2,9	62	50	55	161	155	159
19. Тобольск	79	439	19	18	37	42	37	79	2,2	2,1	2,1	63	70	66	138	147	147
20. Сургут	79	479	15	15	30	40	39	79	2,7	3,6	2,6	60	62	61	162	161	152
21. Томск	79	524	19	18	37	36	43	79	1,9	2,4	2,1	68	57	62	129	137	130
22. Красноярск	79	372	12	12	24	31	48	79	2,6	4,0	3,3	83	53	65	216	212	215

Станция	Длительность периода наблюдений (лет)	Многолетняя норма осадков за год (мм)			Общее число серий			Общая длительность серий (число лет)			Средняя длина одной серии (число лет)			Средние за год размеры отклонений во всех сериях (мм)			Средний размер отклонения за среднюю серию (мм)		
		+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с	+	-	с
23. Иркутск	79	19	20	39	35	44	79	1,8	2,2	2,0	83	64	72	149	141	144	58	141	144
24. Улан-Удэ	70	17	17	34	37	33	70	2,2	1,9	2,1	43	47	45	95	89	95	170	89	95
25. Акимовск	78	16	17	33	37	41	78	2,3	2,4	2,4	76	67	71	175	161	170	170	161	170
26. Благовещенск	61	13	14	27	29	32	61	2,2	2,3	2,3	103	94	98	226	216	220	220	216	220
27. Николаевск- на-Амуре	73	15	14	29	37	36	73	2,5	2,6	2,5	79	80	80	198	208	200	200	208	200
28. Казалинск	80	18	18	36	37	43	80	2,1	2,4	2,2	28	24	26	59	58	58	58	58	58
29. Ташкент	79	18	17	35	37	42	79	2,1	2,5	2,3	80	70	74	168	175	170	170	175	170
30. Джамбул	74	17	17	34	40	34	74	2,4	2,0	2,2	62	72	66	149	144	145	145	144	145
31. Нерчинск	68	15	15	30	34	34	68	2,3	2,3	2,3	64	63	64	147	145	147	147	144	147
32. Цита	78	19	20	39	39	39	78	2,1	1,9	2,0	60	61	60	126	116	120	120	116	120
33. Кяхта	73	15	14	29	36	37	73	2,4	2,6	2,5	63	61	62	151	159	155	155	159	155
34. Вайлюк	73	22	22	44	37	36	73	1,7	1,6	1,7	37	38	38	63	61	62	62	61	62
35. Якутск	80	18	18	36	37	43	80	2,1	2,4	2,2	41	35	38	86	84	84	84	84	84
36. Верхоянск	74	18	18	36	40	34	74	2,2	1,9	2,1	30	34	32	66	65	66	66	65	66
37. Чердынск	80	13	13	26	40	40	80	3,1	3,1	3,1	81	81	81	250	250	250	250	250	250
38. Шенкурск	80	14	13	27	46	34	80	3,3	2,6	3,0	73	97	83	239	254	247	247	254	247
39. Вильнюс	79	21	21	42	39	40	79	1,9	1,9	1,9	87	85	86	165	161	163	163	161	163
40. Тарту	80	19	19	38	40	40	80	2,1	2,1	2,1	75	75	75	157	157	157	157	157	157
41. Василевичи	80	15	15	30	40	40	80	2,7	2,7	2,7	90	89	90	242	238	240	240	238	240
42. Байрам-Али	80	18	17	35	38	42	80	2,1	2,5	2,3	39	35	37	82	87	84	84	87	84
Среднее	76	17	17	34	37	39	76	2,2	2,4	2,3	70	67	69	158	156	157	157	156	157
V%	7	17	17	17	11	10	8	13	23	16	32	31	30	33	32	32	32	32	32

ТАБЛИЦА XIV

**ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЦИКЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ
И ИХ СРЕДНЕВЗВЕШЕННАЯ ДЛИНА**

Станция	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10	Сумма	Среднее
Холодное полугодие												
1. Кишинев	11	12	3	8	1	3	0	0	0	0	38	3,6
2. Киев	7	9	3	10	1	0	3	0	0	0	35	4,4
3. Тула	3	5	1	7	3	4	0	0	0	2	25	5,5
4. Курск	16	8	12	1	5	0	0	0	0	0	42	3,3
5. Земетчино	5	4	8	3	1	1	1	1	1	2	27	5,6
6. Харьков	4	9	6	8	1	3	3	0	0	0	34	4,4
7. Вологда	3	6	4	3	1	3	1	1	0	4	26	5,9
8. Пермь	12	8	4	1	1	2	0	0	0	4	33	4,6
9. Пенза	3	9	1	4	0	1	1	0	2	4	25	5,6
10. Казань	6	4	10	6	1	1	1	3	1	0	33	4,1
11. Ворошиловград	7	11	4	4	4	1	1	0	0	2	34	4,5
12. Волгоград	10	9	5	0	3	1	0	0	4	2	34	4,6
13. Костычевская	4	9	3	3	0	0	2	2	2	2	27	5,2
14. Боровое	9	8	1	5	2	1	2	3	0	0	31	4,3
15. Эльтон	9	2	4	3	2	1	0	0	0	2	23	5,0
16. Астрахань	15	8	6	1	5	1	1	1	2	0	40	3,9
17. Свердловск	3	10	4	2	4	3	2	0	0	2	30	5,1
18. Уральск	5	5	0	4	4	1	3	2	1	2	27	5,7
19. Тобольск	7	4	6	8	2	2	2	2	0	0	33	4,5
20. Сургут	1	4	4	2	2	3	1	1	1	2	21	6,3
21. Томск	5	8	4	3	1	1	1	0	0	4	27	5,8
22. Красноярск	2	1	2	0	1	4	0	1	2	3	16	8,6
23. Иркутск	8	7	6	2	4	5	0	0	0	2	34	4,8
24. Улан-Удэ	5	6	7	5	3	0	1	0	0	2	29	4,7
25. Акмолинск	10	12	3	2	0	0	0	0	0	4	31	4,9
26. Благовещенск	13	7	8	2	2	1	1	0	0	0	34	3,4
27. Николаевск-на-Амуре	6	6	7	4	4	0	0	2	1	1	31	4,6
28. Казалинск	5	9	10	5	3	2	0	2	0	0	36	4,2
29. Ташкент	11	3	5	7	6	2	1	1	0	0	36	4,3
30. Джамбул	11	5	4	4	5	2	3	0	0	0	34	4,2
31. Нерчинск	8	8	2	5	1	0	1	0	1	2	28	4,7
32. Чита	10	7	12	8	3	1	0	0	0	0	41	3,8
33. Кяхта	5	7	9	5	1	2	1	1	1	0	32	4,3
34. Вилуйск	13	6	2	4	5	1	0	1	0	1	34	4,1
35. Якутск	1	14	4	3	1	1	0	0	3	2	29	5,0
36. Верхоянск	11	10	5	1	1	2	0	0	1	2	33	4,0
37. Чердынь	5	6	6	0	1	2	0	0	4	3	27	5,4
38. Шенкурск	7	5	8	1	1	1	2	2	1	3	31	5,1
39. Вильнюс	13	5	5	7	6	1	2	0	0	0	39	4,0
40. Тарту	7	4	6	6	5	3	2	0	1	0	34	4,7
41. Василевичи	10	10	2	3	6	0	20	0	0	2	35	4,3
42. Байрам-Али	11	4	3	6	6	2	0	2	0	1	35	4,4
Суммы и средние	317	294	209	166	109	65	49	28	30	62	1329	4,6
Средняя доля, % от суммы	24	22	16	12	6	5	4	2	2	5	100	
МО, %	25,0	25,0	18,7	12,5	7,8	4,7	2,7	1,6	0,9	1,1	100,0	

Станция	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10	Сумма	Среднее
Теплое полугодие												
1. Кишинев	10	11	11	4	1	0	2	1	0	0	40	3,1
2. Киев	5	11	5	4	3	3	3	1	0	0	35	4,4
3. Тула	3	10	7	1	2	3	3	0	0	1	30	4,6
4. Курск	6	8	6	5	3	3	0	0	1	0	32	4,1
5. Земетчино	6	5	10	4	2	2	2	2	1	0	34	4,6
6. Харьков	15	12	6	6	2	2	1	0	0	0	44	3,5
7. Вологда	12	8	6	4	1	4	1	0	1	1	38	4,1
8. Пермь	9	8	6	6	4	4	1	0	0	0	38	4,1
9. Пенза	15	8	6	4	1	1	0	0	1	3	39	4,0
10. Казань	15	10	8	4	1	2	2	1	0	0	43	3,7
11. Ворошилов-град	13	17	7	3	1	0	1	0	2	0	44	3,5
12. Волгоград	7	10	4	5	6	1	2	0	0	1	36	4,3
13. Костычевская	5	11	6	1	7	1	1	0	0	0	35	4,3
14. Боровое	11	5	12	1	2	7	0	2	0	0	35	3,9
15. Эльтон	8	5	1	5	5	1	0	0	1	0	26	4,1
16. Астрахань	9	5	6	2	2	4	4	2	0	0	34	4,6
17. Свердловск	7	10	12	6	5	0	0	0	0	0	40	3,8
18. Уральск	14	8	3	5	4	5	0	0	1	0	40	4,0
19. Тобольск	4	6	3	3	6	1	6	0	0	1	30	5,2
20. Сургут	13	7	6	4	0	4	1	1	2	0	38	4,1
21. Томск	7	7	7	8	2	1	0	0	1	2	35	4,4
22. Красноярск	6	8	6	3	5	0	1	0	1	1	31	4,4
23. Иркутск	12	8	5	7	5	2	1	0	0	0	35	3,9
24. Улан-Удэ	9	7	6	4	5	2	1	0	0	0	34	4,0
25. Ақмолинск	9	7	7	9	2	2	2	0	0	0	38	4,1
26. Благовещенск	10	5	5	5	2	0	0	0	0	2	29	4,0
27. Николаев-на-Амуре	8	5	11	5	2	1	0	1	0	1	34	4,2
28. Казалинск	11	15	6	0	4	2	1	1	1	0	41	3,8
29. Ташкент	5	11	8	10	4	1	0	0	0	0	39	4,0
30. Джамбул	17	11	7	5	2	2	0	0	0	0	44	3,3
31. Нерчинск	3	6	8	4	2	5	1	0	0	0	29	4,5
32. Чита	8	3	10	7	0	1	1	3	0	1	34	4,6
33. Кяхта	10	7	6	6	3	0	0	0	0	2	34	4,2
34. Вилюйск	10	18	8	5	1	1	0	0	0	0	43	3,4
35. Якутск	12	11	9	5	4	0	2	0	0	0	43	3,7
36. Верхоянск	3	13	9	1	0	4	2	0	0	2	33	4,3
37. Чердынь	3	5	6	5	3	4	0	1	0	2	29	5,4
38. Шенкурск	2	2	9	5	2	4	0	2	0	2	28	5,5
39. Вильнюс	9	14	7	5	0	0	0	1	1	2	39	4,0
40. Тарту	2	13	7	10	3	1	1	0	0	0	37	4,2
41. Василевичи	3	6	6	5	1	3	0	0	0	4	28	5,2
42. Байрам-Али	7	3	2	4	0	1	0	1	0	0	18	3,6
Суммы и средние	353	360	296	195	110	85	43	20	14	28	1504	4,2
Средняя доля, % от суммы	23	24	20	13	7	6	3	1	1	2	100	
МО, %	25,0	25,0	18,7	12,5	7,8	4,7	2,7	1,6	0,9	1,1	100,0	

Станция	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10	Сумма	Среднее
Год												
1. Кишинев	1	6	11	4	3	0	3	1	0	0	29	4,3
2. Киев	4	7	9	7	4	2	1	1	0	0	35	4,4
3. Тула	3	3	6	3	6	2	4	0	0	0	27	5,0
4. Курск	16	8	8	7	3	0	0	0	0	0	42	3,4
5. Земетчино	9	1	8	5	5	0	1	2	1	1	33	4,7
6. Харьков	12	4	10	7	1	2	2	1	0	0	39	4,0
7. Вологда	9	9	8	2	2	0	0	0	2	2	34	4,6
8. Пермь	6	11	2	8	3	0	2	0	0	2	34	4,6
9. Пенза	4	4	2	0	2	1	0	3	4	1	23	6,0
10. Казань	8	12	6	6	3	2	0	2	0	0	39	4,0
11. Ворошилов-град	5	13	4	3	1	2	3	0	0	2	33	4,6
12. Волгоград	5	9	6	3	7	1	0	2	0	0	33	4,3
13. Костычевская	3	9	4	5	5	1	3	0	2	1	29	5,0
14. Боровое	5	5	9	3	2	1	2	2	0	0	29	4,4
15. Эльтон	1	3	4	3	2	2	1	2	0	1	19	5,5
16. Астрахань	7	5	8	7	6	1	1	1	0	0	36	4,3
17. Свердловск	6	12	12	6	2	0	2	0	0	0	40	3,9
18. Уральск	5	6	2	1	4	3	1	2	0	3	27	5,7
19. Тобольск	9	8	6	3	5	3	3	0	0	0	36	4,3
20. Сургут	0	5	8	6	4	3	2	0	0	1	29	5,1
21. Томск	7	8	5	6	3	6	1	0	0	0	36	4,3
22. Красноярск	3	5	3	5	2	1	2	2	0	3	26	5,7
23. Иркутск	11	7	5	7	2	4	2	0	0	0	38	4,1
24. Улан-Удэ	12	5	7	1	4	1	2	2	0	0	34	4,0
25. Акмолинск	5	5	9	3	1	3	3	3	0	0	32	4,8
26. Благовещенск	6	2	3	7	4	4	0	0	0	0	26	4,5
27. Николаев-на-Амуре	4	6	4	6	4	0	1	1	2	0	28	4,8
28. Казалинск	8	9	5	2	5	3	2	2	0	0	36	4,4
29. Ташкент	7	6	6	5	3	5	0	1	1	0	34	4,5
30. Джамбул	8	7	8	0	2	5	1	2	0	0	33	4,3
31. Нерчинск	4	5	6	5	6	2	1	0	0	0	29	4,5
32. Чита	19	8	10	3	0	0	1	2	0	1	44	3,5
33. Кяхта	6	2	4	9	2	2	1	1	1	2	28	5,1
34. Вилюйск	11	14	12	5	0	1	0	0	0	0	43	3,4
35. Якутск	9	3	6	7	5	1	3	1	0	0	35	4,5
36. Верхоянск	4	16	6	2	2	2	2	1	0	0	35	4,0
37. Чердынь	5	4	1	3	3	0	0	1	1	5	23	6,1
38. Шенкурск	2	5	5	2	2	2	3	1	2	2	26	5,9
39. Вильнюс	14	10	7	7	0	1	0	0	1	1	41	3,7
40. Тарту	8	8	5	6	6	3	1	0	0	0	37	4,2
41. Василевичи	7	5	3	5	0	0	3	2	1	3	29	5,2
42. Байрам-Али	11	2	6	6	5	3	1	1	0	0	35	4,3
Суммы и средние	299	282	259	191	131	75	61	42	18	30	1388	4,5
Средняя доля, % от суммы	22	20	19	14	10	5	4	3	1	2	100	
МО, %	25,0	25,0	18,7	12,5	7,8	4,7	2,7	1,6	0,9	1,1	100	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Е. А. Происхождение и свойства мощных черноземов Стрелецкой степи.— «Труды Почвенного ин-та АН СССР», 1947, т. 25, с. 131—227.
2. Афанасьева Е. А. Черноземы Среднерусской возвышенности. М., «Наука», 1966.
3. Батталов Ф. З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л., Гидрометеиздат, 1968.
4. Большаков А. Ф. Водный режим мощных черноземов Среднерусской возвышенности. М., Изд-во АН СССР, 1961.
5. Вейнберг Б. П. Признаки случайности ряда наблюдений.— «Геофиз. сборник», 1929, т. 7, вып. 1.
6. Воейков А. И. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири. «Избр. соч.», т. 3. М., Изд-во АН СССР. 1952.
7. Гейнц Е. А. Об отклонениях атмосферных осадков от нормальной величины на речных бассейнах Европейской России в период 1861—1898 гг. В кн.: Труды Экспедиции для исслед. истоков главных рек Европейской России. СПб, 1900.
8. Герцык В. В., Роде А. А. О проявлении элементарной цикличности в водном режиме почв.— В кн.: Аридные почвы. Генезис, геохимия и использование. М., «Наука», 1977.
9. Дроздов О. А. Атмосферная циркуляция и вековой ход осадков.— В кн.: Труды Первой научн. конф. по общей циркуляции атмосферы. М., Гидрометеиздат, 1962.
10. Дроздов О. А. К вопросу об анализе структуры рядов по количеству осадков.— «Труды ГГО», 1968, вып. 227.
11. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества атмосферных осадков на территории СССР.— «Труды ГГО», 1969, вып. 245.
12. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971.
13. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика. М., Гостехиздат, 1955.
14. Рождественский А. А. Внутривековые циклические колебания годового стока рек СССР.— «Труды ЛГМИ», 1968, вып. 28.
15. Рутковский В. И. Влияние динамики климатических и гидрологических условий на лесные культуры.— В кн.: Бузулукский бор, т. 4, М.—Л., Гослесбуиздат, 1950.
16. Шнитников А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата.— «Труды Лаборатории озероведения АН СССР», 1950, т. 1.
17. Шнитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков северного полушария.— «Зап. Геогр. о-ва СССР. Новая серия», 1957, т. 16.
18. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., Изд-во АН СССР, 1969.
19. Хальд А. Математическая статистика. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1956.

КОНДЕНСАЦИЯ В ПОЧВЕ ПАРООБРАЗНОЙ ВЛАГИ АТМОСФЕРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Явление, которому посвящена настоящая работа, в литературе нередко кратко именуется просто «конденсация влаги в почве». Однако такой термин не точен. В почвенном воздухе всегда имеется водяной пар, в большинстве случаев в количестве, насыщающем воздух. При понижении температуры этот пар переходит в жидкое состояние, т. е. конденсируется. При повышении температуры происходит обратный процесс, т. е. внутрипочвенное испарение. Конденсация и испарение влаги в любой почве постоянно чередуются друг с другом вследствие циклических и нециклических изменений температуры почвы.

Однако далее мы будем рассматривать не конденсацию водяного пара, уже содержащегося в почвенном воздухе, а конденсацию в почве водяного пара, поступающего в нее из приземного слоя воздуха.

Количество парообразной влаги в атмосфере невелико, оно измеряется немногими десятками миллиметров во всем ее слое. К тому же ни при каких условиях полного обезвоживания атмосферы произойти не может. Тем не менее уже с давних пор умы исследователей разных специальностей — почвоведов, гидрологов, гидрогеологов, агрономов — тревожит вопрос, не может ли парообразная влага, содержащаяся в атмосфере, служить прямым, непосредственным источником почвенной влаги, не может ли она поступать в почву в форме пара и в дальнейшем конденсироваться там. Такая влага может питать собою как растения, так и грунтовые воды. Этот вопрос породил немалую литературу — как подлинно научную, так и спекулятивную.

Некоторые ученые, начиная с античных времен, полагали, что водяной пар, содержащийся в атмосфере, может быть источником, и даже главным, грунтовых вод. Подробный обзор истории вопроса о парообразной влаге атмосферы как источнике грунтовых вод дан в статье А. Ф. Лебедева [48] и в его монографии [49] и более кратко в статьях В. Е. Сочеванова [71] и А. М. Бялого [16]. Поэтому подробно останавливаться на этом мы не будем. Укажем только, что последним наиболее убежденным апологетом гипотезы о том, что главным, если не единственным; источником

влаги, содержащейся в грунтовых водах, является водяной пар, поступающий из атмосферы, был Фольгер [122]. Однако его гипотеза, критически рассмотренная многими исследователями, в особенности Ханном [105], была окончательно отвергнута.

Вместе с тем очень большое впечатление произвело описание конденсаторов атмосферной влаги в Крыму около г. Феодосии, с помощью которых, как предполагают, город когда-то снабжался пресной водой, добытой из воздуха [34]. Подробнее об этих сооружениях мы будем говорить ниже, а сейчас отметим только, что их описание явилось мощным аргументом для сторонников взглядов о возможности конденсации атмосферной парообразной влаги и ее хозяйственного использования.

П. Широких [93] указывает, что с конца 60-х годов прошлого века в литературе появляется ряд статей о поглощении почвой паров воды из воздуха. Многие из подобных статей носят чисто умозрительный характер. Например, С. К. Кузнецов [44] утверждает: «Я полагаю, что главная роль в пополнении рек и морей принадлежит процессу конденсации в земле, а дожди и снега служат только дополнением к нему... И далее: «... земля сама как помпа (sic!—А. Р.) выкачивает пары воды из воздуха, потому что они сами тяготеют к ней, сами стремятся в нее по своему химическому родству с нею и по природе своей, как только освободятся от действия солнца, заставляющего их лететь к вершинам гор, стремятся в поры почвы, где охлаждение быстро увеличивает их вес и заставляет проваливаться в глубину» (с. 19).

Фантастичность такого «рассуждения» очевидна. Однако и спустя полстолетия В. В. Тугаринов [83], желая, очевидно, показать, какое огромное количество неиспользуемой влаги находится вокруг нас, писал: «... летом, при средней скорости ветра 5 м/с, над Московским районом на территории длиной 100 км за одни сутки в воздухе проносится такое количество влаги, которое могло бы образовать озеро длиной 10 км, шириной 5 км и глубиной больше 60 м». Далее, в той же статье, указав на интенсивность конденсации в своей подмосковной конденсационной установке «По примеру природы» (о которой подробно мы будем говорить ниже), равной 44 г воды на 1 м²/ч, Тугаринов утверждает, что «... такая форма конденсации в известной мере напоминает тропические ливни...». Простой расчет показывает, что наблюдаемая Тугариновым конденсация соответствует интенсивности 0,044 мм/ч, т. е. она весьма далека не только от тропического ливня, но даже от слабого моросящего дождя.

«Расчеты» и «законы», подобные тем, которые мы находим в статьях Кузнецова и Тугаринова, возбуждают представление о том, что вовлечение атмосферной влаги в почвенный влагооборот сулит огромный успех. В самое недавнее время такие же представления были изложены П. Яновичем [95, 96] и И. Волковым [20].

Исходным «теоретическим положением» в статье П. Яновича [95] как раз и является ссылка на Тугаринова, который подсчитал,

что якобы «... за один час в одном кубическом метре почвы при изменении давления на один миллиметр ртутного столба оседает около 60 л воды» (sic! — А. Р.). В цитированной статье Тугаринова мы такого расчета не нашли. Он представляет собою явную бессмыслицу. Во-первых, изменение атмосферного давления само по себе вообще не может быть причиной «оседания» жидкой влаги. Во-вторых, при температуре, скажем, 20°C (что соответствует абсолютной влажности воздуха, насыщенного водяным паром, равной 17 г/м³) для того, чтобы получить 60 л воды, необходимо полностью обезвредить $\frac{60\,000}{17} = 3530$ м³ воздуха, что при свободной пористости почвы, равной 20%, по объему соответствует примерно 17 500 м³ почвы. Нелепость расчета очевидна.

В статье П. Волкова [20] описаны проекты искусственных сооружений для извлечения жидкой влаги из надпочвенного воздуха. Один из этих проектов заключается в том, что на полях следует насыпать кучи из «... обыкновенного щебня. За ночь щебенка охлаждается, а днем воздух нагревается быстрее, чем щебенка. Днем теплый воздух, который содержит большое количество воды, проходит через поры и щели и охлаждается. Избыточная влага осаждается на камнях и стекает вниз. Остается только собрать воду. Камни постепенно нагреваются, и количество конденсируемой воды постепенно уменьшается. Но за ночь щебенка снова остывает, и на следующий день пирамида вновь готова к работе. Большая поверхность соприкосновения камней с теплым воздухом обеспечивает надежный теплообмен и полную конденсацию избыточной влаги».

К статье приложен схематический рисунок, на котором изображены два дерева, а между ними — куча камней. Жирными стрелками показан входящий в кучу холодный и влажный воздух, а тонкими — выходящий из кучи теплый и сухой. Из-под кучи в почву вытекает вода, которая перехватывается корнями деревьев.

Второй проект Волкова — устройство глубокого колодца с узким выходом: «... при повышении атмосферного давления теплый воздух попадает внутрь колодца. Здесь он охлаждается, и вода собирается на дне колодца. Разумеется, объем такого колодца не беспределен, и когда-нибудь приток воздуха из атмосферы прекратится. Но если стенки колодца соединены через множество пор с почвой, то воздух будет проникать не только в самый колодец, но и в поры почвы, насыщая последнюю водой».

Никаких расчетов, никаких количественных данных в статье Волкова нет, в силу чего никакого представления не только об эффективности обоих описанных сооружений, но и вообще о возможности их действия составить нельзя. Между тем содержание водяного пара в воздухе столь невелико, что нужны, как мы видели выше, огромные его объемы, чтобы получить сколько-нибудь измеримое количество жидкой воды. Не трудно подсчитать, что при «колодезном» варианте при глубине грунтовых вод, скажем,

20 м повышение атмосферного давления на 10 мм вызовет вхождение в почву примерно $0,25 \text{ м}^3$ воздуха. При допущении, что его абсолютная влажность равна 17 г/м^3 , даже полное обезвоживание этого объема воздуха обеспечит поступление в колодец лишь 4 г влаги на 1 м^2 , т. е. величину, ничтожно малую. Этот расчет является количественной иллюстрацией и к взгляду Яновича [95], который считает, что при повышении атмосферного давления «... обильно смачиваются корни, а при понижении — образуется роса, которая затем уходит вглубь».

Таковы примеры существующих еще и ныне фантастических представлений о содержащемся в атмосфере водяном паре, как значительном потенциальном источнике влаги для почв и растений.

Поэтому вопрос о конденсации в почве водяного пара, содержащегося в атмосфере, требует своего критического рассмотрения для того, чтобы не только уяснить существо и масштаб этого явления с научной стороны, но и рассеять ошибочные представления, примеры которых мы привели выше. Вместе с тем мы поставимся выяснить очень скромные, но все же существующие практические перспективы использования этого явления.

Рассмотрение интересующего нас вопроса мы начнем с изложения исследований А. Ф. Лебедева и их критического анализа, принадлежащего П. И. Колоскову. Работы этих двух ученых до сего времени остаются наиболее основательными из числа относящихся к теме настоящей работы.

ИССЛЕДОВАНИЯ А. Ф. ЛЕБЕДЕВА И КРИТИЧЕСКИЕ СУЖДЕНИЯ П. И. КОЛОСКОВА

В 1908 г. А. Ф. Лебедевым была опубликована статья [47], в которой он сообщал об обнаружении им линз пресных вод под приморскими дюнами вблизи города Анапы. Песок, как указывает Лебедев, на глубине 9—13 см всегда был влажным, что дает ему основание допустить, что источником пресной воды могла быть конденсация в песке парообразной влаги из атмосферы, чему благоприятствовала большая амплитуда температур в поверхностном слое песка. Однако Лебедев не настаивает на бесспорности своего предположения и говорит, что для решения вопроса необходимы соответствующие физические исследования. Нельзя не отметить, что в данном случае не была исключена возможность образования линз пресной воды и за счет инфильтрации атмосферных осадков, как это имеет место и сейчас даже в Каракумах [60].

Можно допустить, что именно эти наблюдения на дюнах около Анапы и послужили поводом к изучению Лебедевым конденсации атмосферной влаги в почвах, а вслед за этим и постановке всех тех глубоких исследований в области гидрологии почв, которые принесли ему заслуженную славу.

Наиболее важным методическим приемом, который был применен Лебедевым в его исследованиях, было измерение

относительной влажности почвенного воздуха на разных глубинах. Для этой цели он применил видоизмененный гигрограф Ришара, датчик которого мог устанавливаться в почве на любой глубине.

Наблюдения, произведенные в Одессе, показали, что начиная с глубины, превышающей 5—10 см, относительная влажность почвенного воздуха всегда равна 100%. В особых опытах Лебедев показал, что относительная влажность почвенного воздуха не опустится ниже 100% до тех пор, пока влажность почвы не станет ниже максимальной гигроскопичности (МГ). Последнюю Лебедев определял, насыщая образцы воздушно-сухой почвы влагой из воздуха над 2,5%-ным раствором серной кислоты.

Автор указывает далее, что в весенне-летне-осенний период упругость водяного пара в приземном слое атмосферы днем всегда значительно ниже, чем в поверхностном слое почвы. Ночью же температура поверхностного слоя почвы сильно понижается, благодаря чему уменьшается и упругость водяного пара. Если последняя опустится до величины, меньшей, чем упругость пара в приземном слое воздуха, то водяной пар из атмосферы будет конденсироваться в поверхностном слое почвы.

Для доказательства реальности существования этого процесса автор анализирует температуру поверхности почвы (термометр, шарик которого присыпан землей) и соответствующие этой температуре максимальные величины упругости водяного пара в их соотношении с абсолютной упругостью пара в атмосфере в промежутке времени от 1 до 6 ч. Данные взяты из трехлетних наблюдений (1896—1898) в Одессе. В результате Лебедев высчитал число дней, когда в указанные часы упругость пара в приземном слое атмосферы была выше, чем в поверхностном слое ночью (табл. 1).

Таблица 1

Число дней, когда упругость пара в атмосфере ночью выше, чем в поверхностном слое почвы [48]

Год	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Итого
1896	23	26	12	5	5	8	13	22	18	132
1897	26	21	22	19	12	4	19	16	23	162
1898	24	20	26	17	23	8	13	25	23	179

В 1910 г. Лебедев провел серии наблюдений за величиной конденсации с помощью стаканчиков с почвой, вставлявшихся в почву и взвешивавшихся вечером и утром. Для опытов выбирались ночи, когда «... нельзя было ожидать дождя, тумана или росы». Опыты проводились с апреля по октябрь, по несколько ночей в каждый месяц. Во всех случаях были найдены привесы стаканчиков, соответствовавшие конденсации влаги в размере от 0,12 до 0,62 мм. Считая их равными в среднем 0,3—0,5 мм и считая,

что число ночей с таким явлением в Одессе достигает 200 за год, Лебедев вычислил, что конденсация должна давать дополнительно 60—100 мм при годовой сумме осадков 400 мм.

