

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ВАЗИРЛАР МАҲКАМАСИ
ҲУЗУРИДАГИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
БОШ БОШҚАРМАСИ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ПРИ КАБИНЕТЕ МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

В. А. БУГАЕВ НОМИДАГИ ЎРТА ОСИЁ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени В. А. БУГАЕВА

И. С. Ким

Ўрта Осиё иқлимнинг қисқа даврли
тебранишлари ва прогноз
методикалари

Короткопериодные колебания
климата Средней Азии и методики
прогнозирования



ТАШКЕНТ — 1996

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси
ҳузуридаги гидрометеорология Бош бошқармаси

Главное управление по гидрометеорологии
при Кабинете Министров Республики Узбекистан

В. А. Бугаев номидаги Ўрта Осиё илмий-тадқиқот
гидрометеорология институти

Среднеазиатский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт им. В. А. Бугаева

И. С. КИМ

Ўрта Осиё иқлимнинг қисқа даврли
тебранишлари ва прогноз методикалари

Короткопериодные колебания климата
Средней Азии и методики прогнозирования

Под редакцией
канд. геогр. наук Л. Н. Боровиковой

Исследованы основные факторы, влияющие на изменение климата Средней Азии. Выявлены периодичности в изменениях климата северного полушария и регионального климата Средней Азии.

Даны оценки возможных изменений до 2005 года средней годовой температуры воздуха северного полушария и в регионе Средней Азии, повторяемости основных типов синоптических процессов, годовых сумм осадков, термических и водных ресурсов в зоне формирования и других характеристик климата Средней Азии.

Для специалистов, интересующихся проблемами колебаний и изменений климата.

Ўрта Осиё иқлимнинг ўзгаришига таъсир қилувчи асосий факторлар ўрганилган. Шимолий ярим шар ва Ўрта Осиё регионал иқлимнинг даврий ўзгариши аниқланди. Шимолий ярим шар ва Ўрта Осиёда ўртача йиллик ҳарорати, асосий синоптик жараёнларнинг такрорланиши, йиллик ёғинлар йиғиндиси, термик ва сув ресурслари ва Ўрта Осиё иқлимнинг бошқа тавсифларида 2005 йилгача бўлиши мумкин бўлган ўзгаришларига баҳо берилган.

Иқлимнинг ўзгариш муаммолари билан қизиқадиган мутахассисларга мўлжалланган.

The main factors influencing Climate Change for Central Asia are investigated.

The Climate Change harmonic trends for Northern Hemisphere and Central Asian regional Climate are established.

Possible Change up to 2005 of mean annual temperature for Northern Hemisphere and Central Asian region, occurrence of the main synoptic processes types, annual precipitation, thermal and water resources in formation zone, other climatic characteristics of Central Asia are estimated.

For specialists, interesting in problems of the climate variation and change.

Рецензент канд. физ.-мат. наук С.Г. Чанышева

© Ким И.С.

© Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаева (САНИГМИ), 1996 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА	8
1.1. Факторы, воздействующие на климат.....	8
1.2. Изучение климата прошлого с использованием метода палеорекострукции.....	16
1.3. Климатические модели.....	17
1.4. Исследования климата эмпирическими методами.....	19
1.5. Исследования изменчивости климата Средней Азии.....	22
2. ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ И ПРИЧИНЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ	25
2.1. Обнаружение сигнала изменения климата.....	25
2.2. Естественные климатообразующие факторы.....	26
2.3. Межширотный обмен воздушными массами как причина изменения среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария в XX веке.....	28
2.4. Оценки возможных изменений среднегодовой приземной температуры воздуха и характеристик циркуляции атмосферы северного полушария.....	35
2.5. Изменение приземного температурного режима северного полушария.....	37
2.6. Оценки возможных изменений полей среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария.....	43
2.7. Изменение границ синоптических сезонов над первым естественным синоптическим районом.....	45
3. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ СРЕДНЕЙ АЗИИ	47
3.1. Изменение повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии.....	49
3.2. Оценки возможных изменений повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии до 2005 года	58

4.	ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ АЗИИ (соавтор Л.Н.Воровикова)	60
4.1.	Изменение среднегодовой приземной температуры воздуха	61
4.2.	Оценка изменения приземной температуры воздуха в Средней Азии к 2005 году.....	69
4.3.	Средние многолетние даты устойчивых переходов сред- несуточных температур воздуха через 0° , 5° , 10° , 15°C и даты крайних заморозков в воздухе.....	72
4.4.	Изменение дат устойчивого перехода среднесуточных температур через 5° , 10° , 15°C и дат крайних замо- розков в воздухе.....	74
4.5.	Изменение сумм эффективных температур воздуха.....	84
4.6.	Оценки возможных изменений термических ресурсов Средней Азии.....	86
Б.	ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВЫХ СУММ ОСАДКОВ И ДРУГИХ КЛИМАТИ- ЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДНЕЙ АЗИИ	90
Б.1.	Изменение годовых сумм осадков Средней Азии.....	90
Б.2.	Оценки возможных изменений годовых сумм осадков	97
Б.3.	Изменения годового стока рек Сырдарья и Амударья в зоне формирования и оценки их возможных изменений	98
Б.4.	Изменения уровней бессточных горных озер Средней Азии и оценки их возможных изменений.....	102
Б.5.	Изменения гляциоклиматических характеристик ледников Средней Азии и оценки их возможных изменений.....	105
Б.6.	Изменение уровня Каспийского моря* и оценки его возможных изменений.....	111
Б.7.	Изменение солнечной радиации по Узбекистану.....	115
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ	131

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что климат Земли менялся в широком временном интервале. Наряду с долговременными изменениями (ледниковые и межледниковые периоды) существовали и короткопериодные колебания климата. По данным, характеризующим климат Земли за последние 500 тыс. лет, ледниковые и межледниковые периоды чередовались, примерно, каждые 100 тыс. лет. Последний ледниковый максимум был около 20 тыс. лет назад, когда ледяной щит покрывал Канаду и большую часть Европы и Азии. Морские льды были распространены на большом пространстве и уровень океана находился, примерно, на 80 м ниже, чем в настоящее время.

Особенностью изменения климата Земли за последние 1000 лет является малый ледниковый период, который существовал между 1300 - 1800 годами. С тех пор мы наблюдаем небольшое потепление, по крайней мере, в северном полушарии, которое продолжается в настоящее время.

Колебания климата оказывают существенное влияние на деятельность человека и экономику. Например, экстремальные отклонения количества атмосферных осадков, приводящие к засухам или наводнениям, всегда вызывали озабоченность человечества.

Совсем малые изменения средней температуры полушария могут приводить к значительным региональным колебаниям. Так, во время малого ледникового периода средняя температура полушария изменилась не более чем на 1°K , но в Европе наблюдались в среднем более суровые зимы, чем в настоящее время, а материковые ледники и морской лед занимали большую площадь.

Возросшая хозяйственная деятельность человека, существенно зависящая от изменений климатических условий, сама начинает во все возрастающем масштабе оказывать влияние на окружающую среду и климат. Возрастает количество выбрасываемой в атмосферу двуокиси углерода и других малых газовых примесей, влияющих на тепловой режим атмосферы и толщину озонового слоя. Увеличиваются выбросы в атмосферу аэрозоля, изменяется характер подстилающей поверхности за счет вырубки лесов, создаются водохранилища, изменяется режим влагооборота и испарения в результате изъятия и перераспределения речного стока и т.д. Характерным примером та-

кого воздействия может служить экологическая катастрофа в регионе Средней Азии, связанная с усыханием Аральского моря.

Лишь немногие проблемы вызвали в последние годы более широкий интерес общественности и политический резонанс, чем увеличение содержания в атмосфере двуокиси углерода и других парниковых газов, а также связанные с этим возможные последствия для климата Земли.

Были проведены две Всемирные конференции по климату в 1979 и 1990 годах. Создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая разрабатывает сценарии будущих возможных изменений концентрации в атмосфере двуокиси углерода и других малых парниковых газов и соответствующие возможные сценарии изменения климата. На основе этого разрабатываются программы применения знаний о климате, обслуживания климатическими данными и стратегия реагирования.

Всемирной Метеорологической Организацией разработана и совершенствуется Всемирная Климатическая Программа, которая состоит из Всемирной программы климатических данных и мониторинга, Всемирной программы климатических применений и обслуживания, Всемирной программы оценки влияния климата и стратегии реагирования и Всемирной программы исследования климата.

Важное значение начинают принимать исследования в области изменения климата и разработка региональных сценариев. Большое внимание уделяется влиянию парникового эффекта на климат Земли, которое должно привести к глобальному потеплению, и естественно, к изменению климата во многих регионах.

В настоящей работе проведены исследования по выявлению основных причин изменения глобального климата в современную эпоху, а также причин изменения регионального климата Средней Азии. Разработаны сценарии изменения среднегодовой температуры северного полушария, повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса, межширотного обмена. Разработан региональный сценарий изменения климата Средней Азии до 2005 года, в который вошли кроме традиционных метеорологических климатических характеристик, гляциоклиматические, гидрологические и агроклиматические.

При выполнении этой работы автору была оказана большая помощь сотрудниками отдела исследований и мониторинга климата

САНИТМИ Т.Ю. Спекторман, С.П. Никулиной, Л.Е. Скрипниковой и В.А. Ряпп, за что им выражается большая благодарность. Также автор отмечает большую заслугу Л.Е. Скрипниковой, Е.В. Петровой и Е.Р. Мавлиной за подготовку рукописи к изданию. Значительную помощь оказала С.Г. Чанышева, внося существенные замечания при рецензировании текста.

Глава 4, посвященная изменению температурного режима Средней Азии, написана в соавторстве с ответственным редактором кандидатом географических наук Л.Н. Боровиковой, за что автор ей искренне признателен, а также благодарит за тщательное редактирование работы.

И.С. Ким

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

Под климатом обычно понимают осредненные характеристики погоды и их флуктуации, т.е. статистические характеристики состояния климатической системы, которые получают путем осреднения характеристик погоды за интервал времени, намного превышающий предел предсказуемости. Климатическая система включает в себя помимо атмосферы, океан, ледниковые щиты и поверхность суши. Существует межгодовая изменчивость климата. Кроме того, климат может испытывать флуктуации масштаба нескольких лет и долговременные изменения в пределах десятков лет и более.

Можно получить более строгое определение климата, если ввести понятие осреднения по ансамблю, а не по времени. Под ансамблем состояний понимается бесконечное множество идентичных Земле планет, находящихся под одинаковым фиксированным внешним воздействием (одинаков поток излучения, приходящего на верхнюю границу атмосферы, ее состав и т.д.). С течением времени погода на каждой из планет претерпевает эволюцию, однако, если соответствующее распределение вероятностей в ансамбле остается стационарным и если климат определен через средние по ансамблю величины, он должен оставаться постоянным. Если же предположить, что внешние воздействия не меняются в течение всего времени, то соответствующий постоянный средней по ансамблю климат должен быть тем же, что и климат, полученный осреднением по бесконечному временному интервалу для любого члена ансамбля такого, как наша Земля.

1.1. Факторы, воздействующие на климат

Основными факторами, воздействующими на климат Земли, являются:

1. **Изменение светимости Солнца.** Известно, что светимость Солнца изменяется только за очень большие промежутки времени. Непосредственных свидетельств и значимых долговременных флуктуаций излучения Солнца не имеется, влияние колебаний количест-

ва солнечных пятен на климат еще достоверно не установлено, поскольку такая зависимость не подтверждена статистически значимой связью.

2. Изменение параметров орбиты Земли. Влияние изменения параметров орбиты Земли в масштабах тысячелетий и более сказывается на изменении широтного и сезонного хода интенсивности солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы /54, 57/.

3. Вариации параметров вращения Земли вокруг своей оси. Изменение параметров вращения Земли вокруг своей оси под влиянием гравитационных сил Солнца, Луны и планет солнечной системы воздействует на климат Земли в масштабе от года до сотен лет. Во временных рядах гидрометеозлементов находят периодичности, связанные с этими параметрами /82/. Обнаружены связи между явлением Эль-Ниньо и скоростью вращения Земли /99/.

4. Изменение концентрации аэрозолей. Выбросы аэрозолей и соединений серы в атмосферу извержениями вулканов могут приводить к понижению средней глобальной температуры воздуха на $0,3^{\circ}\text{K}$ и к нагреву на несколько градусов тех слоев стратосферы, где сосредоточена вулканическая аэрозоль. Наблюдения показывают, что охлаждение у поверхности Земли происходит в течение нескольких месяцев (от месяца до года и более) /90, 93 и др./.

А в последние десятилетия в результате хозяйственной деятельности в атмосферу выбрасываются аэрозоли, соединения серы и другие химические соединения, которые, как полагают ученые, также будут оказывать влияние на изменение климата.

5. Изменение состава атмосферы. Радиационный режим планеты существенно зависит от состава атмосферы и уровня ее прозрачности. За время существования Земли как планеты химический состав и структура атмосферы претерпели значительные изменения. Изменение концентрации и химического состава оптически активных газообразных составляющих атмосферы способны существенно влиять на баланс радиации в атмосфере. Основным механизмом, посредством которого реализуется вклад радиационных факторов, является парниковый эффект. Сущность парникового эффекта состоит в том, что атмосфера Земли сравнительно прозрачна для солнечного излучения и, в то же время, непрозрачна для теплового излучения по-

верхности Земли. Существует естественный парниковый эффект, который поддерживает имеющийся до настоящего времени температурный режим в нижней части атмосферы. Здесь основным поглотителем длинноволнового излучения Земли является водяной пар. Естественный парниковый эффект задерживает около 150 Вт/м^2 из них 120 Вт/м^2 приходится на долю водяного пара. Но с ростом хозяйственной деятельности человека увеличились выбросы в атмосферу других малых газовых составляющих, которые поглощают и переизлучают энергию в различных частях спектра. Наиболее важные из них H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4 и хлорфторуглероды (фреоны).

Присутствие водяного пара в атмосфере вызвано, в основном, естественными причинами, а фреонов только антропогенными. Концентрации других малых газовых составляющих могут изменяться под влиянием антропогенных воздействий, но имеются и известные вариации, так как в геохимических циклах малых газовых составляющих есть обратные связи с климатической системой. Например, потепление в зоне вечной мерзлоты может вызвать выделение из растаявших болот CH_4 , повышение температуры воды в океанах может уменьшить поглощение CO_2 , любой рост температуры воздуха может привести к увеличению концентрации водяного пара в атмосфере, что возможно увеличит количество облачности, которая в свою очередь увеличит величину отраженной радиации атмосферой Земли и т.д.

Наиболее важным антропогенным фактором изменения климата считается увеличение концентрации CO_2 в атмосфере. Измерения содержания атмосферного CO_2 были начаты в 1957 году К.Д.Килингом (Keeling C. D.) в обсерватории Мауна-Лоа. В настоящее время регулярные измерения содержания CO_2 проводятся также на ряде других станций. В целом они подтверждают наличие годового хода CO_2 и постепенного роста со временем. Концентрация CO_2 возросла на 25% по сравнению с его концентрацией в первой половине прошлого века. В последние годы значительно возросло понимание основных закономерностей планетарного круговорота углерода в природе, опубликовано много обзоров по этой теме [15 и др.].

По данным многочисленных исследований [95, 98 и др.], концентрация CO_2 в атмосфере в доиндустриальную эпоху составля-

ла 280 млн^{-1} , в настоящее время количество CO_2 в атмосфере составляет около 340 млн^{-1} . Предполагается рост концентрации CO_2 в атмосфере за счет сжигания ископаемого топлива. Обобщенные оценки количества CH_4 в атмосфере приводятся в работе /92/, в 1940 году концентрация CH_4 в атмосфере составляла $1,04 \text{ млн}^{-1}$, в 1950 - $1,12$, в 1960 - $1,26$ и в 1970 году - $1,42$.

Концентрация N_2O в атмосфере в доиндустриальную эпоху составляла вероятно 280 млрд^{-1} , в 1980 - 301 млрд^{-1} . Кроме парникового эффекта, N_2O также влияет на содержание в атмосфере озона: удвоение концентрации N_2O при прочих неизменных условиях приведет к уменьшению общего содержания озона на 3-5%.

Хлорфторуглероды в атмосфере были обнаружены в начале 70-х годов, а наиболее пристальное внимание привлекли к себе, когда выяснилось, что они могут представлять угрозу озоновому слою. Затем было выявлено, что фреоны обладают сильными полосами поглощения в инфракрасной области спектра, т.е. вносят вклад в парниковый эффект. Наиболее существенное влияние на радиационный баланс оказывают CFCl_3 (фреон-11) и CF_2Cl_2 (фреон-12), которые используются в качестве рабочих жидкостей в холодильниках, наполнителей аэрозольных баллончиков. В начале 80-х годов концентрация фреона-11 в атмосфере составляла $168 \cdot 10^{-12} \text{ млн}^{-1}$, а скорость роста 5,7% в год, концентрация фреона-12 была $285 \cdot 10^{-12} \text{ млн}^{-1}$, рост - 6%.

Озон в атмосфере характеризуется значительной пространственной и временной изменчивостью. Интерес к содержанию озона в атмосфере возрос в последние годы в связи с появлением озоновых дыр в стратосфере над Антарктидой. Катастрофическое уменьшение озона связывают с антропогенными выбросами малых газовых составляющих, особенно хлорфторуглеродов, которые, как полагают, разрушают озоновый слой. В то же время наблюдается увеличение содержания озона в тропосфере, которое, примерно, равно 1-2% в год.

По некоторым оценкам рост концентрации малых газовых составляющих в атмосфере (метана, закиси азота, фреона и др.) может влиять на рост глобальной температуры воздуха почти также, как увеличение концентрации CO_2 в атмосфере.

