

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.5

А.В. Шумихина
ДИНАМИКА РЕЖИМА ОСАДКОВ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ И ИХ СВЯЗЬ С
ИНДЕКСАМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ¹

Казанский федеральный университет, г. Казань

Рассмотрен режим осадков на территории Удмуртской Республики за период 1961–2014 гг. Рассчитаны основные характеристики, исследованы пространственно-временная закономерность распределения величин и их динамика в климатическом разрезе, изучены взаимосвязи между суммами осадков и индексами атмосферной циркуляции. Определено, что режим осадков соответствует континентальному типу климата с наибольшей изменчивостью величин в теплую половину года. Годовые значения основных характеристик режима осадков постепенно растут; основной вклад в рост последних лет вносят переходные март, апрель, октябрь, а также декабрь. Годовая сумма числа дней с осадками увеличивается преимущественно за счет роста данной характеристики в холодный период, а суточное количество осадков – в основном благодаря теплому периоду. Связь количества осадков с индексами циркуляции атмосферы обнаруживается в основном в зимние и переходные месяцы года, наиболее информативным индексом является скандинавское колебание.

К л ю ч е в ы е с л о в а : осадки, режим осадков, климат, изменение климата, индексы циркуляции.

A.V. Shumikhina
PRECIPITATION PATTERN DYNAMICS IN THE UDMURT REPUBLIC AND ITS
CONNECTION WITH ATMOSPHERIC CIRCULATION INDEX

Kazan Federal University, Kazan

The paper considers the precipitation pattern in the Udmurt Republic for the period 1961 – 2014. The basic characteristics are calculated and the connections between the precipitation pattern and atmospheric circulation Index are examined, the spatiotemporal patterns of values distribution and their dynamics in the context of climate are investigated. The data shows that the precipitation pattern corresponds to the continental climate type with the greatest variability in the warm half of the year. The annual values for the main characteristics of the precipitation pattern increase; the main contribution to the increasing precipitation in recent years have been made by transitional months March, April, October and December. The annual amount of precipitation increases first of all due to its increase during the cold season, daily precipitation mainly increases due to the warm period. The connection between the amount of precipitation and atmospheric circulation Index is found mainly in winter and transitional months of the year. The most informative index is Scandinavia teleconnection index.

К e y w o r d s : precipitation, precipitation pattern, climate, climate change, atmospheric circulation Index

doi 10.17072/2079-7877-2017-1-73-85

Важным метеорологическим элементом являются атмосферные осадки. Знание режима осадков необходимо для различных аспектов жизнедеятельности человека, включая сельское хозяйство, энергетику и транспорт [2]. Сезонное распределение и межгодовая изменчивость атмосферных осадков определяют состояние природных экосистем, а также обуславливают особенности хозяйственной деятельности человека в конкретном регионе [4].

Количество осадков измеряется с помощью осадкомера толщиной слоя жидкой воды (в миллиметрах), который мог бы образоваться после выпадения осадков на горизонтальную

© Шумихина А.В., 2017

¹Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных исследований (проект № 15-05-06349)

непроницаемую поверхность. За рассматриваемый в работе период (1961–2014 гг.) на всех станциях территории измерение количества осадков производилось при помощи осадкомера Третьякова. Таким образом, неоднородность ряда, имевшая место при переносе станций в 30-е гг. XX столетия и замене приборов в начале 1950-х, в данном ряду исключается.

На территории Удмуртской Республики осадки наблюдаются в виде дождя, мороси, снега, мокрого снега, крупы, града. В холодную половину года они в основном носят обложной характер – выпадают преимущественно из высоко-слоистых и слоисто-дождевых облаков и распространяются на больших площадях. Летом осадки чаще принимают ливневой характер – выпадают в неустойчивых воздушных массах из кучево-дождевых облаков, отмечаются локально и значительно варьируются по интенсивности. Также осадки могут носить морозящий характер, если выпадают из плотных слоистых и слоисто-кучевых облаков в устойчивых воздушных массах – в основном это наблюдается в осенние и зимние месяцы.

Согласно [6] существуют следующие градации для жидких и твердых осадков, применяемые и на территории Удмуртской Республики:

Таблица 1

Градации жидких и твердых осадков, мм

<i>Градации жидких и смешанных осадков</i>		<i>Градации твердых осадков</i>	
Небольшой дождь	0,0–2	Небольшой снег	0,0–1
Умеренный дождь	3–14	Умеренный снег	2–5
Сильный дождь (неблагоприятное явление)	15–49	Сильный снег (неблагоприятное явление)	6–19
Очень сильный дождь (опасное явление)	≥ 50	Очень сильный снег (опасное явление)	≥ 20

Так как в теплую половину года количество выпадающих осадков даже на небольшой территории может существенно отличаться, летняя картина, описываемая данными восьми метеостанций, отражает закономерность распределения величины менее точно, нежели зимой.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследования послужили результаты наблюдений на 8 метеостанциях Удмуртской Республики за период с 1961 г. по 2014 г. и индексы атмосферной циркуляции NAO, AO, SCAND, EA.

Анализировались климатические ряды количества осадков, сумм осадков за ночь и за день, максимальное суточное количество осадков, число дней с осадками различных градаций. Были рассчитаны средние, максимальные и минимальные значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты наклона линейного тренда, а также коэффициенты корреляции между индексами циркуляции и количеством осадков. Достоверность результатов оценивалось с помощью критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Годовая и месячная суммы осадков. Многолетняя годовая сумма осадков на территории Удмуртии в среднем (за период с 1961 по 2014 г.) равна 568 мм. В зависимости от знака средних месячных температур воздуха и определяемого температурным режимом преимущественного вида выпадающих осадков год принято делить на холодный и теплый периоды [5]. На территории Удмуртской Республики холодный период, в течение которого наблюдаются осадки преимущественно в виде снега, продолжается с ноября по март. Соответственно, теплый период с жидкими осадками длится с апреля по октябрь. В теплый период выпадает 387 мм, в холодный период – 181 мм. Годовой ход, отображенный на рис. 1, соответствует распределению осадков, свойственных континентальному климату, – выявляется максимум в июле (69,2 мм) и минимум в феврале (25,9 мм). Рост количества осадков весной происходит интенсивнее, нежели уменьшение их количества осенью. Максимальный скачок в росте происходит в период с мая по июнь и в среднем по региону составляет 20 мм.

Пространственное распределение сумм осадков неоднородно и зависит от характера атмосферной циркуляции, а также от высоты, формы и ориентации рельефа местности и наличия на территории лесных массивов, водоемов, речных долин и др. Наиболее влагообеспеченными являются юго-

западные районы республики (ст. Можга – 629 мм), а также станции Игра и Воткинск. В центральной части республики, а также на северо-востоке (на станциях Селты, Дебесы и Ижевск) выпадает наименьшее количество осадков, причем минимум фиксируется в Ижевске – 522 мм (табл. 2).