Далее он указывает на возможность конденсации влаги поверхностным, сильно пересушенным слоем почвы, влажность которой ниже величины МГ. Позднее Лебедев этому процессу дал название «молекулярной конденсации», в отличие от «термической», происходящей в условиях насыщенности воздуха водяным паром под влиянием разности температур.

Лебедев обсуждает также вопрос о направлении перемещения в почвенной толще парообразной влаги. Он анализирует средние месячные температуры почвы в 7, 13 и 19 ч и на основании этого анализа указывает, что в летний период температура вглубь от поверхности почвы понижается, а зимой, наоборот, возрастает. Весной и осенью имеет место выравнивание температур. Следовательно, летом должна происходить нисходящая перегонка водяного пара, а зимой — восходящая. Но так как летом градиенты температур и соответствующих упругостей водяного пара больше, чем зимой, то и летняя нисходящая перегонка пара должна превышать по величине зимнюю, восходящую. В парообразной форме влага может передвигаться через «мертвый горизонт иссушения».

В почвенно-грунтовой толще всегда существует слой с постоянной температурой, равной средней годовой температуре воздуха данной местности. К этому слою и должен летом направляться двусторонний (сверху и снизу) поток пара и в этом слое должна происходить конденсация.

Лебедев считает, что летом упругость водяных паров на глубине 20 см «остается почти всегда ниже, чем упругость водяных паров на глубине 10 см. Поэтому в более глубоких слоях почвы, начиная с глубины 20 см, происходит только одностороннее передвижение парообразной воды сверху вниз, тогда как в вышележащих слоях наблюдается, как уже сказано, чередующееся двустороннее передвижение парообразной воды».

Отметим, что во второй половине дня, после 13 ч, поверхность почвы начинает охлаждаться. После захода солнца градиент температуры в верхнем слое, мощность которого постепенно нарастает, оказывается направленным вниз, в силу чего поток водяного пара направляется вверх (рис. 1). С течением времени мощность слоя почвы с таким направлением потока водяного пара нарастает и достигает своего максимума перед восходом солнца, в момент наибольшего охлаждения поверхности почвы. Поэтому в вечерние и ночные часы термическая конденсация водяного пара в поверхностном слое может осуществляться не только (а может быть, и не столько) за счет поступления пара из атмосферы, но и за счет его поступления из всего верхнего слоя почвы, мощность которого к концу ночи может быть и более 20 см.

Метод, примененный Лебедевым, в особенности его сравнительный анализ данных температуры приземного слоя воздуха и поверхностного слоя почвы, произвел большое впечатление на

исследователей. Вопрос о существенности роли конденсации в водном балансе почв в определенных, нередко встречающихся условиях казался окончательно решенным в положительном смысле. Этот метод применяется многими исследователями и по сие время, несмотря на то, что он подвергся существенной критике со стороны П. И. Колоскова [41].

Колосков указал, что Лебедев сопоставлял абсолютную влажность воздуха, измеренную на высоте 2 м над поверхностью почвы, и абсолютную влажность воздуха в поверхностном слое почвы.

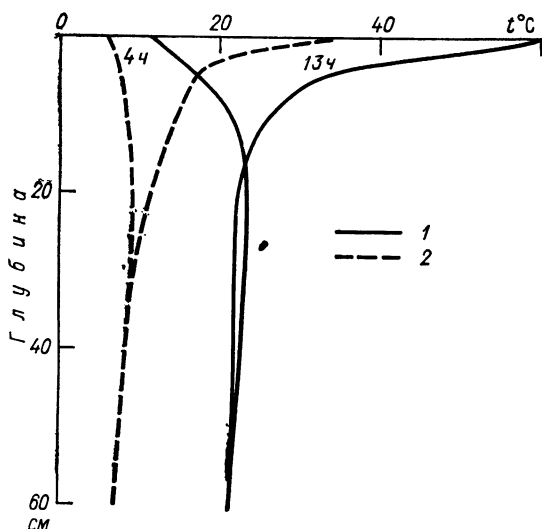


Рис. 1. Изменение в суточном цикле вертикального распределения температуры в богарном сероземе Самаркандской области (1) и в дерново-подзолистой почве Московской области (2).

1 — Милютинская, 10—11 июня 1943 г., 2 — Загорск, 9—10 июня 1958 г.

В последнем случае о влажности воздуха он судил по температуре поверхности почвы, допуская, что влажность поверхностного слоя почвы не ниже МГ и, следовательно, воздух насыщен водяным паром. Если абсолютная влажность воздуха на высоте 2 м выше, то водяной пар из приземного слоя воздуха, по мнению Лебедева, должен поступать в почву и в ней конденсироваться.

Колосков указывает, что минимальная температура ночью при радиационном типе распределения температур наблюдается не в поверхностном слое почвы, а на самой ее поверхности, где влага может конденсироваться, выпадая в форме росы. При наличии же растительного покрова минимум температуры нередко бывает не на поверхности почвы, а на некоторой высоте от нее — на поверхности растительного покрова, где в этом случае и наблюдается росообразование, т. е. конденсация.

Этот факт иллюстрируется рис. 2, на котором изображено ночное распределение температуры воздуха над обнаженной почвой и над травостоем ржи. Мы видим, что вечерне-ночной минимум температуры в первом случае во все часы находится на поверхности почвы. Во втором же случае этот минимум находится на поверхности почвы лишь до тех пор, пока травостой имеет малую

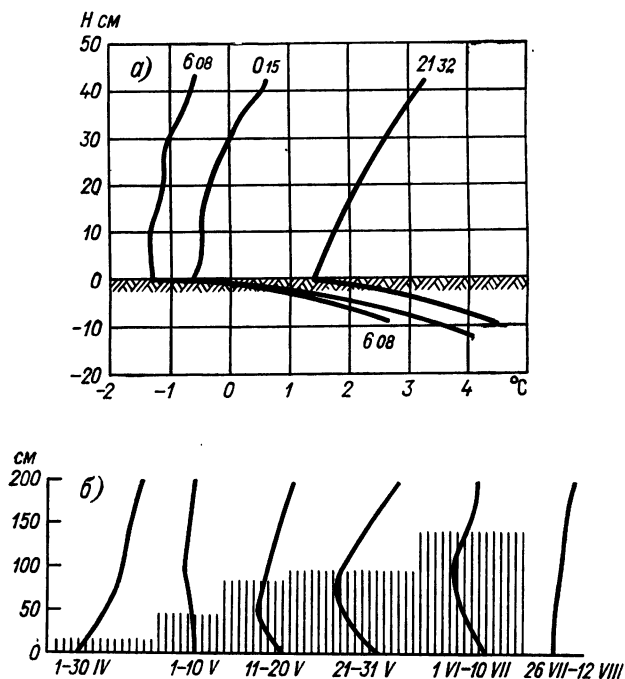


Рис. 2. Распределение температуры в приземном слое воздуха ночью над обнаженной почвой (а) и над травостоем ржи (б) (по Р. Гейгеру).

Вертикальной штриховкой на рис. 2 б показана высота ржи.

высоту. Но прежде чем травостой достигнет 50 см, минимум температуры оказывается уже на некоторой высоте, которая возрастает с увеличением высоты травостоя. После уборки последнего ночной минимум температуры снова перемещается на поверхность почвы.

Таким образом, по мнению Колоскова, подкрепленному фактическим материалом, при радиационном типе вертикального распределения температур (в ясные ночи) не существует физических условий для перехода водяного пара из атмосферы в поверхностный слой почвы и конденсации его в этом слое, независимо от того, имеется ли на поверхности почвы растительность или нет.

Опыты Лебедева, в которых он наблюдал приращение веса стаканчиков с почвой в течение ночи, соответствовавшее поступлению

влаги в количестве нескольких десятых долей грамма (что, по мнению Лебедева, может дать за год 60—100 мм), Колосков объясняет образование росы на поверхности почвы. Поэтому теорию Лебедева о внутрипочвенной конденсации Колосков считает ошибочной.

Далее Колосков указывает на возможность (экспериментально не доказанную) случаев, когда максимальная упругость водяного пара при наличии растительного покрова возникает на некоторой высоте над поверхностью земли. В подобных случаях может наблюдаться переход водяного пара из атмосферы в почву и конденсация ее в последней. Но источником влаги в этом случае является пар, транспируемый растениями, т. е. как бы уменьшается интенсивность транспирации, а не увеличивается запас влаги в почве. В почву поступает влага, извлеченная растениями из почвы же. «Это механизм экономии, а не прихода»,— говорит Колосков.

Оценивая эти критические высказывания Колоскова, следует отметить, что они не столь уже категорически опровергают взгляды Лебедева. При наличии растительного покрова, как указывает Колосков, конденсация имеет место, но не на поверхности почвы, а на поверхности растительного покрова и выражается в выпадении росы на растениях. Следовательно, влага в почву в этом случае все же может попасть, но лишь при условии стекания росы, что, видимо, наблюдается не часто, в силу чего ожидать значительного поступления влаги в почву при наличии растительности не приходится. Однако полностью отрицать возможность такого явления нет оснований.

Если же растительный покров отсутствует, то Колосков допускает возможность конденсации, но не внутри почвы, как говорил Лебедев, а лишь на ее поверхности. Следовательно, поступление влаги в почву в этом случае определяется уже возможностью (или невозможностью) просачивания в почву жидкой (сконденсировавшейся) влаги. А эта возможность, в свою очередь, зависит от влагоемкости почвы и количества сконденсировавшейся влаги. Как увидим ниже, наблюдавшиеся разными исследователями, в том числе и самим Лебедевым, величины прироста запаса влаги в поверхностных слоях почвы обычно не превышают 1 мм за ночь и, следовательно, даже в почвах песчаного гранулометрического состава с минимальной влагоемкостью на глубину не может стечь влаги больше нескольких миллиметров. Наблюдения показывают, что в таких случаях в теплое время года эта влага целиком испаряется вскоре после восхода солнца.

В другой работе Колосков [42] рассматривает вопрос о возможности поступления влаги в почву за счет сорбции, причем, по мнению автора, «при степенях влажности, соответствующих полному развитию пленок, т. е. максимальной адсорбционной влагоемкости, или к ним близких, происходит перемещение пленочной воды вниз под влиянием потенциальных сил тяжести, вызывающих... различия в толщине и выпуклости соседних пленок... При

достаточно длительном воздействии атмосферы насыщенного пара к процессу сорбции присоединяется еще и процесс капиллярной сорбции. В первой фазе этого процесса вода собирается в углах пор вокруг точек соприкосновения двух соседних частиц почвы. Далее процесс распространяется и на капилляры».

Напомним, что под максимальной «ассорбционной» влагемкостью (МAB) Колосков понимает влажность почвы, при которой «... молекулярные силы почвенных частиц полностью исчерпаны или, другими словами, молекулами воды занята полностью вся сфера сорбции». Кроме того, Колосков устанавливает понятие о полной мономолекулярной влагемкости, соответствующей наличию полного мономолекулярного слоя воды.

Однако по смыслу определения МAB в нее не входит многослойная сорбция, совершающаяся за счет полярности адсорбированных молекул воды. Поэтому «полное развитие пленок» соответствует какой-то влажности, превышающей МAB. В соответствии с новейшими данными МAB отвечает, видимо, двойному молекулярному слою и относительной влажности воздуха — приблизительно 0,2, т. е. значительно ниже МГ. Поэтому никакого гравитационного стекания при насыщении почвы до МAB происходить не может.

Используя данные Флейшера, рассчитавшего (вероятно, по формуле Томсона) минимальный размер капилляров, в которых может происходить капиллярная конденсация при различных величинах относительной влажности воздуха (p/p_0), Колосков указывает, что при $p/p_0 = 99,1\%$ капиллярная сорбция может происходить в порах с поперечником 3000 Å, что соответствует 1154 молекулярным диаметрам. Следовательно, при приближении воздуха к полной насыщенности толщина пленки может во много раз превосходить эту величину и капиллярная сорбция может происходить в порах значительно большего диаметра. Сорбированная таким образом влага может передвигаться в известных пределах под влиянием силы тяжести и, следовательно, каптироваться.

Большое значение капиллярной конденсации придает и В. П. Сочеванов [76]. Он считает, что наибольший эффект увлажнения почвы следует ожидать в районах с сильным иссушением почвы и с периодическим сильным увлажнением воздуха, достигающим величин, близких к 100%. При этом процесс адсорбции паров по эффекту увлажнения почвы значительно уступает процессу капиллярной конденсации, которая, по мнению автора, может идти до полного исчезновения менисков, т. е. до полного насыщения почвы.

Такие же взгляды были высказаны и нами [62]. Мы допускали возможность почти полного насыщения почвы за счет капиллярной конденсации с сохранением лишь пузырьков заземленного воздуха. При этом, по высказанному нами мнению, в объектах может возникать, в особенности в крупнозернистых (песчаных, гравийных), и гравитационное стекание сконденсированной влаги.

Эти представления оказались, однако, неверными. Капиллярная сорбция влаги может довести влажность почвы до некоторого предела, лишь немного превышающего МГ, после чего сорбция прекращается. Это было показано В. Я. Стапренсом [77], а позднее — еще более убедительно — С. И. Долговым с сотрудниками [28]. Эта предельная влажность в почвах суглинистого гранулометрического состава значительно ниже НВ, в силу чего гравитационное стекание влаги невозможно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОНДЕНСАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ В ПЕСКАХ И БОЛЕЕ ГРУБЫХ МАТЕРИАЛАХ

В этом разделе прежде всего должны быть рассмотрены исследования П. Ф. Баракова [8], проводившиеся в Ново-Александровском сельскохозяйственном институте. Бараков наблюдал инфильтрацию влаги в различные материалы, помещенные в бетонные лизиметры емкостью 1 м³.

Всего было построено 24 лизиметра, заполненных различными материалами, начиная от гравия и кончая лёссом и перегнойно-болотной почвой. Однако явления, которые могут рассматриваться как результат конденсации, наблюдались только в четырех лизиметрах, содержавших гравий, кварцевый песок, глауконитовый песок, «песчаный подзол». Последний представлял собою насыпной профиль, состоявший из горизонта А₁ мощностью 24 см, горизонта А₂ мощностью 50 см и ортштейнового горизонта В мощностью 14,6 см.

Бараков пишет, что в холодное время года количество дренажных вод в некоторые периоды превышало количество осадков, выпавших за тот же период. Подобные случаи наблюдались:

Месяц и год	Объект	Поступило осадков (мм)	Просочилось воды (мм)
X 1904	Гравий	9	35
XI 1904	„	27	41
X 1905	„	39	54
XI 1905	„	67	71
XII 1903	Кварцевый песок	18	21
X 1904	То же	9	19
XI 1904	Глауконитовый песок	27	31

Автор видит в этом доказательство существования конденсации, которая происходит постоянно, хотя и с изменяющейся интенсивностью. Он отмечает, что превышение количества дренажных вод над количеством осадков наблюдается лишь в холодное время года, в то время как в теплое время конденсация настолько мала, что не может компенсировать испарение. Гравий (так же как и кварцевый песок — А. Р.) давал воду в течение почти круглого

года, за исключением очень морозных периодов, хотя превышение просачивания над осадками наблюдалось только в четырех указанных выше случаях и было не более 1 мм в сутки.

Суждение автора о том, что конденсация происходит в течение всего года, остается недоказанным. В холодный период года ее существование имело место в гравии. Однако нельзя не заметить, что в опытах Баракова не было варианта с лизиметрами, защищенными от атмосферных осадков, вытекание воды из которых могло быть обязано лишь конденсации влаги из атмосферы. Но поскольку в учете осадков всегда имеются погрешности, полной уверенности в наличии конденсации нет.

Кроме того, нельзя не отметить, что существенное превышение просачивания над осадками наблюдалось только в гравийном лизиметре, в то время как в песках превышение было ничтожным. Важно и то, что в теплое время года такого превышения никогда не наблюдалось даже в гравии.

Можно предположить, что с лизиметрами Баракова работали в Пулавах (б. Ново-Александрия) С. Бак и С. Марсилонек [98]. По их наблюдениям, конденсация в лизиметрах в среднем за 10 лет достигала следующих величин:

К сожалению, и здесь отсутствуют сведения о тепловом и температурном режимах, а также о гранулометрическом составе песков. Отметим, что и в этих опытах наибольшие величины конденсации характерны для гравия, что совпадает с результатами опытов Баракова.

Много исследований по вопросу конденсации атмосферной влаги в песках было выполнено в Средней Азии. Одним из пионеров в этой области был Б. П. Орлов [57]. Он начал свои работы в Репетеке еще в 1914 г. В табл. 2 мы приводим результаты его наблюдений за влажностью песка в межбарханной котловине без растительности.

Учитывая, что наименьшая влагоемкость (НВ) песков, по данным Орлова, равна 3,0—3,5% (определено А. Ф. Лебедевым на центрифуге), мы видим, что 2-метровая толща песка весной 1914 г. была промочена насквозь, а к осени иссушение охватило в той или иной степени всю 2-метровую толщу, причем особенно сильное иссушение наблюдалось в верхнем 80-сантиметровом слое. Ноябрьские осадки восстановили летнюю потерю более чем наполовину.

Летнее иссушение могло происходить как за счет испарения влаги в атмосферу, так и за счет перегонки ее в парообразном состоянии в глубжележащие слои. Орлов считает, что нисходящее передвижение влаги в репетекских песках происходит главным образом в форме пара. Значительный расход влаги, наблюдав-

Объект	Конденсация (мм)
Гравий	33
Песок	
крупнозернистый	25
среднезернистый	27
дюнный	7
речной	16
мелкозернистый	0

Таблица 2

Средние месячные величины влажности песка в котловине
и суммы осадков [57]. 1914 г.

Глубина (см)	С I по III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Влажность песка (% от веса)											
0	—	2,3	0,6	—	—	—	0,1	0,1	5,6	—	—
20		3,2	2,6				0,5	0,5	2,4		
40		3,5	3,0				0,5	0,5	3,4		
60		3,2	3,1				2,2	1,0	2,6		
80		3,4	3,3				2,7	1,0	2,4		
100		3,7	3,2				3,0	1,8	2,5		
120		3,3	3,1				2,8	1,9	2,7		
140		3,5	3,0				3,2	2,2	2,5		
160		3,7	3,6				2,3	2,0	2,6		
180		4,2	3,8				1,9	2,6	3,0		
200			2,8				2,5	2,0	2,6		
Запасы влаги в слое 0—200 см (мм)		114	93	—	—	—	65	47	100	—	—
Осадки (мм)											
	56,1	21,3	3,1	0	0	0	0	1,7	24,6	6,5	113,2

Примечание. Тире (—) означает, что влажность песка и запасы влаги не определялись.

шийся в долине с растительностью, Орлов с полным основанием относит на счет десукции влаги корнями растений.

Глубокое (до 6 м) бурение в котловине, проведенное в 1913—1914 гг., показало, что в толще глубже 2 м влажность в течение теплого сезона не меняется и держится на уровне 3,2—3,5%, т. е. соответствует НВ песка. Из этого факта можно сделать три вывода. Во-первых, иссушение песка глубже 2 м не происходит. Во-вторых, песок по меньшей мере периодически промачивается на глубину не менее 6 м, а может быть, и глубже. В-третьих, влага, переместившаяся в форме пара до глубины 2 м, поступает в слой с влажностью, равной НВ, и, конденсируясь на этой глубине, может дальше стекать уже в жидкой форме как гравитационная.

В барханных цепях запас влаги был заметно ниже, чем в котловинах без растительности.

Орлов наблюдал в толще песков слои с повышенной влажностью, названные им «фокусами влажности». Весной такие «фокусы» встречались под поверхностью песка и еще на глубинах около 80 и около 140 см. Первые из них с течением времени рассасывались (испарялись? — А. Р.), а нижние, наоборот, усиливались. Их появление Орлов объясняет конденсационным процессом.

Орлов считает возможной термическую конденсацию пара из воздуха зимой, т. е. когда это допускается соотношением между упругостью пара в приземном слое воздуха и упругостью насыщающего пара при температуре поверхности песка. Летом же, по мнению Орлова, должно иметь место передвижение водяного пара сверху вниз. Этот поток «к слою с постоянной годовой температурой является по существу перегонкой главным образом осадков, которые... в репетекских условиях в ряде случаев иначе опуститься вниз и не могут». Заметим, что, судя по данным табл. 2 и упомянутым результатам бурения до 6 м, весной сквозное промачивание может происходить до глубины не менее 6 м.

Летом, по наблюдениям Орлова, пересушенный песок в поверхностном слое может поглощать пар из атмосферы при ночном охлаждении. Количественная характеристика этого явления не ясна.

Орлову возражает П. И. Колосков [41], который отмечает, что в явлениях, наблюдавшихся Орловым, термической конденсации быть не могло, так как, судя по измеренным величинам абсолютной влажности воздуха, точка росы лежала в интервале 0—3°C, а ночные температуры поверхности песка лежали в интервале 17—24°C. Могло иметь место только гигроскопическое поглощение влаги.

В Алжире, в дюнах Гранд Эрг, Люжон [110] констатировал, что между верхним 12-сантиметровым слоем дюнного песка и внутренностью дюны существовала разность температур в 12°C. При этом верхний 12-сантиметровый слой у основания дюны оказался очень влажным, таким влажным, как будто прошел дождь, которого, однако, не было. Явление это автор наблюдал на протяжении маршрута длиной 10 км, причем во влажном слое оказались распространенными поверхностные корни различных кустарников. Автор предполагает, что высокая влажность верхнего слоя песка в этом случае была следствием конденсации водяного пара из атмосферы, которая происходила благодаря контакту потока холодного воздуха, шедшего с севера, с теплым влажным воздухом, поднимавшимся из дюны.

Ван Хесселинк и Худиг [107] описывают опыты на дюнах в Голландии. Железные ящики размером 1,5×1,5 м и глубиной 1 м были заполнены дюнным песком и установлены так, что в них соблюдался тот же температурный режим, что и в окружающих песках. Ящики были засажены двухлетними сеянцами сосны и могли взвешиваться. Поверхность песка в разных ящиках была покрыта разными материалами: слоем гравия 5 см, лупиновой соломой или той же соломой, перемешанной с песком, или слоем глинистого песка толщиной 25 см. Амплитуда температур на глубине 20 см оказалась наибольшей под гравием. За бездождный период 8—11 мая все ящики с покрытием из гравия дали привес от 3 до 11 кг, в среднем 7 кг. Ящик без покрытий и без сосенок имел привес 2 кг. Остальные ящики дали значительно меньший привес или даже потеряли в весе. Авторы объяснили результаты опыта тем,

что ночью покрывки из гравия и сухой слой песка охлаждаются быстро, что и вызывает конденсацию, которая в ящике с покрытием из гравия достигала в среднем 3,1 мм за 3 суток.

Результат этот близок к результатам опытов Баракова. Можно только сожалеть, что наблюдения ограничились тремя сутками. Отметим еще, что опыты ван Хесселинка и Худига велись на дюнах, вблизи от морского побережья, с господствующими западными ветрами, приносившими воздух, повышенная влажность которого могла быть обусловлена влиянием теплого Гольфстрима.

А. Г. Гаель [22] установил, что в Восточных Каракумах (Репетек) под барханными грядами «мертвого» горизонта нет. Вся 15—20-метровая толща периодически промачивается насквозь и под барханами образуются купола грунтовых вод. В песках, несущих на себе растительный покров, «живой горизонт промокания» достигает 1,0—1,5 м и в годы с малым количеством осадков к осени иссушается полностью.

В северных песчаных пустынях, например в Приаралье, по данным Гаеля [22], глубина промачивания заросших песков меньше вследствие более равномерного распределения осадков в году, хотя годовая сумма их здесь больше.

Ссылаясь на приведенные в табл. 2 данные, Гаель указывает, что увлажнение барханных песков происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Причиной более быстрого иссушения и появления сухих прослоек между влажными является перевевание песка.

В бугристых заросших песках при глубине грунтовых вод 5—6 м мертвого горизонта может и не быть, но при большей глубине грунтовых вод он присутствует всегда. Глубина иссушения под илаком (*Carex physoides*) к сентябрю достигает 100—200 см.

Рассмотрев результаты исследований еще нескольких авторов, Гаель пришел к выводу, что конденсационный процесс в режиме влажности песков существенной роли не играет.

Интересные исследования были осуществлены в 1935—1937 гг. В. Е. Сочевановым на Урдинской станции в Рынь-песках (Уральская область Казахской ССР).

В 1935—1936 гг. Сочеванов [74] наблюдал конденсацию в поверхностном 5-сантиметровом слое с помощью «конденсаторов» — стаканов со сплошным или с сетчатым дном высотой 5 см и площадью 500 см². Конденсаторы заряжались монолитами песка и периодически взвешивались. Результаты приведены в табл. 3.

Сочеванов отмечает, что термической конденсации он не наблюдал. Все, что регистрировалось конденсаторами, было конденсацией молекулярной.

Из 167 случаев ночных наблюдений только в 38 наблюдалась конденсация из атмосферы (в конденсаторах со сплошным дном), а суммарная конденсация наблюдалась в 89 случаях. В целом

Таблица 3

Месячные суммы испарения и конденсации в песках Прикаспийской низменности (мм) за 1935—1936 гг. [75]

Явление	Месяцы и число ночей с наблюдениями						Сумма
	X (24)	IV (30)	V (31)	VI (21)	VIII (31)	IX (30)	
Конденсаторы со сплошным дном							
Ночная конденсация	+0,83	+0,53	+0,40	-0,84	+0,46	+0,19	+3,25
Ночное испарение	-1,67	-1,60	-1,30	-0,95	-2,05	-0,87	-8,44
Сумма	-0,84	-1,07	-0,90	-0,11	-1,59	-0,68	-5,19
Дневное испарение	-5,47	-11,77	-17,90	-17,57	-	-	-
Сумма	-6,31	-12,84	-18,89	-17,68	-	-	-
Конденсаторы с сетчатым дном							
Ночная конденсация	+0,99	+2,81	+3,79	+2,04	+0,81	+0,31	+10,75
Ночное испарение	-1,75	-0,81	-0,20	-0,14	-1,99	-0,70	-5,59
Сумма	-0,76	+2,00	+3,59	+1,90	-1,18	-0,39	+5,16
Дневное испарение	-6,67	-17,47	-24,97	-18,53	-	-	-
Сумма	-7,43	-15,47	-21,38	-16,63	-	-	-

Примечание. Тире (—) означает, что явление не определялось.

за период ночных наблюдений в конденсаторах со сплошным дном имела место прибавка в размере +3,25 и потеря —8,44, а в конденсаторах с сетчатым дном соответственно +10,75 и —5,59. Следовательно, увлажнение поверхностного 5-сантиметрового слоя происходило главным образом за счет перегонки влаги снизу. Дневное испарение значительно превышало ночную конденсацию.

В 1936 г. в течение июня—сентября эти наблюдения продолжались, но конденсаторы применялись двух размеров: высотой 5 и 10 см, также с сетчатым или сплошным дном. Стаканчики перезаряжались ежедневно с сохранением естественного сложения песка. Взвешивания производились ежедневно утром и вечером. Конденсаторы со сплошным дном регистрировали ночью только конденсацию, а днем — только испарение. Результаты измерений за 4 месяца представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Конденсация и испарение в поверхностных слоях песка
(в мм водяного слоя) [72]**

Слой 0—5 см								Слой 0—10 см							
стаканчики															
со сплошным дном за 90 суток				с сетчатым дном за 97 суток				со сплошным дном за 90 суток				с сетчатым дном за 97 суток			
ночь		день		ночь		день		ночь		день		ночь		день	
К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И
+3,30	—0,84	—	—21,45	+6,84	—0,48	—	—	+0,80	—1,33	—	—21,76	+9,61	—0,34	—	—

Примечание. К — конденсация, И — испарение, тире означает отсутствие данных.

Из этих данных автор делает вывод, что количество влаги, конденсировавшейся в результате подъема снизу, значительно превышает количество ее, поглощаемое из воздуха.

Кроме того, велись еще наблюдения за испарением с помощью испарителей Попова и за конденсацией на уровне грунтовых вод с помощью монолитов с постоянным уровнем грунтовых вод («компенсационные испарители»).

В 1936 г. за июнь—сентябрь осадков выпало 70,7 мм, а испарение по испарителю Попова, изолированному от подстилающей толщ песка, составило 77,6 мм, по неизоллированному — 82,1 мм.

Конденсация на уровне грунтовых вод рассчитывалась по формуле:

$$K = \text{Отт} + \text{Исп} - \text{Ос} - \text{Погл},$$

где К — величина конденсации, Отт — количество воды, вытекшее из монолита, Исп — испарение по испарителю Попова, Погл — количество воды, поступившее в монолит из мариоттова сосуда, поддерживающего постоянный уровень воды в монолите.

Наблюдаемые величины в 1936 г. оказались следующими (мм):

Показатели	Монолит высотой 125 см (11 VII—16 IX)	Монолит высотой 175 см (11 VII—29 IX)
Осадки	53,3	53,3
Испарение	48,5	51,9
Отток	35,5	31,6
Поглощение	0,0	0,0
Конденсация	30,7	30,2

Наблюдения были продолжены до осени 1937 г. Испарители Попова со сплошным и с сетчатым дном дали почти одинаковые результаты: суммарные величины испарения составили соответственно 119 и 121 мм. Месячные суммы также отличались не более чем на ± 4 мм. Результаты наблюдений на компенсационных испарителях высотой 125, 150 и 175 мм приведены в табл. 5.