МГЭИК в своем первом докладе представила сценарии увеличения концентраций малых парниковых газов в атмосфере до конца XXI столетия. На рис.1.1 приводятся сценарии увеличения концентрации CO_2 /61/.

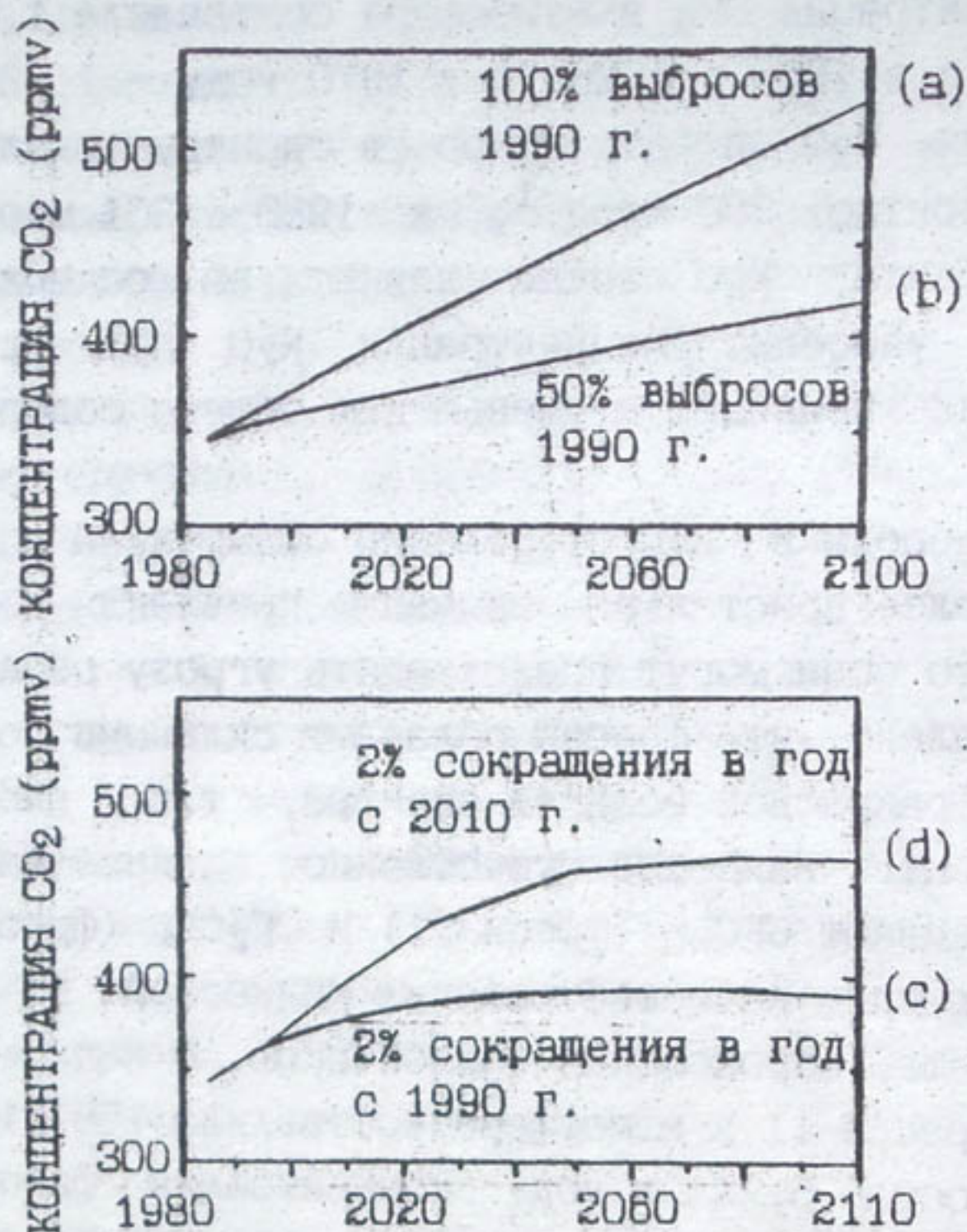


Рис.1.1. Взаимосвязь между гипотетическими выбросами дву-окси углерода и ее концентрацией в атмосфере показана для случаев, когда (а) выбросы продолжают на уровне 1990 г., (б) выбросы сокращаются на 50% в 1990 г. и остаются на этом уровне, (с) выбросы сокращаются на 2% в год с 1990 г. и (d) выбросы после увеличения на 2% в год до 2010 г. затем сокращаются на 2% в год /61/.

По поручению МГЭИК Рабочая группа I разработала 4 сценария будущих антропогенных выбросов парниковых газов, которые приводятся на рис.1.2 /61/.

Первый сценарий предполагает, что для ограничения выбросов парниковых газов будут приняты незначительные меры или не будет

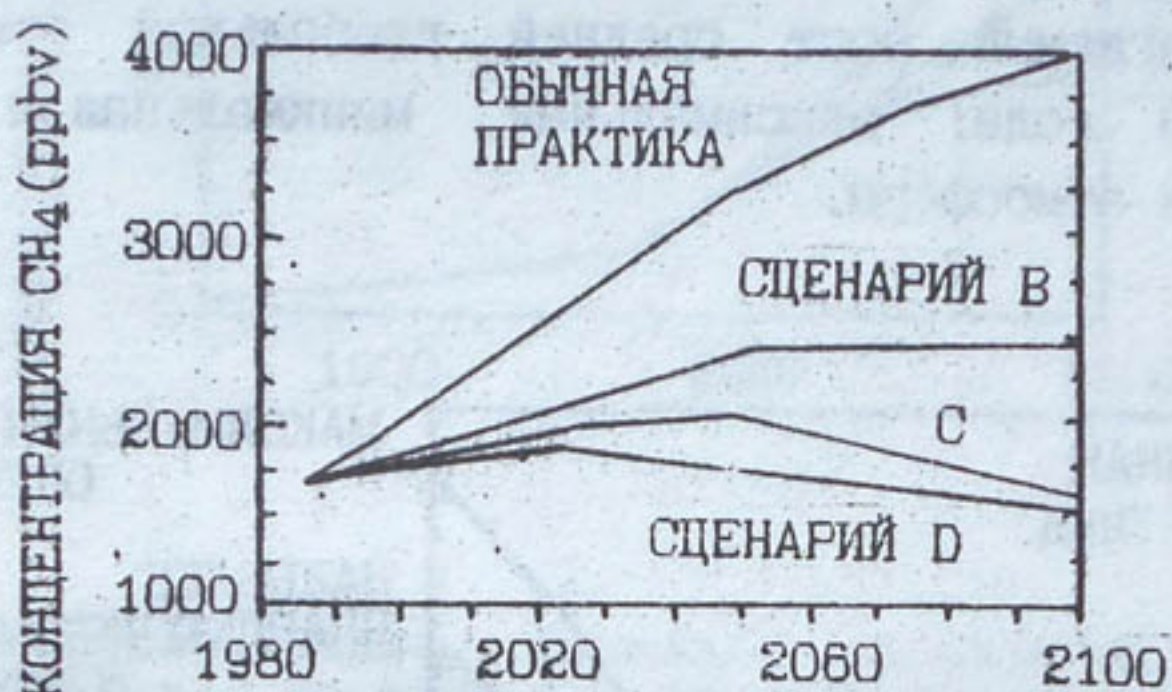


Рис.1.2. Атмосферные концентрации двуокиси углерода, метана и ХФУ-11 согласно четырем сценариям выбросов МГЭИК /61/.

принято никаких мер вообще, этот сценарий (А) был назван обычной практикой. Три других сценария (В,С,Д) предполагают прогрессивное сокращение выбросов.

Согласно сценарию (А) ("обычная практика") средняя глобальная температура в течение следующего столетия будет расти в среднем на $0,3^{\circ}\text{C}$ за десятилетия (с диапазоном неопределенности $0,2-0,5$). Это может привести к изменению средней глобальной температуры воздуха к 2025 году на величину 1°C выше нынешнего уровня и около 2°C по сравнению с доиндустриальным периодом. До конца столетия возможно потепление на 3°C выше современного уровня и около 4°C выше доиндустриального периода. На рис.1.3 приведен предполагаемый рост средней глобальной температуры воздуха до 2100 года: максимальная, минимальная и наиболее вероятная реакция атмосферы.

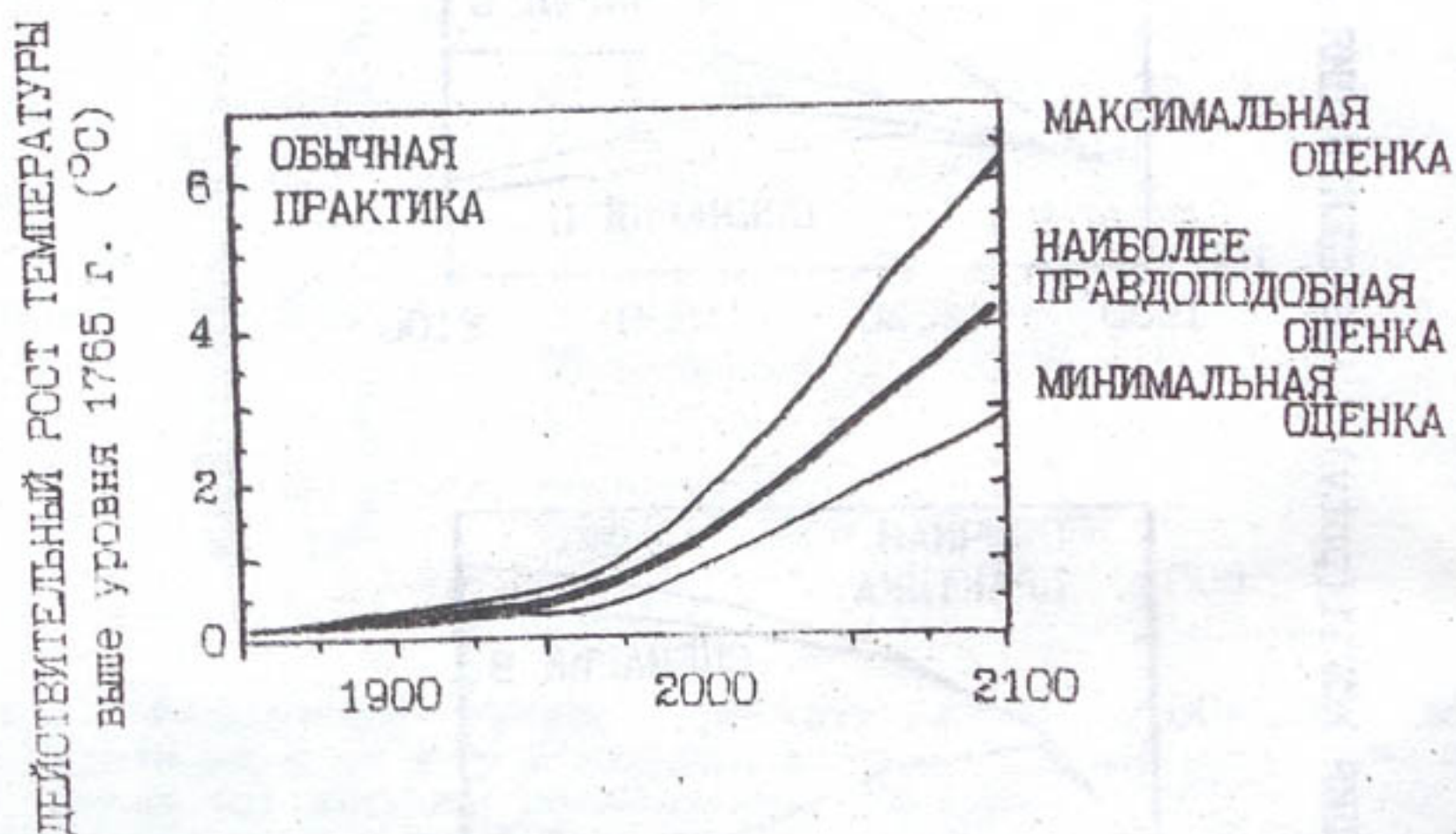


Рис.1.3. Моделирование роста глобальной средней температуры с 1850 г. по 1990 г., обусловленного наблюдавшимся увеличением содержания парниковых газов, и прогнозы увеличения температуры между 1990 г. и 2100 г. согласно сценарию выбросов "Обычная практика" /61/.

В связи с тем, что на климат влияют и другие факторы, это потепление не может быть равномерным. На рис.1.4 приводится предполагаемый рост средней глобальной температуры воздуха, если выбросы парниковых газов будут контролироваться, т.е. при

сценариях увеличения концентрации парниковых газов - (В, С и D). По сценарию (В) средняя скорость повышения средней глобальной температуры оценивается $0,2^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, чуть выше $0,1^{\circ}\text{C}$ за десятилетие по сценарию (С) и около $0,1^{\circ}\text{C}$ за десятилетие по сценарию (D).

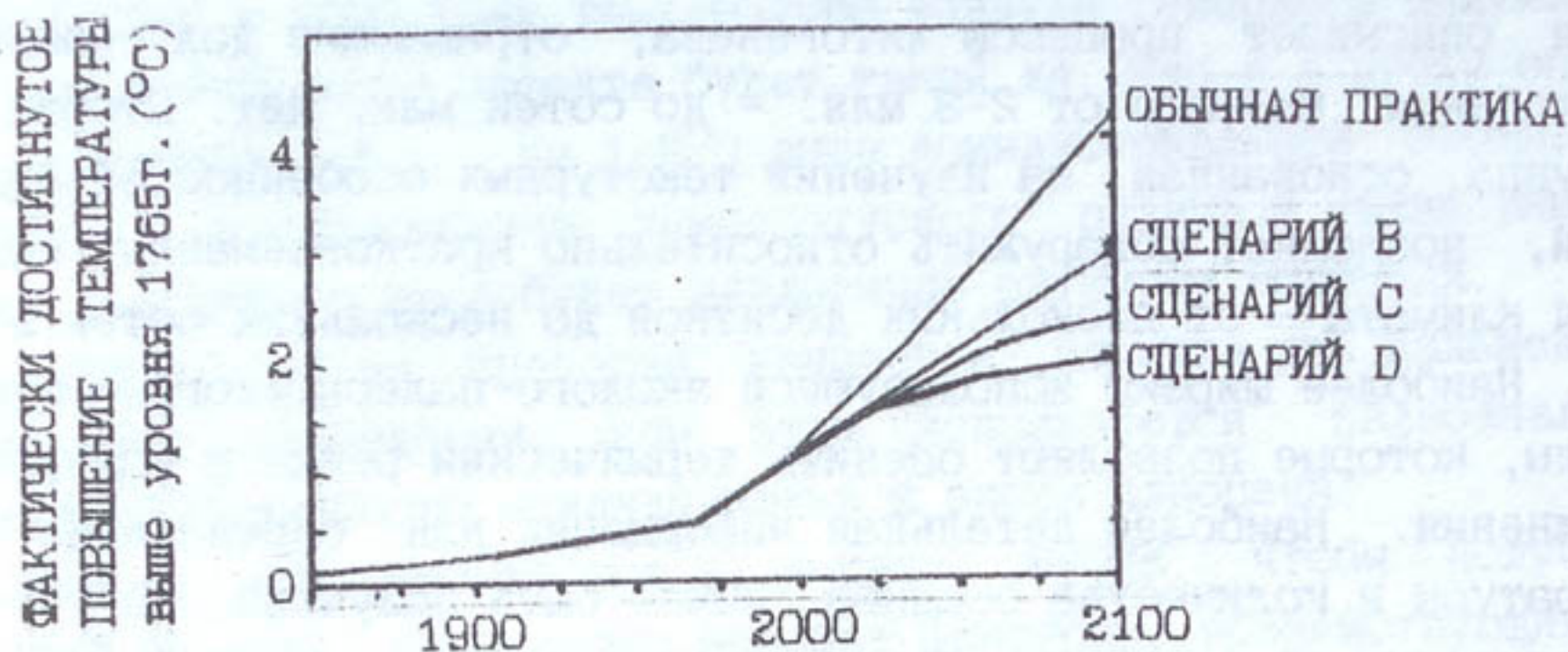


Рис.1.4. Моделирование повышения глобальной средней температуры с 1850 г. по 1990 г., обусловленного наблюдавшимся увеличением содержания парниковых газов, прогнозы повышения температуры между 1990 г. и 2100 г. на основе сценариев выбросов В, С и D МГЭИК в сравнении со сценарием "Обычная практика" /61/.

Таким образом, удвоение концентрации парниковых газов, в зависимости от сценария, может наступить к 2025-2050 годам, и соответственно глобальная температура воздуха может подняться на $4,5^{\circ}\text{C}$ при высокой чувствительности климата, на $2,5^{\circ}\text{C}$ при чувствительности наиболее вероятной ("наилучшая оценка") и на $1,5^{\circ}\text{C}$ при низкой чувствительности.

Самой сложной остается проблема регионального распределения глобального изменения климата, в этом вопросе сохраняются большие неопределенности. Эту проблему пытаются решить несколькими путями: методом палеоаналогов, с помощью климатических моделей и эмпирическими методами с помощью исследования временных рядов за инструментальный период наблюдений.

1.2. Изучение климата прошлого с использованием методов палеорекострукции

Известны следующие методы изучения климата прошлого. Литолого-генетические основаны на изучении связи литогенеза с климатическими данными и подразделяются на две подгруппы. Первая описывает процессы литогенеза, отражающие долговременные колебания климата от 2-3 млн. - до сотен млн. лет. Вторая подгруппа, основанная на изучении текстурных особенностей отложений, позволяет обнаружить относительно кратковременные колебания климата - от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

Наиболее широко используются эколого-палеонтологические методы, которые позволяют оценить термический режим и условия увлажнения. Наиболее детальная информация для определения температуры и количества осадков может быть получена по палеоботаническим (в основном споропыльцевым) материалам, обработанным методом ареалограмм. С помощью этого метода можно определять температуру воздуха для различных сезонов с точностью до 1°C и годовую сумму осадков с точностью до 25 мм. Метод ареалограмм также применяется для анализа ископаемых насекомых и мелких млекопитающих. Для обработки палеоботанических материалов используются еще и информационно-статистические методы. В целом при палеорекострукциях климата суши необходимо привлекать различные методы и использовать их в сочетании друг с другом.