В холодную половину года более влагообеспеченными являются юго-западные районы республики с максимумом количества осадков в Можге, равном 221 мм; в меньшем количестве осадки фиксируются по северным районам и на центральной станции Ижевск, минимум наблюдается на северо-востоке республики (ст. Дебесы) – 155 мм. Таким образом, пространственная изменчивость количества осадков холодной половины года составляет 65 мм. Подобная пространственная закономерность от максимума на юго-западе к минимуму на северо-востоке стабильна в течение всего холодного периода, наибольшая разница между количеством осадков на станциях наблюдается в декабре и составляет 16 мм.

В теплый период осадки носят локальный характер и во многом зависят от местных условий. Разница между пространственным максимумом и минимумом меньше зимнего и составляет 48 мм. Больше количество дождей отмечается также в Можге (408 мм) и по северным и центральным районам (ст. Глазов и Игра). Меньше выпадающей влаги наблюдается в восточных районах на станциях Сарапул, Воткинск и Ижевск с минимумом в Ижевске (360 мм). Внутри теплого периода пространственное распределение величины носит сложный характер и изменяется от месяца к месяцу. Например, в июле максимум принадлежит северной станции Дебесы – 75 мм, минимум – южной станции Сарапул – 60 мм, в августе картина меняется и в Сарапуле наблюдается максимальное количество осадков – 65 мм, а минимум отмечается на северной станции Глазов – 60 мм. Наибольшие пространственные отличия отмечаются в июле и составляют 15 мм.

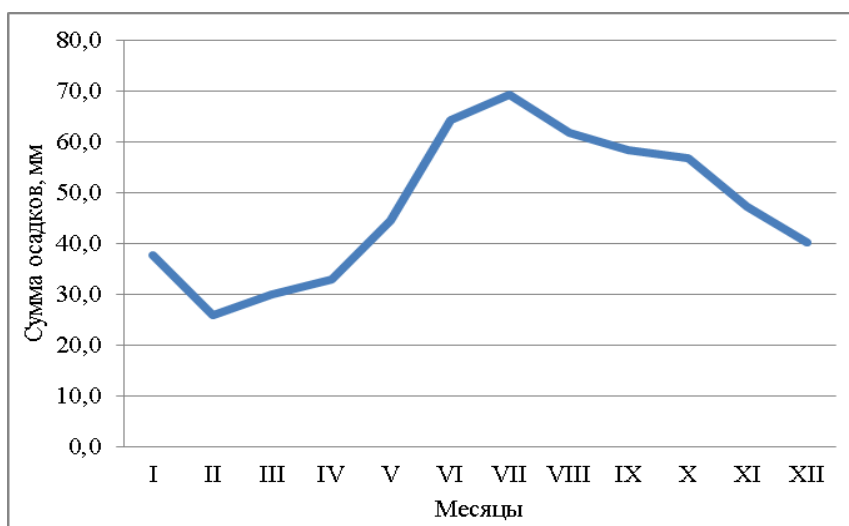


Рис. 1. Годовой ход сумм осадков, осредненный по территории Удмуртской Республики

Таблица 2

Средние месячные и годовые значения суммы осадков, мм

Станция	Месяц												Год	Теплый период	Холодный период
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
Глазов	33	23	28	34	41	70	72	60	61	61	43	37	564	400	164
Дебесы	33	23	25	32	45	64	75	61	61	53	41	34	546	391	155
Игра	39	26	32	34	47	66	73	63	63	59	49	42	593	405	189
Селты	33	23	28	32	44	62	73	60	57	57	45	35	549	384	165
Воткинск	43	28	31	33	44	60	66	62	56	57	51	44	575	379	197
Ижевск	33	24	27	29	41	61	64	62	52	52	43	36	522	360	162
Можга	46	32	37	38	47	71	71	61	61	60	56	50	629	408	221
Сарапул	41	29	30	31	46	60	60	65	55	56	48	44	563	371	192
Среднее	38	26	30	33	44	64	69	62	58	57	47	40	568	387	181

Количество осадков – наиболее изменчивая метеорологическая величина, о чем свидетельствуют средние квадратические отклонения величины σ . СКО испытывает аналогичный годовой ход с минимумом зимой и максимумом в летнее время. В феврале среднее по Удмуртии σ равно 13 мм, в июле оно достигает значения 37 мм, что составляет почти половину от значения средней суммы осадков в этом же месяце (табл. 3). Временной разброс значений сумм осадков отдельных лет составляет от 63 мм в феврале до 166 мм в июле.

Таблица 3

Средние квадратические отклонения количества осадков, мм

Станция	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глазов	14	10	16	21	22	33	44	31	30	26	20	15
Дебесы	14	10	16	18	24	34	34	26	38	21	18	14
Игра	18	13	17	21	30	33	39	30	34	23	22	17
Селты	15	11	17	20	24	33	43	31	30	24	20	15
Воткинск	21	15	19	19	27	33	35	31	32	24	24	20
Ижевск	16	14	18	16	26	32	32	36	29	23	20	18
Можга	20	16	22	20	28	41	35	34	33	29	24	22
Сарапул	17	16	18	18	26	31	31	34	31	24	22	20
Среднее	17	13	18	19	26	34	37	32	32	24	21	18

За наблюдаемый период не было отмечено ни одного абсолютно сухого месяца. Минимальные месячные суммы осадков, наблюдавшиеся в Удмуртии, варьируются от 0,0–1 мм в феврале и марте до 1–15 мм в июне–августе. Значение 0,0 мм наблюдалось дважды: в феврале 1984 г. на станции Сарапул и в марте 1987 г. на станциях Ижевск и Сарапул. В теплый период наименьшая месячная сумма (0,6 мм за месяц) была отмечена на станции Глазов в мае 1963 г.

Максимальное месячное количество осадков варьируется от слоя жидкой воды в 46–88 мм в феврале до 121–237 мм в июне–августе. Абсолютный максимум, равный 237 мм, был зафиксирован в августе 1984 г. на станции Ижевск.

О пространственной изменчивости поля осадков свидетельствует амплитуда между максимальными и минимальными месячными суммами за конкретный месяц. В холодный период, когда выпадающие осадки носят повсеместный характер, средняя амплитуда равна 18–28 мм, причем в период с ноября по январь она выше: 24–28 мм, в феврале и марте – 18–21 мм. Летом, когда осадки носят локальный характер и часто формируются за счет внутримассовой конвекции, не связанной с прохождением фронтов, средняя амплитуда вырастает в два–три раза (52–62 мм). В отдельные годы разница в месячной сумме осадков может достигать 150 мм в месяц (июль 1994 г.).