Величины конденсации по суммарным данным за весь период с октября 1936 по сентябрь 1937 г., рассчитанные по приведенной выше формуле, получились для монолитов высотой 125, 150 и 175 см равными соответственно 106, 102 и 112 мм.

Сочеванов подчеркивает, что поступление воды из сосудов Мариотта (величина «поглощение») оказалось равным нулю или было очень близко к этой величине. Он делает из этого факта вывод, что колебания атмосферного давления и температуры воздуха не могли быть причиной вытекания воды из монолитов. С этим выводом можно согласиться. Но тот же факт позволяет сделать еще один вывод, а именно, что испарения с поверхности грунтовой воды в монолитах высотой 150 и 175 см не было совсем, а в монолитах высотой 125 см оно наблюдалось только в январе—марте 1937 г. и было очень малым. Это вполне естественно, так как величина капиллярного подъема в этих песках едва ли превышала 50—60 см (точных данных, впрочем, у нас нет). Испарялась же только та влага, которая подвешивалась в надкапиллярной толще при выпадении осадков. Если мы сравним суммы осадков и испарения (измеренного с помощью лизиметров-испарителей Попова) за апрель—сентябрь 1937 г., то получим соответственно 92,1 и 107,7 мм, т. е. испарилось несколько больше, чем поступило осадков,—возможно, за счет накопленного ранее запаса подвешенной влаги.

Далее, внимательный просмотр табл. 5 позволяет прийти и к другим выводам, отличающимся от выводов Сочеванова. Суммы осадков и суммы оттока во многих случаях очень близки. Подсчи-

Таблица 5

Месячные величины поглощения (—) и оттока (+) воды (мм водного слоя) в песчаных монолитах (компенсационных испарителях) за 1936—1937 гг. [73]

Месяц и год	Монолит									Осадки по поч- венному дожде- меру	Испаре- ние по испаря- телям Попова
	125 см			150 см			175 см				
	погло- щение	отток	общий приход на УГВ	погло- щение	отток	общий приход на УГВ	погло- щение	отток	общий приход на УГВ		
1936											
X	-0,3	+59,5	+59,2	0,0	+55,3	+55,3	0,0	+55,5	+55,5	56,1	11,7
XI	-0,3	+27,6	+27,3	0,0	+30,9	+30,9	0,0	+29,9	+29,9	29,6	1,3
XII	-0,2	+6,6	+6,4	0,0	+2,6	+2,6	0,0	+4,7	+4,7	3,5	—
1937											
I	-7,0	+1,7	-5,3	0,0	+1,3	+1,3	0,0	+2,8	+2,8	4,9	
II	-14,5	0,0	-14,5	-0,9	+0,6	-0,3	0,0	+0,2	+0,2	27,9	
III	-2,0	+27,0	+25,0	-0,2	+23,4	+23,2	0,0	+8,9	+8,9	2,0	2,3
IV	0,0	+13,2	+13,2	-0,1	+10,9	+10,8	0,0	+13,5	+13,5	8,2	9,5
V	0,0	+6,5	+6,5	0,0	+8,1	+8,1	-0,1	+12,1	+12,0	8,7	15,3
VI	-0,1	+48,2	+48,1	0,0	+35,3	+35,3	0,0	+34,8	+34,8	40,3	32,7
VII	0,0	+6,6	+6,5	0,0	+6,7	+6,7	0,0	+15,1	+15,1	6,1	17,3
VIII	0,0	+3,6	+3,6	0,0	+1,3	+1,3	0,0	+3,3	+3,3	18,0	23,1
Сумма	-24,4	+200,5	+195,8	-1,2	+176,4	+175,8	-0,1	+180,8	+180,7	205,3	113,2

таем суммы этих величин за холодный (X—III) и теплый (IV—IX) периоды:

Период	Осадки	Отток		
		монолит 125 см	монолит 150 см	монолит 175 см
X—III	124	122	114	102
IV—IX	90	85	70	80
Сумма	214	207	184	182

Мы видим, что в холодном полугодии сумма осадков несколько превышает отток. Разность, слегка возрастающая с высотой монолита, была израсходована, вероятно, на пополнение дефицита. Однако это превышение могло быть и следствием увеличения капиллярной влагоемкости, сопряженного с повышением поверхностного натяжения при понижении температуры.

В теплом полугодии осадки тоже несколько превысили отток. Их избыток был израсходован на испарение. Никаких оснований для допущения сколько-нибудь значительной конденсации нет, тем более такой значительной (100 мм), как ее оценил Сочеванов. Основной причиной его ошибки было, вероятно, определение испарения с помощью испарителя-лизиметра Попова, в котором над сетчатым дном образовался слой подперто-подвешенной влаги, что не могло не усилить испарение. Это и констатировалось при сопоставлении суммы осадков и испарения за апрель—сентябрь 1937 г.

Таким образом, достоверными величинами конденсации в Урдинских песках следует считать те, которые были получены Сочевановым с помощью конденсаторов высотой 5 и 10 см. Величины же конденсации, полученные по компенсационным лизиметрам на уровне грунтовых вод, являются ошибочными.

Оригинальные опыты были поставлены А. Н. Сидоровым [66] в окрестностях Баку. Песок охлаждался с помощью системы трубок, через которые пропускалась холодная вода. При расположении трубок на некоторой глубине от дневной поверхности количество сконденсированной воды было ничтожным. При расположении же трубок на поверхности песка в него поступало значительное количество сконденсированной воды. Автор делает из этих опытов вывод, что термическая конденсация может происходить лишь на поверхности почвы и тем энергичнее, чем больше на ней лежит крупных обломков, хорошо обтекаемых воздухом, и чем грубее ее гранулометрический состав.

Отметим, что различия в результатах двух вариантов опытов Сидорова объясняются, вероятно, еще и тем, что при расположении трубок на поверхности песка к ним мог беспрепятственно притекать водяной пар из окружающей атмосферы. При расположении же трубок на некоторой глубине конденсировался только тот пар, который содержался в почвенном воздухе и запас которого

пополнялся лишь очень медленно за счет диффузии его из атмосферы.

В. Л. Леонтьев [50] исследовал годовой ход влажности бархан-ных песков под саксаульниками в Каракумах. Наблюдения проводились на пяти площадках: 1) в межбарханной котловине, 2) на бугре под осокой, 3) на месте срубленного дерева саксаула, 4) в зарослях осоки между деревьями черного саксаула, 5) под кроной черного саксаула. Результаты его наблюдений представлены на рис. 3 в форме хроноизоплет влажности. Из этих данных видно, что весеннее промачивание песка сверху под первой площадкой, как правило, бывает сквозным, под второй и третьей — часто сквозным, но никогда не бывает сквозным под пятой площадкой. Стеkanie влаги в почве при сквозном промачивании наблюдается до сентября—октября. В осенние и зимние месяцы наряду с начинающимся промачиванием сверху имеет место небольшое увеличение влажности, идущее снизу, которое

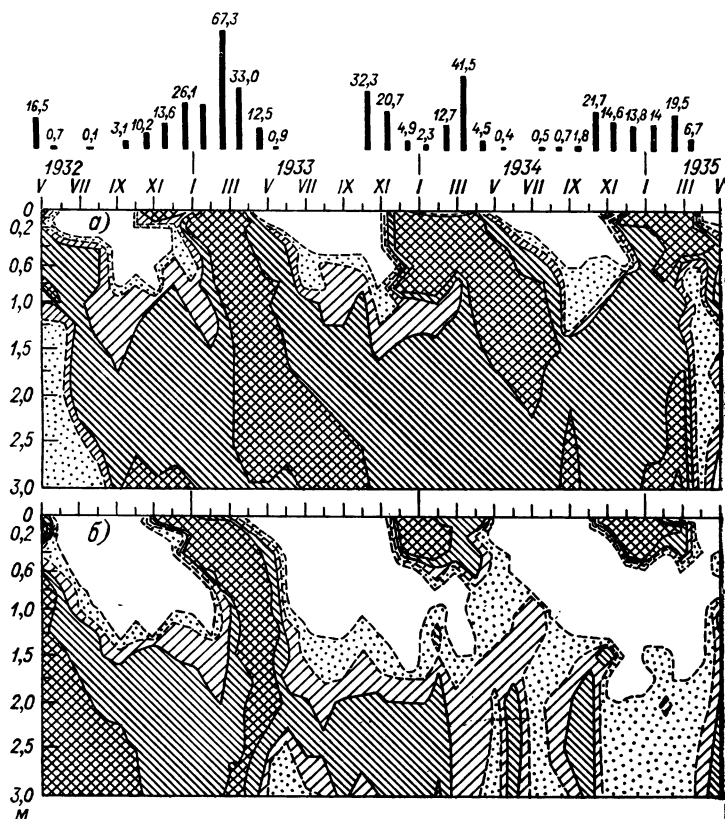
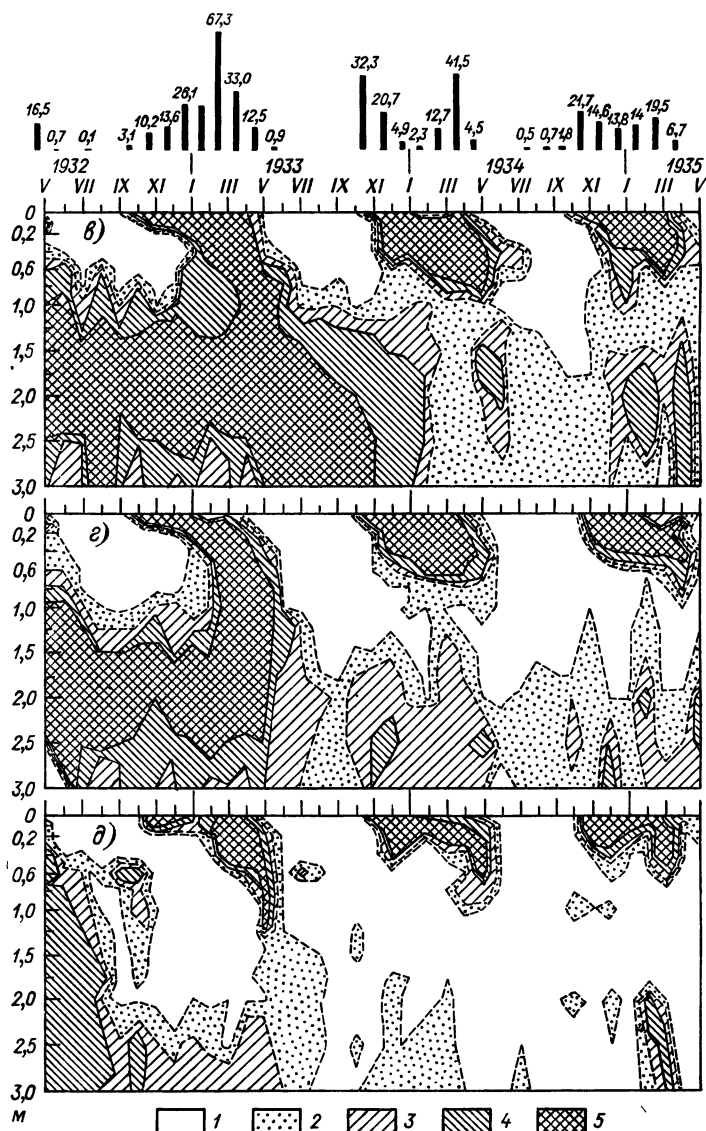


Рис. 3. Изоплеты влажности

а — в межбарханной котловине, б — под зарослями осоки на бугре в пятне дефляции, г — под зарослями осоки между деревьями черного саксаула

2) 1—1,5%, 3) 1,5—2,0%.

Леонтьев считает результатом восходящей перегонки водяного пара и конденсации его в верхних слоях почвы. Это явление наиболее отчетливо выражено в барханных песках с близким к поверхности (не глубже 125 см) слоем, имеющим влажность, соответствующую НВ (рис. 3 в и 3 г).



барханных песков [50].

с белым саксаулом, в — на месте срубленного дерева черного саксаула, саксаула, д — под кроной черного саксаула; влажность: 1) менее 1%, 4) 2,0–3,0%, 5) более 3%.

В Каракумах в те же годы изучением водного режима барханных песков занимался М. П. Петров [59]. На рис. 4, заимствованном из его работы, приведены эпюры средних месячных величин упругостей пара в толще песка, найденных по температурам последнего в предположении, что воздух в песке насыщен водяным паром. Эти эпюры подтверждают тот факт, что летом градиент упругости направлен вверх, а зимой (с октября по март) — вниз и характеризуют величины градиентов упругости пара. Наибольших величин эти градиенты достигают в июне—августе и в ноябре—январе. В весенние и летние месяцы передвижение идет в двух направлениях — вверх и вниз. Глубина раздела лежит весной на 40 см, а летом — на 20 см.

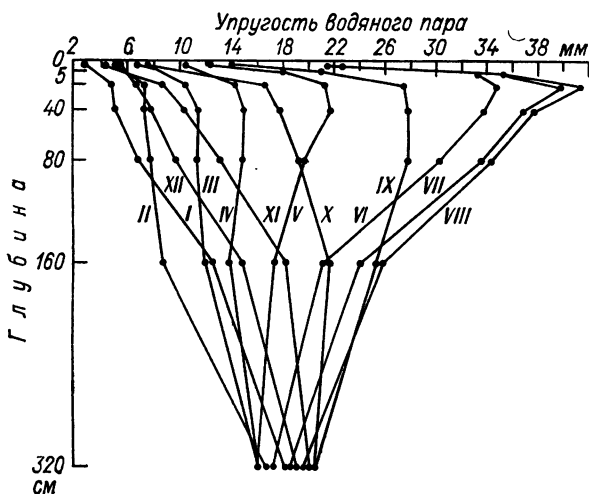


Рис. 4. Эпюры средних месячных упругостей водяного пара в барханных песках [59].

Подчеркивается растениеводческое значение восходящей переноски пара в сентябре—ноябре с конденсацией в верхних слоях. Осадков в этот период часто не бывает, и конденсация обеспечивает плодородие растений из семейства маревых. При этом осенью влагой обогащаются не только верхние слои, но и второй метровый слой. В летнее время часть влаги испаряется, часть — отгоняется вниз.

Суточные циклы наблюдений за влажностью поверхностного слоя песка показали, что она колеблется в пределах 0,05—0,15% с максимумом перед восходом солнца и минимумом в 12—16 ч. Ночное увлажнение поверхностного слоя песка — это, по мнению Петрова, росообразование за счет конденсации водяного пара, передвигающегося снизу.

В голых песках, как это было показано еще Орловым, водный режим ежегодно заканчивается с положительным балансом.

«Фокусы» влажности, которые наблюдал Орлов, Петров объясняет периодическим ветровым переносом песчаных масс с периодическим погребением или обнажением влажных ядер. Это же объяснение распространяется и на табл. 2 запасов влаги в 2-метровой толще барханных песков в работе Орлова [57]. Петров высказывает, однако, недоумение по поводу того, что в барханах и межбарханных котловинах Орлов обнаружил различный режим влажности, хотя условия в них очень близкие. Он сам объясняет более низкую влажность барханных песков тем, что ветровой снос высохших верхних слоев песка способствует иссушению нижележащих слоев, вследствие чего общая потеря влаги из барханов больше, чем со дна котловины.

В работе В. И. Точилова [81] мы находим небольшой экспериментальный материал за апрель 1940 — февраль 1941 г., свидетельствующий о том, что конденсация за ночь в стаканчиках со сплошным и сетчатым дном одинакова (70 мм за 115 дней), а испарение из стаканчиков со сплошным дном (83 мм) меньше, чем из стаканчиков с сетчатым дном (100 мм). Последнее говорит, очевидно, о том, что в дневные часы имеет место перегонка некоторой доли испаряющейся влаги в более глубокие слои. Наблюдения эти относятся к окрестностям Баку.

В. Н. Кунин [45, 46], рассматривая вопрос о происхождении подземных вод Каракумов, указывает, что инфильтрация осадков имеет место только на площадях барханных песков, лишенных растительности, где она может давать около 25 мм в год. Площадь таких песков составляет около 5% всей площади Каракумов. На участках же, покрытых растительностью, глубокая инфильтрация отсутствует, так как вся влага осадков десугируется корнями растений. Маловероятной автор считает и нисходящую перегонку пара при этом, так как к моменту, когда устанавливается распределение температур, благоприятствующее такой перегонке, вся влага уже оказывается израсходованной растениями.

Автор допускает возможность внутригрунтового испарения влаги из грунтовых вод и оценивает его величиной около $60 \text{ м}^3/\text{с}$ с площади около $300\,000 \text{ км}^2$, что соответствует $\sim 6 \text{ мм/год}$.

Внутригрунтовому испарению способствует тот факт, что глубина зеркала грунтовых вод, как правило, превышает глубину зоны с постоянной годовой температурой. Возможность пополнения грунтовых вод за счет конденсации водяного пара Кунин категорически отрицает.

У. М. Ахмедсафин [7] указывает на то, что и по наблюдениям Кунина в Репетеке и по его собственным в Прибалхашских песках уровень грунтовых вод в летнее время при глубине около 3 м постепенно опускается, т. е. из этих вод происходит расход влаги, в то время как можно было бы ожидать перегонки сверху. Не отрицая возможности такой перегонки, автор считает, что конденсационная влага не может служить источником накопления грунтовых вод. Решающее значение в этом накоплении имеют инфильтрация осадков и фильтрация воды из рек.

Шеллер [117] сопоставил ход влажности атмосферного воздуха с максимально возможной (судя по температуре) влажностью воздуха в почве для двух пунктов в Тунисе. Он обнаружил, что соотношение этих двух влажностей дает основание допускать возможность конденсации только в некоторые дни между концом весны и началом осени. Попытка количественного подсчета показала, что конденсация не превышает 11 мм в год. Позднее тот же автор [118] отметил, что в Сахаре ночью создаются условия, благоприятствующие конденсации. Но последняя охватывает слой мощностью не более 1 см, причем сконденсировавшаяся влага испаряется в течение первых дневных часов.

А. А. Алексин [5] пришел к выводу, что условий для питания грунтовых вод в Каракумах за счет конденсации нет. Конденсация возможна только в самых верхних слоях почвы и притом за счет влаги, образующейся в результате внутригрунтового испарения. Образование же пресных грунтовых вод происходит за счет сосредоточенной инфильтрации поверхностных вод. Следует, однако, отметить, что каких-либо прямых доказательств отсутствия перегонки влаги сверху вниз автор не приводит. Можно допустить, что в годовом цикле внутригрунтовое испарение преобладает, но это не исключает периодов и нисходящей перегонки в процессе испарения влаги из поверхностных горизонтов. По мнению того же исследователя [6], пресная вода на песчаных островах и косах восточного побережья Каспийского моря возникает тоже за счет зимней конденсации пара, поднимающегося вверх и имеющего своим источником соленую грунтовую воду. В верхних более холодных слоях почвы пары конденсируются и, превращаясь в гравитационную влагу, стекают вниз к уровню грунтовых вод.

Очень большой материал о конденсации паров атмосферы в почве мы находим в работах Э. Н. Благовещенского [10—13]. Пишущий эти строки чувствует себя очень неловко, поскольку ему придется критиковать работы ученого, отличавшегося величайшей увлеченностью наукой, ученого, которого нет в живых и который поэтому не имеет возможности ответить на направленную в его адрес критику. Но отказаться от последней было бы неправильно, так как многие исследователи считают взгляды Благовещенского, несомненно ошибочные, неоспоримой научной истиной. Поэтому автор настоящей книги считает своим научным долгом критически рассмотреть работы этого исследователя, придававшего конденсации атмосферной влаги в почвах, особенно в песках, очень большое значение.

Разберем более подробно самую крупную работу Благовещенского [13] из числа посвященных вопросу конденсации. В ней прежде всего обращают на себя внимание недостатки методики определения влажности почвы.

При изучении суточного хода влажности песков (глава 1) основным прибором для определения влажности почвы был «шаровой зонд» Каганова, с помощью которого определяется теплопроводность почвы, а по ней, по соответствующей тари-
ровочной

кривой,— величина влажности почвы. Указанный прибор массовой проверки не проходил, и сам Благовещенский [13, с. 15] признает, что «...определения влажности почвы по ее теплопроводности, проводившиеся в 1954—1955 гг., давали завышенные в 2—3 раза величины измерений влажности» (разрядка моя.— А. Р.). Вследствие этого наблюдения за суточным ходом влажности пустынных почв проводились в дальнейшем с корректировкой буровым методом.

К сожалению, никаких конкретных результатов этой корректировки не приводится. Очевидно, что доверять величинам, в 2—3 раза превышающим истинные, нельзя.

Первый опыт по изучению суточного хода влажности был выполнен в саду Института почвоведения (г. Душанбе), в шурфе. Шурф 2×2 м и глубиной, по-видимому, 1,5 м был наполнен смесью 1:1 среднезернистого песка и тяжелого суглинка с МГ=4,1%. Над шурфом был сделан навес для защиты от осадков. Шурф был заложен в июле 1955 г. Исходная влажность смеси неизвестна.

В ноябре был проведен первый цикл наблюдений за суточным ходом влажности в 1—2 и 13—14 ч на глубинах 2—4, 29—31, 52—55, 75—80, 100—105 и 145—150 см. Влажность в этом случае определялась буровым методом, причем каждый раз закладывалось 9 скважин и из каждого образца бралось по 2—3 навески. Была проведена статистическая обработка полученных результатов, причем, оказалось, что только на двух глубинах (2—4 и 100—105 см) из шести разности между ночными и дневными величинами влажности оказались недостоверными. В остальных случаях получены достоверные величины приращений влажности за ночь, варьиовавшие от 0,52 до 0,99% от веса почвы. Результаты получились следующие:

Глубина, см	2—4	29—31	52—55	75—80	100—105	145—150
Влажность днем, %	3,33	5,15	6,84	6,29	5,81	6,05
Влажность ночью, %	3,52	6,14	7,49	6,81	5,90	6,77
Приращение, %	+0,19	+0,99	+0,65	+0,52	+0,09	+0,72
Показатель достоверности разности	1,4	3,8	3,8	3,2	0,6	3,8

Автор делает из этих данных вывод, что ночью имело место увеличение влажности. Оспаривать этот факт нет оснований. Однако остается неясным, было ли это проявлением суточного цикла или годового, так как отсутствуют данные о влажности хотя бы в дневные часы следующего дня. Вполне возможно, что наблюдаемые разности были результатом прогрессивного осеннего увлажнения почвы влагой из воздуха или из-под дна шурфа. Кроме того, несколько странным является тот факт, что влажность самого верхнего слоя 2—4 см остается ниже МГ, в то время как во всех остальных более глубоких слоях она, превышая днем МГ

примерно в 1,5 раза, повысилась на 0,52—0,99% от веса почвы. Объяснить такое соотношение в ходе влажности в поверхностном и глубоких слоях трудно. Других наблюдений на этом объекте, по-видимому, не производилось.

Далее излагаются результаты наблюдений в песках Кашкакум в 1956 г., производившихся с помощью термозондов Каганова. Учитывая отмеченную автором возможность значительных погрешностей определения изменений влажности зондами Каганова, мы от рассмотрения этих данных воздержимся.

Сам автор заканчивает главу о суточном ходе влажности очень осторожной констатацией наличия такого хода, указывая, что колебания влажности наблюдаются в относительно сухих горизонтах с влажностью ниже 1,5%. Наибольшие амплитуды наблюдаются в слое 70—200 см. Источником влаги может быть как атмосфера, так и более глубокие слои песка.

Следующая глава посвящена годовому ходу влажности. Наблюдения велись на 8 площадках в районе Хивы (1951—1953 гг.), 9 площадках в районе Репетека (1938—1942 гг. и частично 1948, 1949 и 1954 гг.) и на 2 площадках в районе Иолотани (1939 г.), всего на 19 площадках. Наблюдения велись до глубины 5—6 м при глубоких грунтовых водах, а при более близком залегании — до их зеркала.

И здесь следует начать с методических вопросов. Определения влажности в этой большой серии наблюдений велись буровым методом, причем «в каждый срок закладывались 1 или 2 скважины и из каждого горизонта бралось три образца...». Такая малая повторность заложения скважин (одна или две) очень досадна. Ее не могло компенсировать, конечно, трехкратное взятие навески из одного и того же образца. Двукратная повторность исключает возможность статистической обработки полученных данных и возможность объективной оценки достоверности полученных результатов. Последняя снижается еще и недостаточной частотой определения влажности во времени и недостаточной подробностью взятия образцов в вертикальном профиле.

Определения влажности велись с промежутками времени, как правило, 3—4, а иногда и 6 месяцев, причем в верхней метровой толще образцы отбирались через 25 см, а глубже — через 50 см. Благодаря этому терялась возможность контроля получаемых данных путем сопоставления последовательных величин влажности во временных, в вертикальных (профильных) и в пространственных рядах. Все эти методические недочеты могли явиться причиной, с одной стороны, упущения многих интересных явлений, а с другой — восприятия некоторых случайных колебаний влажности как закономерных ее изменений. Неоправданным является отсутствие таблиц с профильной характеристикой основных водно-физических свойств почв — НВ, ВЗ, МГ.

В тех случаях, когда скважина достигала сухого песка с влажностью ниже 1%, при прохождении буром этого слоя в скважину подливалась вода «для связывания» песка в коли-

честве 0,5—1 л. Пробы из смоченного таким образом сухого слоя вообще не брались. Но при достижении следующего связного горизонта образцы начинали брать после углубления бура на 30 см от точки, где последний раз доливалась вода. Автор поясняет: «Смачивание стенок при некоторой осторожности в работе не является препятствием для взятия образцов на влажность, так как вода просачивается медленнее, чем идет заглубление бура, и в нижней части ложки обычно поднимается несмоченная порода». Такое пояснение неубедительно. Подливание воды в скважины при определении влажности — прием недопустимый и существенно снижающий достоверность полученных данных.

Результаты наблюдений автора приведены в форме хроноизоплет влажности на 19 рисунках, по числу площадок.

Учитывая указанные методические недостатки исследований Благовещенского, мы не будем подробно рассматривать все полученные им результаты, остановимся лишь на немногих.

Рассмотрим прежде всего площадку I на голых барханных песках в Хивинском районе, результаты наблюдений на которой изображены на рис. 13 автора и на воспроизводимом нами рис. 5. Наблюдения велись в течение 1951 г. (с апреля), 1952 и 1953 г. (до июля). Из них 1951 г. был сухой, 1953 г. — средний, а 1952 г. — очень влажный по количеству осадков. Благовещенский пишет: «Распределение влажности в богатом осадками 1952 г. оказалось весьма необычным — пермацидный горизонт с влажностью больше 4% продолжался до 4,5 м в глубину почвы».

Автор считает труднообъяснимыми два обстоятельства. Во-первых, приращение запаса влаги с декабря 1951 г. до мая 1952 г., по подсчетам автора, составило 150 мм, тогда как осадков за зимне-весенний период 1952 г. выпало только 112 мм. Во-вторых, автора удивляет необыкновенно быстрое просачивание влаги. Из этого автор делает вывод, что «эти явления могут быть удовлетворительно объяснены, если мы допустим, что примерно половина влаги, находившейся в пермацидном горизонте весной 1952 г., является конденсационной водой, поглощенной почвой еще до выпадения дождей в начале марта. В этом случае просачивание являлось своего рода «капиллярным сбросом» [48] и могло происходить с очень большой скоростью».

К сожалению, автор не приводит численных послойных запасов влаги в разные сроки наблюдений, которые к тому же проводились довольно редко (судя по рис. 5, в середине декабря, в конце марта и в начале мая). Не приводит он и распределения осадков. Однако о последнем, хотя и не очень точно, можно судить по столбикам в верхней части рис. 5, изображающим суточные суммы осадков. Мы видим, что в начале февраля выпало около 12 мм, в середине февраля — 30 мм, в начале марта — 40 мм и в середине марта — 10 мм. Итого за 1,5 месяца выпало 92 мм (по Благовещенскому — 112 мм). Промачивание почвы, судя по тому же рисунку, началось еще в конце октября, после выпадения 12 мм в течение одних суток, и продолжалось в ноябре после выпадения

суточной суммы в размере около 16—17 мм, а затем в декабре. До февраля почва была промочена до влажности, равной 2—3%, т. е. до величины, соответствующей примерно НВ, на глубину около 0,5 м.

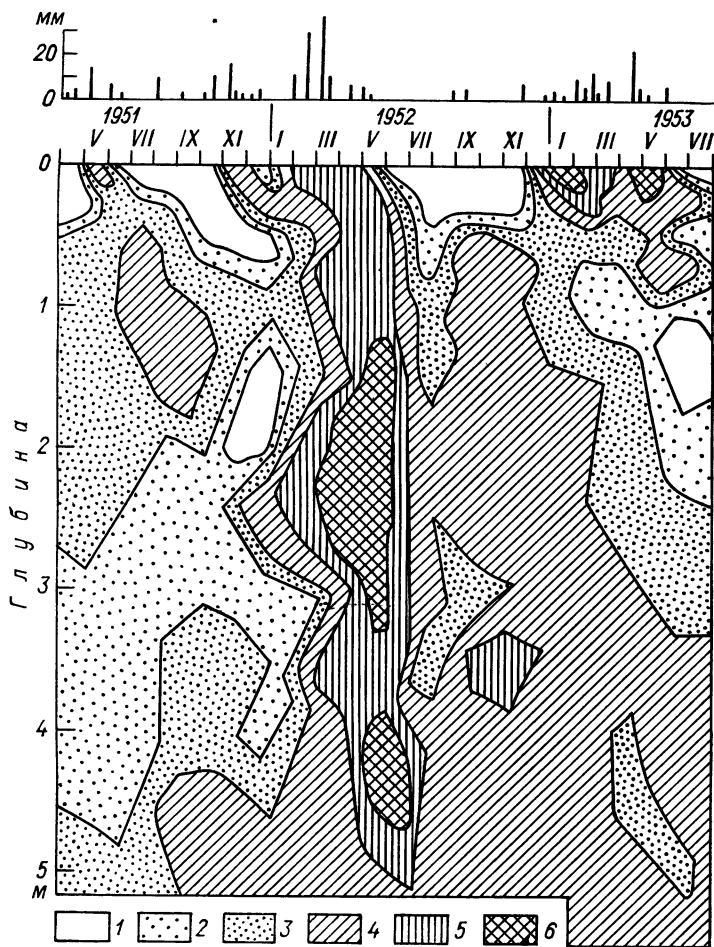


Рис. 5. Изоплеты влажности барханного песка без растительности [13].