Основной частью глобальных палеоклиматических исследований является анализ донных океанических осадков. Изотопный метод палеотермометрии основан на предположении о равновесном обмене между изотопами кислорода (O^{16} и O^{18}), воды и осаждающегося из них карбоната кальция. Изменение в изотопном составе на 1% соответствует изменению температуры на 4°C . Более подробное описание методов палеорекострукции климата и проведенных исследований дается в работах /6,14/. Палеоклиматические исследования позволили сделать некоторые количественные оценки географических распределений температурного режима и увлажнения для отдельных эпох. Эти работы выполнены в основном усилиями члена-корреспондента РАН М.И.Будыко и его сотрудниками /6,11,12,16/, а также А.А.Величко и сотрудниками ИГ РАН /13,22,23/.

С использованием данных палеореконструкции климата был дан прогноз температурного режима и увлажнения на 2000 год по территории бывшего СССР /17,52/ и северного полушария /13, 22/. В основе метода палеоаналогов лежит гипотеза о том, что при аналогичных средних глобальных температурах будут аналогичные распределения температурного режима и увлажнения. Предполагается, что к 2000 году температура воздуха северного полушария за счет парникового эффекта будет такой же, как и в эпоху оптимума голоцена, т.е. на 1-2°C выше доиндустриальной эпохи, а значит и распределение температурного режима и увлажнения в конце двадцатого века будет аналогично оптимуму голоцена.

Даны и другие сценарии изменения климата при дальнейшем глобальном потеплении, при этом используются палеоаналоги периода Микулинского межледникового и эпохи плиоцена.

Однако, как указывается в докладе МГЭИК, чтобы получить хороший аналог, необходимо подобие факторов, воздействующих на климат (парниковые газы, параметры орбиты Земли), и другие условия (ледовый покров, топография, океанские течения и т.д.). Аналогов изменений климата, обусловленных антропогенными парниковыми газами, в прошлом обнаружено не было, все изменения климата в прошлом происходили исключительно за счет естественных факторов, а предполагаемые изменения в будущем должны произойти за счет антропогенных факторов (дополнительного парникового эффекта).

Вторая Всемирная климатическая конференция в своих выводах рекомендовала использовать палеоклиматические данные только для оптимизации моделей климата и исследования климатических процессов и не рекомендовала их использовать в качестве прогноза.

1.3. Климатические модели

Большие усилия были предприняты для того, чтобы понять и объяснить, как влияет на климат увеличение в атмосфере концентрации CO₂ и других малых парниковых газов антропогенного происхождения. Поскольку эксперименты с изменением концентрации парниковых газов антропогенного происхождения в

глобальном масштабе невозможны, проверку физических теорий проводят на математических моделях или посредством наблюдений за климатом. Поэтому большое место в исследовании климата принадлежит теоретическим моделям, они помогают понять физический механизм изменения климата.

Создано большое количество различных моделей, с помощью которых оцениваются изменения климата, обусловленные изменением состава атмосферы. В климатической системе Земли происходит постоянный обмен энергией между трехмерной турбулентной радиационно-активной атмосферой и неоднородными поверхностями суши, океана и криосферы. Климатическая система очень сложна и наше понимание многих процессов неудовлетворительно и пока невозможно в моделях полностью описать совокупность естественных процессов переноса в атмосфере и у поверхности Земли. Поэтому при построении моделей климата применяются упрощения и приближения, в основе которых лежат эмпирические методы. Поскольку неизвестно, какие приближения и упрощения наносят меньше ущерба результатам моделирования, разрабатывается большое число различных моделей. С развитием возможностей вычислительной техники появляются более сложные модели, в которых ранее допущенные упрощения и приближения описываются полнее. Но простые модели все же помогают пониманию физического смысла исследуемых процессов, а кроме того, требуют не очень большого объема вычислений.

В последние годы широкое распространение получили модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА), которые возникли как побочный продукт развития моделей численного прогноза погоды, которые хорошо известны прогнозистам-метеорологам и основаны на решении системы уравнений, известных как полные. В этих моделях совместно решаются уравнения движения (Навье-Стокса) и сохранения тепловой энергии, учитываются вертикальный перенос солнечного и длинноволнового излучения, проводится параметризация сухой и влажной конвекции, турбулентного переноса водяного пара. Модель ОЦА включает в себя граничные условия на поверхности Земли. Уже есть модели ОЦА, которые сопрягаются с моделями океанов, эволюцией морских льдов и процессов, происходящих на суше.

1.4. Исследования климата эмпирическими методами

Проведение эмпирических исследований климатической системы требует отбора материала для этих целей, т.е. возникает вопрос, какие характеристики и какие выборки надо использовать для изучения и оценки состояния климатической системы в прошлом и настоящем. Этот вопрос решается просто в численных климатических моделях, где задав определенные внешние условия, можно повторять эксперимент множество раз, получая таким образом столько элементов выборки, сколько необходимо для анализа. Однако, это невозможно для реального климата Земли, т.к. это процесс уникальный (единственный в своем роде) и мы имеем дело с одной реализацией. А рассмотрение ансамбля подобных реализаций возможно только теоретически, относительно гипотетического набора планет, где климат изменялся под воздействием аналогичных внешних факторов.

Как уже отмечалось, в последние годы возросла актуальность проблемы изменчивости и изменения климата в связи с возможным потеплением атмосферы из-за увеличения концентрации CO_2 и других малых газовых составляющих в результате хозяйственной деятельности человека. Для периода с 1850 года до наших дней имеется возможность дать количественные оценки изменчивости и изменения отдельных элементов климатической системы. При изучении климатической системы в целом необходимо рассматривать величины, осредненные по большим территориям, т.к. региональные или локальные изменения могут оказаться незначительными для всей климатической системы. Кроме того, неопределенность предполагаемого сигнала, вызванного увеличением концентрации CO_2 и других малых газовых составляющих, увеличивается при уменьшении площади осреднения. Поэтому в большинстве работ, посвященных исследованиям изменчивости, изменениям климата и обнаружению сигнала, рассматриваются ряды осредненные по большим площадям, и основное внимание уделяется температуре воздуха, поскольку она наиболее изучена.

Выполнен ряд работ по оценке многолетних изменений приземной среднегодовой температуры воздуха, осредненной в масштабе

земного шара, северного и южного полушарий. Наиболее полными являются ряды наблюдений, используемые в работах /34, 84-89, 97/. Сопоставление рядов, полученных К.Я.Винниковым, Хансеном, Джонсом и др. для северного полушария, показывают, что они хорошо согласуются между собой и оценки суммарного потепления достаточно близки.

Пространственная изменчивость осадков более значительна, чем изменчивость температуры воздуха, и временные ряды данных о количестве осадков часто неоднородны. Средние глобальные оценки не могут быть получены из-за слабой освещенности данными наблюдений над океанами и трудностей, связанных с использованием данных судовых наблюдений за осадками. Тем не менее, исчерпывающие исследования осадков для больших доступных нам территорий содержатся в работах Г.В. Груза. Так, в работе /30/ показано, что некоторое уменьшение годовых сумм осадков за 1901-1990 годы имело место над Евразией (13 мм за 10 лет), отмечается, что наиболее заметна тенденция сокращения осадков с начала 60-х годов, в 1981-1990 годах осадков в Евразии выпало меньше, чем в любом предшествующем десятилетии.

Слабее выражено уменьшение осадков в Северной Америке (5,5 мм за 10 лет). Однако, надежность этих данных об осадках невелика, так согласно работе /37/ на территории бывшего СССР количество осадков не уменьшается, а растет.

Одной из основных характеристик изменения глобального климата является изменение циркуляции атмосферы, оказывающей непосредственное влияние на режим влажности и температуры. Наиболее распространенной классификацией атмосферных процессов является классификация Вангейгейма-Гирса. Р.Я.Вангейгейм предложил три формы циркуляции - W, E, C /26, 97/. Форма циркуляции W характеризуется слабовозмущенным западно-восточным переносом. Форма циркуляции E характеризуется гребнем над восточной частью Европейского континента, ложбинами над Западной Европой и Западной Сибирью, форма C противоположна форме E - ложбина над восточной частью Европейского континента и гребни над Западной Европой и Западной Сибирью.

Затем А.А.Гирс уточнил классификацию Г.Я.Вангенгейма с привлечением карт барической топографии и провел подобную типич-

зацию атмосферной циркуляции над тихоокеанско-североамериканским районом, выделив также три типа: З - зональную и две меридиональные - M_1 и M_2 . Многолетние колебания повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса исследовались А.А.Гирсом и другими исследователями /26,27,70 и др./. В основном изучалась повторяемость форм W, E и C, строились интегральные кривые годового числа дней с формами циркуляции W, E, C. В результате анализа хода кривых во времени были выделены периоды, в течение которых годовая повторяемость процессов одной или двух форм превышала норму, а повторяемость других типов была ниже нормы. Эти периоды были названы циркуляционными эпохами. Но известно, что если процессы нестационарные, т.е. в исследуемых рядах есть тренд, то любая интегральная кривая аномалий зависит от нормы. В работе /70/ показано, что нормы годовой повторяемости W и E, вычисленные за период 1900-1960 годов, и нормы за период 1900-1981 годов отличаются на 12-13 случаев, а границы циркуляционных эпох смещаются соответственно на 4-6 лет. В работе /70/ также показано, что в рядах годовой повторяемости форм циркуляции W и E имеется значимый линейный тренд. Интегральные кривые аномалий, построенные для таких нестационарных процессов, будут иметь перелом в середине исследуемого интервала времени. Если взять период с 1900 по 1961 год, то перелом приходится на 1926 год, для периода с 1900 по 1981 он сместится к 1936 году.

Следовательно выводы, основанные на циркуляционных эпохах, полученные с использованием форм циркуляции W и E, не всегда будут надежны. Иногда для выделения циркуляционных эпох в исследованиях изменчивости атмосферной циркуляции используют типы циркуляции М.Х.Байдала /8/. Эта типизация аналогична типизации Вангенгейма-Гирса и проведена для Казахстана и прилегающей территории. В этой типизации также все атмосферные процессы сведены к трем: зональной и двум меридиональным. Для исследования колебаний циркуляции атмосферы также выделяются циркуляционные эпохи и, по-видимому, возникают такие же проблемы, как и с типизацией Вангенгейма-Гирса.

1.5. Исследования изменчивости климата Средней Азии

Изучение изменчивости климата Средней Азии началось в связи с исследованиями, связанными с переброской сибирских рек в бассейн Арала и с проблемами усыхания Аральского моря /59/. В последние годы возрос интерес к изменению регионального климата Средней Азии в связи с предполагаемым глобальным потеплением. Так, в первом докладе МГЭИК указывается, что зоны аридного и полуаридного климата могут быть наиболее уязвимыми.

В работе /55/ исследована изменчивость среднемесячной температуры воздуха в Средней Азии в январе, июле и переходные сезоны с помощью осредненных десятилетних значений. Показано, что экстремальные десятилетия достаточно четко характеризуют циркуляционные эпохи. Для ориентировочной оценки периодичности изучаемых климатических характеристик вычислялись автокорреляционные функции по исходным и сглаженным по скользящим средним рядам. Рассчитывались линейные тренды по всей длине ряда и последнего десятилетия, оценивался вклад тренда в общую дисперсию. Оценивалась обеспеченность различных градаций изучаемых показателей за два периода: до и после 1960 года. Выделены десятилетние периоды, в которых наблюдалась наиболее низкая температура по январю - это 1891-1900, 1931-1940 и 1971-1980 годы. По данным 1971-1980 годов сделан вывод о большом охвате территории при экстремальных понижениях температуры воздуха, где исключение составили станции, расположенные в орографически защищенных районах.

По данным длиннорядных станций (Джизак и Фергана) июль и в целом лето были наиболее теплыми в конце прошлого века. В период массовых наблюдений высокие температуры для летнего периода наблюдались в 1971-1980 или в 1976-1985 годах. Самым холодным для большей территории было лето 1931-1940 и 1951-1960 годов.

В переходные сезоны весной и осенью средние десятилетние температуры воздуха были выше нормы в 1971-1980 годах.

Минимум годовых средних десятилетних температур воздуха наблюдался в 1891-1910 годах на длиннорядных станциях Средней Азии. Также можно выделить период 1931-1940 годов, когда боль-

шая часть станций характеризовалась отрицательным отклонением от нормы.

В работе /75/ исследовались особенности пространственного распределения аномалий годовых сумм осадков в процентах от средней месячной по территории Средней Азии. С этой целью Средняя Азия была поделена на 4 широтные зоны, и в каждой зоне изучалась мера увлажнения во времени. Исследовался также вклад горных и равнинных станций при формировании крупных аномалий осадков в каждой зоне. Показано, что различия во вкладе составляют около 10% в зависимости от знака аномалий. Изучена взаимосвязь между многолетними изменениями значительных аномалий осадков и типами циркуляции М.Х.Байдала и отмечается, что в экстремально сухие годы преобладают широтные, а в экстремально влажные - меридиональные.

В работе /58/ исследовались месячные аномалии осадков по 56 станциям Средней Азии, рассматривались случаи с осадками меньше 80% от нормы и больше 120% от нормы, были выделены случаи, когда аномалии одного знака занимали 48 и 70 % станций. Число случаев с дефицитом осадков значительно превосходит число случаев с избытком осадков. Это факт общеизвестный, особенно для Средней Азии, такие же результаты были получены в работе /47/. В работе /76/ также показано, что в последнее тридцатилетие (1958-1987 годы) число очагов избытка осадков, охватывающих 70% станций, увеличилось более чем вдвое, это наиболее заметно в теплый период. Число очагов дефицита осадков в последнее тридцатилетие увеличилось на 40%.

В работе /76/ изучались многолетние колебания годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по равнинной и горной территории и на отдельных метеорологических станциях, а также их тенденции. Цикличности или периодичности выявлялись с помощью автокорреляционных функций. Была обнаружена периодичность в 30-35 лет, 2-3, 4-5, 6-7-летние циклы, что вполне согласуется с результатами работы /50/, в которой кроме этого были обнаружены периодичности в 11-12 лет.

Основополагающие исследования региональной атмосферной циркуляции Средней Азии были проведены В.А. Бугаевым, В.А. Джорджио и др. /72/. Все многообразие атмосферных процессов над

Средней Азией было сведено к 11 типам синоптических процессов и описаны предшествующие им и сопровождающие их атмосферные явления. Была рассчитана средняя многолетняя частота появления типов синоптических процессов и вероятные переходы из типа в тип. Затем был выполнен ряд других работ /35,40,63/, в которых были уточнены и введены новые типы синоптических процессов и число типов доведено до 15. При этом отмечено, что средние многолетние частоты появления типов изменились.

Таким образом, краткий обзор исследований показывает, что во всем мире уделяется большое внимание проблеме изменения и изменчивости климата под влиянием естественных и антропогенных климатообразующих факторов. Исследования, выполненные для территории Средней Азии, в основном посвящены изменчивости регионального климата.

2. ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ И ПРИЧИНЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ

2.1. Обнаружение сигнала изменения климата

Основным индикатором глобального изменения климата принято считать приземную температуру воздуха, осредненную по большим территориям, поскольку она наиболее изучена и, как правило, из ее рядов легче выделить сигнал.

Первые оценки осредненных по большим площадям значений температуры воздуха были выполнены рядом ученых (G. Callendar 1961), (J. Mitchell, 1953, 1961), (М.И. Будыко, 1969). В настоящее время опубликован ряд работ /34, 36, 73, 83, 84-86, 88, 97/ по расчету среднегодовых приземных температур воздуха северного и южного полушарий. Исследования по северному полушарию дают сходные результаты /73/, что вполне закономерно, так как основные источники информации одни и те же, а незначительные расхождения обусловлены некоторыми различиями рассмотренных территорий и методами расчета средних значений.

Во всех этих работах показано, что среднегодовая приземная температура воздуха северного полушария растет до 40-х годов, падает до середины 60-х и с 70-х вновь начинает расти; коэффициенты корреляции между полученными рядами очень высокие, то есть результаты хорошо согласуются.

Работы по расчету среднегодовой приземной температуры воздуха южного полушария выполнены в /84, 87, 89/. Но освещенность территории южного полушария чрезвычайно низка (примерно 80% территории занято океанами) и достоверность этих расчетов трудно проверить. В ряде работ /83, 89/ были исследованы изменения температуры воздуха над океанами или одновременно над океанами и континентами. Но замена приборов и изменение их расположения не позволяют получить строго однородные временные ряды данных судовых наблюдений.

Следовательно, оценка глобального изменения климата производится в основном с помощью среднегодовой приземной температуры воздуха над континентами северного полушария (T); она

в настоящее время растет, как полагает большинство климатологов, под влиянием парникового эффекта, возникающего за счет увеличения концентрации в атмосфере CO_2 и других малых парниковых газов. Заметим, что еще совсем в недавнем прошлом (50-70-е годы), когда наблюдалось уменьшение приземной среднегодовой температуры воздуха северного полушария, пропагандировалась теория новой ледниковой эпохи.