В работе также были проанализированы суммы ночных и дневных осадков. В период с октября по апрель их соотношение почти одинаково (табл. 4). В конвективный период (с мая по сентябрь) количество дневных осадков (фиксируемых с 7 ч утра до 19 ч вечера по местному времени) превышает количество ночных. Наиболее значительная разница наблюдается в июле, достигая 15 мм на станции Селты.

Максимальное суточное количество осадков за месяц, также как и месячная сумма осадков, имеет годовой ход с максимумом в июле и минимумом в феврале (табл. 5). Самые низкие максимальные суточные суммы наблюдаются в феврале – 6 мм, наибольшие, как правило, в июле – в среднем 21 мм. Максимальные значения данной характеристики в феврале не превышают 15–16,5 мм за сутки, на станции Дебесы – всего 10,9 мм. В период с мая по сентябрь максимальное суточное количество дождей на различных станциях не превышало значений 30–97,6 мм. Абсолютный суточный максимум (97,6 мм) зафиксирован на станции Можга 29 июня 1986 г. при прохождении холодного фронта.

Таблица 4

Средние ночные и дневные суммы осадков, мм

Станция		Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глазов	ночь	16	11	15	17	19	31	29	27	28	30	22	17
	день	17	11	13	17	23	39	43	33	33	31	21	19
Дебесы	ночь	16	11	13	16	21	29	32	29	29	26	20	16
	день	16	12	12	17	25	35	43	32	32	27	21	18
Игра	ночь	20	14	16	17	21	31	34	30	29	29	25	20
	день	19	13	16	17	27	35	39	32	34	30	24	21
Селты	ночь	17	11	15	16	20	29	28	27	26	28	22	17
	день	16	11	14	16	24	33	43	33	31	29	23	18
Воткинск	ночь	21	14	16	16	20	29	27	27	26	28	25	21
	день	21	14	15	17	24	31	38	36	31	29	25	23
Ижевск	ночь	17	12	14	14	19	27	26	27	24	26	22	17
	день	17	12	13	15	22	33	39	35	28	26	21	18
Можга	ночь	23	16	19	16	21	34	33	28	27	29	28	24
	день	23	16	18	21	26	37	38	33	34	39	28	26
Сарапул	ночь	21	15	16	15	23	26	28	27	25	28	25	21
	день	20	14	15	16	23	34	32	39	30	28	23	23

Таблица 5

Средние значения максимального за сутки количества осадков, мм

Станция	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глазов	6	6	7	10	12	20	21	17	16	12	9	7
Дебесы	6	5	6	10	13	18	21	18	15	11	9	6
Игра	7	6	8	10	14	18	23	17	17	11	10	8
Селты	6	6	7	10	13	17	22	17	15	12	10	7
Воткинск	8	7	8	10	14	18	21	18	16	13	12	9
Ижевск	6	6	7	10	13	18	20	18	15	12	10	7
Можга	8	8	9	11	14	22	22	16	17	14	12	10
Сарапул	8	7	7	10	14	18	22	20	15	13	11	9
Среднее	7	6	8	10	14	19	21	18	16	12	10	8

Число дней с осадками различной градации. Информативной характеристикой в изучении режима осадков является число дней с осадками различных градаций. В среднем по Удмуртской Республике осадки наблюдаются в большую часть года – 218 дней (60% общего числа дней в году). Чаще они выпадают по юго-западу республики на станции Можга (в количестве 230 дней), реже всего – на северо-востоке (ст. Дебесы) и юго-востоке (ст. Сарапул) – 206 дней. В теплый период (с апреля по октябрь) дожди в среднем наблюдаются 112 дней (52% общего числа дней за летний период), в холодный – 106 дней (70% общего числа дней за зимний период). Летом пространственная закономерность распределения числа дней с осадками аналогична годовой – на юго-западе в среднем на 14 больше дождливых дней, чем на северо-востоке региона (119 и 105 дней соответственно). В холодный период данная разница сокращается до 11 дней, максимум наблюдается на станции Ижевск – 111 дней, минимум сохраняется на востоке региона – ст. Дебесы и Сарапул (100 дней).

Годовой ход числа дней с осадками (рис. 2, табл. 6) отличается от годового хода сумм осадков: наибольшая повторяемость наблюдается в декабре и равна 23–25 дням в месяц. В феврале происходит резкое сокращение числа дней до 17–19, а меньше всего таких дней наблюдается в апреле – 12–15. В летний период (с мая по август) число дней с осадками равняется в среднем 14–17 дням. Существенно увеличивается повторяемость таких дней в октябре – до 19–22 дней. Таким образом, разница в частоте дней с осадками между холодной и теплой половинами года доходит до 10 дней. В зависимости от циркуляционных условий отклонения от средних значений в отдельные годы существенны. К примеру, в декабре осадки могут наблюдаться каждый день в течение всего месяца (однако число таких случаев не превышает по северу республики 1–3, по центру и югу – 4–5), а могут фиксироваться всего 4–7 дней в месяц (кроме Можги, где минимальное количество дней с осадками составило 12). В апреле максимальное количество дней с осадками составляет 21–24 дня, минимальное – 1–4 дня. За наблюдаемый период не встречалось ни одного случая с полным отсутствием осадков в течение месяца.

Среднее квадратическое отклонение количества дней с осадками несущественно изменяется в течение года и в среднем равно 4–5 дням.

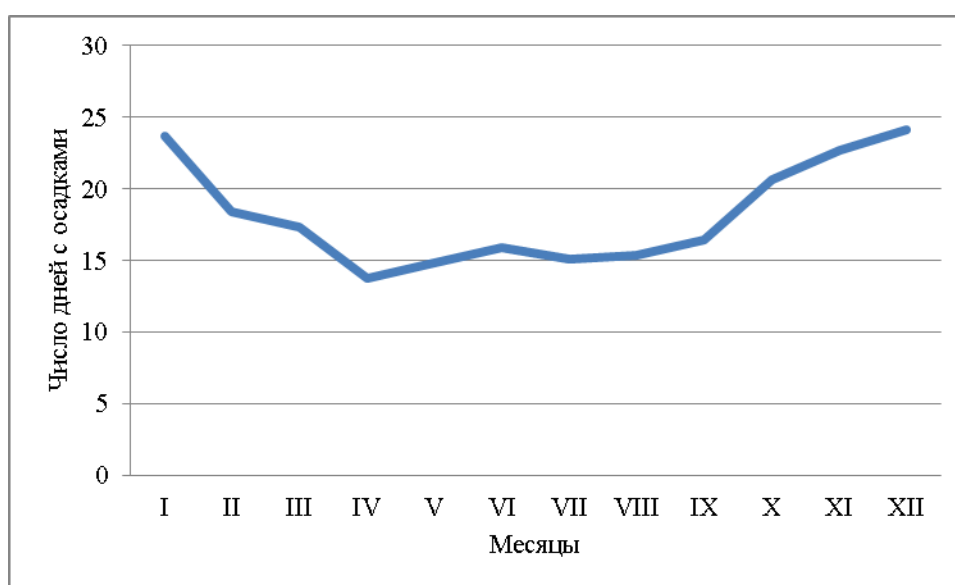


Рис. 2. Количество дней с осадками, осредненное по территории Удмуртской Республики

