

---

---

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ  
И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

---

---

УДК 556.551

**ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА  
И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЯ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОСБОРОВ И СТОКА МАЛЫХ РЕК<sup>1</sup>**

© 2012 г. С. В. Ясинский, Е. А. Кашутина

*Институт географии РАН*

*119017 Москва, Старомонетный пер., 29*

Поступила в редакцию 09.08.2010 г.

Выявлены закономерности многолетних внутри- и межзональных изменений показателей климата (температуры воздуха и атмосферных осадков) и получены оценки времени реакции на них факторов гидротермического состояния водосборов на начало снеготаяния (максимальных снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы), поверхностного весеннего склонового стока, годового и весеннего речного стока малых рек в разных природных зонах Русской равнины.

*Ключевые слова:* показатели климата, гидротермическое состояние водосборов, поверхностный весенний склоновый сток.

Одна из актуальных проблем современности, затрагивающая жизненно важные интересы всего человечества, — проблема глобальных изменений климата. Исследованию различных аспектов этой проблемы посвящено множество работ, выполненных в разных странах мира, которые в значительной степени обобщены в трудах М.И. Будыко [4, 5], Ю.А. Израэля [19], К.Я. Кондратьева [30], В.М. Котлякова [33, 34, 35] и других исследователей [42], а также в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) [22]. Глобальные изменения климата неизбежно приводят к трансформации естественного хода многих природных процессов и изменениям во всех компонентах биосферы на глобальном, региональном и локальном уровнях [16].

Оценка экологических, экономических и социальных последствий изменения климата — важное направление исследований этой проблемы [13].

В рамках этого направления исследований получены оценки: трансформации границ и площади природных зон в разных регионах Мира [9, 25, 26, 47], изменений речного стока и качества воды крупных рек [1, 3, 14, 18, 23, 24, 31], режима подземных вод [28], влажности почвы и суммарного испарения [7, 10, 11], мощности и площади распространения вечной мерзлоты [2, 38], продуктивности и урожайности естественных и сельскохозяйственных биоценозов [8, 29], показателей

экологического состояния водных экосистем [50] и ряда других природных процессов и явлений.

Функционирование и развитие экономики страны в целом и ее отдельных отраслей во многом зависит от состояния окружающей среды, наличия и качества тех или иных природных ресурсов. Поэтому разработке возможных сценариев развития энергетики, водного, сельского, лесного и других отраслей в зависимости от прогноза изменений используемых ими природных ресурсов, вызванных климатической изменчивостью, также уделено большое внимание [6, 15, 20, 21, 39, 41, 48].

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в исследовании реакции различных природных процессов и социально-экономических систем на изменения климата, малоизученным остается вопрос о влиянии этих изменений на речной сток малых равнинных рек, поверхностный весенний склоновый сток (ПВСС) и на факторы, определяющие условия формирования этих процессов (максимальные снегозапасы, влажность почвы, глубина ее промерзания). В то же время его решение очень важно для выявления тенденций изменения водного режима водных объектов и территорий, а также для разработки и осуществления адаптационных мероприятий [49]. На ПВСС и обусловленный им годовой и весенний речной сток малых рек помимо изменений регионального климата существенное влияние оказывает хозяйственная деятельность человека [51, 52]. Поэтому многолетние изменения этих гидрологических процессов рассматривались как результат их совместного влияния.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00665).

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Оценка реакции межгодовой изменчивости рассматриваемых гидрологических процессов на соответствующие колебания характеристик климата в данной работе основана на решении нескольких частных задач с использованием различных статистических методов анализа временных рядов [17, 45, 46]. Этими задачами были следующие:

оценка репрезентативности данных наблюдений о многолетней изменчивости характеристик климата на опорных метеостанциях для других территорий в пределах рассматриваемых природных зон;

оценка вклада колебаний показателей климата в теплые (апрель—октябрь) и холодные (ноябрь—март) сезоны года в формирование многолетней изменчивости их средних годовых величин;

выявление закономерностей в многолетней изменчивости средних годовых значений показателей климата, факторов гидротермического состояния водосборов, ПВСС и речного стока малых рек;

оценка однородности рядов наблюдений;

оценка времени запаздывания в наступлении маловодных и многоводных фаз в многолетних изменениях гидрологических процессов на водосборах и речного стока малых рек по отношению к соответствующим многолетним изменениям характеристик климата.

Исходными данными были длительные ряды: ПВСС и значений факторов гидротермического состояния водосборов (>40 лет) для экспериментальных водосборов трех опорных воднобалансовых станций (ВБС), расположенных в южной части лесной, лесостепной и степной зонах Русской равнины; средних месячных величин температуры воздуха и сумм осадков на ближайших к ним метеостанциях, годового стока в близких к ВБС гидрометрических створах малых рек (от 60 до 75 лет). Ими были, соответственно

воднобалансовый стационар “Малая Истра”, м/с “Новый Иерусалим”, р. Истра—пос. Павловская Слобода; Нижнедевицкая ВБС с одноименной м/с, р. Хопер—пос. Новохоперск; Волгоградский стационар Всероссийского НИИ агролесомелиорации РАСХН (ВНИАЛМИ), м/с “Волгоград—СХИ” и р. Иловля—пос. Александровка.

Особенностью использованных данных было то, что они охватывали весь современный период вплоть до 2000—2004 гг. Расположение опорных ВБС на территории Русской равнины приведено на рис. 1. Состав и длительность наблюдений на опорных воднобалансовых станциях приведены в табл. 1.

Для восстановления пропущенных данных о значениях факторов гидротермического состояния водосборов и ПВСС использованы уравнения регрессии между этими факторами и различными метеорологическими характеристиками в зимние сезоны в лесостепной и степной природных зонах Русской равнины, коэффициент корреляции между которыми  $r > 0.4$  (рис. 2).

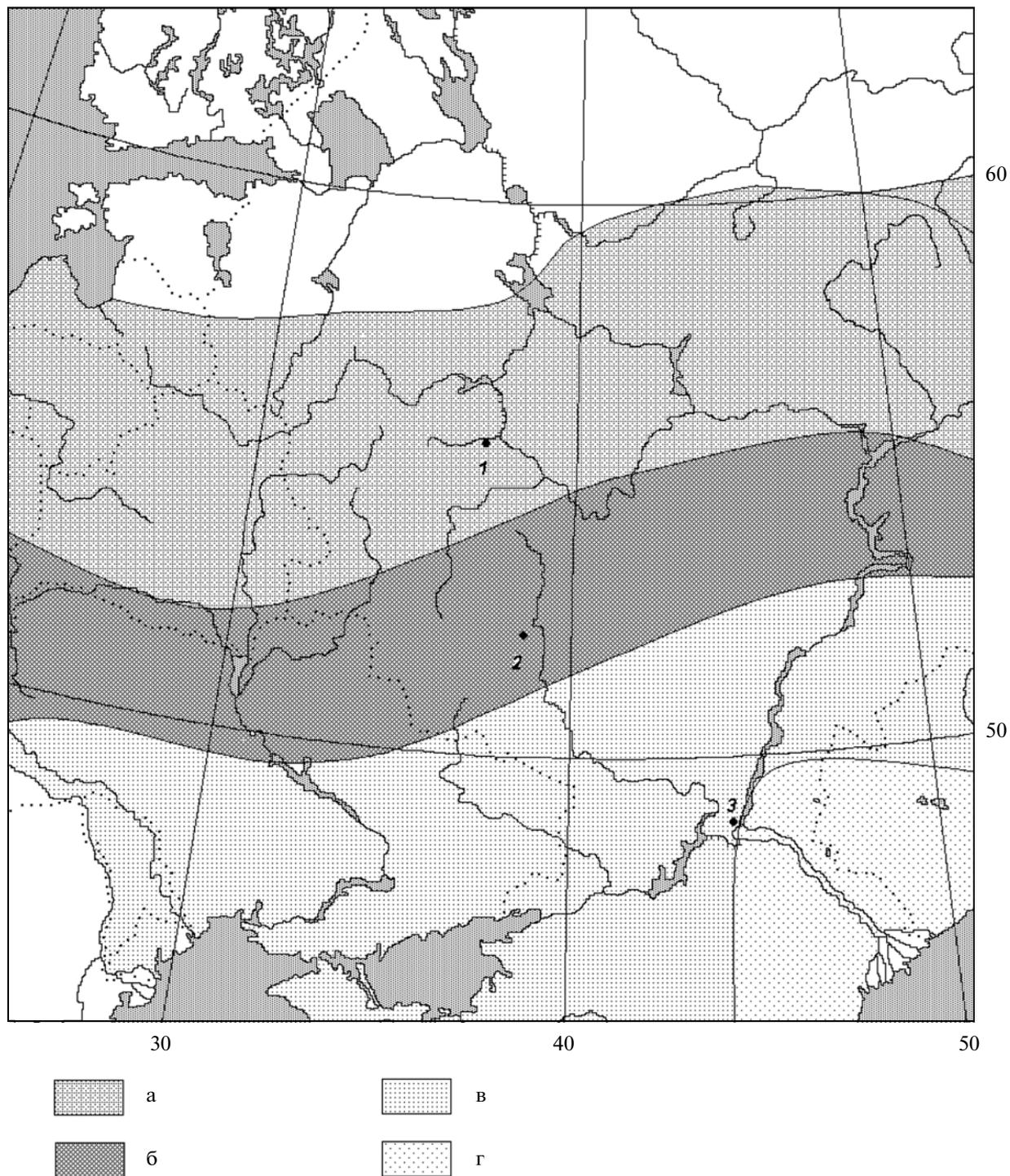
Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что наиболее тесные связи существуют между средней температурой воздуха за холодный период года и тремя показателями: глубиной промерзания почвы, максимальным запасом воды в снеге (снегозапасами) и величиной ПВСС. На основе полученных уравнений проводился расчет значений этих факторов и ПВСС в те годы, когда информация о них отсутствовала, и сформированы ряды экспериментальных данных за весь многолетний период наблюдений.

### *Репрезентативность данных опорных метеостанций о многолетних колебаниях регионального климата для других регионов в пределах природных зон*

Возможность распространения многолетних метеорологических данных наблюдений на опорных метеостанциях для территорий других регионов в пределах рассматриваемых природных зон исследована путем оценки средних многолетних характеристик показателей климата и их пространственной изменчивости, рассчитанных по данным для субъектов РФ и сопредельных государств (Белоруссия, Украина, страны Балтии), агрегированных по рассматриваемым природным зонам [40]. В качестве характеристик пространственной изменчивости использовались значения среднеквадратического отклонения  $\sigma$ , поскольку температура воздуха может иметь отрицательные значения, а для осадков для большей наглядности рассчитывался также  $S_{\sigma}$ . Оценка репрезентативности данных наблюдений опорных метеостанций осуществлялась путем сравнения со значениями пространственной изменчивости этих характеристик, осредненных для территории всех рассматриваемых природных зон (табл. 2).

В лесной зоне расположено 29 регионов [31]. Однако для южной части лесной зоны, в которой находится м/с “Новый Иерусалим”, использованы данные только для 19 регионов, северные — были исключены. Для лесостепной и степной зон включены данные по 24 и 15 регионам соответственно.

Результаты расчетов показывают, что пространственная изменчивость средних многолетних годовых осадков и средней многолетней годовой температуры воздуха в каждой из природных зон в целом невелика. Это позволяет считать,

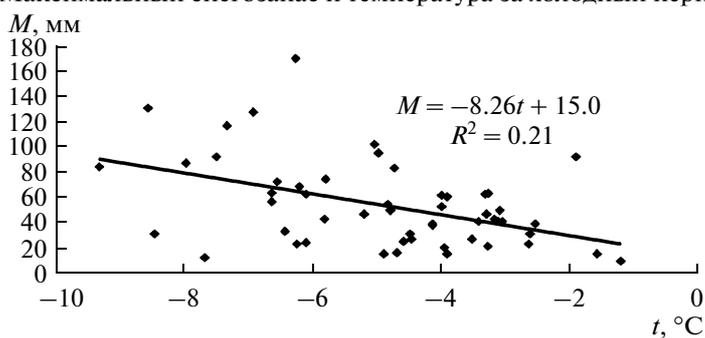


**Рис. 1.** Расположение опорных воднобалансовых станций в основных природных зонах территории Русской равнины. 1 – ВБС–“Малая Истра”; 2 – Нижнедевицкая ВБС; 3 – Волгоградский стационар ВНИИАЛМИ РАСХН; а – зона смешанных лесов; б – зона лесостепи; в – зона степи; г – зона полупустыни и пустыни.