Более точная оценка изменения среднегодовой глобальной температуры воздуха или среднегодовой температуры воздуха северного полушария была бы возможна при наличии данных о температуре воздуха, хотя бы в объеме тропосферы, составляющей около $3/4$ всей массы атмосферы Земли. Рассмотрим распределение объема массы воздуха в тропосфере по трем широтным зонам: высокие $-60^\circ-90^\circ$, умеренные $-30^\circ-60^\circ$ и низкие $0^\circ-30^\circ$. Площади этих широт соответственно равны: $S_{\text{В}}=0,27\pi R^2$, $S_{\text{У}}=0,73\pi R^2$ и $S_{\text{Н}}=\pi R^2$, где R - радиус Земли. Если сравнивать высокие и низкие широты, то $S_{\text{В}}$ почти в 4 раза меньше $S_{\text{Н}}$. При этом высота тропосферы в высоких широтах почти в два раза ниже, чем в низких, т.е. масса воздуха в тропосфере низких широт примерно в 8 раз больше, чем в высоких. Следовательно, данных для обнаружения глобального потепления или похолодания в низких широтах требуется в 8 раз больше, чем в высоких. Это легко увидеть, если представить, что наблюдения (измерения) производятся в условно взятых единичных объемах; таких единичных объемов в толще тропосферы в низких широтах окажется примерно в 8 раз больше, чем в высоких.

Можно предположить, что изменения глобальной приземной среднегодовой температуры воздуха может происходить как за счет потепления или похолодания всей атмосферы Земли, так и по другим причинам, например, за счет усиления или ослабления межширотного обмена, т.е. перераспределения тепла между низкими и высокими широтами.

2.2. Естественные климатообразующие факторы

Рассмотрим естественные факторы, влияющие на механизм циркуляции атмосферы Земли и соответственно на ее климат. В

современную эпоху нет данных о заметных изменениях светимости Солнца и орбитальных параметров вращения Земли вокруг Солнца. Следовательно, этот фактор исключается из рассмотрения. Еще одним естественным фактором изменения циркуляции атмосферы и климата Земли может быть изменение параметров вращения Земли вокруг своей оси. Под влиянием гравитационных сил Солнца, Луны и других планет солнечной системы происходит прецессионное и нутационное движение оси вращения Земли, изменяется также скорость вращения Земли. Существуют и другие гипотезы изменений скорости вращения Земли вокруг своей оси, например, электромагнитная, где Земля выступает как ротор и любое изменение электромагнитного поля в солнечной системе может привести к изменению скорости вращения Земли вокруг своей оси. Но электромагнитные силы в солнечной системе сильно зависят от солнечной активности. Изменение параметров вращения Земли вокруг своей оси может привести к изменению циркуляции океанов и циркуляции атмосферы Земли. Так, в работе /99/ выявлена связь между отклонениями длительности земных суток и явлением Эль-Ниньо, а в /70/ была выявлена одинаковая периодичность 70 лет в рядах отклонений земных суток от эталонных (86400 сек) и одной из меридиональных форм циркуляции (С).

Существуют гипотезы, в которых предполагается, что изменение солнечной активности является продуктом изменения гравитационных сил, действующих на Солнце в результате изменения расположения планет в солнечной системе. Вследствие этого периоды между максимумами солнечной активности могут колебаться от 7 до 16 лет, что и наблюдается в действительности. Следовательно, на изменение параметров вращения Земли вокруг своей оси и изменение периодов между максимумами солнечной активности действуют одни и те же факторы - гравитационные силы солнечной системы, а как известно, климат Земли является производной процессов, происходящих на Солнце, и параметров вращения Земли вокруг своей оси.

В работе /86/ проведен анализ изменения периодов между максимумами солнечной активности (по числам Вольфа) и показано, что уменьшение указанных периодов соответствует росту среднегодовой температуры воздуха северного полушария (рис.2.1).

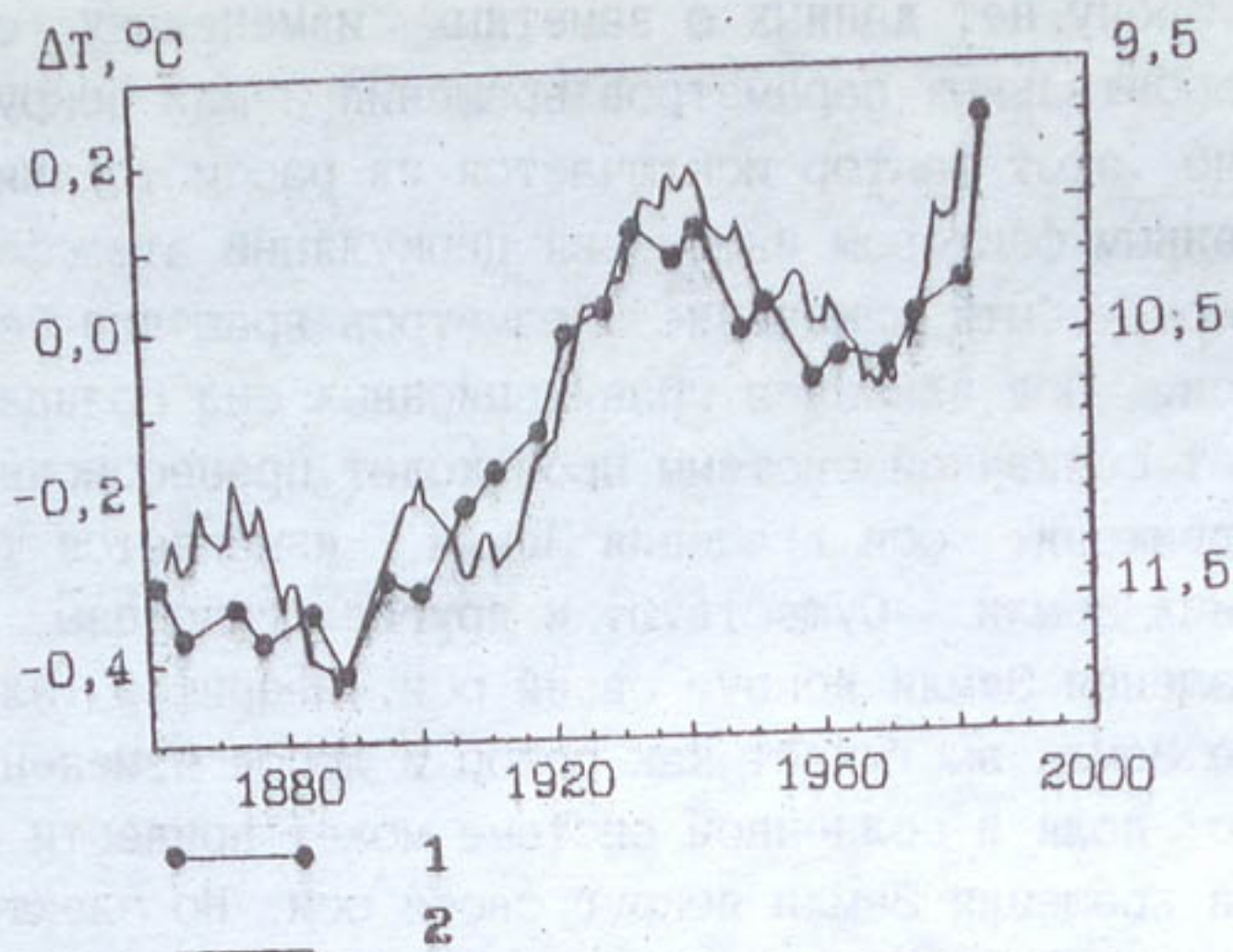


Рис.2.1. Длина периода между циклами солнечной активности (1) и 11-летняя скользящая средняя среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария (2) по Джонсу /85/ в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы).

Таким образом, можно предполагать, что современный рост приземной среднегодовой температуры воздуха может происходить под влиянием естественных климатообразующих факторов.

2.3. Межширотный обмен воздушными массами как причина изменения среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария в XX веке

Чтобы выяснить, какие факторы, влияющие на изменения среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария, естественные или антропогенные, в настоящее время являются основными, были проанализированы приведенные в /71/ ряды отклонений длительности земных суток от эталонных в середине года (δP) за период 1656-1983 годов, ряды повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса W, E, C, Z, M₁ и M₂ /26/ за период 1900-1970 годов. Также были проанализированы среднеквадратические отклонения среднегодового приземного давления (δp) на широтах 30°, 60° и 80° северного полушария, которые вычислялись по 36

значениям, заданным через каждые 10° долготы, начиная с 0° , за период 1918-1970 годов, ряд среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария из /86/ за период 1900-1970 годов.

Ряды анализировались с использованием модели циклических компонент /48/

$$Y(t) = \alpha + \beta t + A \sin((2\pi/L)t + \varphi),$$

где $\alpha + \beta t$ - линейная часть, A - амплитуда периодической функции, L - период, φ - фаза, которые оцениваются методом наименьших квадратов. Предполагается, что ряды, характеризующие природные явления, состоят из гармоник различных периодов и амплитуд. При ограниченной длине гармоника с периодом, значительно большим, чем длина исследуемого ряда, аппроксимируется линейной частью. Следовательно, выделив линейный тренд и первую гармонику, можно выделить вторую гармонику из остатка исходного ряда и т.д.. В дальнейшем тренд, аппроксимированный какой-либо гармоникой, будем называть "тренд с соответствующим периодом".

Модель циклических компонент можно рассматривать и как способ выделения сложного тренда, состоящего из линейного тренда и гармоник. Значимость такого тренда можно оценить коэффициентом корреляции между исходным рядом и трендом или сравнением дисперсий исходного ряда и остатка после выделения тренда. Для этой цели можно использовать F-критерий.

Коэффициент корреляции характеризует степень аппроксимации исходного ряда выделенным трендом: если коэффициент корреляции статистически значим, то значим и тренд. По F-критерию тренд будет значим, если

$$S^2_1/S^2_2 > F_{1-p}(f_1, f_2),$$

где S^2_1 - оценка дисперсии исходного ряда, S^2_2 - оценка дисперсии ряда, представляющего разность между исходным рядом и выделенным трендом, f_1 и f_2 - степени свободы S^2_1 и S^2_2 , в данном случае $f_1=f_2$, p - заданный уровень значимости. Следовательно, дисперсия ряда, представляющего разность между исходным рядом и

выделенным трендом, настолько меньше дисперсии исходного ряда, что с вероятностью 1-р можно утверждать, что сравниваемые дисперсии не равны или значимо отличаются друг от друга.

С использованием модели циклических компонент в ряде δP был выделен "сложный тренд", состоящий из линейного тренда и гармоник с периодами 220 и 70 лет (рис.2.2). Выделенные тренды статистически значимы на 1% уровне как по коэффициенту корреляции, так и по F-критерию. Статистически значимый тренд с периодом 70 лет выделен и в ряде периодов между максимумами солнечной активности.

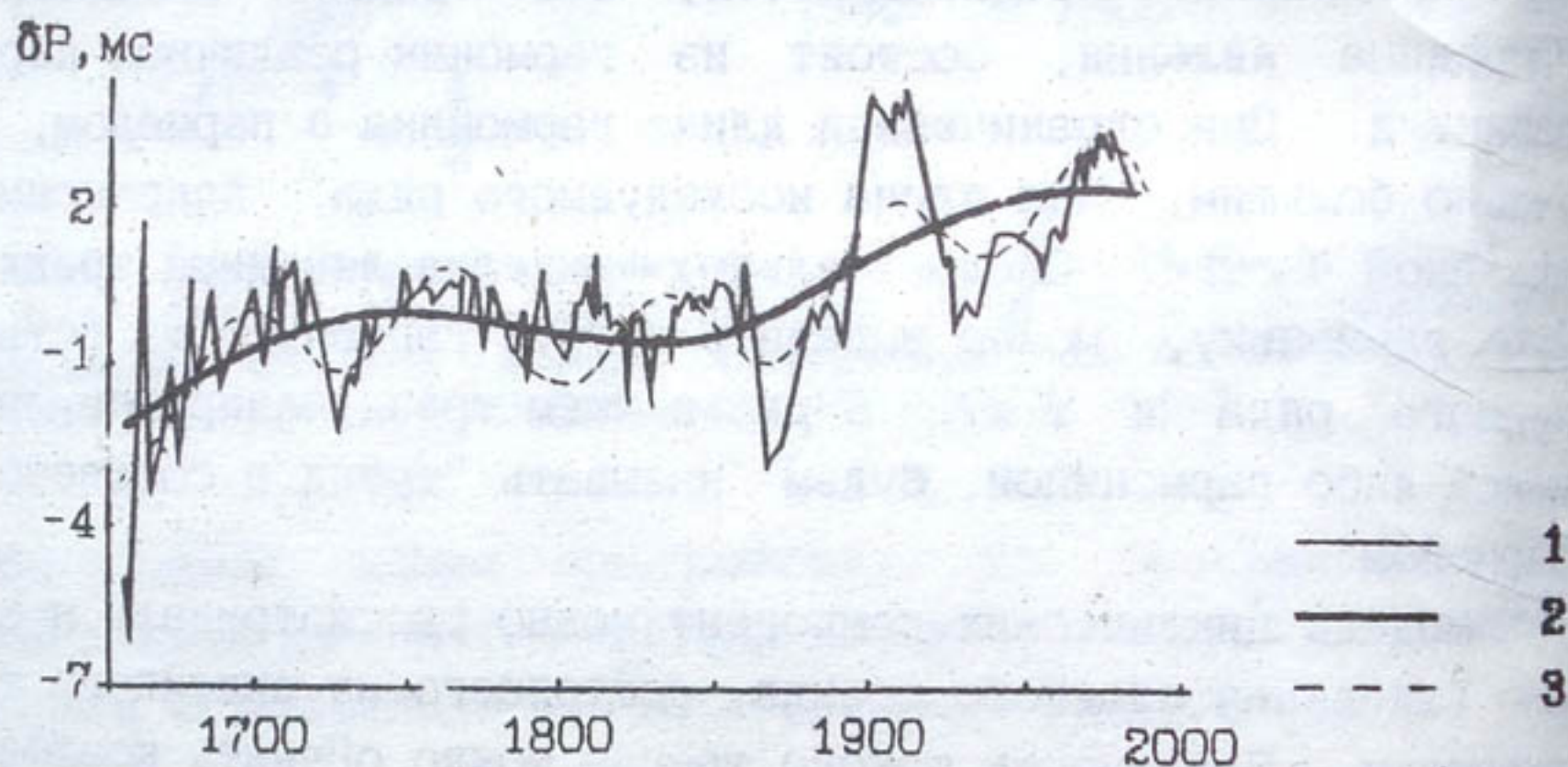


Рис.2.2. Изменение отклонений длительности земных суток от эталонных и выделенные тренды.

1 — исходный ряд, 2 — линейный тренд + гармоника с периодом 220 лет, 3 — линейный тренд + гармоника с периодами 220 и 70 лет.

Ряды годовой повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса, среднегодовой температуры воздуха северного полушария и рассмотренных характеристик изменений межширотного обмена значительно короче ряда δP , в предположении их взаимосвязи, в этих рядах искали "сложные тренды" с использованием периодов 220 и 70 лет, полученных по ряду δP . В этом случае методом наименьших квадратов оценивались только амплитуда и фаза. Тренды, с периодом 220, выделенные в рядах форм циркуляции W и E, значимы на 1% уровне. В свою очередь значим тренд, с периодом 70 лет в ряде повторяемости формы циркуляции C, что согласуется с результатами [70]. Такой же тренд с периодом 70 лет выделен и в ряде

повторяемости формы циркуляции M_2 . В рядах повторяемости форм циркуляции Z и M_1 значимых трендов не обнаружено. Статистически значимые тренды с периодом 70 лет выделены в рядах b_p и T . Повторяемость формы циркуляции W в течение всего периода наблюдений уменьшалась, а формы E - увеличивалась. Однако формы W , E , C характеризуют циркуляцию атмосферы над атлантико-евразийским сектором, а Z , M_1 , M_2 - над тихоокеанско-американским, поэтому аналогичные формы циркуляции были осреднены, затем проанализированы с помощью модели циклических компонент. В рядах повторяемости форм $W+Z$ и $E+M_1$ статистически значимых трендов не обнаружено. Статистически значимый тренд, описываемый гармоникой с периодом 70 лет, установлен в ряде повторяемости форм циркуляции $C+M_2$. В ряде повторяемости форм циркуляции $C+M_2$ наблюдался рост повторяемости в 30-х годах, затем уменьшение до 70-х годов и рост в настоящее время. В рядах b_p на широтах 30° и 80° северной широты до второй половины 30-х годов наблюдался рост, затем падение до середины 60-х годов, в настоящее время наблюдается увеличение этих значений. Рост b_p свидетельствует об усилении межширотного обмена, и наоборот, уменьшение b_p - об его ослаблении. На широте 60° с.ш., в ряде b_p значимого тренда не обнаружено, что, по видимому, связано с колесами циркуляции в атмосфере Земли.

Сопоставление изменений рассматриваемых рядов с изменениями температуры показывает, что рост последней происходил и происходит синхронно с ростом повторяемости форм циркуляции $C+M_2$ и изменениями b_p на широтах 30° и 80° . Следовательно, усиление межширотного обмена соответствует росту среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария.

Рост повторяемости меридиональных процессов приводит к увеличению выноса тепла из низких в высокие широты и адвекции холода из высоких в низкие. В силу разницы в объемах воздушных масс такой обмен теплом приводит к более сильному прогреву высоких широт, незначительному прогреву умеренных и слабому выхолаживанию низких широт. Дополнительный фактор роста температуры воздуха в высоких широтах - это вынос влаги в эти широты из низких. Как известно, водяной пар - основной поглотитель длинноволновой отраженной радиации и увеличение его концентрации

приводит к росту температуры воздуха. При конденсации происходит также выделение тепла, следовательно, вместе с водяным паром происходит добавочный приток тепла в высокие широты. Рост приземной температуры воздуха в высоких широтах приведет к уменьшению ледяного покрова, следовательно, изменению альбедо, которое будет способствовать росту приземной температуры воздуха, хотя этот процесс будет происходить нелинейно. На первом этапе часть тепла, вынесенного с юга, будет затрачиваться на таяние ледяного покрова, но с постепенным уменьшением ледяного покрова будет уменьшаться отраженная радиация, что будет также способствовать росту температуры воздуха.