1) влажность менее 1%, 2) 1—1,5%, 3) 1,5—2,0%, 4) 2,0—3,0%, 5) 3,0—4,0%, 6) свыше 4%.

Учитывая при этом еще недоучет осадков дождемером, о котором автор упоминает на стр. 30 [13], нет никаких оснований для того, чтобы не считать концентрированное выпадение осадков в феврале и начале марта не только основной, но даже единственной причиной глубокого промачивания почвенно-грунтовой толщи весной 1952 г. На рис. 5 это типичный «язык промачивания», воз-

никающий в весенние периоды в почвах самого различного гранулометрического состава. Быстрота его образования объясняется высокой водопроницаемостью хорошо сортированных песков. Такую же картину наблюдали В. Л. Леонтьев (см. выше, с. 150), а также Н. А. Огильви и В. Н. Чубаров [56, 89]. Никаких объективных оснований для того, чтобы искать причину глубокого промачивания песка в 1952 г. в конденсации паров, происшедшей до выпадения весенних осадков (т. е., очевидно, в промежутки времени между декабрем и мартом), нет. Это невероятно еще и потому, что в рассматриваемый период распределение температур в почве обеспечивало возможность лишь восходящего потока парообразной влаги.

Анализируя рис. 5, мы видим, что после весеннего промачивания на глубину около 5 м до влажности, превышающей 3%, а местами и 4%, в июне влажность во всем промоченном слое одновременно снижается до 2—3%. Это происходит, очевидно, за счет гравитационного перераспределения влаги, охватившего всю 5-метровую толщу, которое имело место с конца февраля до начала июня. Влажность, соответствующая интервалу 2—3%, держится очень долго — во втором полуметровом слое около 3 месяцев, во втором и третьем метровых слоях — свыше 6 месяцев, а в четвертом и пятом — во всяком случае, свыше одного года. Очевидно, эта влажность (2—3%) характеризует собою НВ этих песков, т. е. при меньшей влажности гравитационного стекания влаги быть не может.

На участке Va (рис. 18 в работе Благовещенского, которого мы не воспроизводим) почти без растительности, но с близкими грунтовыми водами (130—150 см зимой и около дневной поверхности во время паводка), Благовещенский отмечает значительное иссушение верхнего 20—30-сантиметрового слоя в августе—сентябре и его увлажнение осенью и делает вывод, что «даже при очень близком уровне воды режим влажности верхних горизонтов почвы в значительной мере определяется ходом относительной влажности приземных слоев воздуха...» Однако никаких оснований для такого вывода нет. Летнее иссушение почвы происходит, очевидно, как и всегда в таких условиях, за счет ее нагрева и вызываемой им диффузии водяного пара в атмосферу и в почву, а осеннее увлажнение — за счет осадков, выпадавших в октябре (около 12 мм) и ноябре (около 20 мм).

На участке Vб, где грунтовые воды в зимнее время находятся на глубине 2,5—3,5 м, Благовещенский констатирует повышение влажности за время с сентября до января, идущее от КК и проникающее снизу до глубины 1 м. Это явление хорошо иллюстрируется рис. 19 в работе Благовещенского, которого мы не воспроизводим, и сомнений не вызывает. Оно может быть объяснено восходящим передвижением парообразной воды от КК и ее конденсацией в вышележащих, более холодных слоях.

Интересным фактом является то, что на этом участке весной 1952 г. глубина промачивания, в отличие от участка I, была

ничтожной, она охватила толщу немногим более 0,5 м. На участке IV глубина промачивания превысила 4 м, на участке III достигла 1 м, на участке II — 180 см, а на участке I — свыше 5 м. Между тем на всех рисунках, относящихся к этим площадкам, суточные суммы осадков изображены столбиками одинаковой высоты и достигают, как мы указывали выше, 92 мм за февраль—март. Совершенно очевидно, что осадки эти имели ливневый характер (о чем говорят суточные суммы 12, 30, 40 и 10 мм). Ливневые же осадки, да еще столь сильно превысившие норму, как весной 1952 г., несомненно, обладали большой изменчивостью в пространстве на малых расстояниях, измеряемых иногда сотнями метров. Это и явилось, очевидно, причиной столь больших различий в глубине промачивания отдельных площадок, расположенных друг от друга на расстоянии, по-видимому, нескольких километров (судя по карте — рис. 11 в работе Благовещенского). Поэтому и сопоставление режима влажности на разных площадках весной 1952 г. делается весьма затруднительным.

Наблюдения Благовещенского на двух площадках (VII и VIII) с суглинистыми почвами рассматривать мы не будем, так как одна из них расположена на вершине древнего крепостного вала, т. е. в условиях, очень далеких от естественных.

Переходя к результатам своих наблюдений в Репетекском районе, Благовещенский наиболее подробно рассматривает участок I в котловине на голых барханных песках с грунтовыми водами на глубине около 15 м. Рисунок 25 автора, относящийся к этому объекту, мы воспроизводим на нашем рис. 6. Его анализ указывает на то, что промачивание песчаной толщи весной 1940 г. происходило до глубины 4 м, 1941 г. — до глубины не менее 8 м (вероятно, сквозное) и 1942 г. — до глубины около 1 м. Летом иссушение наблюдалось до глубины около 1 м, причем до глубины свыше 50 см влажность снижалась до 1%. Благовещенский об этих явлениях промачивания не говорит, ограничиваясь замечанием, что «влажность во все сезоны года была довольно высокой (более 2%). Весной влажность увеличивалась до 3—4% (что и свидетельствует о сквозном промачивании, причем в верхнем 1—2-метровом слое влажность повышалась до 4—6%. — А. Р.), а осенью до 3%... Резкие повышения влажности в конденсационном горизонте (до 2,5%) наблюдались в осенние месяцы (сентябрь—октябрь)».

Анализ рис. 6 не подтверждает наличия этих «резких повышений». Если рассмотреть изменения влажности в 3-метровом слое, то можно констатировать, что за 28 месяцев смена влажности от 3—4 до 2—3% и обратно происходила 11 раз. За это время осенний сезон возникал дважды. Две смены объясняются весенним промачиванием в 1941 и 1942 гг. Остальные смены, по всей вероятности, являются результатом пространственной изменчивости, влияние которой при 1—2-кратной повторности определений влажности не могло не быть весьма значительным. Эти смены отражены изоплетами, соответствующими 3%-ной влажности. Изменение влажности на одну-две десятые доли процента в ту или иную сто-

рону от этой величины уже дает право провести указанную изоплету и констатировать наличие якобы существенного повышения или понижения влажности, которое на самом деле могло быть ничтожным. К тому же ожидать конденсации влаги на глубине 1—3 м осенью, когда градиент температуры в этом горизонте близок к 0°C, вообще нет оснований.

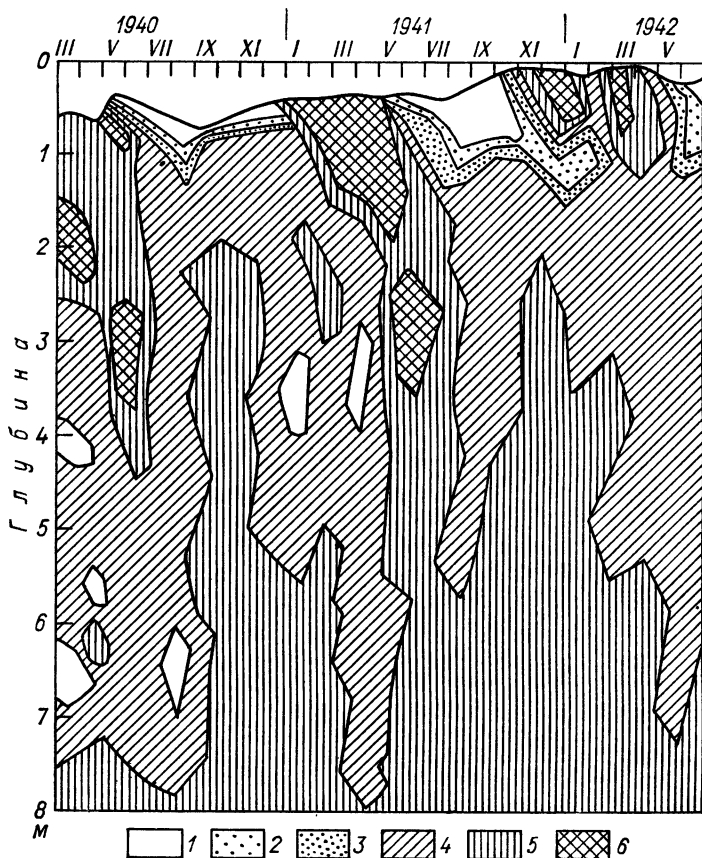


Рис. 6. Изоплеты влажности песка в барханной котловине без растительности [13].

Усл. обозначения см. рис. 5.

По-видимому, к этому участку относится табл. 6 автора (с. 73) баланса влаги. Говорим осторожно «по-видимому», так как в заголовке таблицы написано, что она относится к «...межбарханной котловине, лишенной растительности (участок IV)...». Однако участок IV — это «черносакасульник на равнине», и наблюдения на нем велись в 1938—1941 гг. (наш рис. 7, соответствующий рис. 28 автора). Очевидно, в заголовке табл. 6 опечатка и она относится к участку I.

Таблица составлена очень неудачно. Полностью в ней представлен только 1941 г.; 1940 г. представлен периодом с марта по декабрь, а 1942 г. — с января по август. Для совпадающих месяцев вычислены средние. Таким образом, месяцы с марта по август

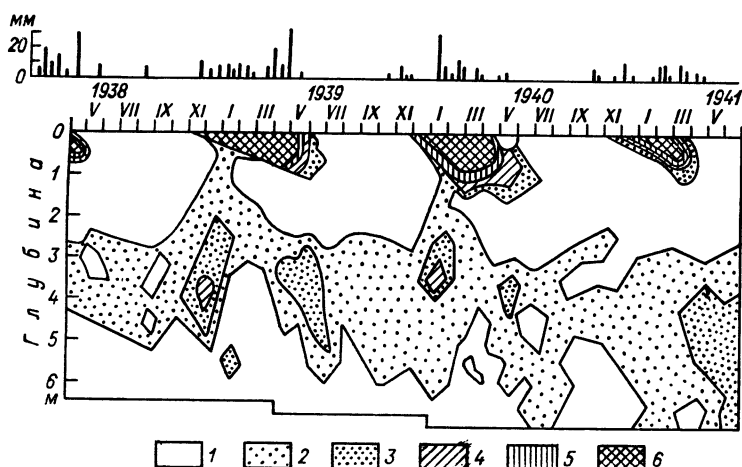


Рис. 7. Изоплеты влажности песка под черносакульником [13].

1) влажность менее 0,5% и 0,5—1,0%, 2) 1—1,5%, 3) 1,5—2,0%, 4) 2,0—3,0%, 5) 3,0—4,0%, 6) более 4%.

имеют тройную повторность, а остальные — двойную, что снижает сопоставимость этих величин. Мы воспроизводим эту таблицу в нашей табл. 6.

Таблица 6

Баланс влаги в песках без растительности в 5-метровой толще межбарханной котловины (мм водного слоя)

Месяц	Сумма осадков за месяц	Запас влаги	Баланс	
			+	—
I	5	205		5
II	21	231	26	
III	24	198		33
IV	12	191		7
V	6	225	34	
VI	5	220		5
VII	0	165		55
VIII	0	172	7	
IX	0	197	25	
X	5	221	24	
XI	5	217		4
XII	21	210		7
Год	104		116	116

Запас влаги в табл. 6 изменяется незакономерно. В феврале при 21 мм осадков запас влаги увеличился на 26 мм, в марте при 24 мм осадков он уменьшился на 33 мм, в апреле при 12 мм осадков запас уменьшился на 7 мм, а в мае при высокой температуре и при сумме осадков 6 мм он возрос на 34 мм, после чего почва начала терять влагу при отсутствии осадков. Такие скачущие противоречивые цифры в период февраль—май дают основание для недоверчивого к ним отношения. Впрочем, подобные незакономерные изменения запасов влаги могут быть объяснены пространственной изменчивостью влажности, оценить которую из-за методических недостатков, указанных выше (малой повторности или даже отсутствия повторности определений), мы не можем.

Кроме того, из этих цифр можно было бы извлечь гораздо больше выводов, если бы они были даны послойно, а не суммарно для всей 5-метровой толщи. Даже если бы был выделен только верхний метровый слой, и то картина получилась бы, несомненно, более отчетливой. Осреднение за разное число месяцев тоже не способствовало улучшению данных. Отметим попутно, что и другая балансовая табл. 7, относящаяся к участкам 3 и 7 Репетекского района (с. 77 в работе Благовещенского), дает такие же незакономерно изменяющиеся цифры. На участке 3 (черносаксаульник илаковый) баланс в январе и феврале положительный, в марте отрицательный, в апреле положительный, в мае нулевой, в июне и июле положительный, в августе отрицательный, в сентябре нулевой, в октябре отрицательный, в ноябре положительный, в декабре отрицательный.

Поэтому вывод Благовещенского о том, что в годовом ходе влажности наблюдаются три периода увеличения запасов влаги и три периода уменьшения и что «...основная масса воды поглощается почвой от июля до сентября...», не обоснован, не убедителен и, очевидно, ошибочен. Все это с гораздо большей вероятностью может быть объяснено пространственным варьированием влажности (не устраненным необходимой повторностью ее определения), а не закономерными ее изменениями во времени.

В Репетекском районе имелось еще 9 участков. Из них на участке 3 (черносаксаульник, рис. 26 Благовещенского) обнаружить «конденсационный горизонт», вопреки утверждению Благовещенского, вообще нельзя. От глубины 1 м и до глубины 4—5 м идет равномерно увлажненная толща с влажностью 1—2%, отдельные небольшие участки которой имеют более низкую и более высокую влажность; размещены они случайно, и появление их всецело может быть объяснено и здесь пространственным варьированием влажности. То же относится и к участкам 4 и 5.

Результаты 5-летних наблюдений (1938—1942) на участке 6 (белосаксаульник илаковый на равнине) изображены на рис. 30 в работе Благовещенского, воспроизводим нами на рис. 8. Здесь мы отчетливо видим языки весеннего промачивания, возникавшие в период декабрь—апрель до глубины 0,5—2 м. Их на рис. 8

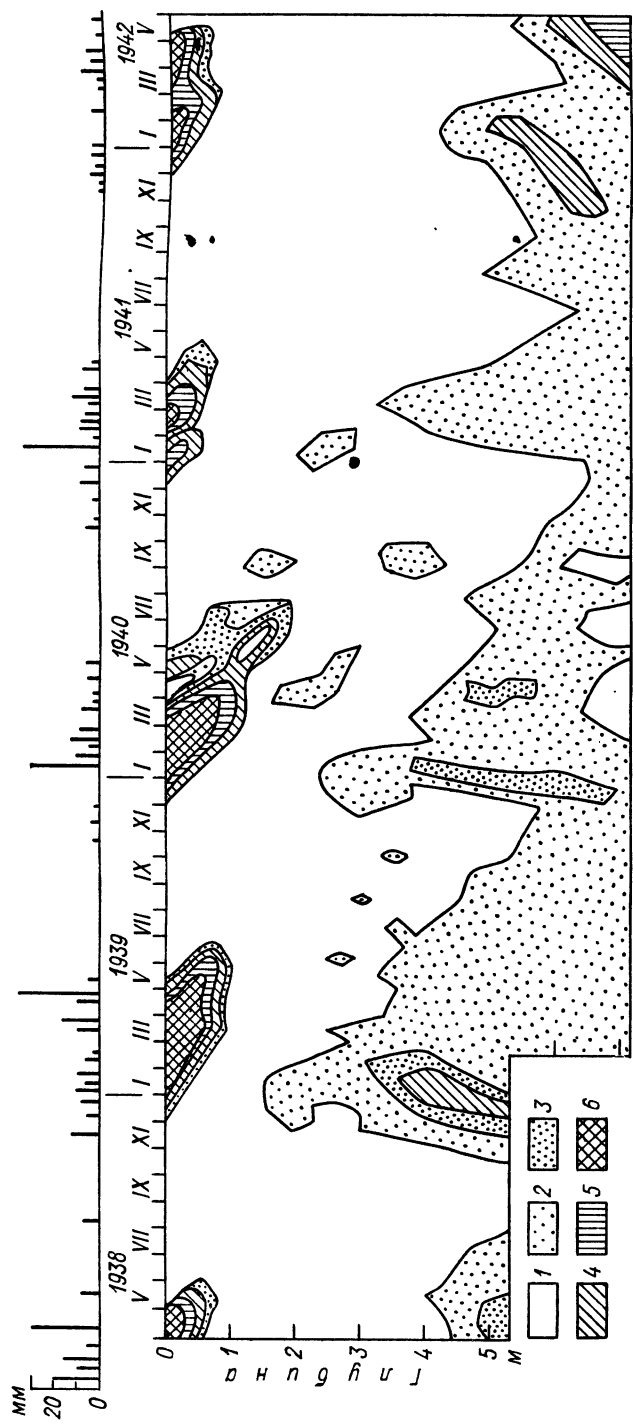


Рис. 8. Изоплеты влажности песка под белосаулльником на равнине [13].

Усл. обозначения см. рис. 7.

разделяют участки мощностью 1—1,2 м с влажностью ниже 0,5%, возникавшие, очевидно, вследствие десукции влаги корнями саксаула. Ниже идет толща до глубины около 6 м, состоящая из чередующихся суженных книзу языков с влажностью 0,5—1,0% и восходящих суживающихся кверху языков с влажностью 1—1,5%. Вершины восходящих языков располагаются на глубине 1,5—4 м, причем эта глубина от 1938 к 1942 г. прогрессивно понижалась. Вершины языков приурочены к декабрю—январю. Именно эти языки — их верхние 2-метровые части — Благовещенский именует «конденсационными горизонтами». Они появляются и начинают расти снизу вверх во все годы в ноябре—декабре. Их вершины приходятся на январь—февраль, после чего они медленно срабатываются.

Регулярность появления языков в одни и те же сезоны ежегодно свидетельствует о том, что в его основе лежит какой-то реально существующий процесс. Судя по тому, что появление и рост этих языков наблюдается в ноябре—январе, когда температурный градиент направлен вниз, можно предположить, что этим процессом является перегонка парообразной влаги из глубоких, более теплых слоев почвы вверх, в слои более холодные, где она и конденсируется. Труднее объяснить раннее их исчезновение, которое начинается в феврале, когда еще сохраняется зимнее распределение температур, и как раз в тот момент, когда сверху начинается быстрое промачивание почвы.

Подводя итоги результатам наблюдений в Репетекском районе, Благовещенский утверждает: «В почвогрунтах Восточных Каракумов, так же как и на севере, наблюдаются конденсационные горизонты, не связанные с влагой осадков, причем здесь еще более резко выражена их независимость от влаги осадков и от влаги грунтовых вод. Весьма любопытным оказался тот факт, что наибольшее количество влаги поступало в пятиметровую толщу песка не весной, а осенью и притом еще до выпадения осадков...» Автор ссылается при этом на свою табл. 6 (наша тоже табл. 6).

Отметим, что, вопреки утверждению Благовещенского, судя по рис. 8 (участок 6 с пятилетним циклом наблюдений), где образование «конденсационного горизонта» (по Благовещенскому) выражено наиболее отчетливо, оно приходилось не на осень, как утверждает Благовещенский, а на зиму (декабрь—январь), как раз после начала выпадения осадков. На участке 4 (рис. 25 у Благовещенского, наш рис. 6) восходящий язык влажности («конденсационный горизонт») образовался действительно осенью (в середине ноября), но в 1941 г. он возник в декабре, после начала выпадения осадков.

В Иолотанском районе имелись всего две площадки с наблюдениями в течение одного года. Под одной из них «конденсационный горизонт» обнаружен не был. Под другой наблюдалось повышение влажности в слое 2—8 м от 2—3 до 3—4%, начавшееся, по-видимому, в июне и закончившееся в январе.

В целом рассмотрение хроноизоплет влажности на всех 19 площадках показало, что бесспорное существование «висячих конденсационных горизонтов» может быть установлено только в трех случаях: на участке III Хивинского района (рис. 15 Благовещенского) и на участках 4 и 7 Репетекского района (рис. 28 и 30 Благовещенского, наши рис. 7 и 8). Во всех остальных случаях наличие этих горизонтов более чем проблематично.

Однако образование этих «конденсационных горизонтов» во всех случаях приурочено к периодам, когда температурный градиент направлен книзу и когда, следовательно, парообразная влага должна передвигаться снизу вверх.

В главе III Благовещенский, подводя общие итоги всему рассмотренному фактическому материалу, утверждает, что «...непромачиваемость грунтов Средней Азии вряд ли нуждается в специальных доказательствах. Исключая участки с близкими грунтовыми водами, предполагать наличие сквозного промачивания можно только в котловинах барханных песков в годы, особенно обильные осадками (т. е. раз в 20—30 лет)». Отметим, что это заключение отвечает действительности только в отношении песков, покрытых растительностью. Если же она отсутствует, то пески периодически промачиваются и на барханах, а не только в котловинах. Для котловин это было показано Б. П. Орловым [57], А. Г. Гаелем [22] и М. П. Петровым [59]. Полное отсутствие промачивания имеет место лишь в песках, несущих на себе растительность, которая иссушает их.

К такому же выводу позднее пришли также Н. А. Огильви и В. Н. Чубаров [56] и В. Н. Чубаров [89], которые установили, что сквозное промачивание может возникать и на вершинах барханов при отсутствии на них растительности, причем их сквозное промачивание случается хотя и не ежегодно, но все же чаще, чем думал Благовещенский. В котловинах такое промачивание наблюдается чаще.

На основании анализа табл. 6 (табл. 6 и у Благовещенского) Благовещенский утверждает, что «инфильтрация осадков отнюдь не является основным источником водного питания почвы даже в голых песках. Именно весной пустыня превращается в «цветущий сад», но весенние дожди выпадают на почву, которая уже не так суха. Основная масса (разрядка моя.—А.Р.) воды поглощается почвой от мая до сентября (когда кончается период летнего иссушения)» (с. 72).

Эта цитата вызывает недоумение. Во-первых, судя по табл. 6, в июле наблюдался не приход, а наибольший расход влаги, равный 55 мм, в августе же приход был равен 7 мм и только в сентябре он увеличился до 25 мм. Во-вторых, все графики изоплет влажности, имеющиеся в книге Благовещенского и рассмотренные выше, совершенно бесспорно говорят о том, что основной запас влаги в поверхностных слоях начинает возникать в декабре—январе (иногда в ноябре), после чего промачивание охватывает и глубжележащие слои. Это находит свое отображение в появле-

нии «языков увлажнения», достигающих максимального развития в апреле—мае, а затем быстро исчезающих под влиянием десукции влаги растениями.

Таким образом, цитированные выше взгляды Благовещенского опровергаются его же собственными данными.

В табл. 7 Благовещенский дает «баланс» влаги под саксауловыми насаждениями. Таблица составлена для 5-метровой толщи. Запас влаги изменялся от 92 до 54 мм под черным саксаулом и от 88 до 38 мм под белым. При этом с июня до сентября запас влаги оставался постоянным, варьируя от 56 до 53 мм под черным саксаулом и от 41 до 38 мм под белым.

За тот же период, по данным Благовещенского, величина транспирации насаждениями черного саксаула составила 75 мм, белого саксаула — 22,5 мм. Эти цифры указывают на наличие какого-то иного источника влаги, чем запас влаги в корнеобитаемом слое. Их можно сопоставить с результатами наблюдений М. М. Абрамовой, И. И. Судницына и Ю. Л. Цельникер [2]. Благовещенский этот источник видит в водяном паре, содержащемся в атмосфере, который поступает в почву под влиянием колебаний атмосферного давления и затем в почве конденсируется. Авторы [2] видят этот источник в водяном паре, поступающем снизу от грунтовых вод, лежащих на глубине около 7 м, который передвигается в направлении температурного градиента, но против градиента потенциала влаги и сорбируется почвой.

Далее Благовещенский описывает опыт, поставленный на Хивинском участке, с колонной из сухого (с влажностью 0,2%) песка, заключенной в трубу из листового железа. Труба простояла год под навесом, защищавшим ее от осадков. За это время ее четыре раза разбирали, последнюю определяли влажность песка и снова заполняли таким же сухим песком.

Однако результаты этого опыта, изложенные в графической форме на рис. 40 (в работе Благовещенского), не соответствуют указанным в тексте условиям опыта. На рисунке ни в один срок не показана начальная влажность, равная 0,2%, а изоплеты влажности проведены совершенно произвольно и истинной картины изменения влажности не отражают. Поэтому рассматривать результаты этого опыта мы не будем.

Глава IV в работе Благовещенского посвящена «физическим условиям конденсации». Автор начинает главу с утверждения, что приведенные в предшествующих главах данные «...показывают, что общее количество влаги, поступающей в верхнюю пятиметровую толщу почвогрунта, значительно превышает количество выпадающих осадков».

К сожалению, балансовые данные в работе имеются только по трем площадкам и, как мы видели, не безупречные, в особенности в табл. 6 Благовещенского (наша табл. 6). Поэтому только что цитированное утверждение Благовещенского считать обоснованным нельзя.

Автор говорит о том, что влага в «висячие конденсационные горизонты» поступает, очевидно, в парообразной форме. «Поэтому,— пишет Благовещенский,— мы считаем, что эти влажные горизонты следует именовать «конденсационными».

Откуда поступает влага в «конденсационные» горизонты?

Предположение, что она поступает снизу, от грунтовых вод, автор отвергает на том основании, что в этом случае «...грунтовые воды под участками, где наиболее сильно развиты конденсационные процессы, имели бы повышенную минерализацию. На самом деле наблюдается обратное явление...». Вторым аргументом, выдвигаемым Благовещенским против возможности конденсации снизу,— это результат упомянутого выше опыта с колонной песка в трубе, закрытой снизу.

«Таким образом,— пишет Благовещенский,— приходится признать, что поступление водяного пара в конденсационные горизонты происходит в основном сверху, т. е. из приземных слоев атмосферы» (разрядка наша.— А. Р.).

Едва ли можно согласиться с достаточностью этих двух аргументов. Результаты опыта с трубой по указанной выше причине приниматься во внимание не могут.

Что касается степени засоленности грунтовых вод, то, если они двигаются, их концентрация зависит не только от местных условий, но и от условий районов их образования. Они могут приходиться в область их испарения (если допустить существование такового) уже пресными. Поэтому заключение Благовещенского о том, что «висячие конденсационные горизонты» не могут образоваться за счет передвижения парообразной влаги снизу, оказывается необоснованным.

Затем Благовещенский пытается найти тот механизм, который, по его мнению, лежит в основе процесса поступления атмосферной парообразной влаги в почву и конденсации ее в последней.

Он описывает опыт, показавший, что прокаленный предварительно песок, т. е. песок, имеющий влажность, равную нулю или близкую к этой, будучи помещен в трубу с дном, довольно быстро (в течение суток) приобретает влажность, соответствующую МГ, так как гигрограф, датчик которого находился в песке на глубине 60 см, начал показывать относительную влажность, равную 100%. Влажность песка оказалась равной 0,5—0,6% (т. е. выше МГ), в то время как относительная влажность воздуха в приземном слое атмосферы не превышала 60%. Остается неясным: как может быть использовано широко известное гигроскопическое поглощение влаги прокаленным (разрядка наша.— А. Р.) песком для объяснения процесса конденсации влаги, создающего влажность песка, значительно превышающую МГ?

Далее Благовещенский ссылается на результаты своих экспериментов, проведенных в 1956 г. в песках Кашкакум, результаты которых изображены на его рис. 5 и 6. Влажность почвы в этом случае измерялась термозондами Каганова и проверялась омическим методом. Термозонды Каганова, по собственному признанию

Благовещенского, дают результаты, в 2—3 раза превышающие истинные.

Омический метод также весьма груб, особенно в применении к пескам. Поэтому результатами наблюдений в песках Кашкакум пользоваться нельзя. Не удивительно поэтому, что Благовещенский в конце концов приходит к выводу, что водяной пар при возникновении конденсационных горизонтов за счет поступления из атмосферы должен двигаться не против направления градиента давления, а в его направлении. Благовещенский так формулирует свои выводы:

«1. Упругость водяного пара даже в сухих почвах всегда выше, чем упругость водяного пара в приземных слоях атмосферы.

2. Высокая влажность воздуха в почвах, несмачиваемых осадками, создается за счет поглощения почвой водяных паров атмосферы, и, следовательно, движение пара в почву происходит по направлению градиента концентрации (разрядка моя.—А.Р.).

3. ...Упругость водяного пара в почвенном воздухе является функцией глубины залегания данного горизонта...

4. Наибольшая амплитуда суточных колебаний почвенной влажности имеет место не на поверхности почвы, а на той глубине, где относительная влажность почвенного воздуха достигает 100%.

5. Изменения влажности на этой глубине в значительной мере определяются изменениями в атмосферном давлении. При повышении давления влажность увеличивается, при понижении — уменьшается».