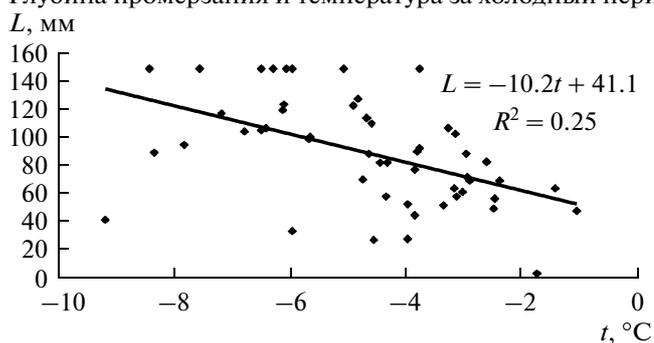
что закономерности их многолетних изменений, полученные для рассматриваемых опорных метеостанций, могут быть распространены на территорию других регионов, расположенных в пределах одной и той же природной зоны.

Для подтверждения этого вывода был проведен также расчет коэффициентов корреляции уже между средними годовыми значениями рассматриваемых показателей климата на опорных метеостанциях и метеостанциях, расположенных на

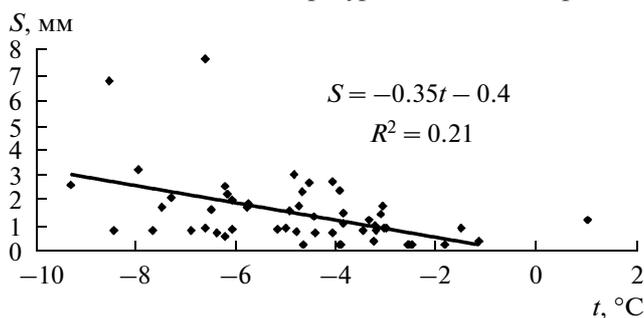
Максимальный снегозапас и температура за холодный период



Глубина промерзания и температура за холодный период



Склоновый сток и температура в холодный период



Глубина промерзания и влажность почвы



Рис. 2. Зависимости между факторами гидротермического состояния водосборов и температурой воздуха в холодный сезон, глубиной промерзания и влажностью почвы на начало снеготаяния.

Таблица 1. Объекты и состав наблюдений на опорных воднобалансовых станциях Русской равнины

Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Лесистость, %	Почвы	Показатель	Характеристика	Годы наблюдений
Южная часть лесной зоны						
Метеостанция “Новый Иерусалим”				<i>t</i> , °С воздуха осадки, мм	средние месячные месячные суммы	1927–2000 1927–2000
ВБС “Малая Истра”: Водосбор “Полевой”	0.33	10	Дерново-подзоли- стая тяжело- и сред- несуглинистая	<i>t</i> , °С воздуха осадки Слой ПВСС, мм	средние месячные месячные суммы за период таяния	1963–2000 1963–2000 1955–1999
Водосбор “Лесной”	0.23	90		<i>t</i> , °С воздуха Осадки Слой ПВСС, мм	средние месячные месячные суммы за период снеготаяния	1963–2000 1963–2000 1955–1999
Гидропост на р. Истра— пос. Павловская Слобода	1950	30		Слой стока, мм	годовой	1925–1999
Лесостепная зона						
Метеостанция Нижнеде- вицкой ВБС				<i>t</i> , °С воздуха Осадки, мм	средние месячные месячные суммы	1948–2004 1948–2004
Нижнедевицкая ВБС Во- досбор “Малютка” (поле)	0.05	0	Обыкновенный тя- желосуглинистый чернозем	Снегозапасы, мм <b>Глубина промерзания, см</b> Влажность почвы, мм Слой ПВСС, мм	на начало снеготаяния То же » за период снеготаяния	1953–2004 1953–2004 1953–2004 1953–2004
Гидропост на р. Хопер— пос. Новохоперск	34800	9		Слой стока, мм	годовой	1939–2003
Степная зона						
Метеостанция “Волго- град—СХИ”				<i>t</i> , °С воздуха Осадки, мм	средние месячные месячные суммы	1937–2003 1937–2003

**Таблица 2.** Характеристики пространственной изменчивости средних многолетних значений показателей климата на территории Русской равнины

Показатели климата	Характеристики климата	Южная часть лесной зоны	Лесостепная зона	Степная зона	Для всех зон
Осадки, мм	Среднее	732	621	488	614
	$\sigma$	51.2	55.9	83.0	63.0
	$C_V$	0.07	0.09	0.17	0.11
Температура годовая, $t^{\circ}\text{C}$	Среднее	5.3	6.1	8.5	6.6
	$\sigma$	1.3	1.8	1.7	1.6

значительном удалении от них в пределах каждой из рассматриваемых природных зон. Для южной части лесной зоны были использованы ряды средних годовых осадков и температуры воздуха по 31 метеостанции, для лесостепной – по 30, для степной – по 34. Во всех природных зонах очень высокая корреляция характерна для средней годовой температуры воздуха. Средний коэффициент корреляции равен  $-r_{Cp3}^0 = 0.96$ . Несколько меньший, но также достаточно высокий коэффициент корреляции присущ и средним годовым осадкам, в среднем для всех природных зон  $r_{Cp3}^0 = 0.67$ .

В табл. 3 приведены сведения о коэффициентах корреляции между показателями климата на опорных метеостанциях и на ряде выбранных метеостанций, расположенных в той или иной природной зоне. Эти данные подтверждают вывод о том, что закономерности изменений не только

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции между средними годовыми характеристиками показателей климата на опорных и на некоторых других метеостанциях в пределах природных зон

Опорная метеостанция	Метеостанция в природных зонах	Страна	$t, ^{\circ}\text{C}$	Осадки
Новый Иерусалим	Даугавпилс	Латвия	0.95	0.73
	Вязьма	Россия	0.99	0.77
	Муром	Россия	0.93	0.67
Нижнедевицкая ВБС (Воронеж)	Липецк	Россия	0.93	0.75
	Казачья	Украина	0.95	0.69
	Лопатка	Россия	0.96	0.69
Волгоград–СХИ	Денисовка	Россия	0.97	0.86
	Камышин	Россия	0.96	0.85
	Эльтон	Россия	0.94	0.85

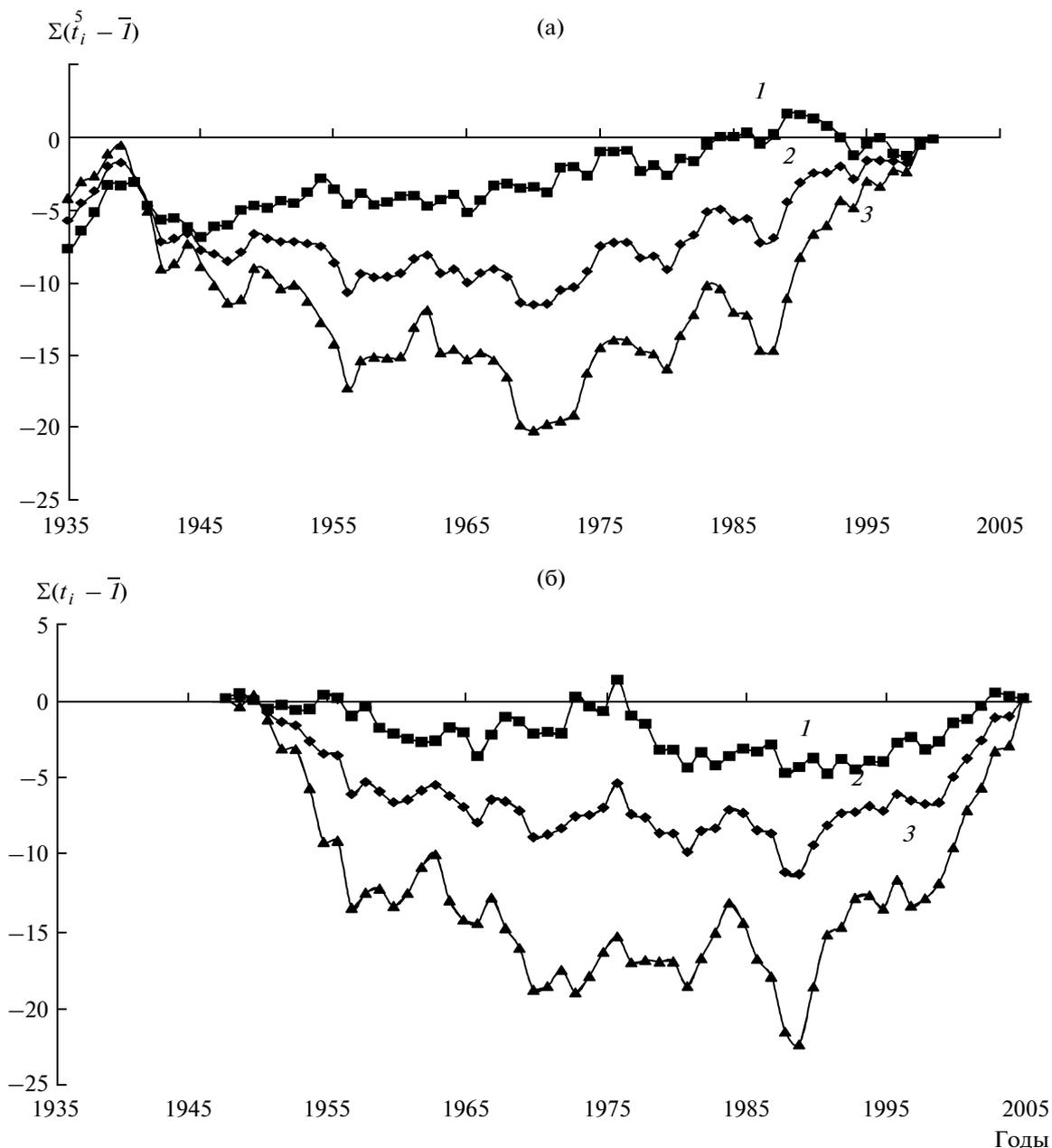
средних многолетних, но и средних годовых характеристик этих показателей на опорных метеостанциях репрезентативны для других территорий в пределах рассматриваемых природных зон.

### ВКЛАД ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА В ХОЛОДНЫЙ И ТЕПЛЫЙ СЕЗОНЫ В ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИХ СРЕДНИХ ГОДОВЫХ ВЕЛИЧИН

Многолетние изменения средних годовых характеристик климата обусловлены различной степенью связности и сложной суперпозицией их изменений за холодный и теплый сезоны года и имеют как общие для всех природных зон черты, так и существенные отличия. О степени связности дают представление коэффициенты корреляции между этими характеристиками показателей климата (табл. 4). Многолетние изменения средних годовых, за теплый и за холодные сезоны года отражают разностно-интегральные кривые (РИК), представленные на рис. 3. Анализ данных, приведенных в табл. 4 и рис. 3, позволяет сформулировать основные общие закономерности их многолетних изменений:

колебания средней годовой и за холодный сезон температуры воздуха во всех природных зонах синхронны в периоды, когда длительные фазы их колебаний полностью совпадают: 1939–1970 гг. – фаза их уменьшения и 1988–1989 гг. – по настоящее время (фаза повышения), обусловившие более высокую корреляцию между средней годовой и за холодный сезон температурой воздуха  $r_{CX}^0 = 0.86$ , чем за теплый –  $r_{CT}^0 = 0.67$ ;

наоборот, изменения средних годовых и за теплый сезон сумм атмосферных осадков более синхронны, чем за холодный. Об этом свидетельствуют и более высокая корреляция между средними годовыми и за теплый сезон суммами осадков  $r_{CT}^0 = 0.85$ , чем за холодный –  $r_{CX}^0 = 0.57$  для м/с Новый Иерусалим и  $r_{CX}^0 = 0.65$  для других м/с соответственно;



**Рис. 3.** Разностно-интегральные кривые сумм температуры воздуха и атмосферных осадков по данным опорных метеостанций. а, г – м/ст. “Новый Иерусалим”; б, д – м/ст. “Нижедевицкая ВБС”; в, е – м/ст. “Волгоград”: 1 – за теплый период; 2 – за год; 3 – за холодный период.