По предварительным подсчетам при усилении межширотного обмена рост приземной температуры воздуха в высоких широтах на $3-4^{\circ}\text{C}$ будет сопровождаться понижением приземной температуры воздуха только на $0,3-0,5^{\circ}\text{C}$ в низких широтах.

Подтверждением этих выводов могут быть результаты, полученные в работе /91/, где проведен анализ причин потепления в северо-западной части Арктической Америки. В этой работе показано, что температура воздуха в северо-западной части Арктической Америки растет не за счет более теплых воздушных масс, приходящих с юга вместе с циклонами, а за счет увеличения числа циклонов. Такое же объяснение потеплению Арктики в 30-х годах давалось В.Ю. Визе и Л.А. Вительсом /19,21/. В.Ю. Визе отметил рост циклонической деятельности за десятилетие 1931-1941 годов, Л.А. Вительс показал, что в период 1920-1939 годов наблюдалось значительное повышение интенсивности циклонической деятельности, т.е. было резкое увеличение числа дней с глубокими циклонами.

Анализ рядов среднегодовой приземной температуры воздуха за период 1981-1985 годов в высоких, умеренных и низких широтах (данные Государственного Гидрологического института) показывает, что за рассматриваемый период высокие широты потеплели в среднем примерно на $1,0-1,5^{\circ}\text{C}$, умеренные - на $0,3-0,4^{\circ}\text{C}$, а в низких широтах в среднем заметных изменений не произошло. Наибольшие изменения при потеплении в 30-х годах и похолодании в 60-х годах происходили в высоких широтах (рис.2.3).

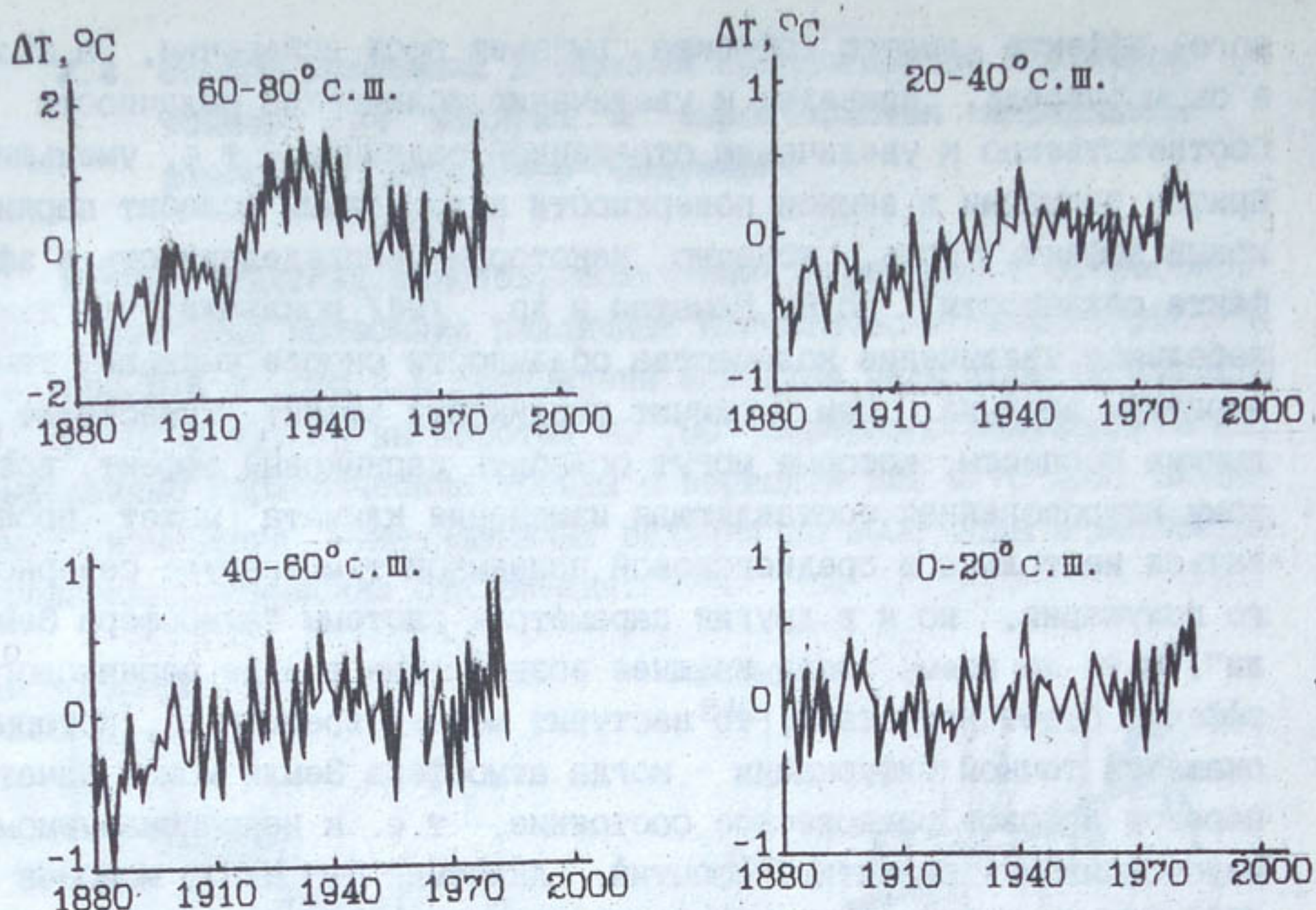


Рис. 2.3. Изменение среднегодовой температуры воздуха по широтным зонам северного полушария.

Крупномасштабная хозяйственная деятельность человека, особенно во второй половине XX века, и ее влияние на окружающую среду стала сравнима с естественными климатообразующими факторами. Главным из антропогенных факторов принято считать изменение газового состава атмосферы Земли.

Однако климат Земли до сих пор формировался за счет естественных факторов, и в системе "атмосфера Земли" установилось термодинамически равновесное состояние, а циркуляция атмосферы находится в состоянии квазистационарного режима. Парниковый эффект нарушает это равновесное состояние и является как бы внешним воздействием. Тогда, согласно принципу Ле Шателье, в атмосфере Земли должны возникнуть процессы, которые будут стремиться ослабить парниковый эффект. В системе "атмосфера Земли" одним из таких процессов, например, может быть увеличение облачности. Повышение температуры воздуха за счет парнико-

вого эффекта вывого эффекта вызовет рост испарения, а это, в свою очередь, приведет к увеличению количества облачности и соответственно к увеличению отраженной радиации, т.е. уменьшит приток радиации и земной поверхности и тем самым ослабит парниковый эффект. Есть, конечно, некоторая неопределенность в эффекте облачности, но В. Раматан и др. /94/ показали, что даже небольшое увеличение количества облачности скорее уменьшит температуру воздуха, чем увеличит парниковый эффект. Существуют и другие процессы, которые могут ослабить парниковый эффект, поэтому антропогенная составляющая изменения климата может проявиться не только в среднегодовой приземной температуре северного полушария, но и в других параметрах системы "атмосфера Земли". В то же время, если внешнее воздействие в виде парникового эффекта будет нарастать, то наступит момент времени t , который окажется точкой бифуркации - когда атмосфера Земли может начать переход в новое равновесное состояние, т.е. к непредсказуемому неустойчивому развитию событий. Академик РАН Н.Н. Моисеев в /56/ пишет: "Существуют определенные соображения, свидетельствующие о том, что человечество уже подошло к роковому рубежу, а может быть и шагнуло за него. Грядущее потепление климата - один из подобных аргументов. Но в этом надо убедиться. Если такое предположение окажется справедливым, то изменение биосферы уже не может быть стабилизировано естественным образом. Для этого потребуются специальные усилия всего человечества". Но анализ причин изменения климата, проведенный выше, позволяет более оптимистично встретить на эту проблему и считать, что рост среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария происходит, в основном, под влиянием естественных факторов, а антропогенная составляющая изменения климата в настоящее время не является доминирующей. Всестороннее исследование этих процессов возможно только с помощью полных моделей климата. Таким образом, проведенный анализ дает основание предполагать, что изменения в XX веке приземной среднегодовой температуры воздуха северного полушария происходили и происходят за счет перераспределения тепла под влиянием изменения циркуляции атмосферы, т.е. они находятся в пределах естественной изменчивости, что согласуется с результатами работ /96 и др./.

2.4. Оценки возможных изменений среднегодовой приземной температуры воздуха и характеристик циркуляции атмосферы северного полушария

В подтверждении выводов, полученных в разделе 2.3, рассмотрим временные колебания различных климатических характеристик. На рис.2.4 и рис.2.5 приведены исходные ряды форм циркуляции W , E , C , $C+M_2$, b_p на широтах $30^\circ, 80^\circ$ северного полушария и ΔT , выделенные гармонические тренды с периодом 220 и 70 лет, ожидаемые изменения вышеуказанных величин до 2005 года и возможные среднеквадратические отклонения.

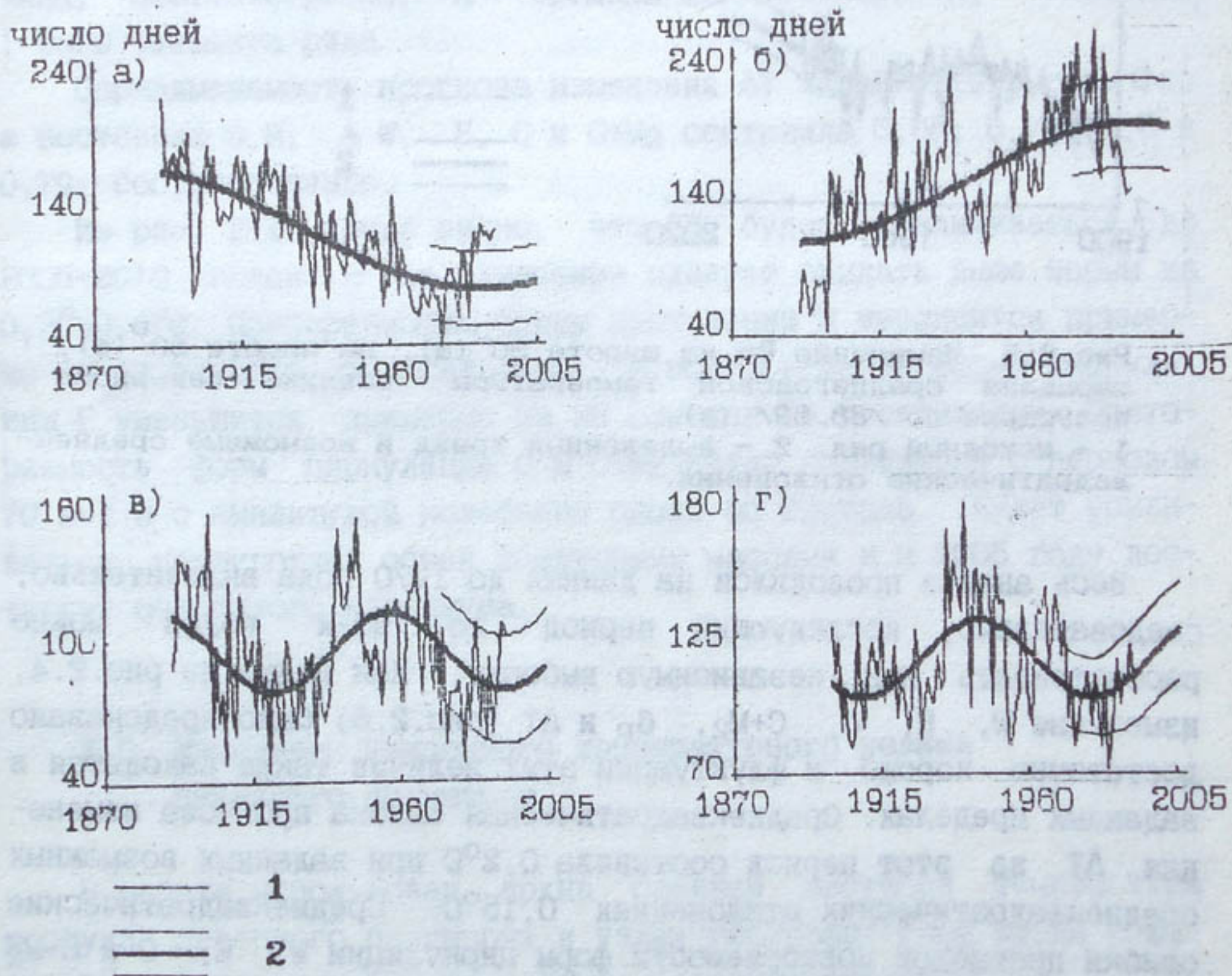


Рис.2.4. Изменение повторяемости форм циркуляции W (а), E (б), C (в), $C+M_2$ (г).

1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

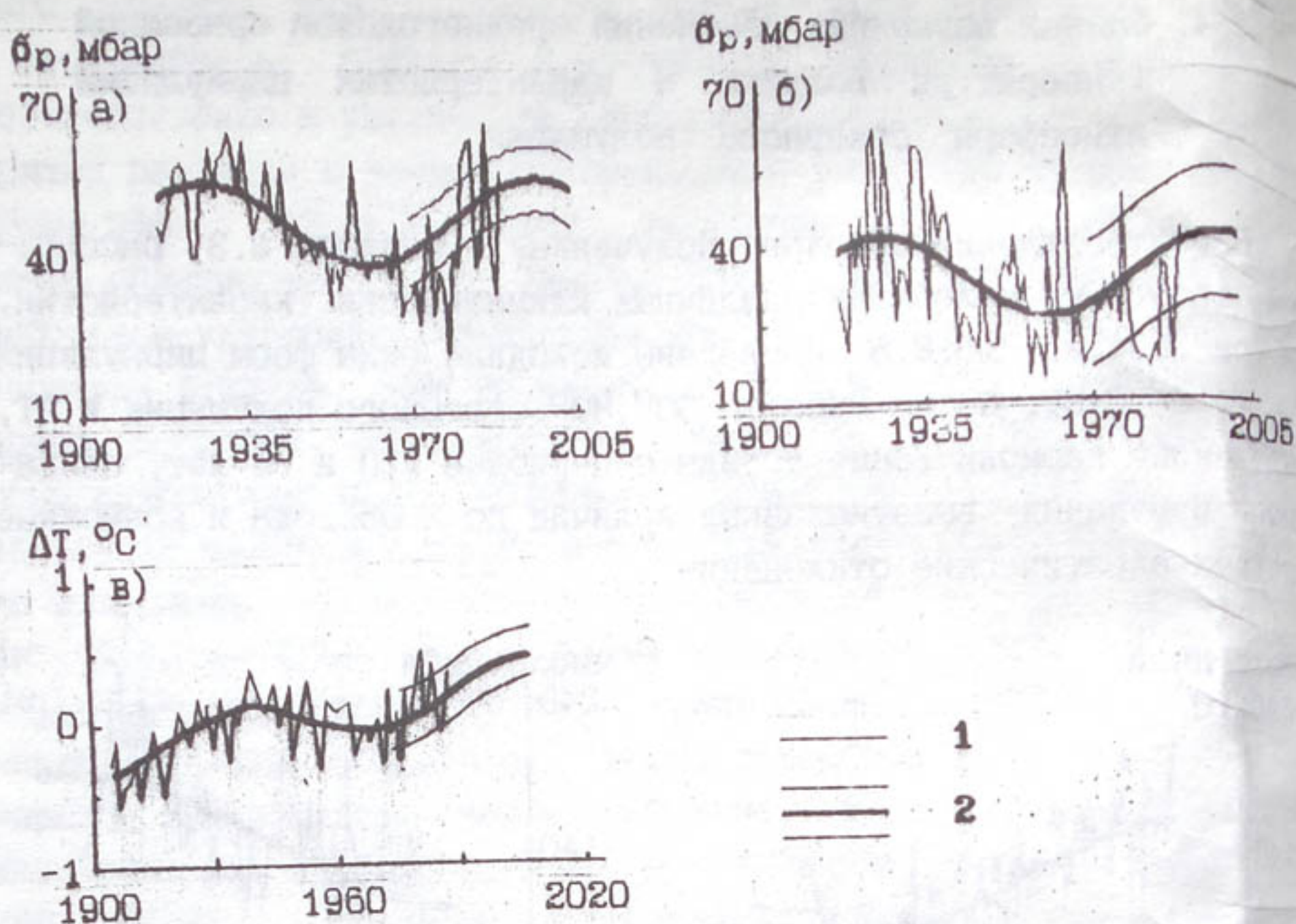


Рис. 2.5. Изменение p_r на широте 30° (а), на широте 80° (б), аномалий среднегодовой температуры воздуха северного полушария по /88.89/ (в).
1 – исходный ряд. 2 – выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Весь анализ проводился на данных до 1970 года включительно, следовательно, последующий период до 90-х годов можно рассматривать как независимую выборку. Как видно из рис. 2.4, изменение W , E , C , $C+M_2$, p_r и ΔT (рис. 2.5) было предсказано достаточно хорошо и флуктуации этих величин также находятся в заданных пределах. Среднеквадратическая ошибка прогноза изменения ΔT за этот период составила $0,2^\circ\text{C}$ при заданных возможных среднеквадратических отклонениях $0,15^\circ\text{C}$. Среднеквадратические ошибки прогнозов повторяемости форм циркуляции W , E , C и $C+M_2$ составили 22, 35, 16 и 19 случаев при заданных возможных отклонениях 28, 33, 23 и 24 случаев, соответственно.