Изложив эту свою концепцию, Благовещенский пишет, что ее недостаток «...заключается в том, что она находится в некотором противоречии с имеющимися в настоящее время экспериментальными данными по скорости диффузии паров воды в почву». Противоречие это бесспорно и утверждение о том, что влага передвигается из атмосферы, где упругость пара колебалась в пределах от 4 до 9 мм, в почву, где эта упругость равнялась 10—15 мм (с. 80), голословно и невероятно.

Благовещенский сам подчеркивает, что, по его мнению, водяной пар передвигался «по направлению градиента концентрации», вопреки закону Фика. Это мнение ничем не подтверждено, находится в противоречии с физическим существом явления и с основными законами термодинамики. Согласиться с таким мнением было бы равносильно допущению возможности создания вечного двигателя.

Что касается влияния колебаний атмосферного давления, то Благовещенский, несомненно, прав, утверждая, что нижней границей атмосферы является зеркало грунтовой воды. Интересным и важным является полученное им экспериментально доказательство очень быстрого проникновения изменений атмосферного давления в глубь почвы.

Однако простой расчет не подтверждает возможности сколь угодно существенного влияния колебаний атмосферного давления

на проникновение в почву парообразной влаги. В условиях, в которых работал Благовещенский, абсолютная влажность воздуха равна в среднем 7 г/м^3 . Допустим, что давление повысилось на 20 мм рт. ст. (с 760 до 780 мм) и что глубина грунтовой воды равна 25 м. Следовательно, в почву на площадь, равную 1 м^2 , войдет $25 \cdot \frac{20}{760} \approx 0,66 \text{ м}^3$ воздуха, в котором будет содержаться около 5 г водяного пара, что соответствует 0,005 мм водного слоя. Даже сделав совершенно немыслимое допущение, что вся эта влага в почве сконденсируется, все равно приращение запаса влаги в почве окажется совершенно ничтожным, по меньшей мере в 100 раз меньшим, чем возможная ошибка определения этого запаса.

Закончив на этом анализ цикла работ Э. Н. Благовещенского, остановимся еще на других исследованиях, относящихся также к пескам.

И. П. Шван-Гурийский и В. М. Авдеев [90] установили, что в условиях жаркой пустыни Прибалхашья вегетация растений продолжается и тогда, когда влажность почвы находится на уровне ВЗ или даже ниже его. Они приводят величины максимальной гигроскопичности (МГ) рассматриваемых почв:

Слой, см	0—30	40—60	70—100
Мг, % от веса	2,16	4,24	3,7

Влажность же почвы снижается до 1,7—4,0% во всем метровом слое, причем растения продолжают вегетировать.

Непосредственными измерениями влажности было обнаружено, что в течение июня и июля верхний 10-сантиметровый слой почвы за день теряет $1,86 \text{ м}^3$ воды с 1 га. При отсутствии осадков потеря составляет 0,35—0,6 м^3 .

Ночная конденсация влаги измерялась с помощью стаканов, в которые помещалось по 200 г почвы и которые вставлялись в почву. За 14 ночей без осадков, при ясной и сухой погоде (только одна ночь была облачной), конденсация в сумме составила $12,39 \text{ м}^3/\text{га}$, что соответствует менее чем 0,1 мм за ночь.

В 1960 г. был поставлен следующий опыт: в стаканы емкостью 200 см^3 насыпали песчанистую почву, которую слегка уплотнили.

Опыт был поставлен в четырех вариантах:

- 1) доступ влаги только из воздуха;
- 2) доступ влаги из воздуха и из почвы;
- 3) доступ влаги только из почвы;
- 4) доступ влаги только из почвы, но почва на глубине была увлажнена, причем между увлажненной почвой и почвой в стакане находилась прослойка сухой почвы толщиной 25 см.

Отверстия стаканов, обращенные в почву в вариантах 2, 3 и 4, закрывались сеткой. Стаканы взвешивались утром и вечером. Ис-

ходная влажность почвы в стаканах составляла 2,4% («естественная»). Повторность была пятикратная. Продолжительность опыта, т. е. число дней и ночей, к сожалению, не указаны.

Результаты опыта приведены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты опыта И. П. Шван-Гурийского и В. М. Авдеева [90]

Вариант	Изменение запаса влаги					
	г/стакан			м ³ /га		
	день	ночь	сутки	день	ночь	сутки
1	-0,273	+0,092	-0,181	-1,19	+0,64	-1,27
2	-0,256	+0,197	-0,059	-1,79	+1,38	-0,41
3	-0,158	+0,076	-0,092	-1,10	+0,53	-0,57
4	-0,154	+0,144	-0,110	-1,10	+1,01	-0,09

Констатируется, что днем вес стаканов уменьшается, а ночью возрастает. Последнее, по мнению авторов, вызвано конденсацией влаги. Однако все изменения влажности лежат в пределах 1—2 м³/га, т. е. 0,1—0,2 мм, причем испарение в целом преобладает над конденсацией, а последняя не превышает 0,14 мм за ночь (вариант 2).

Н. А. Огильви и В. Н. Чубаров [56] излагают результаты наблюдений К. В. Кувшиновой. Она определяла ночную конденсацию влаги в поверхностном слое песков в Каракумах методом теплового баланса. Измеренные величины не превышали 0,2 мм за ночь, причем, как отмечают авторы, сконденсировавшаяся влага немедленно после восхода солнца испарялась.

В работе А. К. Джакелова [26] мы находим изоплеты влажности песков Муюнкум за три года (1955—1958) до глубины 7 м. Сопоставляя моменты снеготаяния и начала повышения уровня грунтовых вод, автор приходит к выводу, что проникновение воды через зону аэрации мощностью около 6,5 м происходит в течение 11 месяцев, т. е. что скорость проникновения составляет около 0,002 м/сутки. Автор допускает возможность конденсации лишь в самом поверхностном слое почвы и не считает, что конденсация играет сколько-нибудь заметную роль в питании грунтовых вод.

В коллективной монографии «Водный баланс Кустанайской области» [19] изложены результаты наблюдений за конденсацией в песках Тусум. Наблюдения велись двумя методами. С помощью сосудов площадью 500 см² и высотой 20 см, установленных в поверхностном слое и заряженных монолитами песка, два раза в сутки (по-видимому, путем взвешивания) определялась величина

конденсации в 20-сантиметровом слое песка. В 1963 г. в трех точках были найдены следующие месячные суммы (мм):

Место наблюдения	1—15 V	VI	VII	VIII	IX	Сумма
Установка на бархане	6,9	2,6	7,4	5,5	7,1	29,5
Установка между барханами	6,1	1,7	6,6	5,0	4,5	23,9

Средняя величина конденсации получилась равной 0,2 мм/сутки.

Кроме того, в песок закапывались конденсометры на глубину 0,5 и 1,5 м. Конденсометры были заряжены песчаными монолитами и в них поддерживался постоянный уровень грунтовой воды с возможностью измерять расход на испарение и приход влаги от конденсации на уровне грунтовых вод.

Приход влаги в конденсометрах в периоды между выпадением осадков рассматривается как результат «конденсации паров воздуха в толще песка мощностью 0,5 или 1,5 м». Эти величины за май—сентябрь 1963 г. при глубине грунтовых вод 0,5 м достигли 9,1 и 9,2 мм (на двух установках) и при глубине 1,5 м — 4,4 мм, что соответствует 0,06—0,03 мм/сутки. Однако нет никаких доказательств того, что это конденсация паров из атмосферы. Это могла быть просто медленная перегонка влаги атмосферных осадков.

А. В. Гвоздиков [23] на основании обзора большого объема литературы и анализа собственных экспериментальных данных приходит к выводу, что никто и никогда не наблюдал увеличения влажности в песках, которое могло бы быть бесспорно объяснено конденсацией влаги из атмосферы.

Случаи мнимого увеличения запаса влаги в песках объясняются всегда иными причинами — выпадением осадков, ветровым сносом сухого песка и обнажения слоев влажного и т. д. Наблюдения В. Н. Сочеванова и Э. Н. Благовещенского А. В. Гвоздиков считает методически ошибочными.

Наиболее убедительны, по его мнению, сведения Б. А. Айзенштата [4], который одновременно наблюдал и влажность приземного слоя воздуха. Из этих данных вытекает, что «а) на протяжении круглых суток относительная влажность почвенного воздуха по мере приближения к поверхности бархана уменьшается и, следовательно, идет непрерывное перемещение влаги из почвы в атмосферу и б) в ночные часы, когда следовало бы ожидать в ощутимых размерах атмосферную конденсацию, парообразная влага в приземном слое атмосферы перемещается не сверху вниз, а наоборот. Таким образом летом, в ночные часы, в барханных песках происходит перемещение почвенного воздуха из глубины к поверхности, а затем от поверхности почвы в атмосферу, следовательно, это дополнительно ставит под сомнение существование в ощутимых количествах как внутripочвенной, так и атмосферной конденсации влаги в песках».

Т. Ходжамурадовым [85] был поставлен следующий опыт в песчаной почве. Траншея шириной 3 м, глубиной 2,1 м и длиной 9 м была разделена на три одинаковых отсека. Первый был контрольным и не имел изоляции ни от атмосферы, ни от подстилающего грунта. Второй был изолирован руберойдом сверху (от атмосферы), а третий был изолирован снизу. Над всей траншеей был сделан навес, исключавший попадание жидких осадков. Влага могла поступать только в парообразной форме. Влажность песка определялась периодически буровым методом и не превышала 2,2%. Хроноизоплеты влажности (на рис. 1 в цитируемой работе) свидетельствуют о том, что общий характер изменений влажности во всех трех вариантах был примерно одинаковым. Максимальный запас влаги в 2-метровой толще наблюдался в марте: в первом варианте 58,6 мм, во втором 56,6 мм и в третьем 55,4 мм, а минимальный — в сентябре — соответственно 51,0, 49,2 и 45,1 мм. Заметные изменения влажности прослеживались до глубины 25 см, а слабые — до 125 см. Еще глубже они не обнаруживались.

Автор говорит, что в период март—сентябрь влага терялась в обоих направлениях, а с октября по март накапливалась за счет конденсации: 5,3 мм снизу, из грунта и 2,3 мм из атмосферы. Последняя величина слегка превышает 0,01 мм/сутки.

Рассмотренные нами выше воззрения Э. Н. Благовещенского о возможности конденсации атмосферной влаги в песках, как самостоятельным источнике влаги для растений, нашли свое отражение в недавней работе А. А. Леонтьева [51]. Он пишет, что в результате обследования заросших песков с глубокими грунтовыми водами в Кызылкумах и Каракумах ему удалось выявить «висячие горизонты влажности... на глубине 1,0—1,5 м». «Мощность этих горизонтов варьирует от 20 см до 1 м... Отмечены две категории конденсационных горизонтов влажности: сливающиеся весной с поверхностным пермацидным слоем влажности почвы и существующие раздельно от него».

Автор ссылается на два прилагаемых рисунка, иллюстрирующих эти две категории. Действительно, на глубинах 100—160 см на этих рисунках видны слои с несколько повышенной влажностью, причем на первом рисунке такой слой весной был связан со слоем весеннего промачивания, а на втором он отделен от него сухим слоем. К сожалению, никаких данных о гранулометрическом составе этих и соседних слоев, об их водно-физических свойствах не приводится, вследствие чего вопрос о причине повышенной влажности этих проблематических «конденсационных» горизонтов и их происхождении остается открытым. Эта повышенная влажность может быть результатом более тяжелого гранулометрического состава, а следовательно, и более высокой влагоемкости. Но даже если приписывать этим горизонтам конденсационное происхождение, то содержащаяся в них влага может накопиться в результате перегонки из верхних слоев почвы влаги атмосферных осадков в парообразной форме. Поэтому считать существование этих слоев доказательством того, что конденсация парообразной

влаги атмосферы является самостоятельным источником влаги для растений, нет никаких оснований.

Т. Ходжамурадов и М. Курбаниазаров [86] описывают два эксперимента. В первом из них две трубы диаметром 20 см и длиной 250 см, заполненные песком, имеющим влажность 0,2%, были закопаны в песок под навес, защищавший их от дождя. Первая труба была установлена отверстием вверх, вторая — вниз. Через год в обеих трубах запас влаги возрос на 22 мм, что соответствует приращению запаса, равному примерно 0,06 мм/сутки. Весьма вероятно, что это приращение происходило за счет конденсации — одинаковой как в восходящем, так и в нисходящем направлении.

Во втором опыте блоки песка (размер их не указан) изолировались с боков и снизу рубероидом. В промежуток времени между восходом и закатом солнца блоки закрывались и сверху рубероидом, но на ночь последний удалялся. Из приведенных данных видно, что с течением времени блоки постепенно насыщались влагой сверху вниз, причем влажность возрастала до величины, соответствующей НВ. Из табл. 1 рассматриваемой работы видно, что за 8 суток в конце июня запас влаги возрос с 19,2 до 22,0 мм, т. е. примерно на 0,5 мм/сутки. Однако это имело место лишь при условии исключения дневного испарения. Авторы отмечают, что с середины апреля до середины октября суточный баланс влаги был отрицательным. «Зато с середины октября до середины апреля приход выше расхода, и именно в этот период «внутрипочвенная конденсация» реально имеет место. В бездождные годы период с середины октября до середины апреля, очевидно (разрядка моя.— А. Р.), и является периодом интенсивной конденсации». Однако никаких убедительных доказательств существования этого процесса авторы не приводят. Столь же неосновательно утверждение, что причиной нисходящего передвижения сорбированной влаги являются колебания давления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОНДЕНСАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ В СУГЛИНИСТЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

Литературный материал, относящийся к этому разделу, значительно беднее, чем рассмотренный в предыдущем разделе.

Одной из самых ранних является работа П. Широких [93]. На основании определений влажности почвы на полях Полтавской опытной станции он сообщает, что прибавка запаса влаги за ночь может достигать «свыше 5000 пудов на десятину». Это соответствует слою воды примерно 7 мм, т. е. весьма значительной величине. Но если учесть, что повторность наблюдений была только двукратной и автор наблюдал прибавку в весе почвы, равную всего лишь 0,74% в слое мощностью 54 см (12 вершков), то станет ясно, что наблюденная прибавка считаться достоверной не может. Кроме того, даже если допустить, что эта прибавка возникла за счет конденсации парообразной влаги, то остается от-

крытым вопрос, откуда взялся этот пар — из атмосферы или из глубжележащих слоев почвы.

Шапталъ [100] предлагает различать росу — конденсацию влаги на телах, температура которых ниже точки росы, и адсорбцию влаги почвой и растительностью — «...явление, которое есть лишь частный случай аттракции и фиксации газа на твердой поверхности». Не трудно видеть, что эти два явления соответствуют термической и молекулярной конденсации Лебедева. Далее Шапталъ отмечает, что «...фиксация водяного пара из атмосферы на поверхности почвы есть явление всеобщее и постоянное, в то время как собственно выпадение росы есть явление случайное и не длительное».

На основании собственных опытов в Монпелье Шапталъ нашел, что за 29 дней в июле—августе (измерения велись с помощью росометра) в среднем за сутки выпадало 795 л/га росы, а общее количество сконденсировавшейся влаги составило 3350 л/га. На поверхности земли за 9 дней (конец августа — начало сентября) сконденсировалось 6555 л/га (т. е. 0,07 мм/сутки), в том числе росы 320 л/сутки.

А. Скрепинский [68] свои наблюдения производил на мало-мощной каштановой почве Азербайджанской опытной станции. Почва подстилается щебневатой карбонатной породой. Испытания различных кормовых культур показали, что овсяница овечья, ежа сборная, житняк узкоколый, костер безостый и др. легко переносили засуху, в то время как эспарцет, люцерна, донник резко страдали от недостатка влаги. От недостатка влаги на одном из участков пострадала и большая часть сорняков, в то время как курай (*Salsola kali*) прекрасно вегетировал до осени, цвел и дал спелые плоды. Изучение его корневой системы показало, что главная масса корней находится на глубине 7—8 см. Наблюдения за влажностью почвы дали следующее:

Срок наблюдения	Влажность почвы (% от веса сухой почвы) на глубине:		
	0—1 см	7—10 см	20—25 см
2 IX, утро	8,0	14,2	13,6
2 IX, полдень	5,0	9,8	14,1
3 IX, утро	7,7	10,6	13,6
Разность между данными за утренний срок и полдень	+3,0	+4,4	—0,5

Автор считает это результатом термической конденсации. Заметим от себя, что это скорее молекулярная конденсация, так как влажность в начале сентября была, вероятно, ниже ВЗ.

Автор считает, что за счет этой конденсации и существовал курай и другие растения, не пострадавшие от засухи, и называет их «конденсатофитами». В целом следует отметить, что

фактических данных в этой работе недостаточно, а имеющиеся не дают ясной картины поведения влаги.

Интересная работа выполнена С. И. Долговым и М. В. Преображенской [27] на желтоземных почвах в окрестностях Ленкорани, в районе с обильными росами в течение всего лета.

Опыты велись с образцами почв в алюминиевых стаканчиках. При исходной влажности почвы 20—22% испарение влаги происходило в течение круглых суток, даже при выпадении ночью росы. Образцы воздушно-сухой почвы с 22 до 6 ч поглощали влагу в количестве до 0,2 мм/сутки, иногда даже днем. Если стаканчик с почвой прижимался к дну ямы плотно, из него влага испарялась. Если же стаканчик был изолирован от теплообмена с почвой, то в нем наблюдалась конденсация влаги вследствие отсутствия потока тепла снизу.

В тех вариантах опытов, где дно стаканчиков было сетчатым, а внутри стаканчиков на некоторой глубине имелась перегородка из провощенной бумаги, влажность в нижнем слое почвы (под перегородкой) увеличивалась — очевидно, вследствие конденсации пара, поступавшего снизу. В то же время в слое почвы над перегородкой влажность уменьшалась вследствие испарения. Следовательно, говорят авторы, конденсация происходит за счет влаги, поднимающейся в форме пара снизу, при одновременном испарении сверху. В выводах авторы пишут, что конденсация водяных паров атмосферы в поверхностных слоях почвы (в понимании А. Ф. Лебедева) тесно связана с росообразованием.

М. З. Журавлев [31, 32] анализирует температурный режим верхних слоев чернозема и приземного слоя атмосферы и изменения влажности верхнего слоя почвы за ночь для окрестностей Омска. В результате делается вывод, что ночью в поверхностном слое почвы может наблюдаться молекулярная конденсация, интенсивность которой находится в прямой зависимости от толщины мульчирующего сухого слоя и достигает 0,004—0,12 мм за ночь. Суммарная конденсация за 4 летних месяца составила 2,25 мм, причем конденсация наблюдалась в течение 42 ночей. В ночные часы температура почвы от поверхности до глубины 10—20 см возрастала, в связи с чем возрастала и упругость водяного пара. Поэтому к поверхности почвы водяной пар мог передвигаться и снизу.

Гаррольд и Дрейбелбис [106] на основании своих наблюдений с помощью больших взвешиваемых лизиметров в Кошоктоне установили наличие суточных циклов в изменении запасов влаги в пылевато-суглинистых коричневых подзолистых почвах. Конденсация и адсорбция влаги начинались после захода солнца и продолжались до его восхода. В теплые месяцы сумма конденсации и адсорбции достигала 0,275—0,525 мм за ночь. Точность взвешивания лизиметров позволяла улавливать изменения влажности, соответствующие 0,25 мм. Следовательно, полученные прибавки несколько превышали ошибку измерения. Наблюдения велись под

растительностью. При удалении растительности величина конденсации повышалась.

С. А. Хачатурян [84], работавший в орошаемых районах Армении, нашел, что конденсация паров воздуха в верхних горизонтах почвы в ночные часы может достигать 0,03—1,0 мм за ночь. Конденсация наблюдалась при превышении упругости паров в воздухе над упругостью в верхних слоях почвы. Автор считает, однако, что количественное значение конденсации в водном балансе почвы ничтожно.

Даманье [102] в результате своих наблюдений в Монпелье пришел к выводу, что ночная конденсация на суглинистой почве ограничивается поверхностным слоем мощностью не более 2 см, причем прибавка влаги может достигать 2—3% веса почвы. Такая прибавка влаги может играть роль в жизни микроорганизмов и в процессе нитрификации. Эта величина соответствует 0,4—0,6 мм водного слоя.

Конденсацией водяного пара из атмосферы в черноземах занимался П. Каліснік [35] на Херсонской агрометстанции. С помощью конденсаторов высотой 10 см, вставлявшихся в поверхностный слой почвы, он констатировал, что ночью в этом слое происходит конденсация. Она совершается за счет поступления влаги и сверху и снизу, причем второй источник преобладает. За 20 дней прибавка запаса влаги на черном пару при поступлении и сверху и снизу составила 6,9 мм, а только сверху — 3,1 мм. Последняя величина соответствует 0,15 мм/сутки.

В работе Э. Н. Благовещенского и Р. С. Кабилова [14], выполненной в предгорьях Гиссарского хребта, приводятся приращения запасов влаги в 2- и 4-метровых слоях тяжелосуглинистого темного серозема.

На целинном степном участке приращения запасов влаги сверху тех, которые имелись к началу гидрологического года, составили:

Дата	Сумма осадков с начала года (мм)	Приращение запасов влаги в слое 2 м (мм)	Приращение запасов влаги в слое 4 м (мм)
1 X	0	0	0
1 XI	0	10	15
1 XII	16	24	35
1 I	74	32	55
1 II	135	129	152
1 III	204	246	269
1 IV	342	301	380
1 V	465	305	444

Авторы отмечают, что приращение запасов влаги в почве больше, чем сумма осадков (особенно на 1 марта), и что это должно быть объяснено конденсацией, которая происходит во всем 4-метровом слое. Однако повторность, а следовательно, и точность определений неизвестны. До 1 марта, а равным образом и за все семь месяцев, сумма осадков все же превышает сумму приращений запасов.

В работе отмечается, что на пахотном участке с пшеницей увеличение запасов влаги началось летом, после уборки пшеницы, и что увеличение запасов влаги летом и осенью во много раз превышает количество выпадающих за это время осадков. Однако табл. 5 (в нашем тексте табл. 8), которая относится к этому участку и содержит средние месячные данные за 1956—1958 гг., не подтверждает этого (см. табл. 8).

Таблица 8

Изменение запасов влаги в почве [14]

Месяц	Сумма осадков (мм)	Запас влаги в слое 1,5 м (мм)	Приращение (+) или убыль (—) (мм)	Запас влаги в слое 3 м (мм)	Приращение (+) или убыль (—) (мм)
I	61	293	+94	611	+55
II	69	387	+35	666	+177
III	138	422	—26	843	—31
IV	123	396	—97	812	—89
V	67	299	—76	723	—156
VI	15	223	—15	567	—60
VII	0	208	—33	507	—62
VIII	0	175	—13	445	—1
IX	0	162	—16	444	—16
X	22	146	—1	428	—20
XI	21	145	+61	408	+110
XII	78	206		518	

Мы видим, что иссушение почвы продолжается по ноябрь включительно в течение всех летних месяцев, а ее увлажнение начинается лишь после начала выпадения осадков.

В том же сборнике, где опубликована рассмотренная статья Благовещенского и Кабилова, напечатаны работы К. К. Симавского [67] и С. Т. Кудашева [43]. Эти авторы исследовали режим сероземов на обеспеченной, необеспеченной и полуобеспеченной богаре. Наблюдения велись очень тщательно, но ни один из этих исследователей не обнаружил сколько-нибудь заметного поступления влаги из какого-либо иного источника, кроме как из атмосферных осадков.

Наблюдения М. И. Рубинштейна [63] в окрестностях Алма-Аты на малокарбонатном сероземе показали, что «на посевах озимой пшеницы доступная для растений влага в пределах метрового слоя в июне часто исчерпывается, между тем растения не показывают признаков завядания, продолжая вегетировать и давать неплохой урожай. Наблюдения над ночной конденсацией в бьюксах показали, что ее величина на рыхлой почве варьирует от 0,13 до 0,61 мм, а на плотной — от 0,09 до 0,46 мм».

Суточные изменения влажности, полученные Рубинштейном, представлены в табл. 9, составленной нами по его данным. Эти цифры являются средними за четверо суток — с 30 июня по 3 июля — и относятся к трем срокам: 7, 13 и 19 ч. Наблюдения велись параллельно на двух площадках: рыхлой на пару и уплотненной среди посева ячменя. Почва под второй площадкой, судя по величинам влажности, была иссушена ячменем до влажности, равной ВЗ.

Таблица 9

Средняя суточная влажность малокарбонатного серозема
за период 30 июня — 3 июля (% от веса почвы)

Глубина слоя (см)	Рыхлая площадка на пару			Уплотненная площадка среди ячменя		
	часы					
	7	13	19	7	13	19
0—2	14,2	8,4	8,7	4,6	2,2	3,0
2—5	13,7	11,1	11,8	3,5	3,3	3,9
5—10	13,0	12,5	12,7	3,9	4,4	4,0
10—15	12,3	12,0	12,3	4,2	4,6	5,3
15—20	12,8	12,3	12,5	4,3	4,8	5,0

Приведенные в табл. 9 величины свидетельствуют о том, что в слое 0—2 см происходили значительные закономерные изменения влажности в течение суток: ночное увлажнение и дневное иссушение, причем максимальные утренние величины составляли 169% по отношению к минимальным дневным на рыхлой паровой площадке и 209% на уплотненной иссушенной. В слое 2—5 см прослеживается та же цикличность, но несравненно меньшая количественно (123 и 106%). В слоях же глубже 5 см в течение суток имеют место лишь незначительные колебания. При этом на рыхлой площадке минимум влажности и на этих глубинах наблюдается в дневные часы, в то время как на уплотненной минимум смещается на утренние часы, а максимум — на вечерние.

Несомненно, что суточные циклические колебания влажности верхнего 5-сантиметрового слоя обязаны дневному испарению и вечерне-ночной конденсации. Однако процесс конденсации происходил, видимо, по-разному на рыхлой и уплотненной площадках. На уплотненной площадке, где почва была иссушена, очевидно,

до влажности завядания на глубину корнеобитаемого слоя, влажность поверхностного слоя днем понижалась до величины, более низкой, чем МГ, которая, по определению Рубинштейна, равняется 4,5%. Ночная конденсация восстанавливала влажность этого слоя, а может быть, и всего корнеобитаемого слоя, до величины МГ, несомненно, за счет молекулярной конденсации (гигроскопического поглощения) водяного пара из атмосферы, так как в ближайших глубжележащих слоях влажность тоже не превышала МГ.

Что же касается рыхлой площадки на пару, то здесь дневное иссушение было менее сильным и влажность даже верхнего 2-сантиметрового слоя уменьшалась лишь до величины, почти вдвое превосходящей МГ, а в слое 2—5 см влажность сохранялась на уровне около ВРК. Для среднеазиатских лёссов ВРК обычно близко к 11—12%, как это было показано А. Ф. Большаковым [15]. Поэтому на пару ночное повышение влажности происходило, вероятно, за счет передвижения влаги снизу, причем до глубины 5 см оно могло происходить даже в жидкой форме.

А. В. Швебс [91] исследовал вопрос о ночной конденсации влаги в южных черноземах Молдавии и в Одесской области. Наблюдения велись путем периодического взвешивания монолитов высотой 5, 10, 15 и 20 см. В ночные часы прибавка запаса влаги составляла 0,002—0,004 мм/час. При этом ее величина убывала от слоя к слою в таком порядке: 0—5 > 0—10 > 0—15 > 0—20 см. Автор объясняет прибавку адсорбцией водяного пара. Мы со своей стороны добавим, что уменьшение прибавок от слоев с меньшей мощностью к слоям с большей мощностью свидетельствует, вероятно, о том, что ночью происходила конденсация влаги и за счет восходящей перегонки водяного пара из одного слоя в другой.

В. М. Свешникова [65] изучала конденсацию влаги в серо-бурых щебенчатых почвах на высокогорьях Памира (3500—4000 м над ур. моря). Средние суточные величины конденсации в поверхностном слое почвы, по трехлетним данным, составили: в апреле 0,07, в мае 0,11, в июне 0,19, в июле 0,37, в августе 0,26, в сентябре 0,13, в октябре 0,05, в ноябре 0,12 мм. Автор отмечает, что источником водяного пара может быть не только атмосфера, но и более глубокие слои почвенно-грунтовой толщи и даже верховодка, которая встречается на глубине около 6 м. По мнению автора, в этих условиях может иметь место конденсация как молекулярная, так и термическая. Оценивая среднюю суточную величину конденсации в 0,16 мм, Свешникова приходит к выводу, что за период с середины апреля до середины ноября добавочное увлажнение за счет конденсации достигает 29,2 мм, что составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ суммы осадков за тот же период, или $\frac{1}{5}$ годовой суммы их.

Не оспаривая этих величин, отметим, что конденсация в этих условиях является по преимуществу термической. Об этом свидетельствует тот факт, что поверхностный слой почвы днем иссушается до величины, близкой к МГ, и даже более низкой. Об

этом же говорит и то, что максимальная суточная конденсация наблюдалась в июле, т. е. в месяце с максимальными (до 40°C) температурами поверхности почвы, когда ее поверхностные слои должны иссушаться наиболее сильно — до состояния, при котором уже небольшое понижение температуры даже при низкой относительной влажности воздуха неминуемо должно вызывать молекулярную конденсацию.

Обстоятельное рассмотрение вопроса о конденсации атмосферной влаги в почве мы находим в работах А. М. Бялого [16, 17]. В первой из них [16] Бялый дает сжатый, но очень содержательный литературный обзор вопроса. А в своей монографии [17] он излагает и результаты собственных исследований на полях Института сельского хозяйства Юго-Востока (б. Саратовская опытная станция) на обыкновенном черноземе. Им был проанализирован температурный режим почв и приземного слоя воздуха и поставлен ряд опытов. В результате анализа своих данных он приходит к выводу, что «...резкие температурные градиенты в почвенном профиле в условиях континентального климата играют важную роль в динамике почвенной влаги. Что же касается конденсации в почве влаги из атмосферы, то этот процесс, как дополнительный источник водоснабжения культурных растений, в условиях Юго-Востока не имеет существенного значения».