в каждой природной зоне отсутствует связь между средними годовыми температурами и суммами осадков, но существует слабая, но статистически значимая положительная связь между средней годовой температурой и осадками холодного сезона, а также температурой и осадками этого сезона:  $r_{СХ}^0 = 0.17-0.27$ ,  $r_{ХХ}^0 = 0.26-0.34$  соответственно;

образование длительных фаз понижения и повышения средних годовых и за отдельные сезоны

температуры воздуха и сумм осадков. Существует определенная следующая последовательность в начале наступления фазы устойчивого повышения показателей климата как внутри каждой природной зоны, так и между ними.

Во всех природных зонах из всех рассматриваемых показателей климата раньше всех началось увеличение осадков холодного сезона года.

В каждой из природных зон существует одно и то же запаздывание во времени в среднем в 12 лет между началом увеличения осадков холодного се-

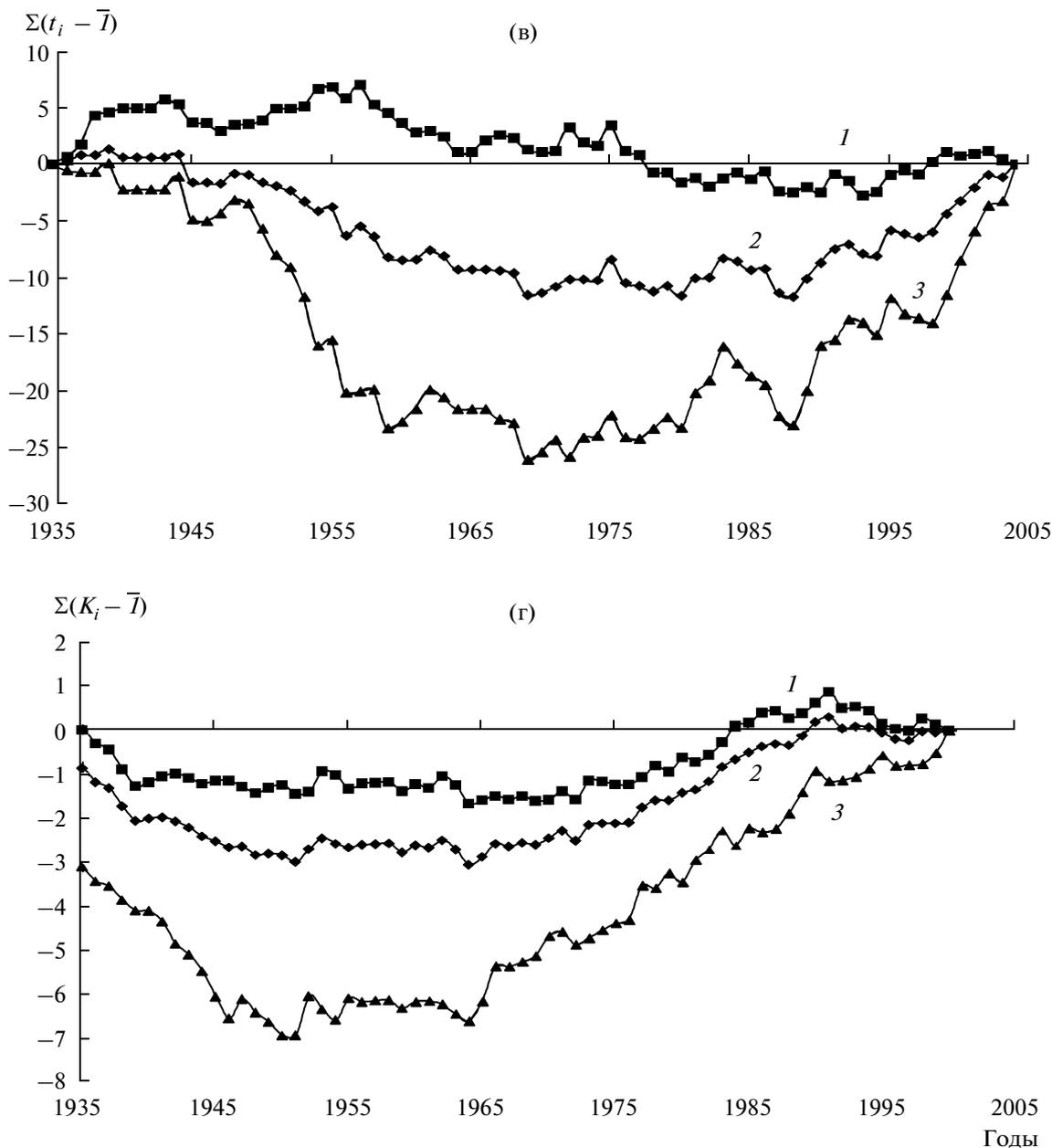


Рис. 3. Продолжение.

зона и началом увеличения средних годовых и за теплый сезон осадков. Но начало наступления фазы увеличения одноименных видов осадков в лесостепной и степной зонах запаздывает на те же в среднем 12 лет по отношению к началу их роста в южной части лесной зоны.

Фаза устойчивого увеличения средних годовых сумм атмосферных осадков во всех природных зонах наступает раньше, чем фаза повышения средней годовой температуры воздуха. Разница

времени между наступлениями фаз повышения соответственно средних годовых осадков и температуры воздуха составляет в южной части лесной зоны 6 лет (1963–1964 и 1969–1970 гг.), в других природных зонах – 10–11 лет (1976–1977 и 1987–1988 гг.).

Наибольшие отличия для всех природных зон присущи многолетней изменчивости температуры воздуха в теплый сезон. Для южной части лесной и степной зон ее изменения асинхронны в те-

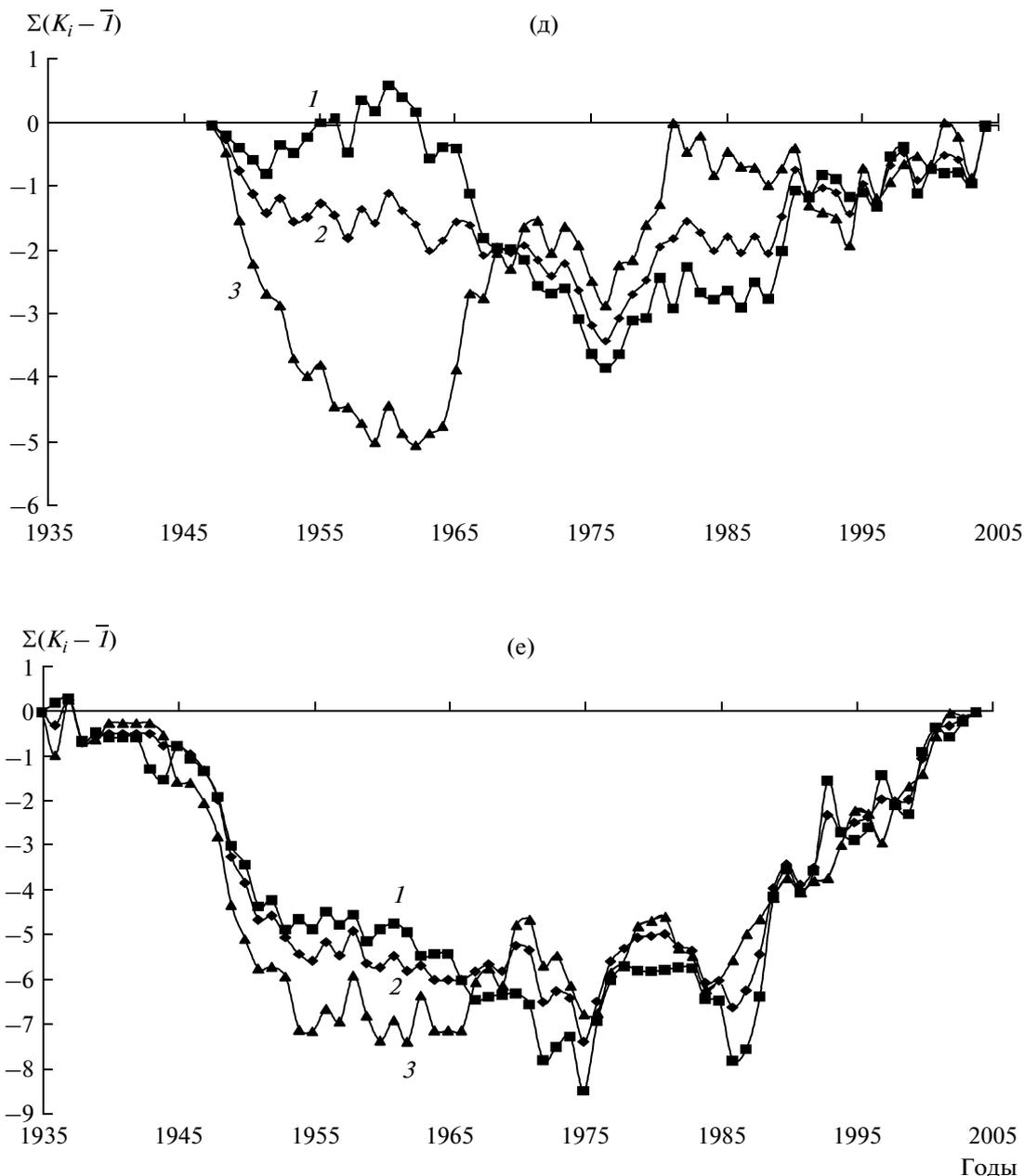


Рис. 3. Окончание.

чение практически всего многолетнего периода. Для южной части лесной зоны характерна общая тенденция к ее постоянному увеличению начиная с 1945 г. до настоящего времени. В то же время в степной зоне большую часть этого периода она уменьшалась (с 1955 до 1993 г.) и лишь в его начале (с 1935 по 1954 г.) и в конце (с 1994 – по настоящее время) отмечается ее увеличение в этот сезон года. В лесостепной зоне ее колебания в начале многолетнего периода подобны изменениям, характерным для южной части лесной зоны (незначительный рост с 1950-х до середины

1970-х гг.). В другой, более поздний период – синхронны с ее изменениями в степной зоне (с середины 1970-х до начала 1990-х гг. она уменьшалась, а по настоящее время – увеличивалась).

Анализ межзональных коэффициентов корреляции между всеми показателями климата (табл. 4) показал, что наиболее тесные связи существуют, так же как и внутри каждой зоны, между средними годовыми и за холодный сезон температурами воздуха. Более высокая теснота связи существует между близкими друг к другу с севера на юг природными зонами.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между характеристиками показателей климата на опорных метеостанциях