Таблица 6

Количество дней с осадками

Станция	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глазов	24	19	18	14	14	15	14	15	16	21	23	24
Дебесы	22	17	16	13	14	15	14	15	16	19	21	23
Игра	24	19	18	15	16	17	16	16	18	22	24	25
Селты	24	18	17	14	15	16	15	15	16	20	22	24
Воткинск	24	19	17	14	15	16	15	15	17	21	23	24
Ижевск	25	19	18	14	15	17	16	16	17	21	24	25
Можга	25	19	18	14	16	17	17	17	17	21	24	25
Сарапул	22	17	16	12	15	15	14	15	15	20	21	23
Среднее	24	18	17	14	15	16	15	15	16	21	23	24

Повторяемость числа дней с суточной суммой осадков 5 и более миллиметров. Дни с осадками более 5 мм встречаются наиболее редко в феврале – в среднем 1 день, с июня по октябрь средняя повторяемость равна 4 дням. В феврале повторяемость таких дней не превышала 3–6

(максимум в количестве 6 дней отмечен на станции Сарапул в феврале 1966 г.), с июня по октябрь она может достигать 9–14 дней (максимум в количестве 14 дней отмечен в июле 1987 г. на ст. Глазов). Межгодовая изменчивость данной повторяемости, выраженная в среднем квадратическом отклонении, равна 1 дню в феврале и 2–2,5 дням в июне–октябре.

Суточное количество осадков более 10 мм в зимнее время встречается редко – средняя повторяемость в период с ноября по апрель меньше одного дня. Реже всего такие осадки встречаются в феврале – в среднем в 12% случаев общего количества лет. Максимум средняя повторяемость достигает в июле, который равен 2 дням; в период с июня по август дожди в количестве более 10 мм выпадают часто (фиксируются в 80–90% случаев общего числа лет). За период с декабря по март максимальное число таких дней не превышает 1–3. В период с мая по октябрь максимальное количество дней в среднем равно 4–6. Абсолютный максимум в количестве 8 дней принадлежит июлю 1987 г. на станции Глазов.

Количество осадков более 20 мм – очень редкое явление со средней повторяемостью менее 1 суток в месяц в течение всего года. В феврале за рассматриваемый период суточное количество осадков более 20 мм в республике ни разу не встречалось. В январе лишь однажды за сутки выпало более 20 мм – 9 января 1983 г. на станции Воткинск, на остальных станциях случаев не было зафиксировано. Значительно возрастает число случаев с осадками более 20 мм в период с мая по сентябрь, чаще всего они встречаются в июле (средняя повторяемость – 0,6 дней), почти каждый второй год в центральный месяц лета наблюдаются подобные дожди (в 45% случаев общего числа лет). Максимальная повторяемость достигает в июле 2–5 дней, абсолютный максимум в количестве 5 дней принадлежит июлю 1994 г. в станции Селты. В октябре по сравнению с сентябрем повторяемость уменьшается с 0,3 до 0,1, в ноябре число лет, когда встречаются дни с осадками более 20 мм, сокращаются до 1.

Суточная сумма осадков более 50 мм встречается крайне редко и лишь в период с мая по сентябрь. Максимальная повторяемость градации не превышает 2 случаев в июле 1994 г. на станции Селты и в августе 1984 г. на станции Сарапул. Максимальное число лет, в которые наблюдались подобные случаи, равно 4 в июне на станции Можга. На ряде станций данная градация не встречалась ни разу.

Количество осадков более 80 мм как экстремальное явление было зафиксировано лишь дважды – 29 июня 1986 г. на станции Можга (97,6 мм) при прохождении холодного фронта и 5 августа 1984 г. на станции Ижевск (80 мм) при прохождении фронта окклюзии.

Межгодовая изменчивость количества осадков. В [1] отмечается, что за период 1936–2010 гг. практически на всей европейской части России, а также в Центральной Сибири наблюдается увеличение годовых сумм атмосферных осадков. Коэффициент линейного тренда составляет при этом 0,3 мм/месяц за 10 лет.

Для анализа динамики режима осадков в Удмуртской Республике были построены линейные тренды характеристик для всех месяцев на каждой метеостанции, для годовых значений, теплого и холодного периодов; а также полиномиальные тренды пятой степени для осредненных по территории республики характеристик в различные периоды. Полиномиальное сглаживание в большую часть года статистически значимо, коэффициент детерминации R^2 выше 0,8; исключения составляют летние месяцы июнь и июль, а также в ряде случаев ноябрь и январь. Линейные тренды в большинстве не подтверждаются коэффициентом детерминации; описаны лишь статистически значимые результаты анализа. Результаты расчетов представлены в табл. 7 и на рис. 3–5.

Полиномиальное сглаживание динамики месячных сумм осадков отражает сложную и разнородную структуру изменений величины от месяца к месяцу. Сумма осадков с начала XXI в. уменьшается в феврале, мае, июне и ноябре и уверенно растет в марте, апреле, октябре и декабре.

Линейный рост количества осадков со временем отмечен на станциях Игра и Воткинск преимущественно в холодную половину года (в октябре, декабре, январе и марте). Коэффициенты наклона линейного тренда (далее КНЛТ) годовой суммы осадков имеют положительный знак в северных и центральных районах республики. Максимальная скорость роста отмечается на восточной станции Воткинск: 3,2 мм/10 лет. В южных районах Удмуртии (ст. Можга, Сарапул, Ижевск) КНЛТ годовых сумм статистически не значимы ($R^2 = 0,01$). В теплый и холодный периоды суммы осадков увеличиваются со временем на всех станциях кроме Ижевска, где знак КНЛТ суммы осадков холодного периода отрицательный, а скорость равна – 2 мм/10 лет.