В частности, интересны наблюдения Бялого за ночной конденсацией влаги в почве, проводившиеся по методике А. Ф. Лебедева. Данные Бялого, изложенные в его табл. 49, мы позволили себе изложить несколько иначе, расположив отдельные ночи в порядке убывания влажности почвы. Получилось два ряда величин (табл. 10).

Таблица 10

Ночные изменения влажности обыкновенного чернозема [17]

Влажность почвы, %	9,2	9,0	8,7	8,4	7,3	7,2	6,9	5,1
Изменение веса стаканчиков, г за ночь	-0,46	-0,46	-0,40	-0,24	-0,35	-0,57	-0,21	-0,08
Влажность почвы, %	4,9	4,8	3,8	3,1	2,5	2,5	2,2	2,0
Изменение веса стаканчиков, г за ночь	+0,06	+0,07	+0,08	+0,07	+0,07	+0,11	+0,14	+0,01

Сопоставляя эти два ряда цифр, мы находим, что при высокой влажности почвы и ночью происходит испарение влаги, интенсивность которого уменьшается с уменьшением влажности. С переходом последней через величину, равную примерно 5,0%, испарение сменяется конденсацией, которая в общем возрастает с дальнейшим уменьшением влажности почвы. В нижнем ряду имеются некоторые незакономерные отклонения, но общая тенденция выявлена вполне отчетливо. Величина 5% примерно

соответствует величине МГ. Следовательно, конденсация происходила только в те ночи, когда влажность была ниже МГ и являлась, по терминологии Лебедева, «молекулярной конденсацией».

Из табл. 11, заимствуемой нами из монографии Бялого [17], мы видим, что суточные изменения влажности почвы охватывают не более чем 5-сантиметровый верхний слой. При этом величина изменений влажности колеблется около 1%. При объемном весе, равном 1,0 г/см³, это соответствует изменению запаса влаги, равному приблизительно 0,5 мм водного слоя.

Таблица 11

Суточный ход влажности верхних слоев обыкновенного чернозема (% от веса сухой почвы). 1948 г. [17] (повторность опыта 10-кратная)

Слой (см)	Момент измерения								
	13 ч	закат	восход	13 ч	закат	восход	13 ч	закат	восход
Черный пар с 11 по 14 мая									
0—2	8,1	7,2	8,3	6,9	5,1	6,2	6,2	5,7	7,3
2—5	24,2	23,1	24,4	23,6	22,9	24,1	22,9	22,7	23,3
5—10	30,3	30,2	30,5	29,7	29,0	28,5	28,3	28,3	28,4
10—20	29,8	29,8	29,4	29,6	27,4	28,2	28,8	28,7	28,2
20—30	30,1	29,8	29,1	29,4	29,1	28,6	28,8	28,5	27,9
Черный пар с 24 по 27 июня									
0—2	4,8	5,1	5,9	4,9	4,0	4,9	3,5	3,9	4,5
2—5	7,3	8,4	9,8	7,0	6,8	8,5	7,4	6,1	8,3
5—10	23,6	23,7	23,8	23,3	22,5	23,0	23,7	22,0	22,9
10—20	28,9	28,9	28,0	28,2	28,6	29,2	28,1	28,1	27,6
20—30	29,2	29,4	29,0	29,5	29,9	29,1	29,7	29,8	29,0
Яровая пшеница с 24 по 27 июня									
0—2	3,7	3,1	4,3	3,6	3,3	3,8	—	3,7	4,8
2—5	5,6	5,6	6,5	5,2	4,9	5,9	—	5,4	6,0
5—10	7,9	8,4	8,8	7,6	7,6	8,9	—	7,0	7,7
10—20	13,4	13,8	13,2	13,1	13,6	13,1	—	13,6	13,2
20—30	14,2	14,4	13,9	14,1	13,8	13,1	—	13,6	13,4

На станции Бурли, по данным работы [19], на суглинистом черноземе под целинной растительностью велись наблюдения за испарением по малым испарителям ГГИ-55 (гидравлическим) при ежедневном взвешивании в 7 и 19 ч. Результаты мы приводим в табл. 12.

В работе отмечено, что в летнее время сконденсировавшаяся ночью влага в утренние часы с восходом солнца быстро расходовалась на испарение. В отдельные ночи величина конденсации достигала 1,8 мм. Средняя же ее величина составила около 0,3 мм/сутки.

Таблица 12

Результаты наблюдений в Кустанайской области на ст. Бурли (1963 г.) [19] (мм)

Период	Конденсация	Осадки	Испарение
14—31 V	5	5	33
VI	7	27	70
VII	9	40	59
VIII	12	72	57
1—20 IX	9	0	25
Сумма	42	144	244

Ю. Н. Юрьев [94], пользуясь малыми испарителями со сплошным и сетчатым доньями, нашел, что в супесчаных каштановых почвах Кулундинской степи за весь летний период конденсация влаги из атмосферы в верхнем 25-сантиметровом слое варьировала от 9 до 15 мм, а из более глубоких слоев почвы — от 6 до 16 мм. Рыхление почвы повышало первую величину и понижало вторую.

И. Г. Захарченко и Ю. Г. Бескровный [33] проводили свои наблюдения на Драбовской опытной станции на мощных малогумусных черноземах. Конденсация из воздуха измерялась с помощью конденсметров Белявского высотой 10 см, шириной 12,5 см и длиной 20 см. Монолиты в конденсметрах сменялись через каждые 5 суток. Конденсметры взвешивались по два раза в сутки — перед восходом и перед заходом солнца. Конденсация учитывалась только в бездождные периоды. После выпадения осадков конденсметры перезаряжались свежими монолитами.

Наблюдения велись с июля по октябрь в 1965 г., с апреля по сентябрь в 1966 г. и с июня по август в 1967 г. Конденсация определялась раздельно — из атмосферы и из нижних слоев почвы. За весь вегетационный период конденсация из атмосферы варьировала от 3,25 до 5,40 мм, а из почвенного воздуха от 3,01 до 8,33 мм, т. е. оказалась незначительной, в среднем не выше 0,01 мм/сутки.

Этим же методом проводили свои наблюдения И. Д. Ткаченко и П. Колісник [79]. Они работали на станции «Феофания» под Киевом на лёссовом плато. За апрель—август 1959—1967 гг. средняя величина конденсации из атмосферы составила 11 мм с колебаниями от 6 до 18 мм, а из нижних слоев почвы — 7 мм с колебаниями от 4 до 10 мм. Это соответствует 0,1—0,2 мм/сутки.

А. Л. Молчанов и Н. И. Чуркин [52] на основании наблюдений на полях ВНИИЗХ (Шортанды, Целиноградской области) приходят к выводу, что, судя по средним многолетним данным о температуре воздуха и почвы, термической конденсации в почве в этом районе происходить не может. Но такой вывод является результатом сглаживания суточных значений температуры. Более подробный анализ температурных данных (однако без анализа

величин влажности воздуха! — А. Р.) говорит о том, что в весенне-летний период ни днем, ни ночью термической конденсации быть не может. Осенью же — в сентябре и октябре, — по мнению авторов, термическая конденсация пара из атмосферы при радиационном типе погоды, когда температура поверхности почвы становится более низкой, нежели температура приземного слоя воздуха, иметь место может.

Авторы нашли, что за 1963—1969 гг. таких случаев за август—октябрь и за апрель—июль в среднем было 127. При этом в 40 случаях наблюдалось увеличение веса испарителей.

Средняя суточная величина конденсации по испарителям за 1969 г. оказалась равной 0,46 мм. За 40 дней это составило 18,4 мм. Авторы пишут, что «...абсолютизировать эту величину без дополнительной проверки в последующие годы не следует...» Однако «...можно утверждать, что в условиях севера Казахстана пахотнопригодные почвы в течение теплого периода года реально получают в результате молекулярной и термической конденсации примерно 22 мм влаги, ...что в условиях севера Казахстана составляет заметную долю приходной части в балансе почвенной влаги и поэтому должно приниматься в расчет при определении этого баланса».

Вывод авторов о «заметной доле» неубедителен, ибо несколько десятых миллиметра влаги, как это было показано во многих работах, испаряются сразу после восхода солнца. Кроме того, можно высказать сожаление, что распределение этих 40 дней с прибавками запаса влаги в течение теплого периода года остается неясным. Между тем от этого распределения в значительной степени зависит их эффективность.

Конденсация водяного пара из атмосферы в болотной почве исследовалась В. Ф. Шебеко [92]. Она измеряла конденсацию на поверхности болота, исходя из величины теплового баланса, как отрицательное испарение и нашла, что за ночь конденсация может составить в среднем 0,3 мм с максимумом до 0,6—0,8 мм. В сумме за период май—сентябрь величина конденсации достигает 10—25 мм.

Можно ожидать, что конденсация водяного пара в почве из атмосферы будет отличаться какими-то особенностями в области распространения многолетней мерзлоты.

П. И. Колосков [41] допускал возможность «...широкого распространения и интенсивного проявления процесса внутрипочвенной конденсации атмосферных паров... путем... фильтрации атмосферной влаги сквозь пересохший почвенный органический покров и конденсации их в более холодных подстилающих слоях, особенно весной, когда очень холодные горизонты близки к поверхности, а растительности нет или она недостаточна».

Г. П. Никитин [54], который изучал водный режим почв Центральной Якутии и пытался установить влияние на этот режим многолетней мерзлоты, в результате многочисленных и разнообразных опытов констатировал, что в ночные часы конденсация влаги

на поверхности почвы может иметь место в количестве 0,03—0,05 мм. Проникать в глубь почвы парообразная влага из атмосферы, по его мнению, не может. Наличие многолетней мерзлоты не оказывает влияния на обогащение почвы влагой за счет водяного пара из атмосферы.

Д. Д. Савинов [64] в Центральной Якутии учитывал ночную конденсацию (росу) с помощью листов фильтровальной бумаги, уложенных на поверхность почвы. Листы взвешивались вечером и утром. За август (31 день) найдено под пологом леса 0,3 мм, на опушке 1,5 мм, на открытом месте 2,1 мм. Варьирование от одного дня к другому было незначительным.

Заканчивая на этом обзор имеющихся в литературе экспериментальных данных по вопросу конденсации атмосферной влаги в почве, обратимся к табл. 13, в которой сведены все рассмотренные цифры. В таблице видно, что наблюдаемые величины конденсации в подавляющем большинстве случаев не превышают 1 мм за ночь, а во многих случаях не достигают и этой величины. Это количество влаги сосредоточивается в слое наибольшего

Таблица 13

Сводка результатов наблюдений за конденсацией в почве парообразной влаги атмосферы

Авторы	Объект	Конденсация за ночь (мм)
А. Ф. Лебедев	Не указано	0,12—0,62 (в среднем 0,5)
П. Ф. Бараков	Гравий	1 мм
Ван-Хесселинк и Худиг	Песок под гравием	1 мм
	Песок	0,3
В. Е. Сочеванов	Песок	<0,1
М. П. Петров	Песок	0,05—0,15
Г. Шеллер	Песок	<0,01 (11 мм в год)
И. П. Шван-Гурийский и В. М. Авдеев	Песок	<0,2
К. В. Кувшинова	Песок	<0,2
Кустанайская область	Песок	≤0,3, иногда до 1,8
Т. Ходжамурадов	Песок	≤0,1
П. Колісник	Чернозем	0,15
Шапталъ	Суглинистая почва	0,065
М. З. Журавлев	Чернозем	0,004—0,012
Гаррольд и Дрейбельбис	Суглинистая почва	0,3—0,5
С. А. Хачатурян	Суглинистая почва	0,01—1,0
Даманье	Суглинистая почва	0,4—0,6
М. И. Рубинштейн	Суглинистая почва	0,1—0,6
А. В. Швец	Чернозем	0,1—0,3
А. М. Бялый	Чернозем	≤0,5
Ю. Н. Юрьев	Каштановая супесчаная	0,06—0,1
И. Г. Захарченко и Ю. Г. Бескровный	Чернозем	0,02—0,04
И. Д. Ткаченко и П. И. Колісник	Серая суглинистая	≤0,1
А. Л. Молчанов и Н. И. Чуркин	Чернозем	0,46

охлаждения, мощность которого не превышает, по-видимому (вполне точных прямых данных нет), 1 см.

Ожидать стекания такого количества влаги в более глубокие слои нет оснований. И. С. Васильевым [18] было показано, что влага, поступая в сухой песок, насыщает его до полной влагоемкости и не стекает до тех пор, пока ее количество не превысит 30—70 мм, а мощность промоченного слоя 9—18 см в зависимости от размера частиц песка. Тем более влага не может стекать в почвах суглинистых, в которых НВ слоя мощностью 1 см равна 2—3 мм, т. е. как раз соответствует максимальным наблюдаемым величинам конденсации влаги.

Для высших растений влага, сконденсированная в верхнем сантиметровом слое почвы в количестве около 1 мм, если этот слой предварительно был иссушен, существенной роли играть не может по двум причинам. Во-первых, потому что с восходом солнца, как это было констатировано многими исследователями, сконденсированная влага очень быстро испаряется. Во-вторых, потому что в иссушенном слое почвы, как было показано М. М. Абрамовой [1], активных корней, несущих на себе корневые волоски и способных усваивать почвенную влагу, не бывает.

Для микрофлоры и микрофауны сконденсированная влага какое-то значение иметь, вероятно, может.

Не следует, наконец, упускать из виду и факт, отмеченный, как мы видели, многими исследователями, что влага конденсирующаяся в поверхностном слое почвы в течение ночи, своим источником имеет почвенную влагу, перемещающуюся в форме пара из более глубоких и более теплых слоев почвы к охлажденной поверхности. В этом случае весь цикл от захода солнца и до его восхода имеет своим следствием непроизводительную потерю влаги из почвы.

Процессы молекулярной и термической конденсации влаги в поверхностном слое почвы можно рассматривать как две следующие друг за другом стадии одного процесса. Возможность их осуществления определяется гидротермической обстановкой в системе поверхностный слой почвы — приземный слой атмосферы. Если дневное иссушение почвы было значительным и влажность ее поверхностного слоя уменьшилась до величины более низкой, чем МГ (условный предел), то с понижением температуры воздуха и поверхности почвы уже во второй половине дня начинается молекулярная конденсация (адсорбция или гигроскопическое поглощение парообразной влаги). После захода солнца радиационное охлаждение поверхности почвы может вызвать на ней и термическую конденсацию (выпадение росы) при условии, что температура поверхности почвы опустится ниже точки росы.

Если почва в дневные часы не подвергалась иссушению до указанного предела, то молекулярная конденсация не возникает, а возможность термической определяется соотношением степени охлаждения поверхности почвы и величиной влажности припочвенного слоя воздуха.

Растительный покров изменяет описанные явления. Поверхностный слой почвы, затененный растительностью, и нагревается и охлаждается значительно слабее. Так, по данным А. М. Бялого [17], за сутки 28—29 июня максимальная и минимальная температуры почвы под черным паром достигали соответственно 61 и 18°C, а под посевом пшеницы 26 и 15°C. Такое снижение температуры в дневные часы значительно уменьшает размеры и даже самую возможность возникновения молекулярной конденсации вследствие менее сильного иссушения поверхностного слоя почвы.

В ночное время при наличии растительного покрова, как об этом писал П. И. Колосков [41], наибольшему радиационному охлаждению подвергается не поверхность почвы, а растительный покров и минимум температуры создается в слое растительности на некоторой высоте от поверхности почвы — тем большей, чем выше и гуще растительный покров. Росообразование (если для него создаются подходящие условия) возникает в этом покрове. При этом источником росы может быть влага, содержащаяся в приземном слое воздуха, влага, испаряющаяся из почвы, и влага, транспирируемая листьями нижнего яруса.

Говоря о значении влаги, конденсирующейся в почве, для растений, следует упомянуть об интересных соображениях Е. С. Павловой [58]. Она говорила о том, что на доступность для растений влаги, содержащейся в почве, влияет температура последней, поскольку, с повышением температуры поверхностное натяжение воды и ее вязкость уменьшаются, что повышает ее доступность. По опытам, произведенным в АГМИ (б. Агрогидрометеорологический институт), коэффициент увядания оказался равным (% от веса сухой почвы):

Почва	При температуре (°C)	
	30	8
Мощный чернозем	16,5	17,9
Обыкновенный чернозем	20,4	26,6
Суглинок	16,9	22,2
Супесь	6,7	8,6

Павлова предполагает, что суточный цикл колебаний температуры может способствовать повышению обеспеченности растений влагой. Днем, при высокой температуре, часть неусвояемой влаги вследствие изменения поверхностного натяжения и вязкости делается доступной. Ночью этот дополнительный расход компенсируется адсорбцией водяного пара. Добавим от себя, что эта компенсация может иметь своим источником как парообразную влагу атмосферы, так и глубокие слои почвы, находящиеся за пределами корнеобитаемого слоя.

Выше мы рассматривали вопрос о конденсации в почве паровой влаги атмосферы, основываясь на экспериментах и наблюдениях в природе. В недавнее время В. И. Воробьевым [21] была сделана попытка подойти теоретически к решению этого вопроса. Он исходил из презумпции, что «в условиях пустынь основную часть водного баланса поверхностных вод и питания растений составляет влага, поглощенная почвой из воздуха», ссылаясь при этом на работы Э. Н. Благовещенского, Б. П. Орлова, В. И. Точилова, а также Т. Ходжамурадова и М. Курбаниазарова, которые мы здесь рассматривали. Никакой попытки критического анализа этих работ Воробьев не сделал. Он вывел выражение для вычисления величины q_s — «влажности на поверхности» и нашел, что «в результате задача сводится к решению семи (sic! — А. Р.) трансцендентных уравнений для вычисления переменных...» в названном выражении. Признав, что решение системы этих уравнений является трудным в силу их трансцендентности, автор делает мало понятное замечание о том, что «распределение температуры в почве с глубиной носит условный характер (? — А. Р.) и его нельзя сравнивать с реальным профилем температуры в почве». В итоге автор приходит к выводу, что «для более аккуратной» (? — А. Р.) оценки необходимы данные одновременных наблюдений за атмосферными и почвенными термогидрофизическими характеристиками». Вполне присоединяясь к этому последнему выводу, лишенному новизны, мы затрудняемся понять необходимость столь длинного и сложного пути, которым шел к нему Воробьев.

РОСООБРАЗОВАНИЕ

Росой называется жидкая влага, образующаяся на различных твердых телах путем конденсации водяного пара, содержащегося в атмосфере. Росообразование начинается тогда, когда температура поверхности тела понижается вследствие излучения до величины, при которой воздух, окружающий данное тело, оказывается насыщенным влагой, т. е. до точки росы.

Таким телом может быть, конечно, и почва. И несомненно, что многие случаи «конденсации атмосферной влаги в почве», рассмотренные нами в предыдущих разделах, в особенности относящиеся к почвам, лишенным растительности, являются росообразованием. По терминологии А. Ф. Лебедева, такие случаи представляют собой «термическую конденсацию». Почва — тело пористое. До точки росы могут охлаждаться частицы почвы, не только лежащие на поверхности последней, но и находящиеся на некоторой небольшой глубине. Поэтому росообразование, или термическая конденсация, может охватывать верхний слой почвы на небольшую глубину. При этом не следует, однако, забывать, что источником «росы» в поверхностном слое почвы может быть водяной пар, поступающий не только из приземного слоя атмосферы, но и из почвенного воздуха подповерхностного слоя почвы, темпера-

тура которого ночью, как правило, выше, чем температура поверхности.

Процесс образования росы и ее количество изучаются уже давно. На метеостанциях имеются и специальные приборы — россографы. Однако, по-видимому, эти приборы пока еще далеки от совершенства, и поэтому имеющиеся в литературе данные о количестве росы не могут считаться точными.

Обзор данных по вопросу росообразования мы находим в работе М. Е. Берлянда [9]. Он начинается ее с цитаты из статьи А. И. Воейкова: «Трудно найти сельского хозяина, который не был бы убежден в том, что роса оказывает большое влияние на растительность». Берлянд указывает, что систематических наблюдений за росой мало (в то время массового измерения количества росы на метеостанциях еще не было). Ссылаясь на наблюдения ряда авторов, Берлянд пишет, что за ночь может образовываться от 10 до 100 г/м² росы — при безоблачной погоде и обильной росе. (Это соответствует 0,01—0,1 мм влаги.— А. Р.)

Берлянд рассматривает соображения С. И. Небольсина [53], который писал, что при выпадении 100—200 г/м² росы должна сконденсироваться почти вся влага, содержащаяся в 10-метровом приземном слое воздуха при удельной влажности 10 г/м³. Небольсин считает, что в образовании росы может принимать участие только этот приземный слой воздуха.

Берлянд приводит результаты расчетов, выполненных совместно с сотрудниками, с применением выведенных им уравнений. Расчеты свидетельствуют о том, что удельная влажность приземного слоя воздуха за ночь может измениться на 2—3 г/м³, что подтверждает соображения Небольсина. Однако Берлянд утверждает, что образование росы происходит за счет пара, содержащегося не только в приземном слое воздуха, но и в толще воздуха, имеющей мощность порядка нескольких сотен метров. Именно поэтому возможно образование указанных больших количеств росы при небольшом изменении удельной влажности приземного слоя воздуха.

Общее количество росы, по мнению Берлянда, в большинстве случаев не превышает 1—3% годовой суммы осадков. «Однако в литературе,— пишет он — имеется много указаний на полезное действие росы на растения в засушливых районах и в засушливые периоды года, когда осадков совершенно не выпадает».

Одновременно с работой Берлянда появилась обширная сводка (320 литературных источников) Массона [112]. Массон указывает, что «в строгом смысле слова росой называют конденсацию водяного пара на контакте с почвой или телами, охлаждающимися путем излучения. Однако такое определение не может полностью удовлетворить исследователя, так как конденсация начинается не строго на контакте с твердым телом, но в окружающем слое..., т. е. в слое выравнивания между температурой тела и температурой окружающего воздуха. Именно в этом слое и создается точка росы. Если воздух спокоен, то толщина такого слоя очень мала

и мы имеем дело с несомненной росой... толщина такого слоя может равняться 4 мм. Если же температура воздуха в соседстве с поверхностью почвы снижается постепенно, то толщина переходного слоя может быть значительно больше, до 1 м. Тогда при благоприятных условиях роса выпадает в самом переходном слое. Возникает туман».

Массон пишет, что охлаждение тела, на котором садится роса, обязано излучению. Чем больше излучающая способность, тем больше может образоваться росы. Очень велика излучающая способность листьев растений. Через несколько минут после захода солнца температура листа может быть на 2,9°C ниже температуры окружающего воздуха.

Роса обладает также и теплорегулирующим влиянием, так как при конденсации выделяется скрытая теплота парообразования. Скорость понижения температуры почвы вследствие этого уменьшается.

Источником влаги, из которой образуется роса, может быть как атмосфера, так и почва.

Далее Массон рассматривает результаты наблюдений 45 исследователей в разных странах. Годовая сумма росы варьирует от 8 до 50 мм (14 случаев), средние ночные величины — от 0,05 до 0,90 мм (22 случая), а максимальные величины — от 0,08 до 3,00 мм (23 случая).

Обсуждая вопрос о том, может ли роса быть источником влаги для растений, Массон приводит народные наблюдения начиная с библейских и многочисленные высказывания и наблюдения различных исследователей. Он указывает на существование эпифитов, которые не имеют других источников влаги, кроме росы и вообще атмосферной влаги. Однако, заключая этот раздел, автор пишет: «Исследователи по большей части удовлетворялись поверхностными наблюдениями. Исследование внутреннего механизма этой абсорбции (влаги листьями.— А. Р.) трудно и требует тонкой техники. Помимо соображений — всегда несколько неуверенных — о «процветании» растений при контакте с росой и о проявлении этого «процветания», можно найти лишь очень мало наблюдений, имеющих вполне удовлетворительную научную ценность... Похоже на то, что несрезанный лист отталкивает воду». Однако в литературе описаны опыты, в которых красящее вещество поглощалось растением и появлялось в сосуде.

Попытку экспериментального решения вопроса о доступности для растений влаги росы мы находим в работе Стона и Фоуэллса [120].

Двухлетние сеянцы сосны *Pinus ponderosa* были посажены в вегетационные сосуды, в которые были высеяны и семена подсолнечника. После того как подсолнечник развил не менее 12 листьев, полив был прекращен. Через 9 дней после этого все растения подсолнечника погибли, причем влажность почвы в этот момент снизилась до 1,5%, в то время как ни один сеянец сосны не погиб. Подсолнечники были срезаны, и поверхность почвы в сосудах

сверху герметически закрывалась пленкой, приклеенной к сосуду и к стволикам семян. Оставшиеся растения в половине всех сосудов ночью в течение 12 ч опрыскивались (имитация росы). Днем все сосуды стояли вместе. Не опрыскивавшиеся семена завяли через 18—29 дней (в среднем 21), а опрыскивавшиеся — через 37—45 дней (в среднем 41). По окончании опыта было определено распределение корней и влажности почвы в сосудах. Максимальное количество корней (85% общей массы) оказалось содержащимся в нижней трети сосудов, имевших высоту 15 см. Влажность, до которой была иссушена почва, оказалась равной 1,5% в момент гибели подсолнечника и 0,9—1,0% в момент гибели сосны.

Авторы этой работы делают два вывода: во-первых, семена сосны могут извлекать из почвы больше влаги, чем растения подсолнечника; во-вторых, «роса» может быть источником влаги для растений и способствовать их жизнедеятельности.

В другом, более раннем опыте Стоун с сотрудниками [119] поставили своей задачей выяснить возможность усвоения растениями влаги непосредственно из водяного пара атмосферы.

Двухлетний сеянец сосны Коултера, росший в течение 10 месяцев в почве с влажностью, соответствовавшей ВЗ, был заключен в трубку из плексигласа, закрытую герметически с обоих концов. В трубке находился прибор для определения относительной влажности воздуха. Влага подавалась в эту трубку через особый патрубок, имитирующий форму движения влажного воздуха из рта экспериментатора. Поверхность почвы в сосуде, в котором рос сеянец, была покрыта специальной замазкой. После подачи влажного воздуха относительная влажность повышалась до 98%, но уже через час начинала падать до величины, варьирующей в разных сериях опыта по большей части в пределах более низких, чем 90%. Наименьшими значениями относительной влажности, достигавшимися в отдельных опытах, были 86—85%, что соответствует всасываемому давлению, равному 200—230 атм.

Из этих опытов следует, что надземные органы растений способны усваивать водяной пар из воздуха, даже если последний ненасыщен паром. Авторы отмечают, что таким источником влаги могут пользоваться только те растения, у которых листья обладают большой механической прочностью, способной компенсировать понижение тургора.

Из этого опыта можно заключить, что семена сосны оказались способными поглощать водяной пар из воздуха, доводя относительную влажность его до низких величин, соответствующих значительной его ненасыщенности. В дальнейшем дефицит влаги в воздухе понижается за счет медленного иссушения почвы. К сожалению, в работе не указано соотношение объема воздуха, из которого растения черпали влагу, и объема почвы, влага из которого компенсировала дефицит влаги в воздухе.

Джонс [108] исследовал вопрос о влиянии опрыскивания (имитация росы) на транспирацию растений и поведение устьичного аппарата. Величина транспирации определялась им путем

взвешивания срезанных листьев. Вычислялась величина G , равная отношению веса срезанного листа в какой-то момент времени к его исходному весу сразу после срезания. Построив график зависимости $\lg G$ от времени, Джонс обнаружил, что он представляет собой прямую линию с одним изломом, который соответствует моменту закрытия устьиц. После этого момента величина G , т. е. скорость транспирации, резко падает.

Опрыскивание (имитация росы) имело своим следствием закрытие устьиц, причем влажность опрыскиваемого листа была более высокой, чем листа не опрыскиваемого. Автор высказывает предположение, что выпадение росы в естественных условиях влияет на водный баланс растений, воздействуя на устьичный аппарат.

Стон [121] обсуждает опыты Бризиля и других исследователей, наблюдавших отдачу влаги корнями растений, опущенными в пустые колбы, путем переноса ее от увлажненных листовых органов. По опытам Стона и его сотрудников, объектами которых были семена сосны *Pinus ponderosa*, такая отдача происходит именно только в пустые колбы, температура в которых, а следовательно, и относительная влажность воздуха колебались. Если же корни были погружены в почву, залитую сверху мастикой, то передвижение влаги в почву не наблюдалось. Из этого Стон делает вывод, что длительное сохранение жизнеспособности семян в почве при ВЗ, когда ночью имеет место поступление росы на надземные органы, происходит благодаря восстановлению насыщенности ткани хвои и сопутствующему уменьшению потерь влаги из корней.

В оригинальных опытах автора исследовалось выживание *Pinus ponderosa*, *P. jeffreyi*, *Abies concolor*, *Libocedrus decurrens* на песчанистом суглинке Оклэй и тяжелом суглинке Даблин. ВЗ в опыте определялась по завяданию подсолнечника. *Pinus ponderosa* на песчанистом суглинке снижала его влажность до величины, на 1% более низкой, чем ВЗ, на глине — на 1% более высокой, чем ВЗ. Ночное опрыскивание продлило жизнь этого растения на песчанистом суглинке на 3 месяца, а на тяжелом суглинке на 2 месяца. На тяжелом суглинке Шеридан пересаженные трехлетние семена жили без опрыскивания после снижения влажности почвы до ВЗ: *P. jeffreyi* — 95 дней, *P. ponderosa* — 64 дня, *Libocedrus* — 44 дня, *Ab. concolor* — 35 дней. Опрыскивание отсрочило гибель: *P. ponderosa* — на 30 дней, *Ab. concolor* — на 20 и *Libocedrus* — на 72. На *P. jeffreyi* опрыскивание не повлияло (в отношении продления жизни).