Метеостанции, характеристики климата	Новый Иерусалим						Нижедевицк						Волгоград–СХИ					
	<i>R<sub>t</sub></i>	<i>t</i>	<i>R<sub>x.п.</sub></i>	<i>t<sub>x.п.</sub></i>	<i>R<sub>t.п.</sub></i>	<i>t<sub>t.п.</sub></i>	<i>R<sub>t</sub></i>	<i>t</i>	<i>R<sub>x.п.</sub></i>	<i>t<sub>x.п.</sub></i>	<i>R<sub>t.п.</sub></i>	<i>t<sub>t.п.</sub></i>	<i>R<sub>t</sub></i>	<i>t</i>	<i>R<sub>x.п.</sub></i>	<i>t<sub>x.п.</sub></i>	<i>R<sub>t.п.</sub></i>	<i>t<sub>t.п.</sub></i>
Новый Иерусалим																		
осадки за год <i>R<sub>t</sub></i> .	1.00	0.05		0.13	0.85	0.10	0.31	0.15	0.27	0.31	0.19	0.19	0.28	0.11	0.28	0.22	0.17	0.19
<i>t</i> годовая <i>t<sub>t</sub></i> .	0.05	1.00	0.27	0.87	0.11	0.67	0.10	0.85	0.07	0.74	0.17	0.52	0.07	0.74	0.17	0.65	0.02	0.50
осадки за холодный период <i>R<sub>x.п.</sub></i> .	0.57	0.27	1.00	0.26	0.05	0.13	0.43	0.36	0.61	0.49	0.12	0.01	0.43	0.32	0.39	0.45	0.29	0.06
<i>t</i> средняя за холодный период <i>t<sub>x.п.</sub></i> .	0.13	0.87	0.26	1.00	0.01	0.22	0.03	0.80	0.07	0.85	0.00	0.26	0.05	0.67	0.14	0.70	0.14	0.28
осадки за теплый период <i>R<sub>t.п.</sub></i> .	0.85	0.11	0.05	0.01	1.00	0.21	0.10	0.04	0.05	0.07	0.15	0.21	0.07	0.06	0.09	0.01	0.03	0.19
<i>t</i> средняя за теплый период <i>t<sub>t.п.</sub></i> .	0.10	0.67	0.13	0.22	0.21	1.00	0.29	0.51	0.04	0.14	0.39	0.74	0.24	0.47	0.15	0.19	0.22	0.66
Нижедевицк																		
осадки за год <i>R<sub>t</sub></i> .	0.31	0.10	0.43	0.03	0.10	0.29	1.00	0.05	0.63	0.32	0.85	0.37	0.49	0.10	0.27	0.35	0.47	0.33
<i>t</i> годовая <i>t<sub>t</sub></i> .	0.15	0.85	0.36	0.80	0.04	0.51	0.05	1.00	0.27	0.86	0.12	0.66	0.04	0.92	0.04	0.83	0.01	0.53
осадки за холодный период <i>R<sub>x.п.</sub></i> .	0.27	0.07	0.61	0.07	0.05	0.04	0.63	0.27	1.00	0.34	0.12	0.05	0.41	0.34	0.45	0.49	0.22	0.02
<i>t</i> средняя за холодный период <i>t<sub>x.п.</sub></i> .	0.31	0.74	0.49	0.85	0.07	0.14	0.32	0.86	0.34	1.00	0.18	0.20	0.25	0.78	0.12	0.90	0.23	0.15
осадки за теплый период <i>R<sub>t.п.</sub></i> .	0.19	0.17	0.12	0.00	0.15	0.39	0.85	0.12	0.12	0.18	1.00	0.51	0.35	0.09	0.05	0.14	0.44	0.40
<i>t</i> средняя за теплый период <i>t<sub>t.п.</sub></i> .	0.19	0.52	0.01	0.26	0.21	0.74	0.37	0.66	0.05	0.20	0.51	1.00	0.28	0.63	0.05	0.24	0.35	0.84
Волгоград																		
осадки за год <i>R<sub>t</sub></i> .	0.28	0.07	0.43	0.05	0.07	0.24	0.49	0.04	0.41	0.25	0.35	0.28	1.00	0.01	0.67	0.26	0.86	0.46
<i>t</i> годовая <i>t<sub>t</sub></i> .	0.11	0.74	0.32	0.67	0.06	0.47	0.10	0.92	0.34	0.78	0.09	0.63	0.01	1.00	0.17	0.86	0.13	0.63
осадки за холодный период <i>R<sub>x.п.</sub></i> .	0.28	0.17	0.39	0.14	0.09	0.15	0.27	0.04	0.45	0.12	0.05	0.05	0.67	0.17	1.00	0.28	0.21	0.15
<i>t</i> средняя за холодный период <i>t<sub>x.п.</sub></i> .	0.22	0.65	0.45	0.70	0.01	0.19	0.35	0.83	0.49	0.90	0.14	0.24	0.26	0.86	0.28	1.00	0.15	0.15
осадки за теплый период <i>R<sub>t.п.</sub></i> .	0.17	0.02	0.29	0.14	0.03	0.22	0.47	0.01	0.22	0.23	0.44	0.35	0.86	0.13	0.21	0.15	1.00	0.52
<i>t</i> средняя за теплый период <i>t<sub>t.п.</sub></i> .	0.19	0.50	0.06	0.28	0.19	0.66	0.33	0.53	0.02	0.15	0.40	0.84	0.46	0.63	0.15	0.15	0.52	1.00

Степень межзональных корреляционных связей между различными видами осадков в целом невелика и значительно уступает межзональным корреляциям по температуре воздуха. Это подтверждает известный вывод о значительно большей пространственной неоднородности осадков по сравнению с температурами воздуха.

Выявленные закономерности в многолетних изменениях показателей климата в разные сезоны года позволили сделать вывод о том, что во всех природных зонах изменения температуры воздуха в холодный сезон года оказывают более значительное влияние на изменения средней годовой температуры воздуха, чем в теплый. Наоборот, определяющий вклад в изменения сумм годовых осадков оказали их изменения в теплый сезон.

Запаздывание начала наступления фазы устойчивого повышения средних годовых осадков в среднем на 12 лет и средней годовой температуры воздуха на 18 лет в лесостепной и степной зонах по отношению к южной части лесной зоны свидетельствует о том, что межзональные корреляционные связи достаточно формальны. Изменения климата имеют преимущественно зональный характер и протекают по собственному сценарию в каждой из рассмотренных природных зон.

#### МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА ПО ДАННЫМ ОПОРНЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ

Анализ статистических параметров рядов средних годовых, за теплый и холодный сезоны года показателей регионального климата, а также их однородности для опорных метеостанций позволил установить следующие закономерности их многолетних изменений (табл. 5).

Для всех метеостанций с большой уверенностью диагностируется существенное изменение региональных климатических условий в последней трети XX в. Статистически значима неоднородность параметров распределений среднегодовых и за остальные сезоны года осадков как по критерию Фишера для оценки однородности дисперсий, так и по критерию Стьюдента для оценки однородности средних (вероятность превышения наблюдаемой величины  $t$ -критерия — от 0.29 до 6.1%, кроме рядов осадков за теплый сезон по м/с “Новый Иерусалим” и за холодный сезон по м/с Нижнедевицк).

Наибольшее абсолютное и относительное увеличение средних годовых сумм осадков отмечается для м/с “Волгоград–СХИ” (на 85 мм или на 26.2%). Для метеостанций “Новый Иерусалим” и Нижнедевицкой ВБС рост средних годовых сумм осадков сопоставим между собой: на 63.1 мм (11%) и на 67 мм (12.5%), соответственно.

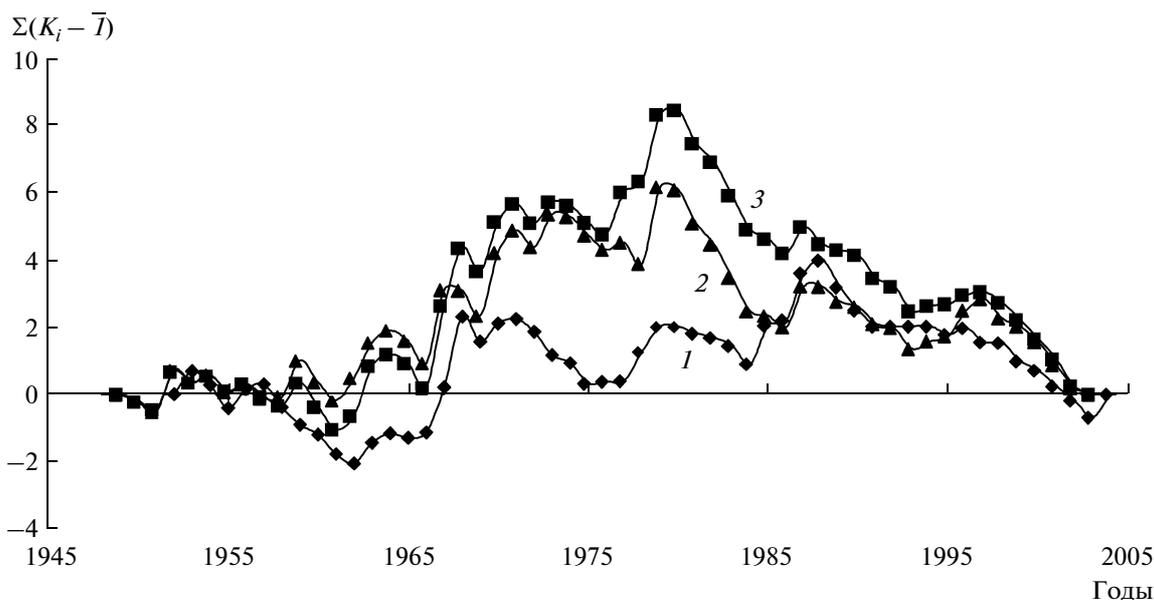
Увеличение атмосферных осадков сопровождалось статистически значимым изменением температуры воздуха. Вероятность превышения наблюдаемой величины  $t$ -критерия от 0.12 до 6.1% свидетельствует о неоднородности средней годовой и за холодный сезон температуры воздуха. Температура выросла на 0.7 и 0.9°C на м/с “Новый Иерусалим”, и на 1 и 1.9°C на метеостанциях остальных ВБС соответственно. По абсолютным величинам повышение температуры воздуха в теплый сезон затронуло все природные зоны и составило 0.1–0.4°C. Однако использовавшиеся статистические критерии не дают основания утверждать, что произошло нарушение однородности ряда температур теплого периода.

#### ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА НА МНОГОЛЕТНЮЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФАКТОРОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ НА НАЧАЛО СНЕГОТАЯНИЯ И ПВСС

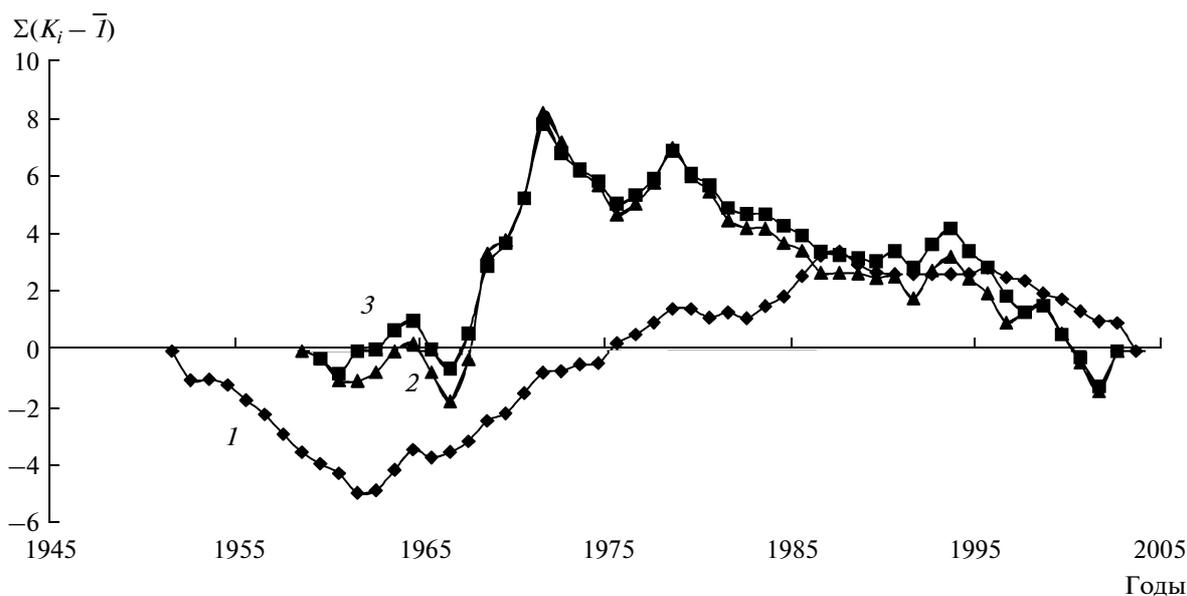
Факторы гидротермического состояния водосборов на начало снеготаяния (максимальные снеготаяния, глубина промерзания и влажность почвы) достаточно быстро реагирует на региональные изменения показателей климата. При этом, если максимальные снеготаяния и глубина промерзания почвы, имеющая с ними тесную положительную связь, в значительной степени зависят от особенностей изменений показателей климата в холодный сезон, то влажность почвы — от их изменений в теплый сезон [37]. Совместный анализ РИК показателей климата и факторов гидротермического состояния малых водосборов в лесостепной и степной зонах показал, что период увеличения снеготаяния и глубины промерзания почвы (до 1980 г. на стоковых площадках ВНИАЛМИ и до 1988 г. для лога “Малютка”) практически полностью соответствует периодам понижения средних годовых и за холодный сезон осадков и температуры воздуха (рис. 4, 5).