Полиномиальная аппроксимация свидетельствует о плавном росте годовых сумм осадков за рассматриваемый период. Суммы осадков теплого периода значительно растут в 1960–2000 гг., рост замедляется в 1990 гг., а в начале XXI в. происходит их слабое уменьшение. Количество осадков

холодного периода уменьшалось в период с 1960 до начала 1980-х гг., после чего произошел резкий рост, достигший максимума в первой декаде XXI в.

В среднем по Удмуртии годовая сумма осадков растет со скоростью 1,36 мм/10 лет, что превышает осредненную по территории Российской Федерации скорость роста в 4,5 раза.

Таблица 7

Коэффициенты линейного тренда и коэффициент детерминации для сумм осадков, числа дней с осадками и максимальным суточным количеством осадков за месяц (интенсивность осадков) за разные периоды

Станция	КНЛТ	Период								
		Сумма осадков			Число дней с осадками			Максимальная суточная сумма осадков за месяц		
		Годовая сумма	Сумма за теплый период	Сумма за холодный период	Годовая сумма	Сумма за теплый период	Сумма за холодный период	Ср. значение за год	Ср. значение за теплый период	Ср. значение за холодный период
Глазов	<i>a</i>	1,55	1,04	0,52	0,29	-0,03	0,32	0,04	0,04	0,02
	R ²	0,12	0,05	0,05	0,05	0,00	0,15	0,08	0,05	0,06
Дебесы	<i>a</i>	1,44	1,27	0,16	0,45	0,14	0,03	0,04	0,07	0,01
	R ²	0,10	0,09	0,01	0,15	0,05	0,15	0,16	0,16	0,01
Игра	<i>a</i>	3,05	1,33	1,72	0,74	0,30	0,44	0,06	0,07	0,05
	R ²	0,28	0,08	0,32	0,29	0,11	0,26	0,19	0,12	0,18
Селты	<i>a</i>	2,30	1,82	0,48	0,65	0,25	0,40	0,05	0,07	0,01
	R ²	0,17	0,14	0,04	0,18	0,06	0,20	0,15	0,15	0,01
Воткинск	<i>a</i>	3,82	1,84	1,98	0,24	0,01	0,23	0,08	0,10	0,07
	R ²	0,32	0,13	0,33	0,03	0,00	0,08	0,30	0,19	0,22
Ижевск	<i>a</i>	-0,57	0,26	-0,82	0,34	0,02	0,32	0,00	0,02	-0,03
	R ²	0,01	0,00	0,08	0,05	0,00	0,13	0,00	0,01	0,04
Можга	<i>a</i>	0,81	0,69	0,12	0,75	0,35	0,40	0,16	0,02	0,00
	R ²	0,01	0,01	0,00	0,20	0,13	0,18	0,01	0,01	0,00
Сарапул	<i>a</i>	0,63	0,49	0,14	0,13	0,00	0,12	0,01	0,03	-0,01
	R ²	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
Среднее по УР	<i>a</i>	1,63	1,09	0,54	0,45	0,13	0,32	0,04	0,05	0,01
	R ²	0,12	0,07	0,05	0,12	0,03	0,16	0,18	0,16	0,02

Линейные тренды числа дней с осадками за отдельные месяцы в большинстве статистически не значимы, кроме КНЛТ января и декабря, где они имеют положительный знак. На западных станциях Селты и Можга прослеживается увеличение числа дождливых дней и в мае. Полиномиальные тренды, осредненные по региону, указывают на уменьшение в XXI в. числа дней с осадками в январе, феврале и мае и рост за тот же период в переходные сезоны: в марте, апреле, октябре.

Число дней с осадками теплого периода значительно увеличивается в 1960–1980 гг., в следующие 20 лет оно несущественно снижается. В холодный период отмечен более плавный рост характеристики в течение всего периода и несущественный спад за последние годы. Согласно анализу линейных трендов годовая сумма дней с осадками растет со временем со средней скоростью 1 день за 20 лет преимущественно за счет увеличения данной характеристики в холодный период.