Интересные наблюдения за росообразованием в Южной Англии были выполнены Монтейтом [114]. К сожалению, эти наблюдения продолжались всего лишь в течение нескольких осенних ночей, хотя и с различными условиями. Наблюдались изменения веса испарителя с монолитом почвы, покрытым низкой травой, температура и влажность воздуха на разных высотах, а также количество росы на растениях, которая собиралась фильтровальной бумагой.

Монтейт различает три типа ночных режимов: 1) испарение с поверхности почвы продолжается и ночью, но скорость его меньше, чем днем; роса при этом не появляется; 2) испарение с поверхности почвы продолжается, но часть влаги, испаряющейся из почвы, оседает на листьях растений с интенсивностью $1-2 \text{ мг} \times \text{см}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Этот случай наблюдается в очень спокойные ночи через ламинарный слой с коэффициентом диффузии, близким к молекулярному; 3) монолит с почвой и растениями увеличивает вес за счет оседания влаги на растениях из атмосферы в условиях турбулентного переноса пара сверху из атмосферы при скорости ветра, превышающей $0,5 \text{ м/с}$. Количество росы может достигать $3-4 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (т. е. $0,2-0,3 \text{ мм}$ за ночь.— *А. Р.*). Монтейт указывает, что относительная влажность почвенного воздуха может достигать $99-100\%$ лишь при условии, что растительность находится в нормальном состоянии, т. е. без признаков завядания. Напомним, что к такому же выводу пришла М. М. Абрамова [3], по мнению которой при завядании растений возникает заметная ненасыщенность почвенного воздуха влагой.

В своем обзоре Монтейт [115] указывает, что значение росы для роста, развития и продуктивности растений остается неясным. Есть опыты, доказывающие, что роса понижает скорость транспирации, что за ночь под влиянием росы дефицит влаги в листьях растений может уменьшиться. В сильно обезвоженных листьях под влиянием росы фотосинтез возобновлялся. Хлопчатник, дыни и ананасы в областях с малым количеством дождей, но с обильными росами дают хорошие урожаи, однако причинная связь остается неясной.

Систематические многолетние наблюдения за количеством росы в Израиле проводятся Давдевани с помощью росомера оригинальной конструкции. Обобщая свои данные, Давдевани [103] приводит средние количества росы за 1943—1947 гг. (мм):

Местоположение	IV—IX (от—до)	X—III (от—до)
На прибрежной равнине	9,7—23,7	5,3—15,7
На холмистом районе	11,2—17,1	5,9—11,7
В долине Иордана	0,4—4,8	4,3—8,8

Из этих данных видно, что количество росы отчетливо убывает с удалением от моря. По наблюдениям Давдевани, прирост стеблей различных растений, имевших возможность использовать росу, в $1,1-1,8$ раз превышал прирост стеблей тех растений, которые этой возможности искусственно были лишены. Он полагает, что растения способны поглощать росу с помощью своих листьев. Это обеспечивает возможность фотосинтеза в течение $3-4$ ч после восхода солнца. Искусственное опрыскивание растений способствует их восстановлению из увядшего состояния. Вода, поглощенная листьями, может передвигаться по растению вниз, к корням, и далее выделяться через корни в почву. Таким образом, роса

может быть источником влаги для растений в самые критические периоды их существования и поддерживать их жизнеспособность.

Классификацию различных форм росы мы находим в работе Т. Л. Нофзингера [55]. Он пишет: «Осаждающаяся на листьях и других поверхностях влага, обычно называемая росой, по условиям образования может подразделяться на четыре категории: 1) роса, возникающая при конденсации водяного пара из атмосферы; 2) роса, появляющаяся при перегонке или конденсации водяного пара, выделяющегося в результате транспирации из нижерасположенных листьев или более влажной почвы; 3) роса, возникающая при захвате капель тумана листьями или другими поверхностями; 4) роса, образуемая при эксудации или выделении жидкости другими частями листьев.

Из этих четырех категорий только первые три имеют внешние (по отношению к растениям) источники влаги и поэтому могут иметь значение для обеспечения растений влагой. Лишь первая и третья из указанных категорий вызывают увеличение влаги в системе растение—почва в целом. Возможно, вклад второй категории (дистилляции) в общее количество росы наибольший, особенно в континентальных районах средних широт. Конденсация, обеспечивающая образование росы первой, второй и третьей категорий, представляет собою процесс, обратный испарению».

Обсуждая значение росы для растений, Нофзингер говорит, что «роса... играет активную роль в питании растений, тем самым принимая участие в динамическом жидкостном цикле...»

Вопрос о значении росы как источника влаги для растений все еще является предметом дискуссии. Многим экспериментам, которые, якобы, установили прямое поглощение росы листьями, не хватает убедительности...

Роса играет определенную роль ночью, когда участвует в насыщении растений влагой. Рост большинства растений наблюдается именно ночью, питание водой в ночное время является более эффективным, чем днем».

Далее в работе Нофзингера мы находим обзор методов измерения количества росы. Автор утверждает, что в северных широтах, при наиболее благоприятных для образования росы условиях, максимальная скорость осаждения росы равняется примерно 0,1 мм/ч. Действительная же скорость осаждения росы обычно значительно меньше.

Оригинальные наблюдения мы находим в работе Босса [99]. Они были сделаны в пустыне Намиб (Западная Африка) около того места, где «сухая река» Свакоп впадает в Атлантический океан. Босс указывает, что при годовой сумме осадков, в среднем равной 8 мм, там можно найти участки с очень пышной растительностью. Источником влаги для них являются, во-первых, обильные туманы, осаждающиеся на кустарниках. Их образованию способствует протекающее около берега Бенгальское морское течение, температура воды в котором равна 16°C. Растение из семейства норичниковых *Dinteracanthus* во время обильного тумана

опускает свои стебли на поверхность почвы, что способствует поглощению воды. Последнее усиливается еще кристаллами солей, образующими пленку на волосках, покрывающих листья. Эти соли столь же гигроскопичны, как хлористый кальций. Влага росы проникает в почву на глубину до 2—3 см. Годовое количество влаги, поступающей таким образом в почву, Босс оценивает в 45 мм.

Вторым источником влаги может быть сухое ложе р. Свакоп, под дном которого в песчано-галечниковом субстрате постоянно струится поток воды, зарождающийся в горах. Автор считает, что этот поток обогащает водяным паром приземные слои воздуха, причем днем происходит испарение, а ночью влага, идущая снизу, конденсируется на поверхности почвы и может быть усвоена корнями растений. Днем поверхность почвы нагревается до 45—50°C.

Обогащению почвы влагой, по мнению Босса, может способствовать также ветер, который в прибрежной полосе дует почти постоянно со скоростью 5—7 м/с. Этот ветер проникает в толщу небольших песчаных дюн и «выдувает» оттуда влагу. При ночном охлаждении холодным ветром, дующим с моря, влага осаждается на поверхности этих дюн.

Наблюдения с помощью психрометров Ассмана, приемные трубки которых устанавливались на различных глубинах в почве, показали, что давление пара в почве на 4—5 мм выше, чем в окружающем воздухе, где оно равнялось 11 мм.

В недавнее время появились работы В. Н. Карпенко, посвященные росообразованию на территории СССР [36, 37]. Результаты этих работ обобщены в монографии [38]. Автор констатирует, что росограф, применяемый сейчас на сети метеостанций, «не отражает всей сложности явления росы и в основном фиксирует лишь влагу, выпадающую при конденсации водяного пара из атмосферы... Не учитывается и роса, которая образуется при конденсации водяного пара, выделившегося в результате транспирации растений».

Обработав 10-летние данные ежедневных визуальных и инструментальных наблюдений за росой на 300 метеостанциях, а также результаты наблюдений с помощью росографов за 3—6 лет на 160 станциях, Карпенко [38] построила карту распределения количества росы за май—сентябрь по территории СССР. На этой карте видно, что максимальное количество росы — до 5 мм в год — выпадает в западной части ЕТС, 3—4 мм в центре ЕТС и около 3 мм в Сибири. В Приморье годовое количество росы возрастает до 5 мм, а на Черноморском побережье — до 7 мм. К юго-востоку ее количество уменьшается и в Средней Азии и в Южном Казахстане, как правило, не превышает 0,5 мм в год. Число дней с росой в зоне тундры не более 20 в год. К югу оно возрастает до 40 в лесной зоне и до 60 в степной азиатской части СССР. В пределах ЕТС оно возрастает от 80 на востоке до 100 в центре и на западе.

Теоретический анализ процесса росообразования и попытку его количественной характеристики, основанной на исследовании

передвижения водяного пара в приземном слое атмосферы, мы находим в монографии Слейтера и Макилроя [70].

Рассматривая росообразование как «отрицательное испарение», указанные авторы применяют к нему формулу для расчета испарения, разработанную Макилроем [111], с некоторыми упрощающими допущениями. Первое из них заключается в том, что теплообмен атмосферы с почвой приравнивается нулю. Авторы оговаривают, что это допущение полностью оправдывается лишь в случае высокой кустистой растительности или глубоко мульчированной почвы.

Второе допущение заключается в предположении, что воздух на некотором расстоянии от поверхности почвы находится в состоянии насыщения, т. е. что психрометрические разности, измеренные на разных высотах от поверхности, равны нулю.

При этих условиях наибольшее отрицательное испарение $(-E)_{\text{макс}}$ можно выразить следующей формулой:

$$(-E)_{\text{макс}} = \frac{S}{S+V} \left(\frac{R}{L} \right),$$

где S — психрометрическая постоянная ($\text{мг}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$); V — влажный эквивалент температуры смоченного термометра ($\text{мг}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$), причем эту температуру авторы считают возможным приравнивать к средней температуре смоченных термометров, установленных на разных высотах; R — радиационный баланс; L — скрытая теплота парообразования.

Авторы указывают далее, что величина $\frac{S}{S+V}$ может изменяться в пределах 0,4—0,8 в диапазоне температур от 0 до 30°C и верхнем пределе для среднего значения R около 12 мВт.

Тогда величина $(-E)_{\text{макс}}$, т. е. максимальная величина росообразования, составит около 0,07—0,15 мм/ч в зависимости от температуры. За ночь это составит от нескольких десятых миллиметра до 1—1,5 мм, т. е. того же порядка, что и те величины, которые мы встречали выше, при рассмотрении экспериментальных данных по определению конденсации в природной обстановке.

Слейтер и Макилрой указывают, что полученная ими величина является, несомненно, максимальной из-за того, что вблизи от поверхности почвы воздух может быть и не вполне насыщен влагой, а тепловой поток из почвы в атмосферу может быть не вполне равен нулю, т. е. сделанные ими допущения могут не вполне оправдываться.

Говоря о влиянии ветра, Слейтер и Макилрой указывают, что полное безветрие снижает интенсивность росообразования. По наблюдениям Монтейта [114], оптимальная для росообразования скорость ветра равна 1—3 м/с. Если скорость превышает 5 м/с, то как правило, происходит испарение.

Слейтер и Макилрой рассматривают также вопрос о влиянии росы на растительность. По их мнению, вопрос о способности растений усваивать влагу через свои надземные органы — прежде

всего через листья — остается в целом пока не решенным. Бесспорно, такой способностью обладают лишь некоторые ксерофиты, произрастающие в аридных областях.

Несомненным является снижение транспирации растений под влиянием росообразования.

Вопрос о положительном влиянии росы на продуктивность растений остается открытым. Единственным свидетельством в пользу такого влияния являются упоминавшиеся нами выше наблюдения Давдевани за положительным действием росы на прирост стеблей различных растений.

Из всех рассмотренных наблюдений за росообразованием можно сделать три вывода. Во-первых, количество выпадающей росы очень невелико и измеряется немногими десятками долями миллиметра за ночь. Во-вторых, роса, несомненно, оказывает благоприятное влияние на жизнь растений. Однако влияние росы на их продуктивность если и имеется, то незначительное. В-третьих, выпадение росы на поверхности почвы есть явление, тождественное «термической конденсации» А. Ф. Лебедева.

Сопоставляя выпадение росы на растения с ее выпадением на поверхность почвы, мы отмечаем, что в одних и тех же условиях выпадение росы на растения бывает более обильным. Причины этого заключаются, вероятно, в следующем. Поверхностный слой почвы при конденсации на нем влаги воспринимает скрытую теплоту конденсации. Одновременно излучая тепло, этот слой получает некоторое количество тепла снизу, из прилегающих к нему более теплых слоев почвы, как за счет теплопроводности, так и за счет перегонки снизу водяного пара. Поэтому можно ожидать, что скорость охлаждения этого слоя в режиме излучения будет не столь уж значительной, в особенности если он находится под растительным покровом. Последний же воспринимает только скрытую теплоту конденсации и не имеет других источников тепла. Поэтому можно ожидать, что радиационное охлаждение растительного покрова при одинаковых условиях будет происходить быстрее и соответственно на его поверхности сконденсируется больше влаги. Этому будет способствовать и то, что листья растений представляют собой тонкие пластинки с большой излучающей поверхностью и малой теплоемкостью.

В целом, однако, все эти процессы требуют тщательного и подробного экспериментального изучения с применением точных, по возможности самопишущих приборов.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НЕКОТОРЫМИ ЕСТЕСТВЕННЫМИ РОДНИКАМИ

В литературе имеется ряд указаний на существование в природе постоянно действующих родников и ключей, берущих свое начало недалеко от вершин различных возвышенностей. В таких условиях объяснить происхождение этих ключей только инфильтрацией атмосферных осадков трудно, так как площади возможных

водосборов ничтожны и остающееся за вычетом расхода влаги на испарение и поверхностный сток количество воды явно недостаточно для непрерывного питания таких ключей.

Менгель [113] описывает свои наблюдения в Пиренеях, где имеются выходы вод на вершинах горных хребтов. Особенно часто такие выходы наблюдаются в Восточных Пиренеях, где климат сухой, на хребтах Альбер и в массивах Карлит и Мадрес. Происхождение этих вод и постоянство их дебита (которое крестьяне, пораженные этими парадоксальными условиями, приписывают сифонному подъему вод) автор объясняет конденсацией, главным образом ночной. На отвесном склоне хребта Альбер происходит встреча морских ветров, дующих с юго-юго-востока, с холодными течениями, направленными с северо-запада, что и способствует конденсации. Такие источники встречаются чаще всего на хребтах, сложенных гранитами. Менее часто они встречаются среди гнейсов. Автор не встречал их ни среди сланцев, ни среди слюдистых сланцев, ни тем более известняков. Он объясняет это непроницаемостью гранитов, вследствие чего влага удерживается на небольшой глубине, в продуктах выветривания, в то время как в других породах из числа перечисленных она уходит вглубь вследствие их трещиноватости.

И. Е. Худяков и В. И. Колотильщиков [88] установили наличие значительных (на 40—50% минимальной величины) суточных колебаний дебита некоторых крупных источников в Суук-Суйском районе (Крым). Эти колебания, по мнению авторов [88], могут быть объяснены конденсационными процессами, интенсивность которых заметно меняется в суточном цикле.

С. Г. Жарий [29] описывает Лысую гору под Минском, сложенную грубым моренным материалом, которая отличается сильной обводненностью. На небольшой площади этой возвышенности берет начало шесть речек и ряд мелких ручьев. Один из источников выходит на самой макушке горы из нагромождения крупных валунов. Подсчет баланса влаги (сток, испарение, осадки) не позволяет объяснить обводненность горы только осадками. Автор считает, что существенным источником влаги здесь должна быть конденсация парообразной влаги из атмосферы, происходящая в скоплениях грубозернистого материала.

Пастёр [116] перечисляет различные случаи, в которых присутствие влаги, происхождение источников, возможность существования растений и т. д. не могут быть объяснены поступлением только дождевой влаги. Таковы различные пещеры, скалистые области, древние каменные сооружения и т. д., в которых, по мнению автора, должна происходить конденсация водяного пара из атмосферы. Предполагается, что конденсация происходит на глубине начиная с 1 м и более. Только этим можно объяснить и высокий урожай различных растений, в том числе винограда, который был получен в исследуемом районе в 1949 г., несмотря на длительную засуху. Упоминается, что корни винограда идут на глубину до 20 м.

Н. Н. Славянов [69] описывает свои наблюдения в Крыму, где в карстовых пустотах в известняках, в глубоких трещинах в известняковых массивах, в глыбовых навалах у подошв горных склонов, в конусах осыпей, скоплениях щебня и т. д. были обнаружены источники воды, образование которых можно было объяснить только результатом конденсации водяных паров, поступающих из атмосферы.

В условиях вечной мерзлоты в долине р. Колымы в каменных осыпях были проведены исследования И. Т. Рейнюк [61]. С помощью горизонтальных конденсаторов было найдено, что в каменных крупноблочных осыпях на склонах гор северной экспозиции конденсация превосходит испарение и дает сток, составляющий в среднем не менее 80 мм в год. На склонах южной экспозиции конденсация имеет место, но она меньше, чем испарение, и оценить количественно ее не удалось.

Развитию конденсации в каменных осыпях благоприятствует конвекция воздуха, возникающая в камнях в летние дни, когда холодный воздух, заполняющий щели между камнями осыпи, обменивается с теплым атмосферным воздухом долины. Холодный воздух стекает в долину, а на его место проникает более теплый легкий и влажный воздух. Конвекция усиливает поступление воды в осыпь, где происходит конденсация пара. На горизонтальных участках этот процесс невозможен потому, что холодный воздух расположен ниже теплого.

На существование постоянно действующих ключей на больших относительных и абсолютных отметках в окрестностях Тарбагатая обратил внимание В. В. Климошкин [39]. Ключи эти имеют дебит 0,1—0,2 л/с, почти не колеблющийся во времени. Предположив, что источником влаги ключей является конденсация, автор поставил восемь конденсаторов — железные трубы диаметром 168 мм и длиной 1,7—2,0 м, наполненные галькой или щебнем, или дресвой, или песком. Они были установлены под углом 45° в траншеи глубиной 0,3 м и засыпаны вынутым грунтом, так что их верхний и нижний концы оставались свободными. Над верхним концом был установлен навес, защищавший конденсатор от дождя, а к нижнему был прикреплен приемник для воды. Конденсаторы были установлены в окрестностях Тарбагатая на разных элементах рельефа. Все восемь конденсаторов давали воду в течение июня 1956 г. и в июле—октябре 1957 г. Замеры вытекшей воды производились ежедневно. Суточные конденсаты варьировали от 0 до 20,0 мл, причем колебания часто были очень незакономерными. Например, в конденсаторе VII с 5 по 13 августа 1957 г. суточные величины стока менялись так: 13,0; 1,0; 0,1; 0,1; 13,0; 13,0; 13,0; 13,0; 0,25, и за это время была собрана почти половина всего количества воды, стекшего за 81 день работы конденсатора.

Общие итоги опыта изложены в табл. 14.

Автор выражает полученные данные в мл воды на 1 м^3 наполнителя в сутки. Приняв мощность рыхлых наносов равной 1,5 м и среднюю величину конденсации равной 50 мл/м^3 в сутки для

Таблица 14

Результаты опытов В. В. Климочкина [39] с конденсаторами

№ конденсатора	Заполнитель	Общее число суток наблюдений	Общий объем собранного конденсата (мл)	Среднее количество конденсата в сутки (мл)	Объем заполнителя (м³)	Интенсивность конденсации (мл/м³ в сутки)
I	Галька	67	106	1,58	0,029	56
II	Галька	45	27	0,60	0,010	60
III	Щебень	56	58	1,04	0,020	104
IV	Галька	22	14	0,60	0,021	30
V	Дресва	83	71	0,85	0,015	56
VI	Галька	26	24	0,91	0,010	91
VII	Щебень	81	146	1,80	0,010	180
VIII	Песок	91	67	0,74	0,015	50

песка и дресвы (конденсаторы V и VIII) и 100 мл/м³ в сутки для щебня и гальки (конденсаторы III и VII), автор находит модули подземного стока за счет конденсационной влаги равными 0,8 л/с с 1 км² в первом случае и 1,3 л/с во втором. Нетрудно подсчитать, что это соответствует 25 и 41 мм, если допустить, что конденсация происходит круглый год. Однако автор о возможности конденсации в зимние месяцы ничего не говорит.

Расчет можно произвести и иным способом. В природных условиях конденсация происходит в поверхностном слое рыхлых наносов, который наиболее сильно охлаждается ночью за счет излучения и в который пар может проникать с ветром. В конденсаторы воздух с водяным паром поступает через отверстие конденсатора, и расчет можно вести, исходя из площади этого отверстия. При диаметре трубы 168 мм площадь сечения составляет 220 см². Наиболее производительный конденсатор (VII) давал в среднем 1,8 мл в сутки, или 82 мл/м². За год это составит 30 000 мл/м², или 30 мм. Как видим, величина получается того же порядка, что и у Климочкина.

Наблюдения и опыты Климочкина свидетельствуют о том, что в грубых наносах конденсация водяного пара в ночное время на поверхностях обломков вполне возможна. Этому очень способствует легкая проницаемость таких наносов для ветра. Ничтожная влагоемкость этого материала является причиной того, что значительная часть сконденсировавшейся влаги стекает вглубь, откуда обратное испарение ее в атмосферу затруднено. За счет этой сконденсировавшейся влаги и питаются наблюдавшиеся Климочкиным ключи.

Автор настоящей работы наблюдал подобные же ключи с небольшим дебитом и температурой 6—7°C в 1927 г. в южной части Мугоджар, в области полупустыни, причем ключи нередко выходили вблизи от наиболее высоких точек хребта. Эти точки энергично обдувались ветрами, что усиливало их ночное охлаждение. Кроме того, ветры приносили дополнительно водяной пар. Сущест-

вание этих ключей трудно объяснить без допущения того, что в их питании значительную роль играет сконденсированная влага.

В более поздней своей работе В. В. Климошкин [40] описывает результаты аналогичных опытов с трубчатыми конденсаторами, проведенных им в Бурятии, на Кольском полуострове и в Ленинградской области. Автор пишет, что наименьшая интенсивность конденсации влаги наблюдалась в суглинистой морене — около 0,3 мм в год. Большая интенсивность имела место в супеси (до 0,4 мм/год), а наибольшая — в щебнистом грунте (1,34 мм/год). Среднюю величину слоя конденсационных вод для Кольского полуострова автор оценивает в 6 мм/год.

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА ИЗ АТМОСФЕРЫ

Явления, описанные в предыдущем разделе, послужили основанием для попыток создать искусственные сооружения для получения пресной воды путем конденсации водяного пара, содержащегося в атмосфере.

В 1935 г. Центральным управлением единой гидрометеорологической службы была созвана специальная конференция по вопросам конденсации атмосферной влаги [78]. В докладах В. В. Тугаринова, С. В. Горбачева, Б. А. Аполлова, Б. П. Орлова и М. Н. Вознесенского содержатся постановка вопроса и сведения о соответствующих наблюдениях в природе и о результатах различных экспериментов. Эти сведения позволили предположить, что при некоторых условиях парообразная влага атмосферы может быть превращена с помощью соответствующих сооружений в жидкую и использована для различных целей.

Подобные сооружения в Крыму, в окрестностях Феодосии, были описаны Ф. И. Зибольдом [34]. Они имели форму больших куч щебня на склонах Феодосийских гор. В основании многих куч были обнаружены остатки трубопровода, по которому вода подавалась в Феодосию. По мнению автора, эти кучи были конденсаторами парообразной влаги из воздуха. Последний благодаря сравнительно крупному поперечнику пустот мог относительно свободно циркулировать в кучах, чему способствовали ветры, свободно обдувающие их со средней скоростью 6—7 м/с. Все источники, имеющиеся на склонах гор, окружающих Феодосию, оказались вытекающими из труб — гончарных или каменных. Феодосийские конденсаторы были сооружены в XIII—XV веках.

Зибольдом была сделана попытка восстановить одну из Феодосийских щебневых куч, о чем сообщает В. В. Тугаринов [82]. Этот конденсатор вначале давал 0,3 л воды на 1 м³. К сожалению, он был построен небрежно, в его основании вскоре образовалась трещина и дальнейшие наблюдения были прекращены.

В. В. Данилевский [24] описывает результаты раскопок древних курганов, сложенных из обломков камня в Туве, на Алтае,

в Закавказье. Во всех случаях под этими курганами были обнаружены значительные количества воды. На Алтае под курганами во всех случаях была обнаружена вечная мерзлота, хотя вокруг ее не было. В Туве из-под курганов вытекают родники, расположенные на половине высоты насыпи (высота всей насыпи 3 м). Данилевский пишет, что «при раскопках трех щебневых куч около Феодосии никаких труб, идущих из-под куч, вопреки утверждениям Зибольда, обнаружено не было. Но ниже щебневых куч действительно были найдены в различных местах выходы гончарных водопроводов... Склоны Тепе-Оба буквально покрыты выходами таких водопроводов и следами древних водосборных сооружений: дренажей, запруд». Данилевский считает, что нельзя опровергнуть предположение о щебневых насыпях как о возможных подсобных гидротехнических конденсационных сооружениях.

В. Ф. Дернгольц [25] описал «каменное нагромождение» в Турвинской АССР высотой до 5 м и около 90 м в поперечнике. В одной из воронок на нагромождении была обнаружена пресная вода, под каменной насыпью была найдена вечная мерзлота. Автор предполагает, что эта мерзлота способствует конденсации влаги из атмосферы.

Неизвестный автор в статье «Воздушные колодцы» [97] пишет о существовании искусственных установок, с помощью которых можно получать влагу из воздуха за счет конденсации. Указывается, что установки около Феодосии — «тринадцать огромных пирамид из обломков известняка» — давали до 7 000 000 л воды в сутки. Такие же установки, действующие ныне (1936 г.), имеются в Траусе (Франция, департамент Вар) и в Монпелье. Последняя установка, сооруженная Шапталем, представляет собой прямоугольную пирамиду высотой 2,5 м и основанием 3 м² из обломков известняка 5—10 см в поперечнике, на бетонном основании. Пирамида покрыта слоем бетона с отверстиями наверху и внизу для циркуляции воздуха. Установка в 1930 г. с апреля до сентября дала 88 л воды, а в следующем, менее благоприятном году — около 40 л. Максимальное суточное количество достигало полугаллона. Интересным является то, что температура внутри установки неизменно была на несколько градусов выше, чем внешнего воздуха. Не было обнаружено связи между влагой, собравшейся в установке, и выпадением росы вне ее.

Обстоятельный обзор существовавших и проектировавшихся установок для получения воды за счет конденсации паров воздуха мы находим в статье В. И. Точилова [80]. Он описывает 10 построенных в разных странах сооружений и 7 запроектированных. Ни одна из построенных не дала результатов, заслуживающих внимания. Из числа проектов следует упомянуть проект Г. И. Покровского, который основан на использовании для конденсации влаги в летний период «запаса холода», накапливаемого в установке за зиму. При объеме установки 600 000 м³ и предполагаемом КПД, равном 50%, такая установка должна дать за лето 15 000 м³ воды. Проект Покровского, по мнению Точилова, единственный,

в основу которого положен здравый и простой принцип; проект имеет реальный количественный расчет.

О феодосийских конденсаторах и об опытах Шапталя в Монпелье пишет Джюмикис [109]. Он упоминает также подземный конденсатор Годдарда, который не работал. Конденсатор Кнапена в Трансе (департамент Вар) большой, тщательно рассчитанный и сооруженный, давал изредка лишь ничтожное количество воды, хотя по расчетам он должен был давать от 20 000 до 40 000 л в сутки на 100 м² конденсирующей поверхности. В настоящее время на юге Франции нет ни одного действующего конденсатора. Однако, по мнению Джюмикиса, опыты Шапталя и феодосийские конденсаторы свидетельствуют все же о том, что извлечение влаги из воздуха возможно.

Установка для конденсации атмосферной влаги, широко и многократно рекламировавшаяся ее автором, была в 1936 г. построена под Москвой, на территории Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. Тимирязева В. В. Тугариновым [82, 83]. Установка эта, судя по рисунку и описанию [82], представляла собой земляной холм, сквозь который проходит горизонтальная штольня длиной 19 м, пол которой покрыт бетоном. В штольне на полу уложено несколько слоев камня. Из середины штольни вверх выведена вертикальная шахта высотой 4,5 м. Судя по надписи на рисунке, движение воздуха днем должно происходить через вертикальную шахту вниз и через горизонтальную — наружу, причем на слоях камня конденсируется влага. Ночью движение воздуха должно иметь обратное направление. Какого-либо объяснения причин указанной суточной смены в направлении движения воздуха в статье Тугаринова не дается.

Конденсация влаги в установке наблюдалась в следующих количествах: в 1938 г.—5 л, в 1939 г.—14 л, в 1940 г.—90 л, в 1941 г.—332 л, в 1942 г. наблюдений не было, в 1943 г.—175 л, в 1944 г.—218 л, в 1945 г.—612 л, в 1946 г.—596 л, в 1947 г.—430 л.

В работе [83] Тугаринов пишет, что в разные годы наибольшая доля влаги конденсировалась в разные месяцы: иногда в июне, иногда в июле, иногда в июле и августе. Максимальная конденсация в сутки достигала 21 л.

Опираясь на результаты наблюдений на этой установке, автор полагает, что конденсация во всех районах СССР должна начинаться при давлении водяных паров 5—5,5 мм и может совершаться в любом районе СССР. Какого-либо обоснования этого вывода нет.

В статье [83] Тугаринов пытается построить теорию работы своей установки, однако его соображения изложены очень туманно. По поводу того, что в установке выделяется 600 ккал на каждый литр сконденсированной воды (причем это тепло должно быть куда-то отведено), автор пишет следующее: «Этот вопрос связан с термодинамикой процесса, имеет специальное значение и поэтому мы его не рассматриваем».