Увеличение температуры воздуха в холодный сезон начиная с 1979 г. в степной зоне и с 1988 г. в лесостепи привело к увеличению числа и продолжительности оттепелей и сокращению длительности зимнего сезона. В этой связи, несмотря на продолжающийся рост осадков, началась фаза одновременного уменьшения величины максимальных снеготаяния и глубины промерзания почвы на начало снеготаяния.

Уменьшение снеготаяния к началу снеготаяния свидетельствует о том, что значительная часть выпавших в холодный сезон осадков впиталась в почву, а уменьшение глубины промерзания — на улучшение ее впитывающей способности. Результатом изменений этих показателей гидротермического состояния водосборов было увеличе-



**Рис. 4.** Динамика максимальных снегозапасов на начало снеготаяния: 1 – ВБС “Нижедевицкая” (лог Малютка, поле); 2 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, зябрь); 3 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, уплотненная почва).



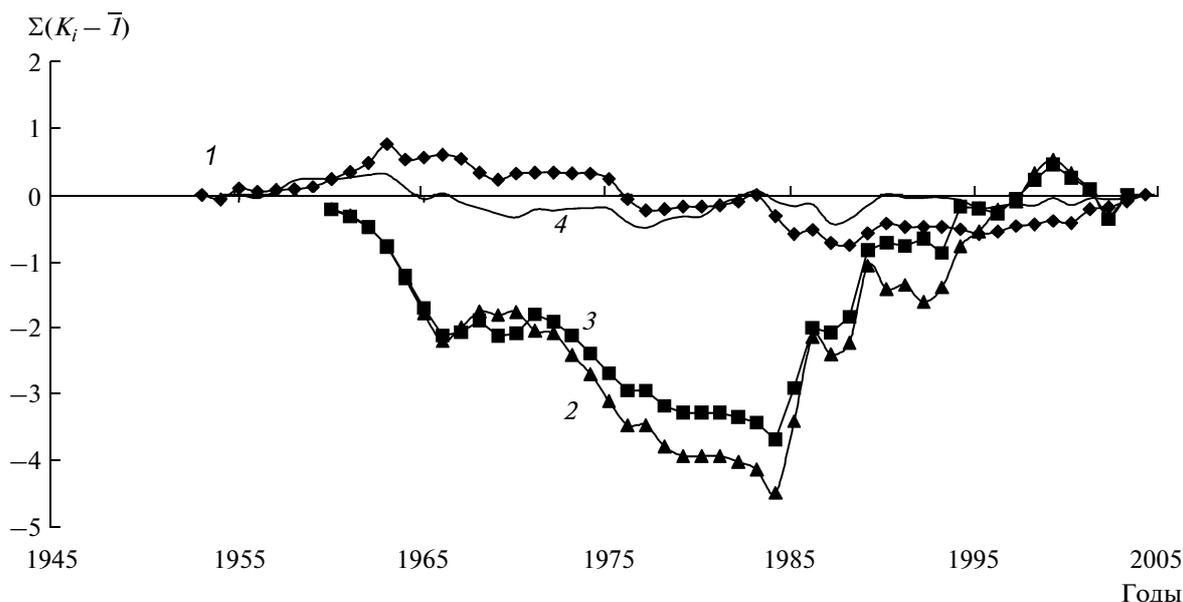
**Рис. 5.** Динамика глубины промерзания на начало снеготаяния: 1 – ВБС “Нижедевицкая” (лог Малютка, поле); 2 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, зябрь); 3 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, уплотненная почва).

ние влажности почвы к началу снеготаяния и снижение ПВСС непосредственно в сам период снеготаяния (рис. 6, 7).

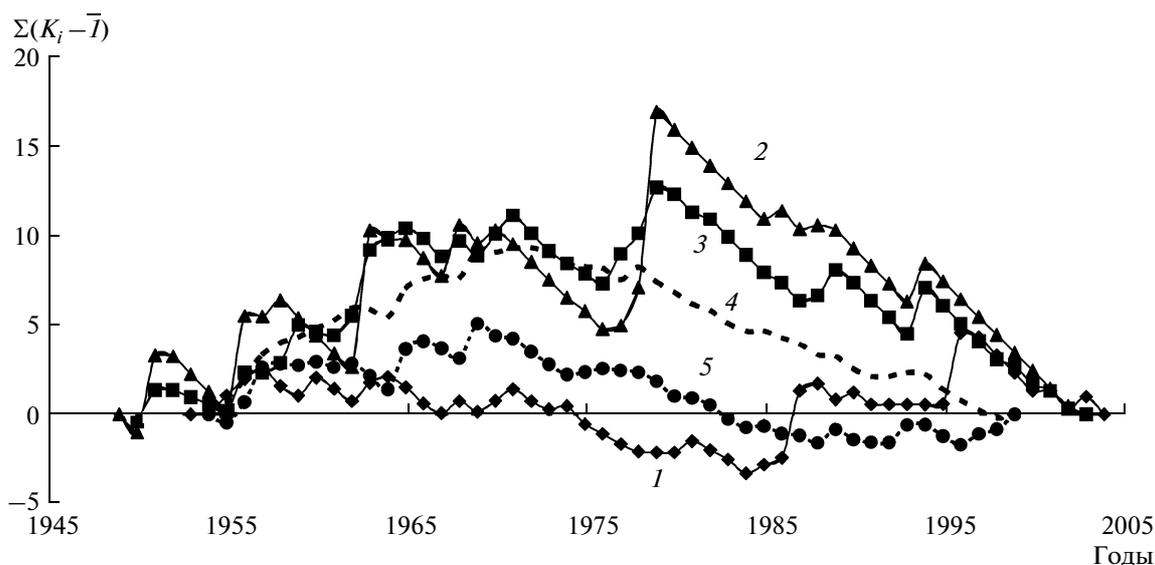
Данные о фактических величинах и статистической значимости изменений рассматриваемых показателей гидротермического состояния водосборов и ПВСС приведены в табл. 6. Вероятность превышения критерия Фишера составляет от 0.02

до 5.0% практически для всех исследуемых рядов, что свидетельствует о высокой вероятности их неоднородности.

Таким образом, видно, что факторы гидротермического состояния водосборов практически одновременно реагируют на изменения, прежде всего, температуры воздуха в холодный сезон. Следствие ее повышения – перестройка структу-



**Рис. 6.** Динамика влажности почвы на начало снеготаяния: 1 – ВБС “Нижедевицкая” (лог Малютка, целина); 2 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, зябрь); 3 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, уплотненная почва); 4 – ВБС “Нижедевицкая” (лог Малютка, поле).



**Рис. 7.** Динамика поверхностного весеннего склонового стока на опорных ВБС за многолетний период: 1 – ВБС “Нижедевицкая” (лог Малютка); 2 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, зябрь); 3 – Волгоградский стационар ВНИАЛМИ (светло-каштановые почвы, уплотненная почва); 4 – ВБС “Малая Истра” (поле); 5 – ВБС “Малая Истра” (лес).

ры водного баланса склонов и малых водосборов на начало и сам период снеготаяния. Она заключается в том, что, если в фазу ее пониженных значений основное питание малых рек осуществлялось ПВСС, то в фазу ее увеличения – за счет максимального пополнения и, соответственно, более ускоренного дренирования почвенных и подземных вод.

#### РЕАКЦИЯ РЕЧНОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК НА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

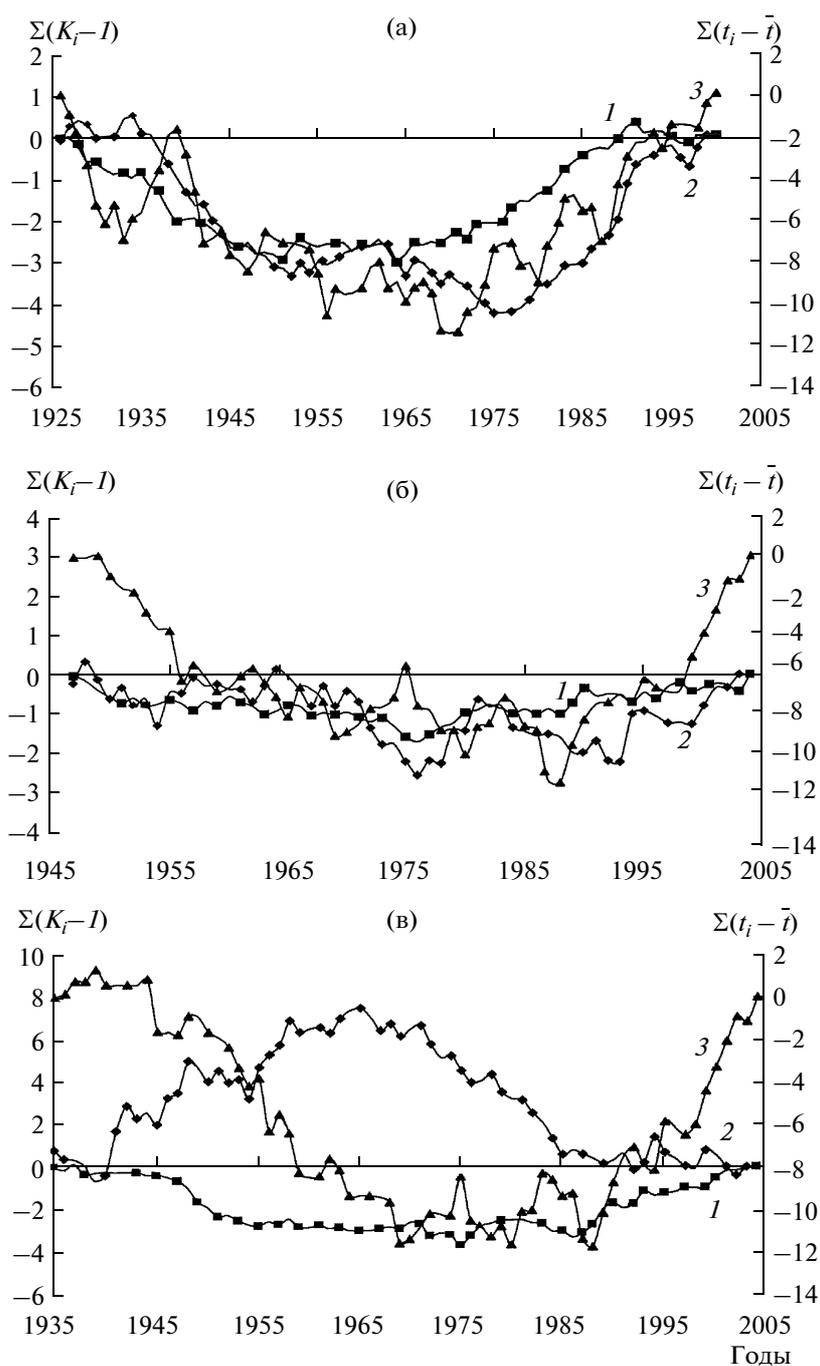
Многолетние изменения речного стока в большей степени, чем ПВСС, обусловлены не только климатической изменчивостью, но различиями в

**Таблица 5.** Статистические характеристики показателей климата на опорных метеостанциях в разных природных зонах Русской равнины  $F$  – рассчитанные значения критерия Фишера,  $F(5\%)$  – значения критерия Фишера для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(F)$  – вероятность превышения значения  $F$ -статистики при справедливости нуль-гипотезы (о равенстве дисперсий за рассматриваемые периоды);  $t_s$  – рассчитанные абсолютные значения  $t$ -критерия Стьюдента;  $t_s(5\%)$  – значения критерия Стьюдента для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(t)$ , % (двустороннее) – вероятность превышения по абсолютному значению  $t$ -критерия при справедливости нуль – гипотезы (о равенстве средних за рассматриваемые периоды)