Успешность прогноза можно оценить по относительной ошибке:

$$\varepsilon = \delta / \delta_{\Phi},$$

$$\delta = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (X_n - X_{\Phi})^2 \right] / n},$$

$$\delta_{\Phi} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (X_i - X)^2 \right] / N},$$

где δ - среднеквадратическая ошибка прогноза, δ_{Φ} - среднеквадратическая фактическая изменчивость, n - число прогнозов, N - число наблюдений, X_n и X_{Φ} - прогностические и фактические величины, соответственно, X - средняя многолетняя, X_i - значение i -того элемента ряда.

Оправдываемость прогноза изменения ΔT за 1971-1990 годы по ε составила 0,9, а W , E , C и $C+M_2$ составила 0,56; 0,77; 0,6 и 0,79, соответственно.

Из рис. 2.4 также видно, что ΔT будет увеличиваться до 2005-2010 годов и ее значение следует ожидать выше нормы на 0,3°-0,4°C. Повторяемость формы циркуляции W увеличится примерно на 17 случаев за десятилетие, а повторяемость формы циркуляции E уменьшится примерно на 28 случаев за десятилетие. Повторяемость форм циркуляции C и $C+M_2$ будет колебаться с периодом 70 лет и с амплитудой колебания около 40 случаев. Будет усиливаться межшотный обмен воздушными массами и к 2005 году достигнет очередного максимума.

2.5. Изменение приземного температурного режима северного полушария

В работе использован архив средней месячной температуры воздуха северного полушария в узлах географической сетки с шагом 5° по широте и 10° по долготе, ограниченной 25° с.ш.

Были рассчитаны поля среднегодовых значений аномалий температуры за холодное, теплое полугодие и за год. За периоды 1900-1939, 1940-1989 и 1900-1989 годов рассчитыва-

лись средние многолетние значения аномалий температуры воздуха по полугодиям и год по этим периодам. Различие значений средних многолетних, вычисленных за различные периоды, оказались незначительными. Были вычислены средние аномалии температуры воздуха за периоды 1900-1909, 1910-1919, 1920-1929, 1930-1939, 1940-1949, 1950-1959, 1960-1969, 1970-1979, 1980-1989 годов по полугодиям и за год. На рис. 2.6-2.8 приводятся карты среднегодовых аномалий температур воздуха, осредненных по 10-летним периодам.

Анализ карт аномалий температуры воздуха, осредненной по десятилетним периодам, показывает, что начало XX столетия характеризовалось температурами воздуха ниже средней многолетней практически на всем северном полушарии, только над Северной Америкой и Средней Азией незначительно выше средних многолетних. В следующих десятилетиях появляются очаги тепла в низких широтах, которые в последующем увеличиваются в размерах, а в период 1930-1939 годов средние температуры выше средней многолетней практически над всем северным полушарием. В высоких широтах температуры воздуха в среднем за десятилетие в отдельных очагах выше средней многолетней более чем на 2°C . Незначительные очаги температур ниже средней многолетней отмечаются над Средней Азией, Казахстаном и югом Западной Сибири.

Начиная с периода 1940-1949 годов, наблюдается понижение приземной температуры воздуха, появляются и расширяются очаги с температурами воздуха ниже средней многолетней в низких и умеренных широтах, и уже в 1960-1969 годах основная часть северного полушария, в том числе и Арктика, занята температурами воздуха ниже средней многолетней. В следующие десятилетия начался рост очагов с температурами воздуха выше средней многолетней, который, по-видимому, продолжится и достигнет очередного максимума в период 2000-2010 годов, что согласуется с выводами, полученными в пп. 2.3.

Аналогичная картина наблюдается в изменениях аномалий температуры воздуха по северному полушарию в холодном и теплом полугодиях.

Однако следует обратить внимание на следующий факт. Несмотря на то, что сохраняется общая тенденция временных измене-

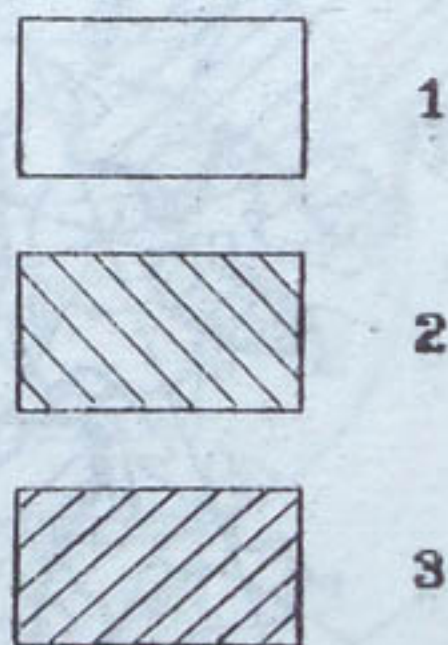
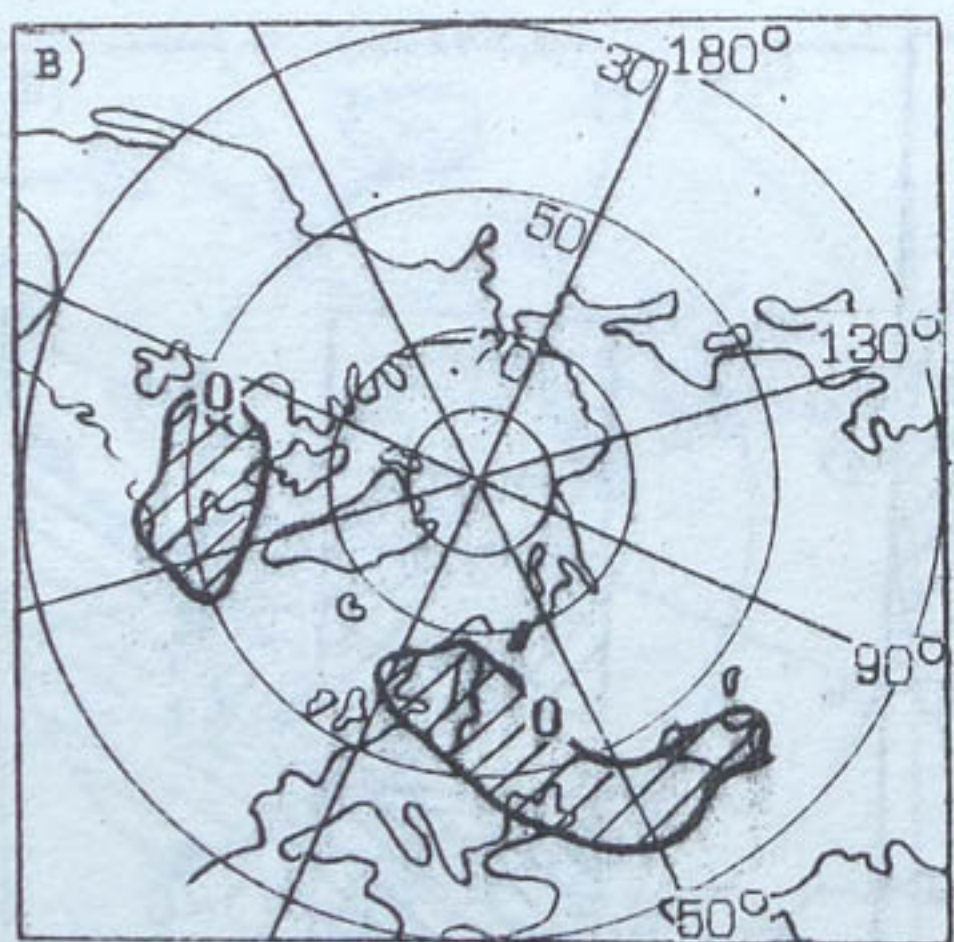
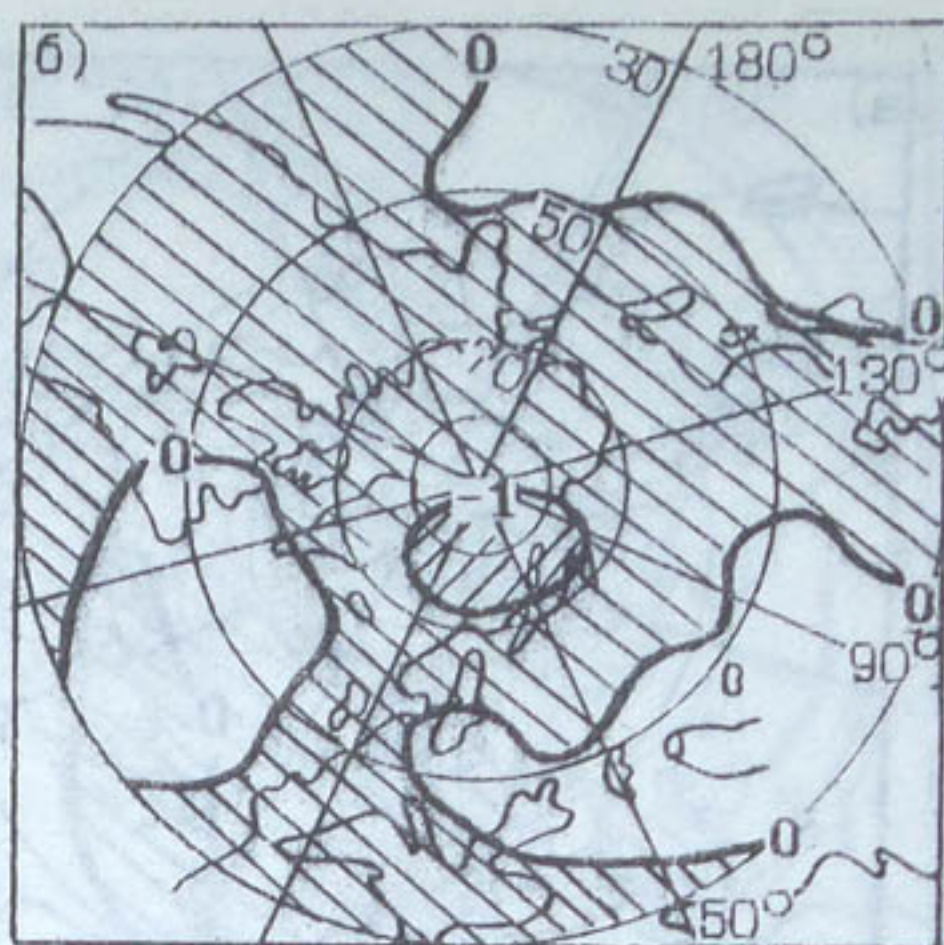
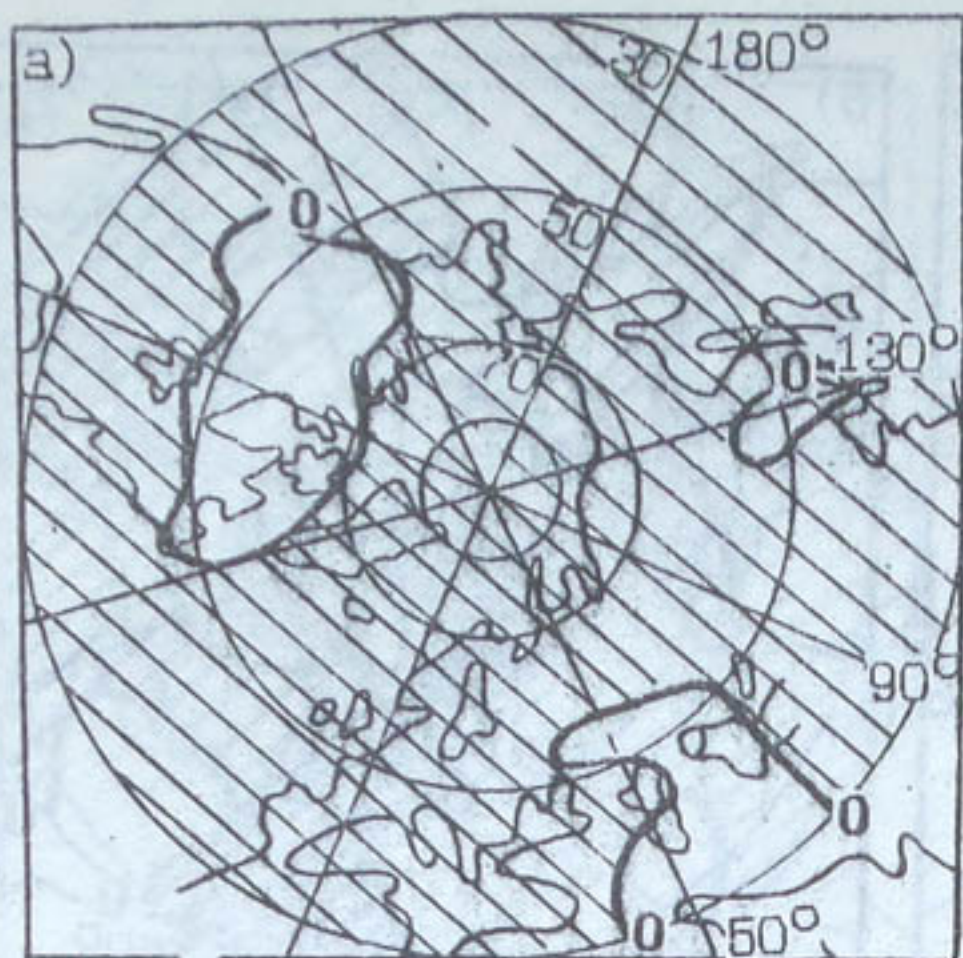


Рис. 2.6. Поля аномалий среднегодовой температуры воздуха северного полушария, осредненные за периоды 1900-1909 гг. (а), 1910-1919 гг. (б), 1920-1929 гг. (в).
 1 - $\Delta T^{\circ}C < 0$, 2 - $-1 < \Delta T^{\circ}C < 0$, 3 - $\Delta T^{\circ}C < -1$.