Нельзя не признать такое суждение неожиданным и странным. Ведь понять, как работает это сооружение, можно только точно установив, каким образом и куда отводится скрытая теплота, выделяющаяся при конденсации. Если эта теплота не отводится, а сохраняется и накапливается в установке (чему способствует ее теплоизолированность), то такое накопление неизбежно должно снижать интенсивность конденсационного процесса, вплоть до его полного прекращения.

Оценивая результаты эксперимента Тугаринова, мы видим, что дебит установки в первые годы быстро возрастал. В дальнейшем (1945—1947 гг.) его величина установилась на уровне 400—600 л/год. Можно предположить, что эта величина является пределом, который соответствует тому наибольшему «запасу холода», который накапливается в сооружении в холодное полугодие и который расходуется в теплое полугодие на конденсацию, а отчасти погашается прямым теплообменом с окружающей средой. Величина этого запаса неизбежно должна колебаться от года к году в зависимости от температурных и иных метеорологических условий зимы.

Попробуем проверить это предположение примерным расчетом. Длина сооружения Тугаринова 20 м. Допустим, что его ширина равнялась 5 м, а высота 4 м. Получаем объем 400 м³. Допустим, что пористость сооружения равна 50%. Следовательно, объем конденсатора равен 200 м³. Приняв удельную теплоемкость материала конденсатора равной 0,2 кал/см³, т. е. 200 ккал/(м³·°C), найдем, что теплоемкость всего конденсатора составит 40 000 ккал × °C. Если годовая амплитуда температур конденсатора равна 20°C, то «запас холода» составит 800 000 ккал. Считая скрытую теплоту парообразования равной 550 ккал/л, найдем, что за счет этого запаса холода при КПД, равном 50%, может быть сконденсировано $400\,000 : 550 = 730$ л воды. Как видим, полученная величина примерно того же порядка, что и у Тугаринова на его установке в последние годы. Это подтверждает наше предположение, что величина 400—600 л в год для этой установки является предельной.

В этом же разделе следует упомянуть еще об одной оригинальной попытке конденсации в почве водяного пара, содержащегося в атмосфере. Н. Холин и Г. Шендриков [87] описали полив виноградников в Крыму в 1957 г. в период сильной засухи. Полив был произведен с помощью гидробура, причем под каждый куст винограда было подано по 3—4 л воды. В результате такого локального полива растения были спасены и начали «бурно развиваться».

В поисках объяснения такого результата авторы описывают еще один опыт. Они пишут: «В октябре 1954 г. в Одесской области нами были поставлены такие опыты: гидробуром мы подавали в скважины на глубину 60 см по 5 л воды. После этого было произведено несколько разрезов почвы по оси скважины. В одном из них, сделанном через 12 ч, воды оказалось в четыре раза больше, чем было туда налито. А в разрезе, сделанном через 48 ч, ее стало

еще больше... Увеличение влаги в разрезанных нами скважинах произошло за счет конденсации водяных паров воздуха в увлажненном, а следовательно, и охлажденном участке почвы.

По нашему мнению, такое же явление произошло и при поливе крымских виноградников в исключительно засушливый 1957 г., когда под куст выливалось в среднем не более 4 л воды.

Точного объяснения всех явлений, связанных с конденсацией паров воздуха в почве, пока еще не дано».

Далее Холин и Шендриков ссылаются на мало понятные высказывания Тугаринова, рассмотренные нами выше (см. с. 203), и упоминают о его установке «По примеру природы», которая, как мы видели, дала весьма скромные результаты — не больше 600 л в год. Пытаясь объяснить механизм явлений, происходивших в их собственных опытах, авторы пишут: «Конденсатором влаги здесь становится сама почва. Гидробур же создает каналы в почве, по которым водяные пары воздуха устремляются в этот естественный конденсатор. По сути дела, введение воды через гидробур нужно лишь для того, чтобы создать в почве каналы, по которым устремляется горячий воздух, а это вызывает появление своеобразного подпочвенного дождя».

К сожалению, никакого цифрового материала в статье Холина и Шендрикова нет. Не указано, как определялось количество воды в почве. Поэтому дать обоснованную оценку их работе нельзя. Не ставя под сомнение успешные результаты спасения от засухи виноградников в 1957 г. (для такого сомнения никаких оснований нет), мы должны все же указать, что благоприятный эффект в какой-то и, может быть, значительной мере мог быть обусловлен тем, что вода из гидробура была подана непосредственно в ризосферу кустов и поэтому целиком была израсходована продуктивно.

Для точного же объяснения результата опыта необходимы специальные исследования с точным учетом поведения и баланса воды.

Аналогичный опыт был произведен в Таджикистане И. И. Жигаловым [30]. Он пишет, что при орошении гидробуром «значительно усиливается процесс конденсации атмосферных и почвенных паров воздуха при внесении в почву холодной воды...». Результаты опытов изложены так: «...инъекцирование воды в почву гидробуром в различных климатических условиях повышает запасы влаги в почве в зоне корневой системы растений в среднем не менее чем на 20% веса введенной жидкости. Это дополнительное увеличение влаги в почве вследствие конденсации водяных паров воздуха при нормах каждого полива до 10 и 20—30 м³/га за всю вегетацию создает большую экономию в расходовании воды...».

Таким образом, собственная оценка автором возможной величины конденсации (20% нормы полива) свидетельствует о весьма скромных результатах этого мероприятия. При указанных нормах «большая экономия» выразится величиной 0,2—0,6 мм, т. е. совершенно ничтожной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рассмотренных выше материалов позволяет сделать следующие выводы.

1. Весь достоверный экспериментальный материал свидетельствует о том, что в теплый период года во второй половине дня и ночью может происходить обогащение влагой тонкого поверхностного слоя почвы за счет конденсации в нем парообразной влаги. Толщина этого слоя, по-видимому, не превышает 1—2 см.

2. Увеличение запаса влаги в этом слое, как можно видеть из табл. 13, представляющей собой сводку всех рассмотренных фактических материалов, в подавляющем большинстве случаев измеряется несколькими десятками долями миллиметра за ночь.

3. При этом, как показано во многих рассмотренных исследованиях, источником водяного пара является не только, а иногда и не столько приземный слой атмосферы, сколько воздух, содержащийся в верхнем слое почвы толщиной, вероятно, не более 20—40 см.

4. Точка зрения А. Ф. Лебедева о существовании двух основных форм конденсации парообразной влаги атмосферы в почве — молекулярной (адсорбционной) и термической — сохранила свое значение. При этом термическую конденсацию можно считать явлением тождественным выпадению на поверхность почвы росы.

5. Поверхностный слой почвы в теплое время года при инсоляционном режиме и при отсутствии растительности в первой половине дня может сильно нагреваться и иссушаться за счет прямого поглощения лучистой энергии. Во второй половине дня, после 13—14 ч, температура этого слоя начинает понижаться, а его влажность — увеличиваться за счет гигроскопического поглощения (адсорбции) водяного пара, содержащегося в припочвенном слое атмосферы, а отчасти в почвенном воздухе поверхностного слоя почвы. Это поглощение и есть «молекулярная конденсация» Лебедева. Она продолжается до тех пор, пока влажность поверхностного слоя почвы не повысится до такой величины, при которой содержащийся в нем воздух окажется в состоянии насыщения.

6. Дальнейшее ночное радиационное понижение температуры поверхностного слоя почвы может вызвать ее понижение ниже точки росы по отношению к влажности припочвенного слоя атмосферы. Вследствие этого в поверхностном слое почвы начнется термическая конденсация, или росообразование. В эти часы суток в верхнем слое почвы температурный градиент направлен сверху вниз и поэтому пар передвигается в восходящем направлении. В этот период роль пара, содержащегося в почвенном воздухе, в конденсации будет большей, чем в период молекулярной конденсации.

7. Термическая конденсация, или росообразование, заканчивается после восхода солнца, при смене радиационного режима инсоляционным. При этом сконденсировавшаяся в поверхностном слое почвы влага более или менее быстро испаряется в атмосферу.

И поскольку эта влага, по меньшей мере частично, накопилась за счет содержащейся в почвенном воздухе, весь описанный цикл в целом имеет своим следствием непроизводительную потерю влаги из почвы.

8. Описанный процесс происходит наиболее интенсивно при безоблачном небе, при резкой смене инсоляционного режима днем радиационным режимом ночью. При пасмурной погоде оба вида конденсации существенно ослабевают. При выпадении осадков явления конденсации делаются незначительными.

9. Растительный покров изменяет описанные явления. Поверхность почвы, затененная растительностью, нагревается значительно слабее, что уменьшает размеры и даже самую возможность возникновения молекулярной конденсации вследствие менее сильного иссушения поверхностного слоя почвы. В ночное время наибольшему радиационному охлаждению подвергается растительный покров, в котором и происходит выпадение росы. Значение последней, как непосредственного источника влаги для растений, остается неясным.

10. Конденсации атмосферной влаги, по-видимому, способствует близость больших водоемов, насыщающих воздух водяным паром.

11. Стеkanie влаги, сконденсировавшейся в поверхностном слое почвы, в более глубокие слои может происходить только при грубом гранулометрическом составе почвы, т. е. при весьма малой величине наименьшей влагоемкости.

12. Возможность создания эффективно работающих искусственных конденсаторов обусловлена многими факторами. Важнейшими из них являются близость крупных водоемов (морское побережье), значительная высота над уровнем водоема, наличие регулярных ветров, несущих воздух, насыщенный водяным паром, значительная пористость тела конденсатора и крупный размер пор. Работа таких конденсаторов более вероятна за счет годовой амплитуды температур, т. е. за счет накопления «запаса холода» в холодное полугодие. За счет суточных колебаний температуры она возможна лишь при значительной суточной амплитуде температуры тела конденсатора, т. е. в условиях экстроконтинентального климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова М. М. К вопросу об эффективности летних осадков в условиях засушливого климата.— «Почвоведение», 1962, № 9.
2. Абрамова М. М., Судницын И. И., Цельникер Ю. Л. Влагодобывание и водный режим вяза мелколистного на мелиорируемом солончаковом солонце в условиях полупустыни.— «Почвоведение», 1966, № 6.
3. Абрамова М. М. О передвижении парообразной влаги в почве.— «Почвоведение», 1967, № 10.
4. Айзенштат Б. А. Тепловой баланс и микроклимат некоторых ландшафтов песчаной пустыни.— В кн.: Совр. пробл. метеор. приземн. слоя воздуха. Л., Гидрометеониздат, 1958.
5. Алексин А. Я. К вопросу о происхождении пресных подземных вод в Каракумах.— Изв. АН ТуркмССР, 1957, № 1.
6. Алексин А. Я. Конденсация и передвижение влаги в почвах и грунтах в условиях сухого климата.— «Изв. Высш. уч. зав., серия геология и разведка», 1961, № 2.
7. Ахмедсафин У. М. К вопросу о конденсационном накоплении грунтовых вод в песчаных пустынях.— «Вестн. АН КазССР», 1948, № 11.
8. Бараков П. Ф. Лизиметры и их роль в изучении свойств почвы, обуславливающих ее плодородие.— «Почвоведение», 1908, № 3.
9. Берлянд М. Е. Образование росы и испарение с почвы и влияние их на температуру и влажность приземного слоя воздуха.— «Труды ГГО», 1954, вып. 48.
10. Благовещенский Э. Н. Новые данные по внутрипочвенной конденсации.— «Метеорология и гидрология», 1940, № 3.
11. Благовещенский Э. Н. Исследования над почвенной влажностью в Восточных Каракумах.— «Изв. Туркм. фил. АН СССР», 1952, № 4.
12. Благовещенский Э. Н. О конденсации влаги в почвах пустыни.— В кн.: Пустыни СССР и их освоение, вып. 2. М.—Л., Изд. АН СССР, 1954.
13. Благовещенский Э. Н. Водный режим почвогрунтов в пустынях Средней Азии.— «Труды АН ТаджССР», 1958, т. 88.
14. Благовещенский Э. Н., Кабилов Р. С. Режим почвенной влажности в предгорьях Гиссарского хребта.— «Труды Почв. ин-та АН ТаджССР, 1960, вып. 1.
15. Большаков А. Ф. Водный режим богарных почв Узбекистана.— «Труды ИП АН СССР», 1950, т. 32.
16. Бялый А. М. Конденсация парообразной влаги из атмосферы в почву как источник увлажнения почвы.— «Соц. зерн. хоз-во», 1940, № 3.
17. Бялый А. М. Водный режим в севообороте на черноземных почвах Юго-Востока. Л., Гидрометеониздат, 1971.
18. Васильев И. С. Несколько данных о водоудерживающей способности песков.— «Вопросы географии», 1949, т. 13.
19. Водный баланс Кустанайской области. Л., Гидрометеониздат, 1966.
20. Волков И. Реальная фантастика.— «Наука и жизнь», 1968, № 11.
21. Воробьев В. И. Об одном механизме накопления почвенной влаги в пустынях.— «Метеорология и гидрология», 1974, № 12.

22. Гаель А. Г. Некоторые особенности водного режима почвогрунтов в песчаных пустынях.— «Изв. ВГО», 1938, № 4—5.
23. Гвоздилов А. В. Некоторые вопросы теории и практики закрепления и облесения песков Средней Азии. Автореф. докт. дис. Ташкент, 1966
24. Данилевский В. В. К вопросу о конденсации атмосферной влаги на основании археологических данных.— В кн.: Стеногр. 1-й конф. по конденс. водяных паров воздуха. Изд-е ЦУЕГМС. Л., 1935.
25. Дернгольц В. Ф. Древнее сооружение Тувы — конденсатор паров из надземной атмосферы.— «Природа», 1964, № 8.
26. Джаkelов А. К. Динамика и генезис влаги в зоне аэрации в песчаном массиве Муюнкум.— «Изв. АН КазССР, сер. геол.», 1966, № 6.
27. Долгов С. И., Преображенская М. В. К вопросу о конденсации водяных паров атмосферы в почве.— «Проблемы совр. почвоведения», вып. 9. М.—Л., Изд. АН СССР, 1939.
28. Долгов С. И., Житкова А. А., Виноградова Г. Б. Гидросорбционные гистерезис почвы.— В кн.: Докл. к VIII Междуна. конгр. почвов. М., «Наука», 1964.
29. Жарий С. Г. О гидрогеологии конечных морен.— «Метеорология и гидрология», 1938, № 6.
30. Жигалов И. И. Конденсация атмосферных и внутрипочвенных водяных паров воздуха при орошении гидробуром.— «Вестн. с.-х. науки», 1965, № 1.
31. Журавлев М. З. Конденсация водяных паров атмосферы верхним слоем почвы в Омске.— «Труды Омского с.-х. ин-та», 1940, т. 19.
32. Журавлев М. З. О конденсации водяных паров атмосферы поверхностным слоем чернозема.— «Почвоведение», 1955, № 9.
33. Захарченко И. Г., Бескровный Ю. Г. О конденсации водяных паров в мощных малогумусных черноземах левобережной лесостепи УССР.— «Почвоведение», 1972, № 9.
34. Зибольд Ф. И. Роль подземной росы в водоснабжении г. Феодосии.— «Почвоведение», 1904, № 4.
35. Калісник П. Конденсація водяної пари повітря в ґрунтах степових район в Україні.— «Вісник Київського Універ., сер. геол. та геогр.», 1960, № 3.
36. Карпенко В. Н. Количество росы на территории СССР по росографу.— «Труды ГГО», 1972, вып. 228.
37. Карпенко В. Н. Климатическая характеристика росы по ЕТС.— «Труды ГГО», 1972, вып. 228.
38. Карпенко В. Н. Роса. Л., Гидрометеиздат, 1974.
39. Климович В. В. Процессы конденсации в формировании подземных вод Западного Забайкалья.— «Труды 2-го совещ. по подз. водам и инж. геол. Вост. Сибири», вып. 3. Иркутск, 1959.
40. Климович В. В. Необходимость учета процессов конденсации при определении баланса подземных вод.— В кн.: Влагооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. М., Стройиздат, 1973.
41. Колосков П. И. Природные условия внутрипочвенной конденсации атмосферных паров.— «Пробл. физ. геогр.», вып. 4. М.—Л., Изд. АН СССР, 1937.
42. Колосков П. И. Сорбция как один из источников почвенно-грунтовой воды.— «Пробл. физ. геогр.», 1938, вып. 4.
43. Кудашев С. Т. Водный режим серозема необеспеченной и полуобеспеченной богары Южного Таджикистана.— «Труды Ин-та почв. АН ТаджССР», 1960, вып. 1.
44. Кузнецов С. К. О конденсации водяных паров в почве.— «Труды Почв. Комиссии Вольного экономического общества», 1903, № 1—2.
45. Кунин В. Н. Происхождение подземных вод Каракумов.— «Изв. ВГО», 1947, № 1.
46. Кунин В. Н. О глубине физико-географического воздействия.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1947, № 2.
47. Лебедев А. Ф. Конденсация воды в приморских дюнах.— «Сельское хоз-во и лесоводство», 1908, № 12.
48. Лебедев А. Ф. Роль парообразной воды в режиме почвенных и грунтовых вод.— «Труды по с.-х. метеорологии», 1913, вып. 12.

49. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. Изд-е 4-е. М., Изд. АН СССР, 1936.
50. Леонтьев В. Л. Об изменении влажности песка барханов под саксаульниками в Каракумах.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1941, вып. 2.
51. Леонтьев А. А. Источники влаги в пустыне.— «Труды Среднеаз. НИИ лесного хоз-ва», вып. 15. Ташкент, 1973.
52. Молчанов А. Л., Чуркин Н. И. Конденсация водяных паров атмосферы почвой на севере Казахстана.— «Вестн. с.-х. науки», 1972, № 8.
53. Небольсин С. И. Роса.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1945, № 6.
54. Никитин Г. П. О роли конденсации парообразной влаги атмосферы в водном режиме почв Центральной Якутии.— «Изв. вост.-сиб. фил. АН СССР», 1957, № 12.
55. Нофзингер Т. Л. Обзор методов измерения росы.— В кн.: Влажность, т. 2. Л., Гидрометеиздат, 1968.
56. Огильви Н. А., Чубаров В. Н. Изучение динамики влаги и процессов ее конденсации в зоне аэрации.— В кн.: Пресные линзы пустыни. М., Изд. АН СССР, 1963.
57. Орлов Б. П. К изучению экологических условий в юго-восточной части Закаспийских Каракумов.— «Труды по прикл. бот., ген. и сел.», т. 19. Л., 1928.
58. Павлова Е. С. О неусвояемой почвенной влаге.— «Метеорология и гидрология», 1936, № 5.
59. Петров М. П. Водный режим барханных песков и термические условия конденсации влаги в Каракумах.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1941, вып. 2.
60. Пресные линзы пустыни. М., Изд. АН СССР, 1963.
61. Рейнюк И. Т. Конденсация в деятельном слое вечной мерзлоты. Изд-е ВНИИзоолото. Магадан, 1959.
62. Роде А. А. О сорбции водяных паров как источнике почвенно-грунтовых вод.— «Почвоведение», 1946, № 7.
63. Рубинштейн М. И. К вопросу о конденсации парообразной влаги в богарных сероземах.— «Изв. АН КазССР, сер. бот. и почв.», 1961, вып. 3.
64. Саввинов Д. Д. Температурный и водный режимы лесных почв Якутии.— В кн.: Иссл. раст. и почв в лесах северо-востока СССР. Якутск, 1971.
65. Свешникова В. М. Водный режим растений и почв высокогорных пустынь Памира.— «Труды Памирской биол. станции Бот. ин-та АН ТаджССР», Душанбе, 1962.
66. Сидоров А. Н. Некоторые экспериментальные данные о конденсации водяных паров в почве.— «Изв. Азерб. фил. АН СССР», вып. 11, 1937.
67. Симавский К. К. Водный режим почв обеспеченной богары в полях севооборота.— «Труды Почв. ин-та АН ТаджССР», 1960, вып. 1.
68. Скрепинский А. Подземная роса как база пустынного земледелия.— «Бот. журн.», 1937, т. 22, № 6.
69. Славянов Н. Н. О естественных конденсаторах горных склонов и о возможностях применения конденсаторов для малолетного водоснабжения.— В кн.: Вопр. изуч. подземных вод. и инж-геол. процессов». М., Изд. АН СССР, 1955.
70. Слейтер Р., Макилрой И. Практическая микроклиматология. М., «Прогресс», 1964.
71. Сочеванов В. Е. Обзор основных исследований по конденсации водяных паров.— «Труды ГГИ», 1938, вып. 7.
72. Сочеванов В. Е. Результаты наблюдений над влагообменом и конденсацией водяных паров в песках.— «Труды ГГИ», 1938, вып. 7.
73. Сочеванов В. Е. Методика количественного учета процессов конденсации воды в песках.— «Изв. ВГО», 1938, т. 52, вып. 4—5.
74. Сочеванов В. Е. Конденсация в песках Прикаспийской низменности и методика ее определения.— «Труды ГГИ», 1938, вып. 1.
75. Сочеванов В. Е. О конденсации водяных паров в почве близ Ташкента.— «Метеорология и гидрология», 1938, № 6.

76. Сочеванов В. П. Формы почвенной конденсации.— «Метеорология и гидрология», 1939, № 12.
77. Стапренс В. Я. О капиллярной конденсации. Рига. Изд-е АН ЛатвССР, 1955.
78. Стенограмма Первой конференции по конденсации водяных паров воздуха. М., Изд. ЦУЕГМС, 1935.
79. Ткаченко И. Д., Калісник П. Конденсація вологи в суглинистих ґрунтах лісостепу.— «Фізгеогр. та геоморф. Міжвід наук, збірн.», 1972, вып. 8.
80. Точилов В. И. О воде из воздуха и устройствах для ее получения.— «Природа», 1940, № 12.
81. Точилов В. И. О роли конденсации в генезисе грунтовых вод Бакинского плато.— «Труды энергетического ин-та им. Есьмана», 1946, т. 7.
82. Тугаринов В. В. Конденсация водяных паров воздуха.— «Сов. агрономия», 1946, № 3.
83. Тугаринов В. В. Некоторые результаты изучения процессов конденсации водяных паров из воздуха.— В кн.: «Вопросы изучения подземных вод и инж.-геол. процессов». М., Изд. АН СССР, 1965.
84. Хачатурян С. А. К вопросу о конденсации водяных паров воздуха в условиях орошаемых районов Армянской ССР.— «Изв. АН АрмССР», 1954, т. 12, № 12.
85. Ходжамуратов Т. Годовой ход влажности в пустынных песчаных почвах, изолированных от просачивания атмосферных осадков.— «Пробл. освоения пустынь», 1967, № 2.
86. Ходжамуратов Т., Курбанизаров М. Изучение конденсации влаги в песчаной пустыне.— «Пробл. освоения пустынь», 1972, № 2.
87. Холин Н., Шендриков Г. Воду можно добывать из воздуха.— «Техника—молодежи», 1968, № 7.
88. Худяков И. Е., Колотильщиков В. И. Заметка об опытах по изучению конденсации влаги в известняковых наносах Южного берега Крыма.— «Матер. ЦНИГРИ. Гидрогеология», вып. 4. Л., 1934.
89. Чубаров В. Н. Питание грунтовых вод песчаной пустыни через зону аэрации. М., «Недра», 1972.
90. Шван-Гурійський І. В., Авдеев В. М. Конденсационная способность песчанистых почв Прибалхашской низменности.— «Бюлл. научн.-техн. инф. Кирг. НИИ животноводства и ветерин.», 1961, № 6.
91. Швец А. В. К вопросу о внутрипочвенной конденсации влаги.— «Метеорология, климатология и гидрология», вып. 2. Киев, 1966.
92. Шебеко В. Ф. Величина конденсации влаги на поверхности болот.— «Труды Белорусского НИИ мелиорации и водного хоз-ва, 1962, т. 10.
93. Широких П. К вопросу о поглощении паров воды из воздуха.— «Сельское хоз-во и лесоводство», 1898, № 4.
94. Юрьев Ю. Н. Влияние плотности сложения почвы на испарение и конденсацию влаги.— Инф. листок № 430-71 Ин-та почв. и агрох. СО АН СССР, 1971.
95. Янович П. Вода из воздуха.— «Наука и жизнь», 1968, № 11.
96. Янович П. Возродить единство воды и почвы.— «Сибирские огни», 1969, № 11.
97. "Aerial Wells" and soil moisture (без автора). Trop. agr. vol. XIII, N 2.
98. Bас S., Marsilonen S. Przebieg procesow kondensacji pary wodnej w piaskach u zwirzl.— "Przegliad meteor. i hydrol", vol. 8, N 2, 1955.
99. Boss G. Kondensation über der Erdoberfläche als Hilfsquelle für die Wasserversorgung von Wüstenpflanzen.— „Meteor. Rundschau“, 1972, Bd 25, H 6.
100. Chaptal L. La rosée et le dépôt aquen de l'atmosphère.— "Annales de la science agronomique", 1930, vol. 47, N 1.
101. Chaptal L. La lutte contre la sécheresse la captation de la vapeur d'eau atmospherique.— "La Nature", 1932, N 2893.
102. Damagnez J. Les propriétés hydrosopiques des sols et les apports secondaires d'humidité.— "Ann. agr.", 1958, vol. 5.
103. Duvdevani S. Dew in Israel and its effect on plants.— "Soil Sci.", 1964, vol. 98, N 1.
104. Fowells G. A., Kirk B. M. Availability of soil moisture to Ponderosa

- pine.— "J. et Forestry", 1945, vol. 43, N 7.
105. Hann J. Über eine neue Quellentheorie auf meteorologischer Basis.— „Ztschr. für Oester. Gesellsch. für Met.“, 1880, Bd 15.
 106. Harrold L. L., Dreibelbis F. R. Agricultural hydrology as evaluated by monolith lysimeters.— "U. S. Dep. Agr. Techn. Bull.", 1951, N 1050.
 107. Hesselink E. van, Hudig J. Hat die Kondensation der Luftfeuchtigkeit im Boden Bedeutung für die Bildung des Grundwassers? — „Meteor. Ztschr.“, 1923, Bd 40, H 6.
 108. Jones R. L. The effect of surface wetting on the transpiration of leaves.— "Physiologia plantarum", 1957, vol. 10, N 2.
 109. Jumikis A. R. Aerial wells—secondary sources of water.— "Soil Sci.", 1965, vol. 100, N 2.
 110. Lugeon J. Condensation dans les dunes du Grand Erg. C.R.Ac. Sc. 1930, vol. 191, Paris.
 111. Mack Ilroy J. C. 1960. Lecture notes. Regional Course in Microclimatology. UNESCO. Cairo.
 112. Masson H. La rosée et la possibilité de son utilisation Annales de l'école super. de science. Inst. des hautes études de Dakkar. 1954, vol. 1.
 113. Mengel O. Du rôle de la condensation de la vapeur d'eau dans l'alimentation de sources. C.R.Ac. Sc. 1931, vol. 193.
 114. Monteith J. L. Dew.— "Quart. J. Roy. Meteor. Soc.", 1957, vol. 83, N 357.
 115. Monteith J. L. Dew. Facts and Fallacies. The water relations of plants. L., Blackwell sc. publ., 1963.
 116. Pasteur S. Condensation occulte.— "L'agr. pratique", 1954, vol. 118, N 3.
 117. Scheller H. Condensation occulte, en particulier dans l'affleurement de terrain calcaire ou gresen de l'Afrique du nord.— In: Colloque internationale du Centre national de recherches scientifiques, 1953, vol. 35, Paris.
 118. Scheller H. Aride zone hydrology. Aride zone research. UNESCO, 1959, vol. 12.
 119. Stone E. C., Went F. E., Young C. L. Water absorption from the atmosphere by plants growing in dry soil.— "Science", 1950, vol. 3, N 2890.
 120. Stone E. C., Fowells G. A. Survival value of dew under laboratory conditions with *Pinus ponderosa*. Forest sc. 1955, vol. 1, N 3.
 121. Stone E. C. Dew as an ecological factor.— "Ecology", 1957, vol. 38, N 3.
 122. Volger O. Über eine neue Quellentheorie auf meteorologischer Basis.— "Meteor. Ztschr.", 1877.

СОДЕРЖАНИЕ

Многолетняя изменчивость атмосферных осадков и элементов водного баланса почв (под редакцией д-ра геогр. наук О. А. Дроздова)

Введение	3
Краткий обзор литературы по цикличности атмосферных осадков	6
Методы исследования и характеристика использованных материалов . . .	10
Изменчивость полугодовых и годовых сумм осадков, выявляемая мето- дом скользящих средних сумм	18
Разложение многолетних рядов полугодовых и годовых сумм осадков на серии	36
Многолетняя изменчивость месячных сумм осадков теплого полугодия	66
Анализ рядов осадков с помощью автокорреляционной и спектральной функций	75
Временная изменчивость элементов водного баланса почв	79
Заключение	91

Конденсация в почве парообразной влаги атмосферы

Введение	130
Исследования А. Ф. Лебедева и критические суждения П. И. Колоскова	133
Экспериментальное изучение конденсации атмосферной влаги в песках и более грубых материалах	140
Экспериментальное изучение конденсации атмосферной влаги в суглини- стых и глинистых почвах	174
Росообразование	188
Наблюдения за некоторыми естественными родниками	197
Искусственные сооружения для конденсации водяного пара из атмосферы	201
Заключение	206

Алексей Андреевич Роде
ВОПРОСЫ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ

Редактор А. Б. Котиковская. Художник В. Г. Гузь.
Техн. редактор Н. Ф. Грачева. Корректор И. А. Динабург.
ИБ № 836

Сдано в набор 17.04.78. Подписано в печать 03.11.78. М-09650. Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 1.
Лит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 16,38. Тираж 2900 экз. Индекс АЛ-26, АЛ-82.
Заказ № 244. Цена 2 р. 30 к. Гидрометеиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.