Объект	Показатели	Характеристика	Число лет	За весь период		$r(1)$	Год окончания 1 периода	1 период		2 период		$F$	$F$ (5%)	$P(F)$ , %	$t_s$	$t_s$ (5%)	$P(t)$ , %
				среднее	$C_v$			среднее	$C_v$	среднее	$C_v$						
м/с Новый Иерусалим	$t^{\circ}, C$ воздуха	Средняя годовая	74	4.0	0.3	0.2	1977	3.8	0.3	4.3	0.2	1.76	1.88	7.1	2.0	1.99	4.9
		Средняя за холодный сезон	74	-4.6	0.3	0.2	1977	-4.9	0.3	-4.0	0.3	1.5	1.88	14.5	1.9	1.99	6.1
		Средняя за теплый сезон	74	12.4	0.1	0.1	1977	12.4	0.1	12.5	0.1	1.02	1.74	46.4	0.4	1.99	69
		Средняя годовая сумма осадки, мм	74	576.0	0.2	0.2	1977	556.3	0.2	619.4	0.1	3.23	1.88	0.16	2.0	1.99	4.9
		сумма за холодный сезон	74	161.9	0.3	0.3	1977	150.7	0.4	186.5	0.2	2.61	1.88	0.71	1.9	1.99	6.1
		сумма за теплый сезон	74	414.1	0.2	0.0	1977	405.6	0.2	432.8	0.2	1.14	1.74	34.1	1.3	1.99	19.8
м/с Нижегородской ВВС	$t^{\circ}, C$ воздуха	Средняя годовая	57	6.0	0.17	0.12	1988	5.7	0.17	6.7	0.11	1.63	2.2	15.3	3.2	2.00	0.22
		Средняя за холодный сезон	57	-4.9	0.38	0.25	1988	-5.5	0.3	-3.5	0.42	1.2	2.2	36.5	3.1	2.00	0.30
		Средняя за теплый сезон	57	13.8	0.07	-0.23	1988	13.7	0.07	14.1	0.05	1.96	2.2	8	1.8	2.00	7.7
		Средняя годовая сумма осадки, мм	57	569	0.17	-0.1	1976	536	0.15	603	0.17	1.6	1.89	11.2	2.9	2.00	0.54
		Сумма за холодный сезон	57	196	0.27	0	1976	187	0.28	206	0.25	1	1.89	49.4	1.4	2.00	16.7
		Сумма за теплый сезон	57	373	0.21	-0.1	1976	348	0.19	397	0.21	1.51	1.89	14	2.7	2.00	0.92
м/с Волгоград – СХИ	$t^{\circ}, C$ воздуха	Средняя годовая	63	7.9	0.13	0.03	1988	7.6	0.13	8.6	0.1	1.25	2.19	33.1	3.4	2.00	0.12
		Средняя за холодный сезон	63	-4.2	0.48	0.17	1988	-4.7	0.38	-3.8	0.64	1.03	2.19	50.5	3.0	2.00	0.39
		Средняя за теплый сезон	66	16.6	0.06	-0.04	1988	16.4	0.06	16.8	0.05	1.57	2.18	17.7	1.15	2.00	25.4
		Средняя годовая сумма осадки, мм	64	365	0.27	0.18	1975	327	0.26	412	0.23	1.19	1.81	31.2	3.1	2.00	0.29
		Сумма за холодный сезон	64	153	0.33	0.04	1975	138	0.41	170	0.20	2.66	1.85	0.49	2.6	2.00	1.16
		Сумма за теплый сезон	66	212	0.36	0.08	1975	187	0.27	242	0.37	3.15	1.79	0.49	2.9	2.00	0.51

**Таблица 6.** Статистические характеристики факторов гидротермического состояния водосборов и ПВСС в разных природных зонах Русской равнины  $F$  – рассчитанные значения критерия Фишера,  $F(5\%)$  – значения критерия Фишера для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(F)$  – вероятность превышения значения  $F$ -статистики при справедливости нуль-гипотезы (о равенстве дисперсий за рассматриваемые периоды);  $ts$  – рассчитанные абсолютные значения  $t$ -критерия Стьюдента;  $ts(5\%)$  – значения критерия Стьюдента для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(t)$ , % (двустороннее) – вероятность превышения по абсолютному значению  $t$ -критерия при справедливости нуль – гипотезы (о равенстве средних за рассматриваемые периоды)

Объект	Показатели	Характеристика	Число лет	За весь период		$r(1)$	Год окончания 1-го периода	1-й период		2-й период		$F$	$F(5\%)$	$P(F)$ , %	$ts$	$ts(5\%)$	$P(t)$ , %
				среднее	$C_v$			среднее	$C_v$	среднее	$C_v$						
БВС “Малая Истра” Водосбор “Лесной”	ПВСС, мм	За период снеготаяния	44	33.3	0.7	0.1	1977	36.7	0.8	29.6	0.6	1.59	2.05	14.3	0.8	2.02	42.8
				66.1	0.6	0.4		88.9	0.5	40.1	0.5	4.9	2.05	0.02	3.0	2.02	0.45
Водосбор “Полевой”	ПВСС, мм	На начало снеготаяния	48	55	0.65	0.21	1988	62	0.62	38	0.57	3	2.45	2.3	1.6	2.01	11.6
				88	0.47	0.51		97	0.44	65	0.39	2.87	2.45	2.75	1.4	2.01	16.8
Нижнедевичья ВБС Водосбор “Малютка” (поле)	Глубина промерзания, см	То же	46	358	0.11	0.12	1976	351	0.1	364	0.11	1.29	2.08	28.4	0.93	2.02	35.7
				1.27	1.16	0.12		1.31	0.9	1.17	1.7	2.65	2.06	1.31	0.24	2.01	81.1
Волгоград. Станция ВНИИЛМИ Стоковая площадка зять	ПВСС, мм	За период снеготаяния	54	45	0.77	0	1979	54	0.72	33	0.7	2.62	1.97	1.02	2.3	2.01	2.5
				41	1.0	0.27		55	0.97	29	0.9	3.99	2.06	0.1	1.6	2.02	11.7
Стоковая площадка уплотненная почва	Глубина промерзания, см	То же	41	185	0.4	0.27	1979	144	0.27	216	0.4	5.2	2.18	0.04	2.4	2.02	2.1
				4.2	2.2	0.02		6.5	1.8	1.2	2.5	14.6	1.97	0.0	2.1	2.01	4.1
Стоковая площадка уплотненная почва	ПВСС, мм	За период снеготаяния	54	55	0.8	0.15	1979	70	0.69	36	0.7	3.94	1.97	0.06	2.7	2.01	0.93
				45	0.9	0.3		61	0.8	32	0.8	3.18	2.06	0.47	1.8	2.02	7.9
Стоковая площадка уплотненная почва	Глубина промерзания, см	То же	41	175	0.36	0.3	1979	144	0.24	198	0.34	3.84	2.18	0.28	2.3	2.02	2.7
				16.2	1.17	0.21		23.1	0.9	7.6	1.9	1.96	1.97	5.0	2.6	2.01	1.2



**Рис. 8.** Разностно-интегральные кривые среднегодовых величин показателей климата и речного стока в различных природных зонах Русской равнины: а – южная часть лесной зоны; б – лесостепная зона; в – степная зона; 1 – среднегодовые осадки; 2 – среднегодовой речной сток; 3 – среднегодовая температура воздуха (в отклонениях от среднего);

рельефе, почве и другими физико-географическими характеристиками водосборов в этих природных зонах, влияющих на процесс трансформации осадков в речной сток. При этом хозяйственная деятельность на водосборах может в

значительной мере либо усиливать, либо компенсировать влияние климатических изменений на годовой и весенний речной сток.

На рис. 8 показаны совмещенные РИК средних годовых температуры воздуха (в отклонениях

**Таблица 7.** Статистические характеристики речного стока малых рек в разных природных зонах Русской равнины.  $F$  – рассчитанные значения критерия Фишера;  $F(5\%)$  – значения критерия Фишера для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(F)$  – вероятность превышения значения  $F$ -статистики при справедливости нуль-гипотезы (о равенстве дисперсий за рассматриваемые периоды);  $ts$  – рассчитанные абсолютные значения  $t$ -критерия Стьюдента;  $ts(5\%)$  – значения критерия Стьюдента для уровня значимости  $P = 5\%$ ;  $P(t)$ , % (двустороннее) – вероятность превышения по абсолютному значению  $t$ -критерия при справедливости нуль – гипотезы (о равенстве средних за рассматриваемые периоды)

Объект	Показатели	Характеристика	Число лет	За весь период		$r(1)$	Год окончания 1-го периода	1-й период		2-й период		$F$	$F(5\%)$	$P(F)$ , %	$ts$	$ts(5\%)$	$P(t)$ %
				среднее	$C_v$			среднее	$C_v$								
р. Истра–Павловская Слобода	Речной сток, мм	годовой	74	204	0.3	0.4	1977	189	0.2	244	0.2	1.67	1.75	6.7	3.1	1.99	0.28
р. Хопер–пос. Новохоперск	То же	»	64	110	0.4	–0.15	1976	102	0.44	120	0.36	1.06	1.87	44.8	1.6	2.00	11.5
р. Иловля–пос. Александровка	»	»	73	19.6	0.66	0.1	1965	23.9	0.62	16.0	0.61	2.38	1.74	0.53	2.6	1.99	1.13

от среднего), осадков и годового стока рек, протекающих в зоне распространения данных опорных ВБС и метеостанций.

Из них видно, что изменения годового речного стока рек, протекающих в разных природных зонах, различны. Неоднородная реакция речного стока в разных природных зонах Русской равнины на многолетние изменения характеристик климата обусловлена следующими взаимосвязанными основными причинами: различиями в условиях увлажнения территорий этих зон; различиями в степени залесенности водосборов и в мощности зоны аэрации от поверхности до подземных водоносных горизонтов, дренирующихся речными долинами; хозяйственной деятельностью человека.

В южной части лесной зоны грунтовые воды залегают довольно близко от поверхности – на глубине от ~2 до 10 м [43].

При значительной величине выпадающих осадков это обуславливает довольно быструю реакцию речного стока на климатические изменения. В маловодные годы (1927–1977 гг.) питание рек и величина годового стока в значительной степени обусловлены ПВСС. В эту фазу талые воды быстро стекают по склонам водосборов и на 30–40% определяют годовую речной сток [32]. Этим объясняется близость нисходящих ветвей спада осадков и стока в бассейне р. Истры. С наступлением многоводного периода (с 1978 по настоящее время) ситуация изменилась. В зимне-весенние периоды многоводных лет наблюдалось увеличение величины атмосферных осадков и повышение температуры воздуха за холодный сезон. Это привело к уменьшению ПВСС и за счет более высокой впитывающей способности почвы, особенно в лесу, – к увеличению доли грунтового стока в годовом стоке рек. За счет эффекта запаздывания, вызванного изменением структуры водного баланса в период снеготаяния, начало подъема го-

дового речного стока отстало от начала подъема ветви температуры воздуха на 6–8 лет, а его величина с 1978 г. статистически значимо возросла по сравнению с маловодной фазой на 55 мм. Вероятность превышения наблюдаемой величины  $t$ -критерия – 0.28%, что свидетельствует об очень высокой вероятности неоднородности ряда (табл. 7).

Помимо влияния изменений характеристик климата, на речной сток оказывает существенное влияние хозяйственная деятельность человека и, прежде всего, интенсивный забор воды из глубоких подземных водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с реками. После использования этих вод в различных отраслях хозяйства они сбрасываются в реки, увеличивая величину годового речного и связанного с ним стока грунтовых вод. По современным оценкам в результате совместного влияния антропогенных воздействий и климатических изменений модули подземного стока малых рек, например в Московском регионе, за последние 30 лет увеличились на 50% [27].

В лесостепной зоне основные виды хозяйственной деятельности, влияющие на речной сток, – распашка территории водосборов, лесомелиоративные мероприятия и массовое сооружение прудов и водохранилищ на малых реках и суходольных балках в 1955–1960 и 1975–80 гг. [36]. Распашка водосборов и создание лесных полос приводит к снижению ПВСС и переводу его в почвенные и подземные воды, строительство прудов – к росту испарения. Совместным взаимно компенсирующим влиянием этих видов хозяйственной деятельности, уменьшением осадков с 1948 г. и ростом температуры воздуха с 1969 по 1976 г. обусловившими рост испарения, можно объяснить уменьшение годового стока р. Хопер с 1964 по 1976 г.

По отношению к маловодной фазе среднегодовой речной сток возрос на 18 мм, что, однако, не дает возможности категорически утверждать о нарушении однородности ряда (вероятность превышения наблюдаемой величины  $t$ -критерия – 11.5%). В этой природной зоне горизонт подземных вод залегает на глубине ~20–30 м [44], что должно было бы увеличить время реакции речного стока на многолетние изменения климата. Однако в действительности из-за наступления 12-летней аномальной фазы понижения температуры воздуха в многоводный по осадкам период, хорошо заметный на рис. 8, временной интервал между началом устойчивого повышения температуры воздуха и речного стока составил, так же как и в южной части лесной зоны, 6–8 лет.