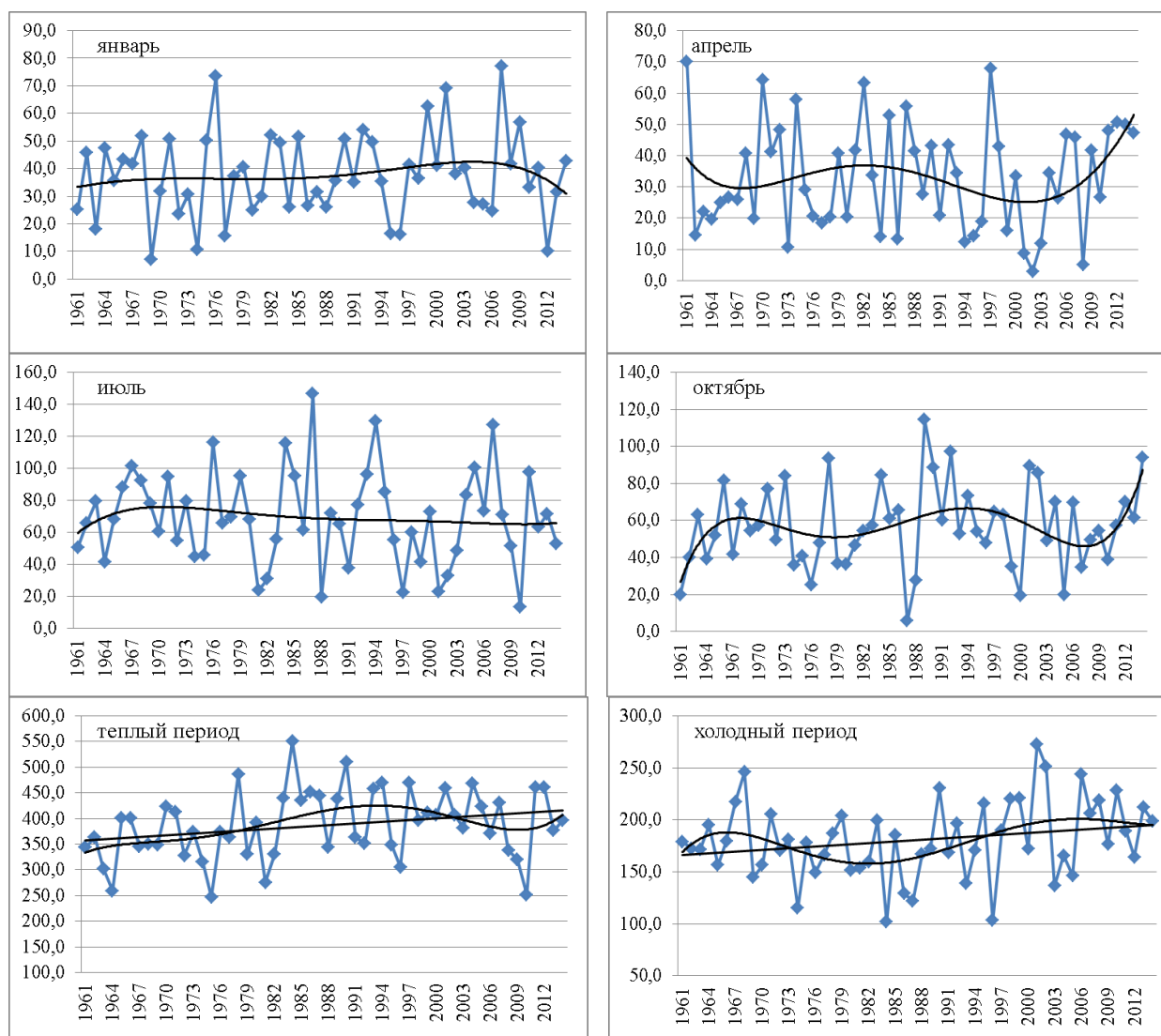


Рис. 3. Межгодовые изменения, полиномиальный и линейный тренды сумм осадков (мм), осредненных по территории Удмуртской Республики за разные периоды

Анализ линейных трендов максимальных суточных сумм осадков позволил выявить следующие изменения: на отдельных станциях зимой наблюдается уменьшение суточного количества выпадающего снега (на ст. Ижевск в январе и на ст. Глазов в феврале), на восточной станции Воткинск прослеживается тенденция к увеличению суточных сумм осадков в большинство месяцев холодного периода. В летние месяцы в основном отсутствуют статистически значимые тенденции, исключение – июнь на станции Игра, где суточное количество осадков растет.

Полиномиальное сглаживание максимального суточного количества осадков за месяц, аналогичное межгодовым изменениям суммы осадков и числа дней с осадками, отражает разнородную картину в течение года. В летние месяцы не выявляется существенных изменений величины в климатическом разрезе. Как и другие характеристики, суточная сумма осадков в последние полтора десятилетия уменьшается в феврале и мае, а также в сентябре и увеличивается за тот же период в переходные месяцы март, апрель, октябрь, а также в декабре.

В годовом разрезе, как и с месячным количеством осадков, прослеживается увеличение суточных сумм выпадающих осадков в северных и центральных районах Удмуртской Республики со средней скоростью 0,4 мм/10 лет, что происходит в основном за счет теплого периода.

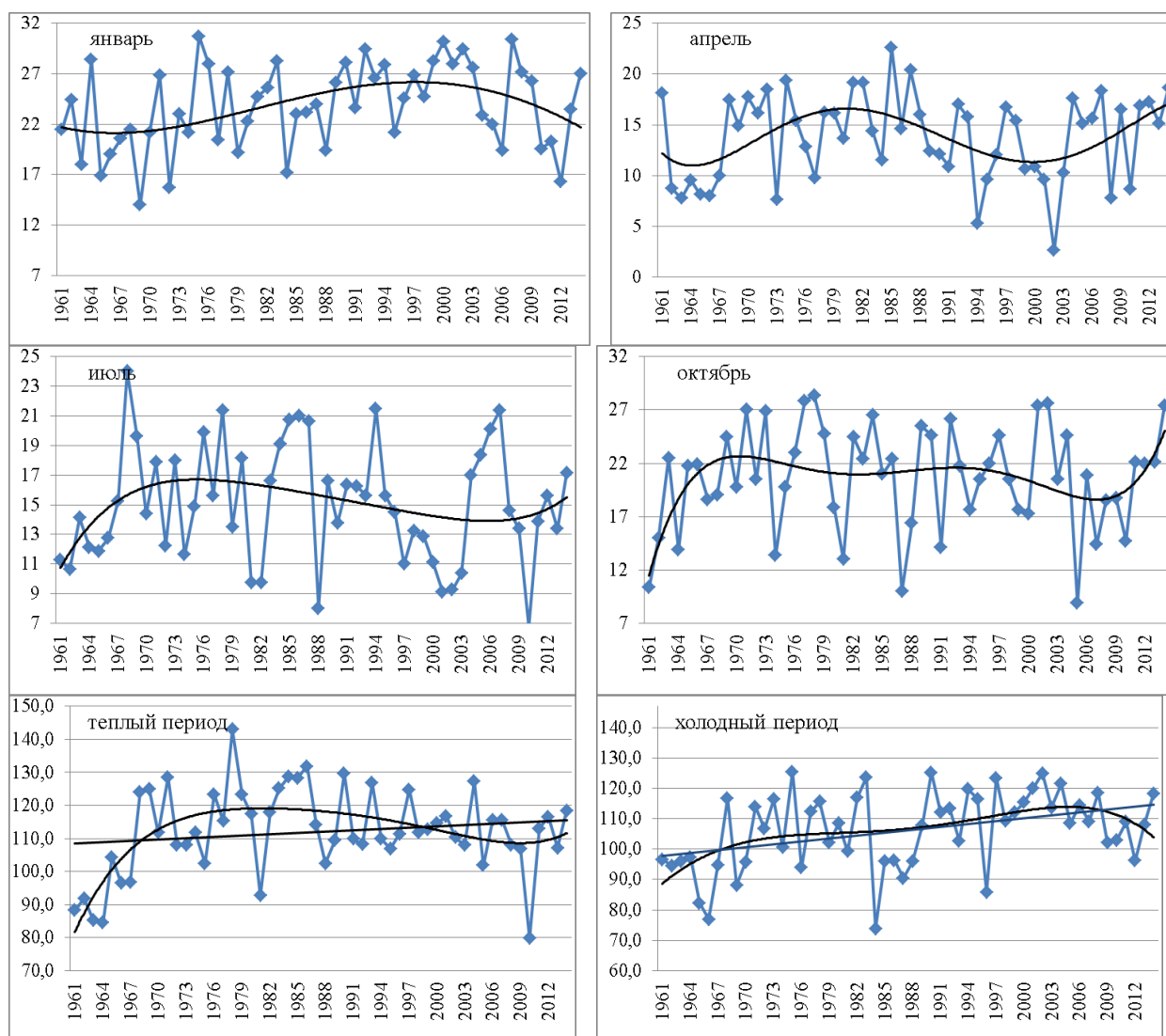


Рис. 4. Межгодовые изменения, полиномиальный и линейный тренды числа дней с осадками, осредненных по территории Удмуртской Республики за разные периоды

Связь количества осадков с индексами атмосферной циркуляции. Для более адекватной оценки уровня риска проявления региональных климатических аномалий и их последствий в определенные сезоны, годы и периоды необходимо учитывать эффекты, связанные с ключевыми квазициклическими глобальными и региональными процессами, явлениями типа Эль-Ниньо/Ла-Нинья, Северо-Атлантического и Арктического колебаний, Атлантической долгопериодной осцилляции на фоне вековых тенденций [7–9].