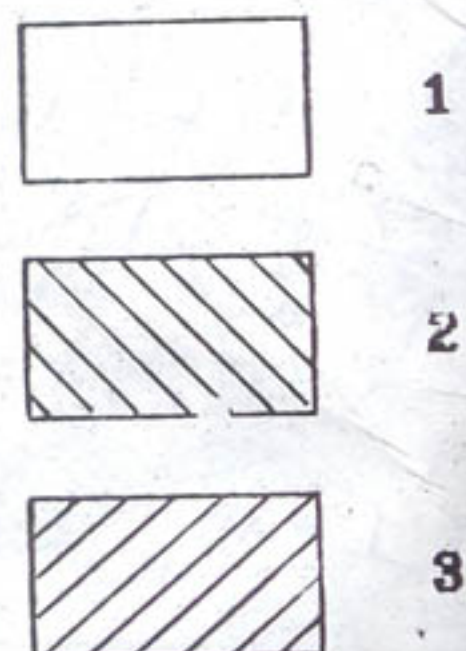
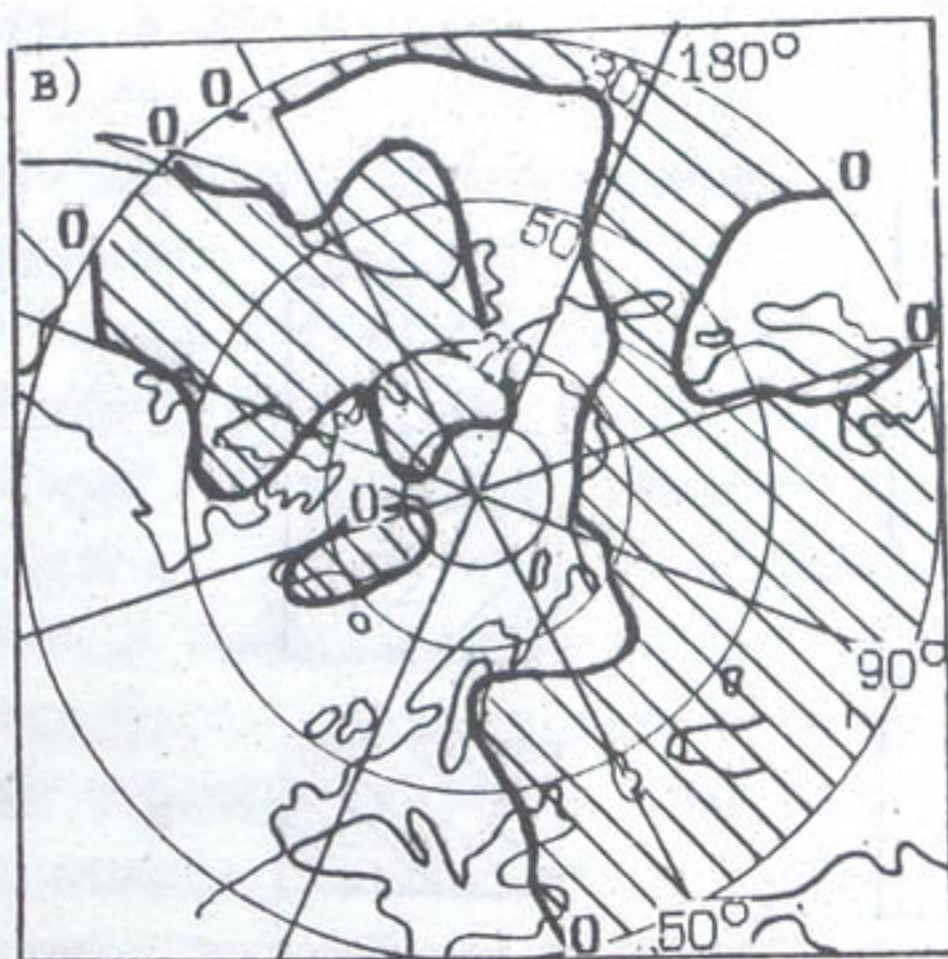
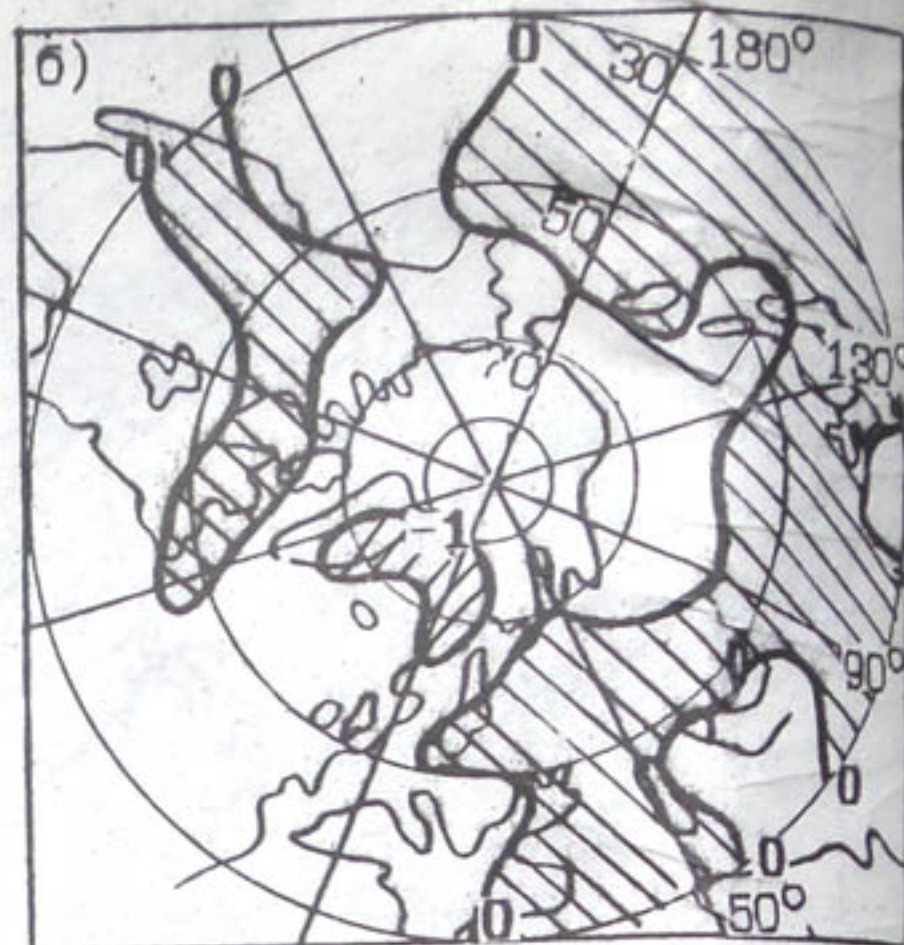
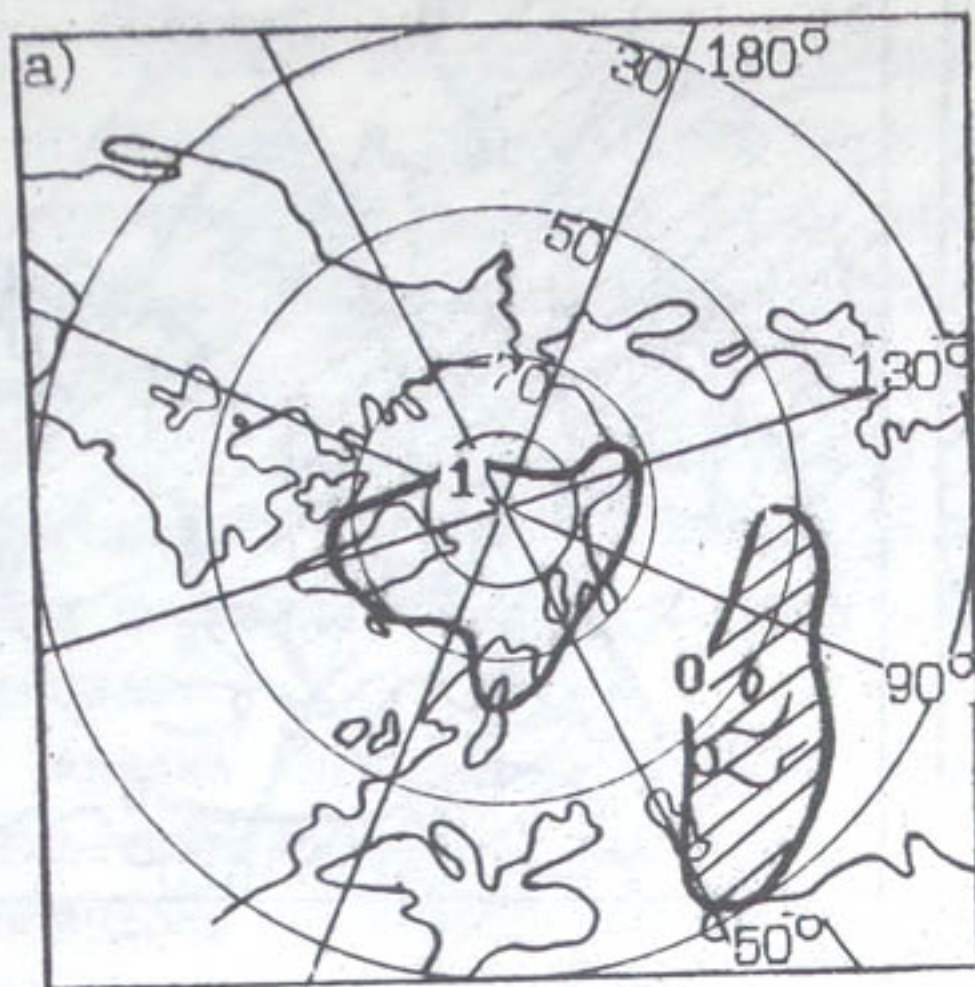


Рис.2.7. Поля аномалий среднегодовой температуры воздуха северного полушария, осредненные за периоды 1930-1939 гг. (а), 1940-1949 гг. (б), 1950-1959 гг. (в).
1 - $\Delta T^{\circ}C > 0$. 2 - $-1 < \Delta T^{\circ}C < 0$. 3 - $\Delta T^{\circ}C < -1$.

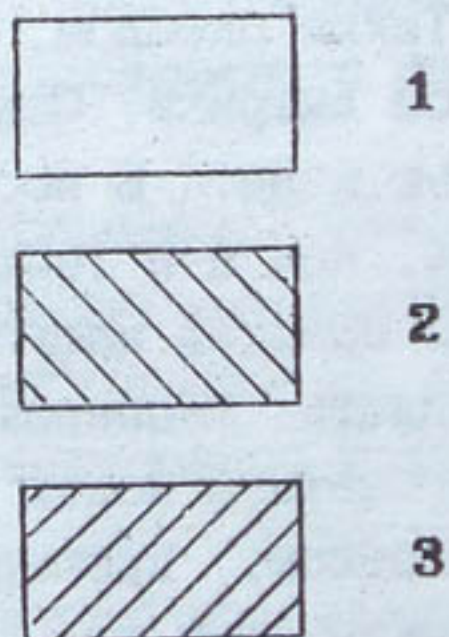
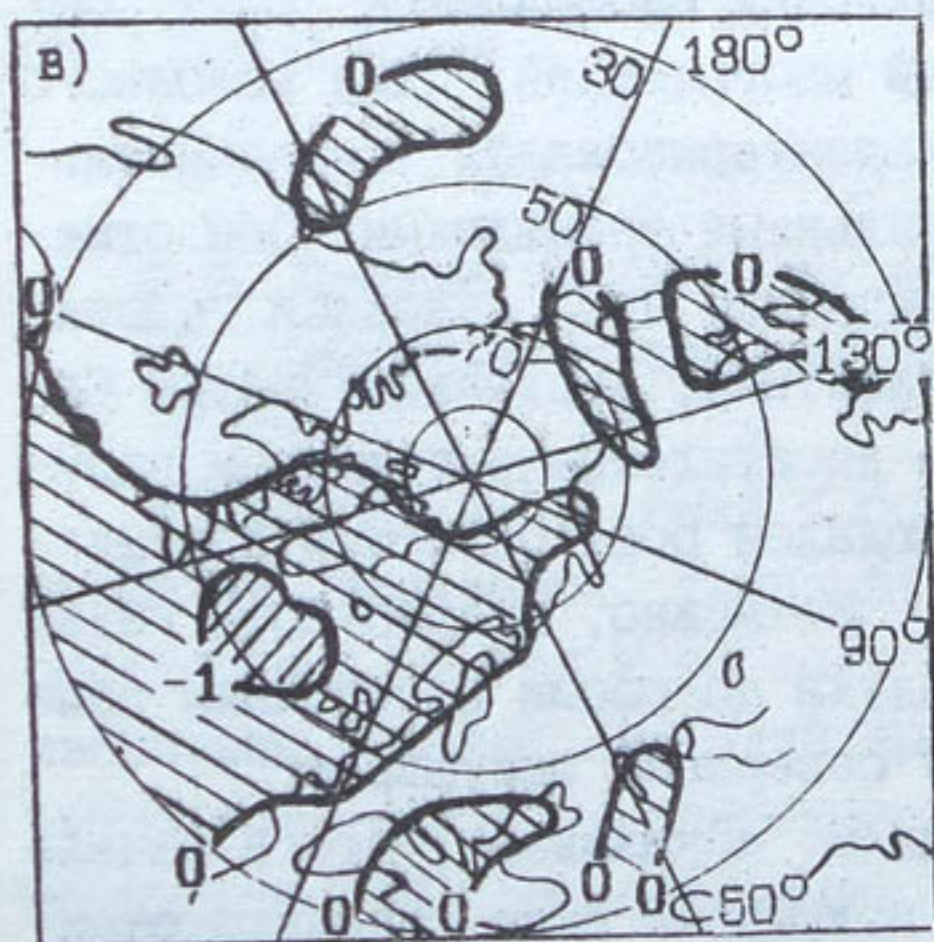
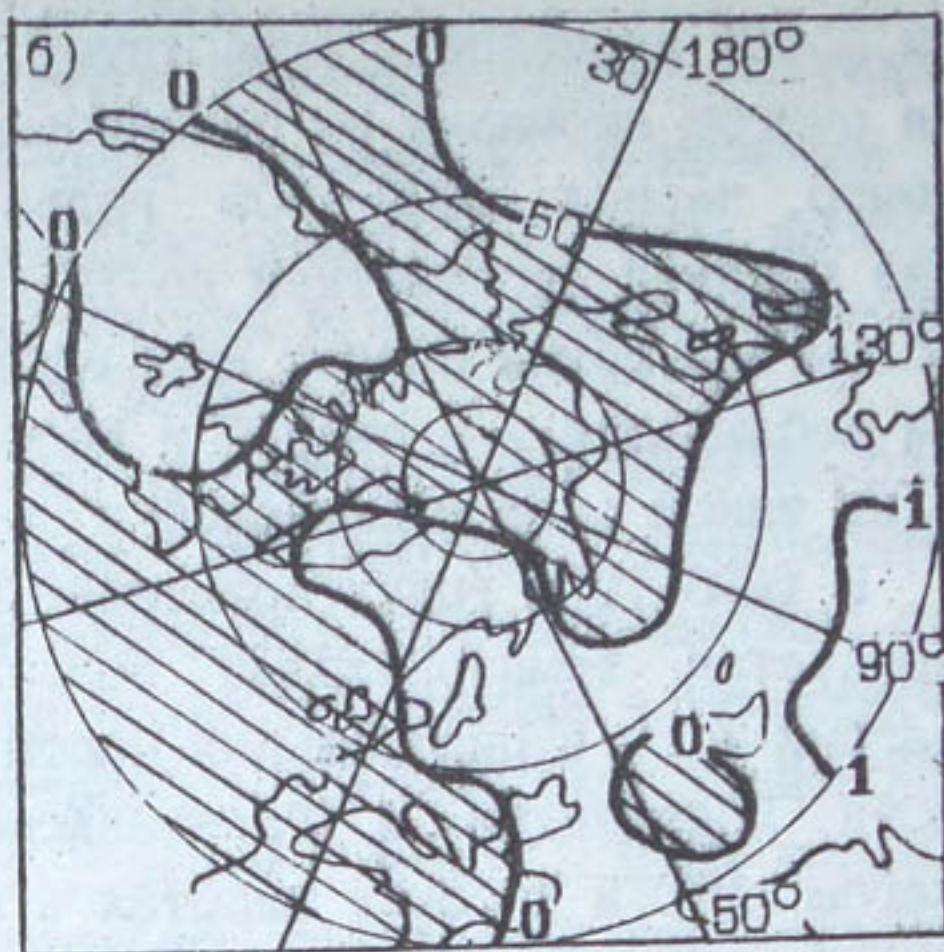
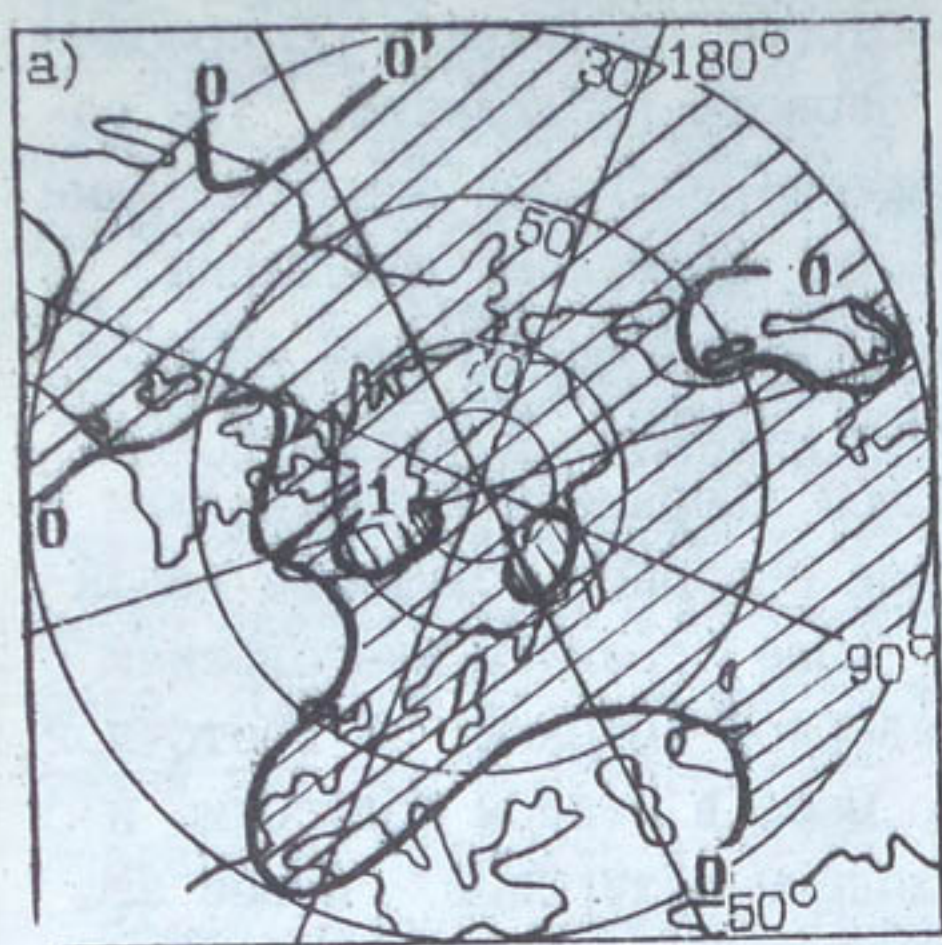


Рис.2.8. Поля аномалий среднегодовой температуры воздуха северного полушария, осредненные за периоды 1960-1969 гг. (а), 1970-1979 гг. (б), 1980-1989 гг. (в).
 1 - $\Delta T^{\circ}\text{C} > 0$. 2 - $-1 < \Delta T^{\circ}\text{C} < 0$. 3 - $\Delta T^{\circ}\text{C} < -1$.

ний полей аномалий, существуют некоторые различия в расположении очагов аномалий за одинаковые периоды наблюдений. Так например, период 1900-1909 годов характеризовался температурами ниже средней многолетней почти во всем северном полушарии. В теплом полугодии очаг с незначительными положительными аномалиями наблюдался в Западной и Восточной Сибири. В холодном полугодии такой очаг наблюдался в Северной Америке и Средней Азии.

В 1930-1939 годах практически все северное полушарие характеризуется температурами воздуха выше средней многолетней с очагами $+1^{\circ}\text{C}$ в центральной части Северной Америки, в восточной части Гренландии и Гренландского моря в теплом полугодии и с очагом $+2^{\circ}\text{C}$ в высоких широтах в холодном полугодии. Кроме этого, в холодном полугодии отмечались отдельные очаги с температурами воздуха выше средней многолетней над Средней Азией, Казахстаном и Северной Канадой.

В 1970-1989 годах в теплом полугодии наблюдается рост областей с температурами выше средней многолетней. Для холодного полугодия период 1970-1979 годов характеризовался незначительным увеличением областей с положительными аномалиями. Они отмечались над Тихим океаном, за исключением его северной части, югом Северной Америки, Северной Атлантики, восточной частью Европы и частью Азии. В последующее десятилетие в холодном полугодии так же, как и в теплом, наблюдался рост областей с температурой выше средней многолетней. Возможно, в 2000-2010 годах следует ожидать температуру воздуха по обоим полугодиям выше средней многолетней почти по всему северному полушарию.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в начале XX века практически все северное полушарие было охвачено отрицательными аномалиями, затем площадь, занимаемая отрицательными аномалиями, уменьшилась, и в 30-х годах практически все северное полушарие было занято положительной аномалией с очагом $+2^{\circ}\text{C}$ у полюса. В последующих десятилетиях происходило уменьшение площади с положительными аномалиями, и в 60-х годах большая часть северного полушария была занята отрицательными аномалиями с очагом -1°C . В дальнейшем началось увеличение площади с положительными аномалиями, которое продолжается и в настоящее время, и в период 2000-2010 годов, по-видимому, все северное полушарие

будет занято положительной аномалией

Следует отметить еще одну интересную особенность. Процесс потепления или похолодания в северном полушарии начинается с низких широт, который затем распространяется в более высокие широты, и самые значительные потепления и похолодания происходят в высоких широтах - 65° с.ш. и выше.