В степной зоне гидравлически связанные с реками грунтовые воды залегают на еще большей глубине, чем в лесостепной зоне (~30–50 м) [44]. На фоне уменьшения величины атмосферных

осадков с 1937 по 1976 г. и температуры воздуха с 1939 по 1969 г. речной сток постоянно увеличивался, а с 1966 г. началось его уменьшение, продолжающееся до настоящего времени. Такое изменение речного стока вызвано тем обстоятельством, что поступающие на поверхность почвы осадки в теплый сезон полностью расходуются на испарение, а питание рек в маловодную по осадкам фазу осуществляется, главным образом, также за счет ПВСС. С повышением температуры воздуха на фоне роста осадков происходит снижение ПВСС и речного стока, а также медленное накопление запасов подземных вод. Снижение речного стока после 1966 г., наряду с началом увеличения температуры воздуха в холодный сезон, связано с отбором воды на орошение сельскохозяйственных полей и, так же как и в лесостепной зоне, массовым строительством прудов и малых водохранилищ. Эти виды хозяйственной деятельности в степной зоне взаимно усиливают друг друга, поскольку вода, идущая на орошение, полностью расходуется на суммарное испарение и лишь небольшой ее объем достигает залегающих на большой глубине грунтовых вод. В многоводную по осадкам фазу речной сток статистически значимо снизился на 8 мм (или на 33%) по сравнению с маловодной фазой в начале многолетнего периода (вероятность превышения наблюдаемой величины  $F$ -критерия 0.53%,  $t$ -критерия – 1.1%), что указывает на высокую вероятность неоднородности ряда речного стока. Можно полагать, что, если бы не было влияния указанных выше видов хозяйственной деятельности, начало уменьшения речного стока совпало бы с началом уменьшения ПВСС, т.е. с 1980 г. Этот год и следует считать началом влияния многолетних изменений регионального климата на годовой речной сток в данной природной зоне.

Однако полной перестройки структуры водного баланса, аналогичной той, которая произошла в других природных зонах, не произошло. Это связано с малым количеством осадков (488 мм) и большим испарением (454 мм), на которое расходуется основной объем поступающей в почву воды за счет уменьшения ПВСС, осадков и орошения. Лишь небольшая его часть, медленно просачиваясь через значительную толщу зоны аэрации, идет на пополнение подземных вод (коэффициент подземного стока равен 0.01) [12]. В связи с тем, что маловодный по речному стоку период продолжается до настоящего времени, несмотря на рост осадков и температуры воздуха, можно полагать, что время реакции речного стока на изменения климата и хозяйственной деятельности человека в этой природной зоне составляет >25 лет.

Асинхронность речного стока в степной зоне по отношению к другим природным зонам, помимо различий в мощности зоны аэрации, обусловлена также различиями в степени залесенно-

сти водосборов малых рек. В южной части лесной зоны залесенность водосборов составляет в среднем 40–60, в лесостепной 10–25, в степной 0–5% [43, 44]. В маловодную по годовым осадкам фазу в лесу к началу снеготаяния накапливается больше снега, меньше глубина промерзания, вследствие чего условия для впитывания талых вод в почву лучше, чем в поле. Из-за различий в водопроницаемости почвы ПВСС в южной части лесной зоны в лесу в 2–2.5 раза меньше, чем в поле [51]. В лесостепи в лесу ПВСС образуется крайне редко, а если и формируется, то его величина очень мала, и поэтому все аккумулярованные в снеге осадки полностью впитываются в почву. Наличие лесов в этих природных зонах приводит к тому, что суммарный объем ПВСС с лесных и полевых геосистем в эту фазу становится меньше, чем в случае полного отсутствия лесных массивов. Именно такая ситуация характерна для степной зоны, где в маловодную по годовым осадкам фазу большие снеготаяния и глубина промерзания обеспечивают быстрое стекание практически всего запаса воды в снеге в виде ПВСС. Поскольку в теплый сезон осадки во всех природных зонах расходуются в основном на суммарное испарение, асинхронность речного стока обусловлена различиями в условиях формирования гидротермического состояния водосборов в осенне–зимний сезон и ПВСС – в период весеннего снеготаяния в рассматриваемых природных зонах. Наличием лесов обусловлена квазисинхронность годового речного стока в маловодную по осадкам фазу в лесной и лесостепной зонах, а их отсутствием – их асинхронность в степной зоне. Уменьшение количества осадков в теплый сезон, перевод их части в весенний сезон на залесенных территориях в почвенные и подземные воды приводит и к общему уменьшению речного стока. В степной зоне, наоборот, формирование ПВСС, увеличивающегося по мере снижения годового количества осадков и среднегодовой температуры воздуха, определяет и увеличение речного стока.

#### ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ВЕСЕННИЙ РЕЧНОЙ СТОК

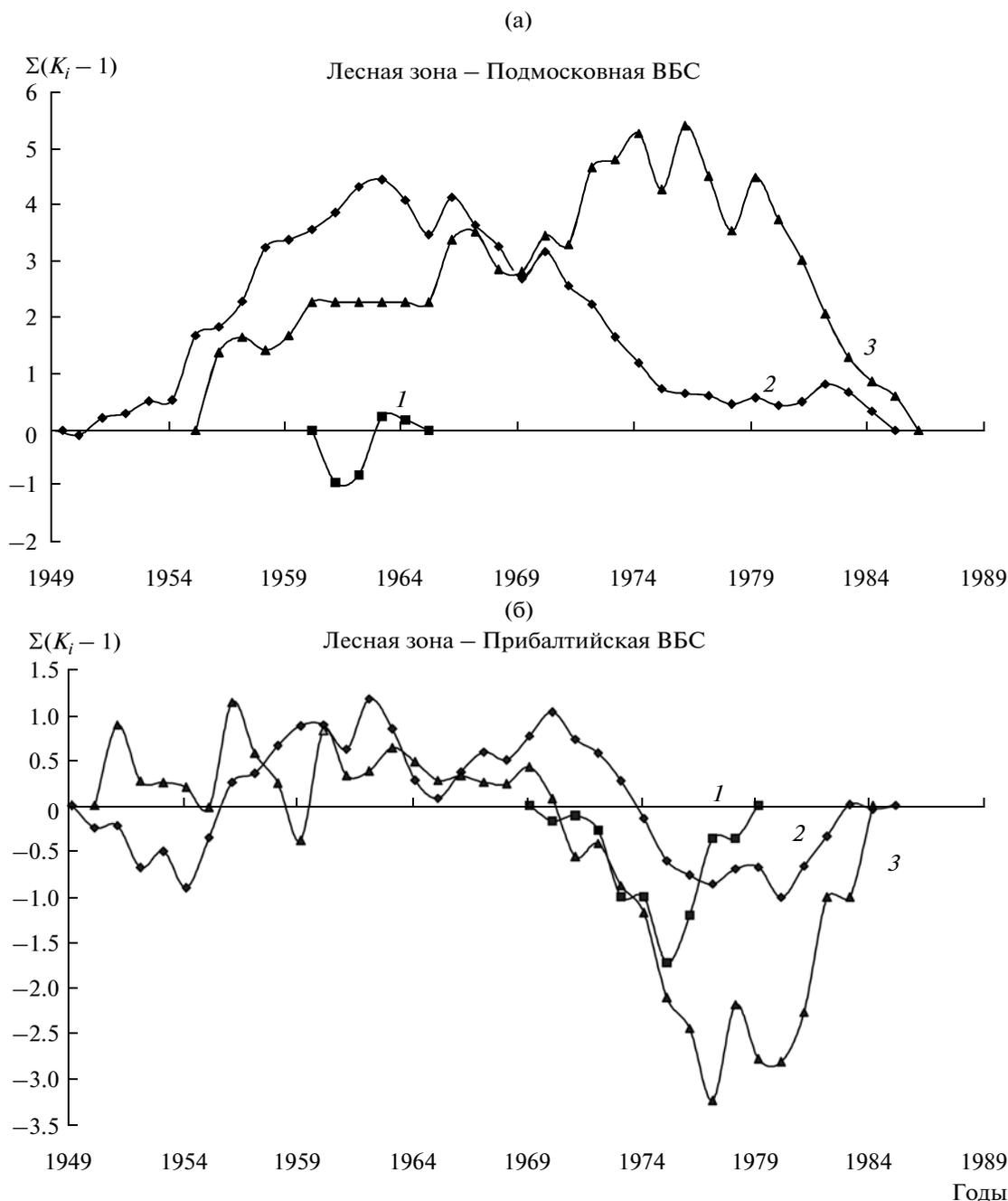
Совместное влияние климатических изменений и хозяйственной деятельности иллюстрируют РИК изменений ПВСС на зяби и уплотненной почве и речного стока в период половодья на некоторых ВБС, расположенных в разных природных зонах Русской равнины (рис. 9).

В южной части лесной зоны (Подмосковная ВБС) снижение ПВСС началось в начале–середине 1970-х гг., практически одновременно с ростом температуры воздуха и атмосферных осадков в осенне–зимние периоды года [51, 52]. В то же время снижение весеннего стока р. Москвы

началось гораздо раньше – с середины 1960-х гг. и вызвано регулирующим влиянием расположенных в верховьях этой реки водохранилищ Московецкой водохозяйственной системы (Можайского, Озернинского, Рузского), аккумулярующих до 80% речного стока этого периода. Для западной части этой зоны (Прибалтийская ВБС) до середины 1970-х гг. сохранялись общие для всех природных зон тенденции снижения ПВСС на всех угодьях и весеннего речного стока. Однако в отличие от других природных зон, где маловодная фаза в весенние периоды продолжается, здесь отмечается рост значений этих процессов, что может быть обусловлено близостью к Балтийскому морю и Атлантическому океану, способствующей увеличению атмосферных осадков в холодных период. В лесостепной (Курский стационар ИГРАН) и степной (Каменная степь) зонах изменения ПВСС на всех угодьях практически синхронны во времени как друг с другом, так и с речным стоком половодья, что свидетельствует о преобладающем влиянии изменений климата на многолетние изменения этих гидрологических процессов.

#### ВЫВОДЫ

В основных природных зонах Европейской территории РФ годовой и весенний речной сток по-разному реагируют на совместное влияние многолетних изменений климата и хозяйственной деятельности. В маловодную по осадкам фазу во всех природных зонах основное питание рек осуществляется за счет ПВСС. При этом в южной части лесной и лесостепной зон наличие лесов приводит к уменьшению его общего объема, в степной их отсутствие, наоборот, – к его увеличению. В многоводную по осадкам фазу в результате повышения средней годовой и за холодный сезон температуры воздуха происходит перестройка структуры водного баланса водосборов. Она заключается в том, что значительная часть аккумулярованных за зиму в снеге осадков расходуются уже не на ПВСС, а на пополнение почвенных и подземных вод. За счет эффекта запаздывания, вызванного увеличением времени дренирования талых и дождевых вод, формирующихся на водосборе и в овражно-балочной сети, реакция годового речного стока наступает не одновременно с началом наступления изменений показателем климата, а с определенным временным интервалом. Физико-географические условия природных зон и хозяйственная деятельность на водосборах могут увеличивать или уменьшать время реакции речного стока на изменения показателей регионального климата.



**Рис. 9.** Разностно-интегральные кривые поверхностного весеннего склонового и речного стока в период половодья. а: 1 – склоновый сток с зяби; 2 – речной сток р. Москва–г. Звенигород; 3 – склоновый сток с уплотненной почвы. б: 1 – склоновый сток с зяби; 2 – речной сток р. Туля–Прибалтийская ВБС; 3 – склоновый сток с уплотненной почвы. в: 1 – склоновый сток с зяби; 2 – речной сток р. Тим–пос. Новые Савины; 3 – склоновый сток с уплотненной почвы. г: 1 – склоновый сток с зяби; 2 – речной сток р. Битюг–пос. Бобров; 3 – склоновый сток с уплотненной почвы.