В данной работе для выявления информативных индексов атмосферной циркуляции были рассчитаны коэффициенты линейной корреляции между индексами NAO (северо-атлантическое колебание), АО (арктическое колебание), SCA (скандинавское колебание), EA (восточно-атлантическое колебание), EA-WR (колебание Восточная Атлантика – Западная Россия) и осредненными по территории Удмуртской Республики значениями сумм осадков S в регионе за период 1961–2014 гг. Для оценки достоверности коэффициентов корреляции применялись критерии независимости [3] с использованием критерия Стьюдента (t) с степенями ($n-1$) свободы:

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

где r – коэффициент линейной корреляции, n – размер массива (число степеней свободы). Для ряда среднемесячных данных за период 1961–2014 гг., при доверительной вероятности 99%, статистически значимыми являются значения корреляции $r_{p=0,99} \geq 0,35$, а при 95 % – $r_{p=0,95} \geq 0,27$.

Значения коэффициентов корреляции представлены в табл. 8, статистически значимые величины выделены жирным шрифтом.

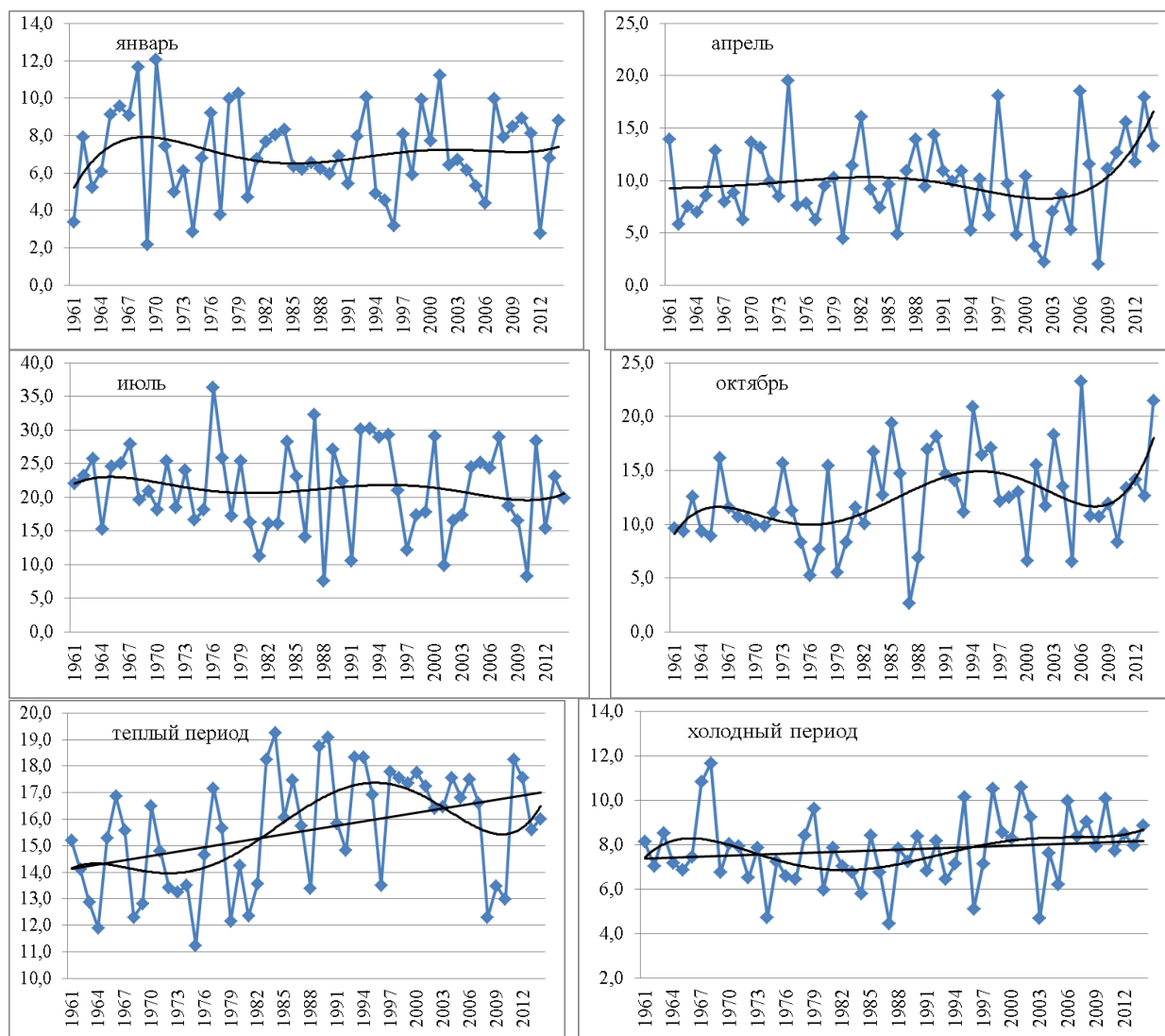


Рис. 5. Межгодовые изменения, полиномиальный и линейный тренды абсолютного суточного максимума количества осадков (мм), осредненного по территории Удмуртской Республики за разные периоды

Таблица 8

Коэффициенты корреляции между индексами циркуляции и количеством осадков на территории Удмуртской Республики

r	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
NAO; S	-0,05	0,00	-0,15	0,02	-0,06	-0,11	-0,02	-0,01	-0,22	-0,19	-0,16	0,01
AO; S	0,35	0,12	0,02	0,20	-0,01	-0,14	-0,21	0,29	0,07	0,05	-0,04	-0,02
SCA; S	-0,51	-0,50	-0,61	-0,41	-0,26	-0,22	-0,12	-0,12	-0,27	-0,27	-0,41	-0,43
EA; S	0,25	0,37	0,13	0,09	0,06	-0,06	-0,28	0,04	0,20	-0,06	0,14	0,10
EA-WR; S	0,10	0,17	0,31	0,36	0,57	0,20	0,24	0,36	0,41	0,43	0,14	-0,10

Наименьшее влияние на количество осадков в Удмуртии оказывает северо-атлантическое колебание NAO, представляющее основные центры действия атмосферы, расположенные в регионе Северная Атлантика-Европа, и характеризующее степень зонального переноса. Коэффициенты корреляции между индексом и суммами осадков статистически не значимы.