Наиболее быстро реагирует годовой речной сток на совместное влияние климатических изменений и хозяйственной деятельности в южной части лесной зоны. В лесостепной зоне различные виды хозяйственной деятельности на водосборах в определенной мере компенсируют влияние друг друга на структуру их водного баланса, а много-

летние изменения речного стока в маловодную по осадкам фазу подобны его изменениям в южной части лесной зоны, в многоводную фазу – в степной зоне.

В степной зоне влияние климатических изменений на годовой речной сток происходит с большой задержкой, что обусловлено физико-геогра-

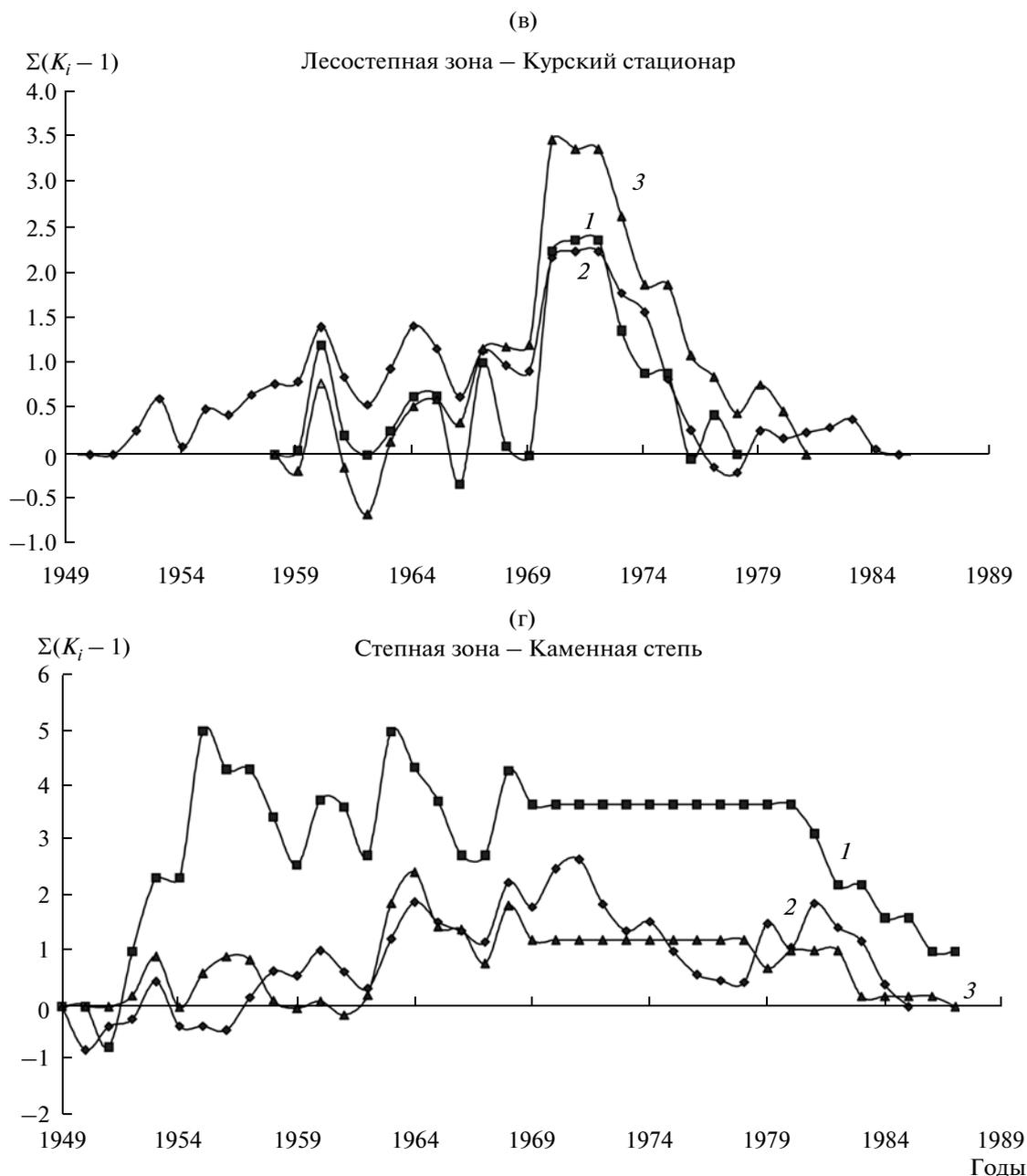


Рис. 9. Окончание.

фическими особенностями территории, такими как отсутствием лесов и большой мощностью зоны аэрации. В многоводный по осадкам период происходит медленное накопление подземных вод и снижение речного стока, в маловодный по осадкам период – их сработка и увеличение речного стока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акименко Т.А., Евстигнеев В.М. Реакция стока рек Верхне-Волжского бассейна на изменение климата в последней четверти XX века // Вестн. МГУ. Сер. 5., География. 2002. № 5. С. 50–55.
2. Анисимов О.А. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на режим вечной мерзлоты // Метеорология и гидрология. 1990. № 10. С. 13–20.
3. Бреслав Е.И., Болтнев Л.И., Назаров И.М. Оценка возможных изменений загрязненности рек при глобальном потеплении // Метеорология и гидрология. 1993. № 6. С. 70–76.
4. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 319 с.

5. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М.: Гидрометеоздат, 1986. 159 с.
6. Бусаров В.Н. “Климатические” проблемы энергетики // Природа. 1992, № 12. С. 16–19.
7. Бусарова О.Е., Гусев Е.М. Использование результатов моделирования изменения климата для оценки изменения суммарного испарения на территории Европы // Метеорология и гидрология. 1995. № 10. С. 29–34.
8. Бусарова О.Е., Гусев Е.М., Денисенко Е.А. Реакция испарения и первичной биологической продуктивности на возможные изменения климата на Европейской территории // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 3. С. 52–58.
9. Величко А.А. Глобальные изменения климата и реакция ландшафтной оболочки Известия РАН. Сер. геогр. 1991. № 5. С. 5–22.
10. Величко А.А., Карпачевский Л.О., Морозова Т.Д. Влагооборот в почвах при глобальном потеплении климата, опыт прогнозирования на примере Восточной Европы // Почвоведение. 1995. № 8. С. 933–942.
11. Винников К.Я., Лемешко Н.А. Влажностное содержание почвы и сток на территории СССР при глобальном потеплении // Метеорология и гидрология. 1987. № 12. С. 96–103.
12. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 200 с.
13. Всемирная конференция по изменению климата Труды. М.: ИГКЭ Роскомгидромета и РАН, 2004. 624 с.
14. Георгиевский В.Ю., Ежов А.В., Шалыгин А.Л. и др. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. 1996. № 11. С. 89–99.
15. Горшков С.П. Стихийные бедствия, природа и человек // Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. М.: Изд-во Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 106–134.
16. Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе “гидросфера–атмосфера” М. Геос, 2002. 231 с.
17. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 303 с.
18. Зайцева И.С. Многолетние колебания стока Волги и глобальные изменения климата // Изв. РАН. Сер. геогр. 1996. № 5. С. 45–54.
19. Израэль Ю.А. Изменения глобального климата, их причины и последствия // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. М.: Наука, 1998. С. 49–68.
20. Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Гитарский М.Л., Карabanь Р.Т., Назаров И.М., Сиротенко О.Д. Последствия изменения климата для России // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. М.: Наука, 2001. С. 40–64.
21. Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Елисеев Д.Е. Адаптация водного хозяйства Российской Федерации к изменениям климата // Глобальные изменения природной среды и климата / Под ред. Лаверова Н.П. М.: Наука, 1997. С. 373–391.
22. Израэль Ю.А., Семенов С.М., Анисимов О.А. и др. Четвертый оценочный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад рабочей группы II // Метеорология и гидрология. 2007. № 9. С. 5–13.
23. Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги // Вод. ресурсы. 2001. Т. 28. № 5. С. 517–525.
24. Клиге Р.К., Ковалевский В.С., Федорченко Е.А. Влияние глобальных климатических изменений на водные ресурсы Волжского бассейна // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим) М.: Науч. мир, 2000. С. 220–236
25. Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю. Глобальное потепление и природные зоны // Метеорология и гидрология. 1992. № 8. С. 91–97.
26. Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю., Турчинович И.Е. Влияние изменений климата на природную зональность и экосистемы России // Изменения климата и их последствия. СПб.: Наука, 2002. С. 205–209.
27. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Науч. мир, 2001. 331 с.
28. Ковалевский В.С., Якимова С.В. Особенности многолетней изменчивости естественных ресурсов подземных вод Московского региона // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 261–269.
29. Колосов П.А., Минин А.А. Тенденции изменения параметров климата и продуктивности растительного покрова на территории СССР за последние 40 лет // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем СПб.: Гидрометеоздат, 1992. Т. XIV. С. 97–108.
30. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 358 с.
31. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Влияние изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Известия РАН. Сер. Геогр. 2007. № 5. С. 64–70.
32. Коронкевич Н.И., Ясинский С.В. О современном состоянии изучения поверхностного стока в основных почвенных зонах Европейской России // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1115–1125.
33. Котляков В.М. Глобальные изменения за четыре последних климатических цикла: (К итогам исследований керна из глубокой скважины на станции Восток в Антарктиде) // Тр. XI съезда РГО, 2000. Т. 1. С. 24–39.
34. Котляков В.М. Глобальные изменения и география // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1995. № 3. С. 5–10.
35. Котляков В.М. Глобальные изменения климата: антропогенное влияние или естественные вариации // Экология и жизнь. 2001. № 1. С. 44–47.
36. Кумани М.В. Способы регулирования почвенно-эрозийных процессов и гидрологического режима агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны. Автореф. дис. ВНИИЗПЭ докт. с.-х. наук Курск: 2003. 49 с.
37. Кумани М.В., Ясинский С.В. Выбор слоя-индикатора при мониторинговых наблюдениях влажности

- почвы // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1987. № 2. С.72–79
38. *Малевский-Малевич С.П., Надеждина Е.Д.* Оценка влияния изменений климата на вечную мерзлоту в России, основанные на модельных сценариях изменения климата // *Изменения климата и их последствия*. СПб.: Наука, 2002. С. 231–238.
  39. *Малик Л.К.* Проблемы эксплуатации и безопасности объектов энергетики в условиях меняющегося климата // *Изв. РГО*. 2002. Т. 136. Вып.6. С. 42–58
  40. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Сер. 3. 159 с.
  41. *Пегов С.А., Хомяков Д.М., Хомяков П.М.* Влияние глобальных изменений на социально – экономическое положение России // *Глобал. и регион. изменения климата и их природные и соц.-эконом. последствия*. М.: ГЕОС, 2000. С. 60–70.
  42. *Предстоящие изменения климата / Под ред. Будыко М.И., Израэля Ю.А., Маккракена М.С., Хекта, А.Д.* Л.: Гидрометеиздат, 1991. 272 с.
  43. *Природные условия и естественные ресурсы СССР. Средняя полоса Европейской части СССР*. М.: Наука, 1967. 440 с.
  44. *Природные условия и естественные ресурсы СССР. Юго-восток Европейской части СССР*. М.: Наука, 1971. 459 с.
  45. *Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В.* Оценка точности гидрологических расчетов Л.: Гидрометеиздат, 1990. 276 с.
  46. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.
  47. *Сиротенко О.Д., Абашина Е.А.* Агроклиматические ресурсы и физико-географическая зональность территории России при глобальном потеплении // *Метеорология и гидрология*. 1998. № 9. С. 92–103.
  48. *Шикломанов И.А., Бабкин В.И.* Изменения климата и водное хозяйство // *Метеорология и гидрология*. 1992. № 8. С. 38–43.
  49. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // *Изменения климата и их последствия*. СПб.: Наука, 2002. С. 152–164.
  50. *Эдельштейн К.К., Ершова М.Г., Гречушников М.Г., Пуклакова Н.Г.* Климатическая трансформация гидрологического режима и планктона в Можайском водохранилище // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 7. С. 71–82.
  51. *Ясинский С.В.* Реакция поверхностного весеннего стока на региональные изменения климата // *Изв. РАН. Сер. Геогр.* 2004. № 4. С. 72–84.
  52. *Ясинский С.В., Кашутина Е.А.* Пространственные и временные закономерности изменения весеннего склонового и речного стока на Русской равнине // *Изв. РАН Сер. Геогр.* 2008. № 4. С. 71–81.