Восточно-атлантическое колебание ЕА, сдвинутое относительно НАО на юго-восток и охватывающее центры действия в районах Канарских островов, Великобритании и Черного моря, в большую часть года также не влияет на суммы выпадающих осадков. В феврале обнаружена положительная связь с коэффициентом корреляции $r = 0,37$, в июле – слабая отрицательная.

В случае положительной аномалии индекса арктического колебания (АО) в августе и в большей степени в январе в Удмуртии наблюдаются положительные аномалии сумм осадков. Коэффициенты корреляции при этом равны 0,29 и 0,35 соответственно.

В большей степени, чем предыдущие индексы, на суммы осадков холодного периода оказывает влияние индекс SCA. Связь данной моды с количеством осадков отмечена в период с ноября по апрель, наиболее тесно они коррелируют в марте со значением $r = -0,61$ – при положительной фазе индекса, характеризующего степень блокирования западного переноса, количество осадков сокращается и наоборот.

Колебание Восточная Атлантика–Западная Россия ЕА-WR, представляющее собой зональную составляющую североатлантического колебания, оказывает влияние на количество осадков Удмуртии в переходные месяцы: с марта по май и с августа по октябрь. Индекс ЕА-WR имеет статистически значимые положительные связи с коэффициентами корреляции r , варьирующимися от 0,31 в марте до 0,57 в мае.

Выводы

1. Режим осадков на территории Удмуртской Республики соответствует континентальному климату. Устойчивое в течение всего года пространственное распределение сумм осадков на территории Удмуртской Республики ориентировано с юго-запада, где наблюдается максимум, на северо-восток.

2. Сложный характер распределения режима осадков подтверждается большой пространственной и временной изменчивостью, выраженными величинами амплитуды и СКО. Данные характеристики достигают своих максимальных значений в летний период, когда дожди носят преимущественно конвективный характер.

3. Годовые значения основных характеристик режима осадков растут со временем, основной вклад в рост последних лет вносят переходные месяцы март, апрель, октябрь, а также декабрь. Годовая сумма числа дней с осадками увеличивается преимущественно за счет роста данной характеристики в холодный период, суточное количество осадков растет в основном благодаря теплomu периоду.

4. Связь количества осадков с индексами циркуляции атмосферы обнаруживается в основном в зимние и переходные месяцы года, причем наиболее информативным индексом является скандинавское колебание, характеризующее степень блокирования западного переноса – при его положительных аномалиях в Удмуртии наблюдается дефицит осадков.

Библиографический список

1. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–67.
3. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи / под. ред. А.Н. Колмогорова М.: Наука, 1973. Т. 2. 899 с.
4. Ленская О.Ю., Быков Д.В. Анализ изменчивости месячных сумм осадков с использованием индексов атмосферной циркуляции // Вестник Челябинского государственного университета. 2008. №17. С. 53–62.
5. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. [и др.] Климат и окружающая среда Приволжского Федерального округа / науч. ред. М.А. Верещагин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2013. 274 с.
6. *Руководящий* документ. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.27.724-2009. Обнинск, 2009. 50 с.
7. Franzke C., Feldstein S.B. The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns // J. Atmos. Sci. 2005. Vol. 62. No.9. P. 3250–3267.
8. Hurrell J.W. Climate variability: North Atlantic and Arctic Oscillation // Encyclopedia of Atmospheric Sciences. 2003. P. 439–445.
9. Scaife A.A. et al. European climate extremes and the North Atlantic Oscillation // J. Climate. 2008. Vol. 21. No. 1. P. 72–83.

References

1. The second assessment report about climate change and their impact on the territory of the Russian Federation, (2014), Moscow, Russia.
2. Gruza, G. V., and Rankova, E. J. (2004), "Detection of Climate Change: Status, variability and extreme climate", *Meteorology and Hydrology*, no.4, pp. 50-67.
3. Kendall, M.G., and Stuart, A. (1973), *Statisticheskie vyvody i svyazi* [Statistical inference and communication], Moscow, USSR
4. Lenskaja, O.J., Bykov, D.V. (2008), "Analysis of the variability of monthly precipitation with atmospheric circulation index", *Vestnik Cheljabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, Russia, no. 17, pp. 53-62.
5. Perevedencev, J.P. (2013), *Klimat i okruzhajushhaja sreda Privolzhskogo Federalnogo okruga* [The climate and the environment of the Volga Federal District], Kazan State University, Kazan, Russia
6. *Guidance document. Manual on short-term forecasts of a general-purpose weather* (2009), Obninsk, Russia
7. Franzke, C., and Feldstein, S.B. (2005), "The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns", *J. Atmos. Sci.*, vol. 62, no. 9, pp. 3250–3267
8. Hurrell, J.W. (2003), "Climate variability: North Atlantic and Arctic Oscillation. In: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*", pp. 439–445.
9. Scaife, A.A. et al. (2008), "European climate extremes and the North Atlantic Oscillation", *J. Climate*, vol. 21, no. 1, pp. 72–83.

Поступила в редакцию: 14.09.2016

Сведения об авторе

Шумихина Алла Валерьевна

аспирантка кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского федерального университета,
руководитель группы метеопрогнозов
Удмуртский ЦГМС
426068, Россия, г. Ижевск, ул. Сабурова, 25;
e-mail: kamb2442@gmail.com

About the author

Alla V. Shumikhina

Postgraduate Student, Kazan Federal University,
Head of Weather Forecasts Department of Udmurt
CGMS;
25, Saburova st., Izhevsk, 426068, Russia;
e-mail: kamb2442@gmail.com

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Шумихина А.В. Динамика режима осадков в Удмуртской Республике и их связь с индексами атмосферной циркуляции // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №1(40). С. 73–85. doi 10.17072/2079-7877-2017-1-73-85

Please cite this article in English as:

Shumikhina A.V. Precipitation pattern dynamics in the Udmurt Republic and its connection with atmospheric circulation index // Geographical bulletin. 2017. № 1(40). P. 73–85. doi 10.17072/2079-7877-2017-1-73-85.

УДК 551.589

Е.В. Пищальникова
СИНОПТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЧЕНЬ СИЛЬНЫХ СНЕГОПАДОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

В настоящей статье изложена синоптическая классификация очень сильных снегопадов, выпавших в Пермском крае за 1979–2013 гг., выполненная на основе синоптико-статистического метода. Выявлено, что формирование очень сильных снегопадов отмечалось при 11 видах синоптических ситуаций, каждая из которых обусловлена определенной частью барического образования или типом

© Пищальникова Е.В., 2017

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-35-00410 мол_а)