Как известно, тропические широты являются основным накопителем тепла, приходящего от Солнца, которое затем переносится через океаническую и атмосферную циркуляцию в более высокие широты. Однако из-за существования колес циркуляции в атмосфере, такой перенос осуществляется поэтапно, т.е. сначала происходит перенос из тропиков в $30-40^{\circ}$ с.ш., затем - в 60° с.ш. и далее - в более высокие широты. Следовательно, ослабление или усиление межширотного обмена способствует уменьшению или увеличению переноса тепла сначала в $30-40^{\circ}$ с.ш., а затем и в более высоких широтах, т.е. соответствует наблюдаемой картине, приведенной на рис. 2.6-2.8.

2.6. Оценки возможных изменений полей среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария

В разделе 2.5. была прослежена динамика изменения полей аномалий приземных температур воздуха по северному полушарию, осредненных за год и по полугодиям, было показано, что динамика изменения полей аномалий приземных температур воздуха, соответствует тренду среднегодовой температуры воздуха северного полушария. В соответствии с этим можно предположить, что в 2005-2010 годах наступит очередной максимум среднегодовой температуры северного полушария, которая повысится примерно на 1°C от доиндустриального периода, т.е. примерно вдвое выше, чем при потеплении 30-х годов.

Были вычислены разности между осредненными значениями среднегодовой приземной температуры воздуха за период 1935-1940 годов и осредненными значениями среднегодовой приземной температуры воздуха за 1900-1905 годы. Затем поля этих разностей были удвоены. Полученные поля можно считать прогнозом на 2005 год

поля отклонений среднегодовой температуры воздуха от температуры доиндустриального периода.

При таком подходе происходит косвенный учет тепличного эффекта, если он есть, так как в изменениях концентрации CO_2 прослеживается линейный тренд.

На рис. 2.9 приводятся отклонения среднегодовой приземной температуры воздуха от доиндустриального периода на 2005 год.



Рис. 2.9. Ожидаемые значения среднегодовой приземной температуры воздуха по северному полушарию к 2005 году (отклонения от доиндустриального периода, $^{\circ}\text{C}$).

Наибольшие отклонения ожидаются в высоких широтах до $+3^{\circ}\text{C}$, отклонения до $+2^{\circ}\text{C}$ на западе Северной Америки. В Средней Азии ожидается рост среднегодовой приземной температуры воздуха до 1°C .

Такая же процедура была проделана со значениями средней приземной температуры воздуха по полугодиям. В холодном полугодии (октябрь-март) к 2005 году самые высокие положительные отк-

лонения температуры ожидаются в высоких широтах, на Чукотке и Аляске до 4°C . До 2°C выше доиндустриального периода ожидается повышение температуры на западе США и в восточной части Европейского континента. В Средней Азии эти отклонения составят около 1°C .

В теплом полугодии самые большие положительные отклонения составят до 3°C и будут над центральными и западными районами США и на северо-востоке Европейского континента. В Средней Азии температура будет мало отличаться от температуры доиндустриального периода, а над горными районами Средней Азии и Казахстаном незначительно ниже температуры доиндустриального периода. По-видимому, температура воздуха в теплом полугодии в Северной Африке и Южной Европе будет также ниже.

Полученный прогноз согласуется с прогнозами, полученными на основе палеореконструкций, но сильно отличается от результатов климатических моделей. Предлагаемая методика отдает предпочтение естественным факторам.

2.7. Изменение границ синоптических сезонов над первым естественным синоптическим районом

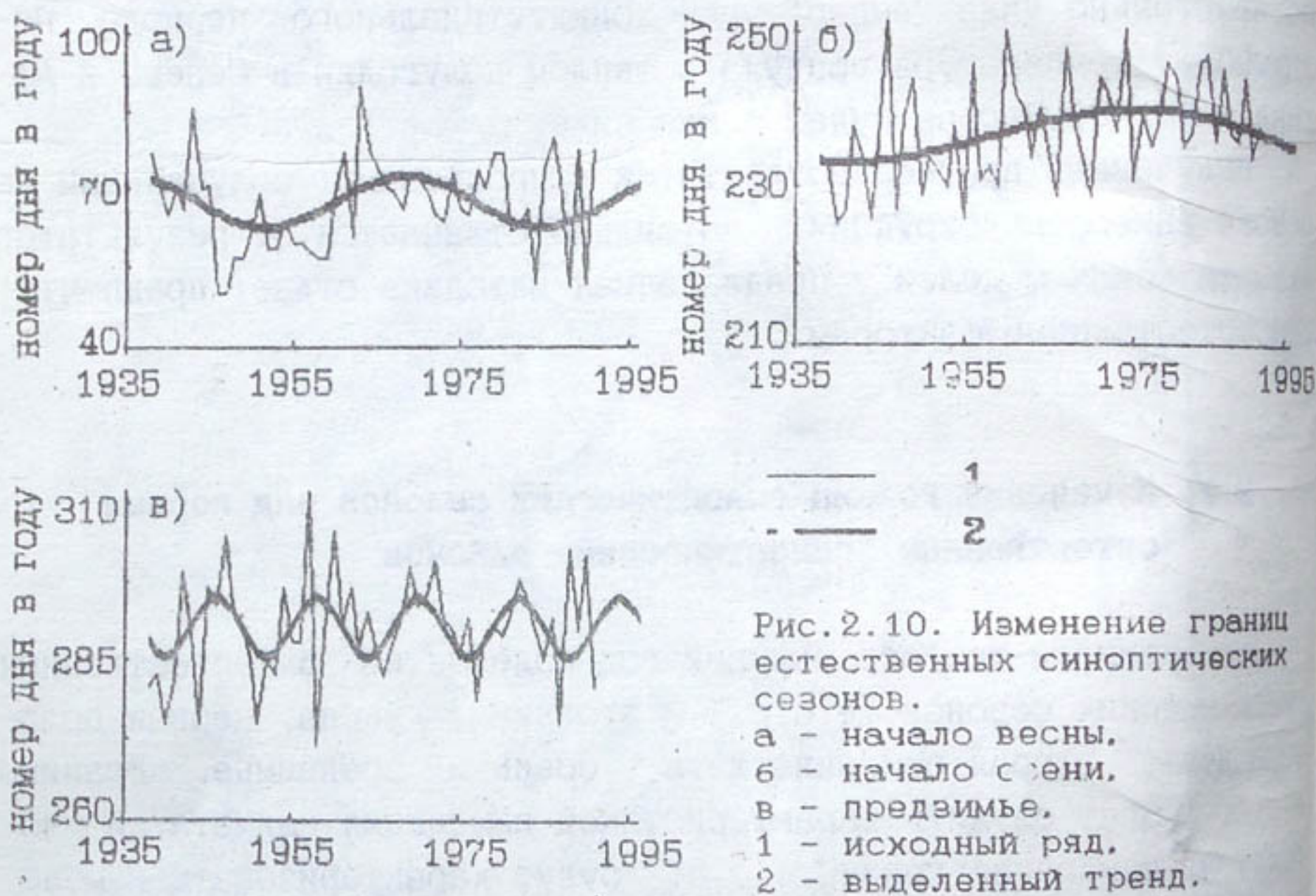
Синоптиками-долгосрочниками год поделен на 6 естественных синоптических сезонов (е.с.с.) – это зима, весна, первая половина лета, вторая половина лета, осень и предзимье. Границы е.с.с. могут служить характеристикой изменения климата, и многолетние изменения границ е.с.с. будут характеризовать изменения глобального и регионального климата.

Исходными данными были границы е.с.с. за период с 1938 по 1990 годы, определенные в Росгидрометцентре по методике /64/. Анализ показал, что в рядах границ первой половины и второй половины лета нет значимого линейного тренда.

Определенная закономерность наблюдается в колебании начала весны и осени. Весна наступала в 30-х и в начале 40-х годов в первой половине марта, затем начало весны переместилось на более ранние сроки (конец февраля). С 60-х годов границы весны сместились на начало марта и, наконец, с 80-х годов в неко-

торые годы начало весны происходило в третьей декаде февраля.

Даты начала осени постепенно в среднем смещались на более поздние сроки с начала наблюдений до начала 80-х годов, в настоящее время наметилась некоторая тенденция смещения начала осени на более ранние сроки. В рядах дат начала весны и осени обнаружены гармонические тренды с периодом 35 и 70 лет, соответственно. На рис. 2.10 приведены изменения дат начала весны и осени и выделены тренды, которые статистически значимы на 5% уровне по коэффициенту корреляции.



На рис. 2.10 приведены изменения дат начала сезона предзимье и тренд с периодом 12 лет. Выделенный тренд статистически значим на 1% уровне по коэффициенту корреляции. В изменении дат начала зимы каких-либо значимых трендов выделить не удалось.

Таким образом, только даты начала весны и осени подвержены долговременным колебаниям с периодом в 35 и 70 лет, что, на наш взгляд, вполне естественно, т.к. они разграничивают холодные и теплые периоды года. Границы сезонов, находящихся внутри этих периодов, подвержены более короткопериодным флуктуациям.

3. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Одной из основных характеристик регионального климата является циркуляция атмосферы, от которой зависит термический режим и режим выпадения осадков, особенно в зонах аридного и семиаридного климата, таких как Средняя Азия.

Среди многих работ по исследованию региональной циркуляции Средней Азии основополагающей является монография "Синоптические процессы Средней Азии" /72/. В этой монографии все многообразие атмосферных процессов над Средней Азией разделено на 11 типов: 1 - южнокаспийский циклон, 2 - мургабский циклон, 3 - верхнеамударьинский, 4 - широкий теплый вынос, 5 - северо-западное холодное вторжение, 6 - северное вторжение, 7 - волновая деятельность, 8 - малоподвижный циклон над Средней Азией, 9 - юго-западная периферия антициклона, 9а - юго-восточная периферия антициклона, 10 - западное вторжение, 11 - летняя термическая депрессия. Были описаны сопутствующие каждому типу погодные условия, вычислены частота появления типов и их переходные вероятности.

В дальнейшем типизация была уточнена /40/ и с 1945 года введены дополнительные типы: 9б - южная периферия антициклона, 12 - малоградиентное поле повышенного давления, 13 - малоградиентное поле пониженного давления, 14 - западный циклон, 15 - ныряющий циклон.

В работах /35, 37, 41, 78/ с привлечением новых материалов уточнялись частоты появления типов и частоты переходов из типа в тип, и было установлено, что статистика меняется со временем.

Изменчивость повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии изучалась в работах /57, 77/. В работе /57/ исследовалась временная изменчивость повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии с помощью 10-летних скользящих средних, которая сопоставлялась с формами циркуляции Вангенгейма-Гирса. Отмечено, что форма циркуляции Е приводит к большей повторяемости типов 9, 9а, 9б и 12, а увеличение повторяемости формы С способствует большему числу дней с типами 5, 6 и 10.

Ряды повторяемости типов синоптических процессов подверга-

лись спектральному анализу, обнаружены периоды, несущие значимые доли общей дисперсии.

В работе /77/ на основе типизации М.Х. Байдала были выделены циркуляционные эпохи и сопоставлены с повторяемостью синоптических процессов Средней Азии, а также найдены некоторые закономерности. Обнаружено, например, что значительным аномалиям числа дней с типом Е соответствует повышенная повторяемость волновой деятельности и стационарного малоподвижного циклона.

Однако результаты всех этих и других исследований не позволяют оценить возможные изменения региональной циркуляции, хотя бы в ближайшие десятилетия. Периодичность, найденную спектральным анализом, нельзя экстраполировать, а зависимости между повторяемостью синоптических процессов Средней Азии и формами циркуляции Вангенгейма-Гирса и М.Х. Байдала также трудно использовать, так как необходимо знать прогноз изменения во времени этих форм циркуляции, т.е. знать, какие будут циркуляционные эпохи.

Региональная циркуляция является частью регионального климата, а значит частью климата северного полушария. Следовательно, в изменениях повторяемости типов синоптических процессов могут быть такие же периодичности, что и в изменениях характеристик глобального климата. Так как ряды повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии значительно короче, они были проанализированы с помощью модели циклических компонент с учетом периодичности, выявленной в рядах характеристик глобального климата.

Ряды повторяемости типов 1-8, 10 существуют с 1935 года, а ряды повторяемости типов 9, 9а, 9б, 11, 12, 13, 14, 15 - с 1945 года. Повторяемости типов синоптических процессов по месяцам, полугодиям и за год (до 1989 года) были вычислены С.И. Инагамовой и нами были дополнены до 1992 года включительно.

Типы синоптических процессов Средней Азии были объединены в отдельные классы по генетическому признаку. В класс южные циклоны были взяты типы 1, 2 и 3, в класс вторжения - типы 5 и 10, в класс периферии антициклонов - типы 9, 9а и 9б. Отдельно рассматривались типы 6, 7, 12 и 13. Остальные типы синоптических процессов не анализировались ввиду их малой природной

повторяемости. Анализ проводился на материале до 1982 года, поэтому период 1983 - 1992 годов можно считать независимой выборкой.

3.1. Изменение повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии

Южные циклоны. Класс южные циклоны состоит из южнокаспийского циклона (тип 1), мургабского циклона (тип 2) и верхнеамударьинского циклона (тип 3).

Южнокаспийским циклоном называется синоптический процесс, при котором на юге Каспийского моря или несколько восточнее появляется циклон и смещается через территорию Средней Азии с юго-запада на северо-восток. В теплом секторе циклона всегда находится воздух тропического происхождения. Среднесуточные температуры воздуха могут повышаться на $4-8^{\circ}\text{C}$, а в отдельных случаях - на $10-12^{\circ}\text{C}$ /63,72/.

Мургабским циклоном называется такой синоптический процесс, при котором над югом Туркмении, над бассейнами рек Мургаба и Теджена появляется циклон и смещается по территории Средней Азии в северо-восточном направлении. В теплом секторе циклона, как и в южнокаспийском, всегда находится тропический воздух. Повышение среднесуточной температуры может достигать $10-12^{\circ}\text{C}$ /63,72/.

Циклонические прорывы на юге Средней Азии сопровождаются вторжениями теплого воздуха и осадками преимущественно в виде дождя. При регенерации на холодном фронте выход циклона может сопровождаться значительными осадками.

Верхнеамударьинским циклоном называется такой синоптический процесс, когда над Таджикистаном на сравнительно высоком барическом фоне появляется неглубокая область низкого давления, медленно смещающаяся на север или северо-восток. Процесс протекает обычно медленно и в основном над горными районами Средней Азии /63,72/.

Прохождение циклона создает по территории пасмурную погоду и осадки. Осадки выпадают в виде дождя, если температура ниже-

го слоя атмосферы (1,0-1,5 км) выше нуля, и в виде снега, если температура ниже нуля. Температура воздуха у поверхности Земли в восточной части Средней Азии при прорыве верхнеамударьинских циклонов существенно не растет и остается на уровне значений, присущих воздушной массе, занимавшей Среднюю Азию до прорыва. Исключение составляют юг Таджикистана и высокогорные районы Памира. К концу прорыва температура воздуха обычно немного понижается. Температура в западной части Средней Азии при прорыве типа 3 понижается на 3-5°C. В конце прорыва западнее меридиана Кушки температура начинает повышаться.

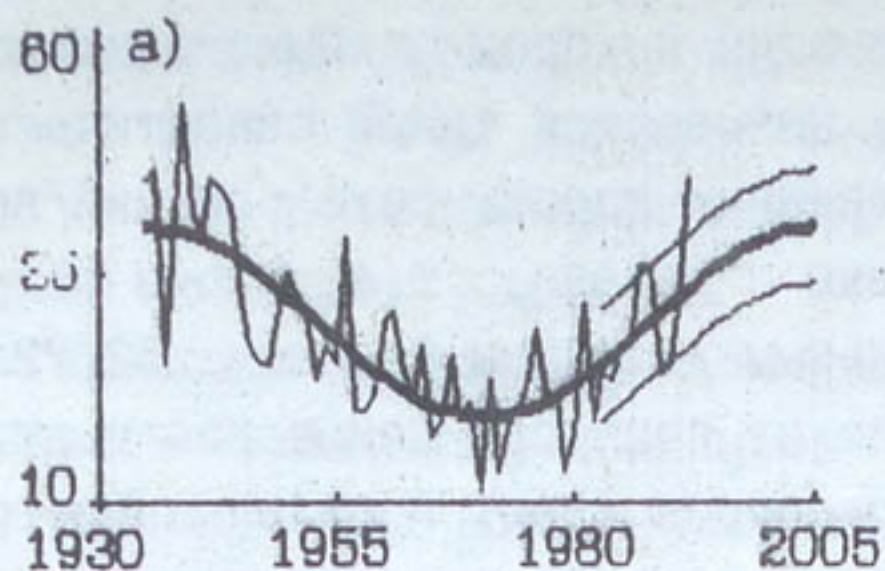
Резкие потепления зимой и ранние паводки весной часто связаны с южнокаспийскими и мургабскими циклонами. Южнокаспийские и мургабские циклоны наблюдаются, главным образом, с октября по май месяцы (около 96-97% от общего количества) /63,72/.

Анализ ряда годовой повторяемости класса южные циклоны показывает, что средняя многолетняя за период 1935-1982 годы равна 28 случаям. Максимум повторяемости наблюдался во второй половине 30-х годов, затем было уменьшение повторяемости до первой половины 70-х годов, а с конца 70-х начался рост, который продолжается и в настоящее время. Это согласуется также с результатами работ /37,38,39,78/, где показано, что в изменении повторяемости типов, составляющих класс южные циклоны, имеются многолетние колебания.

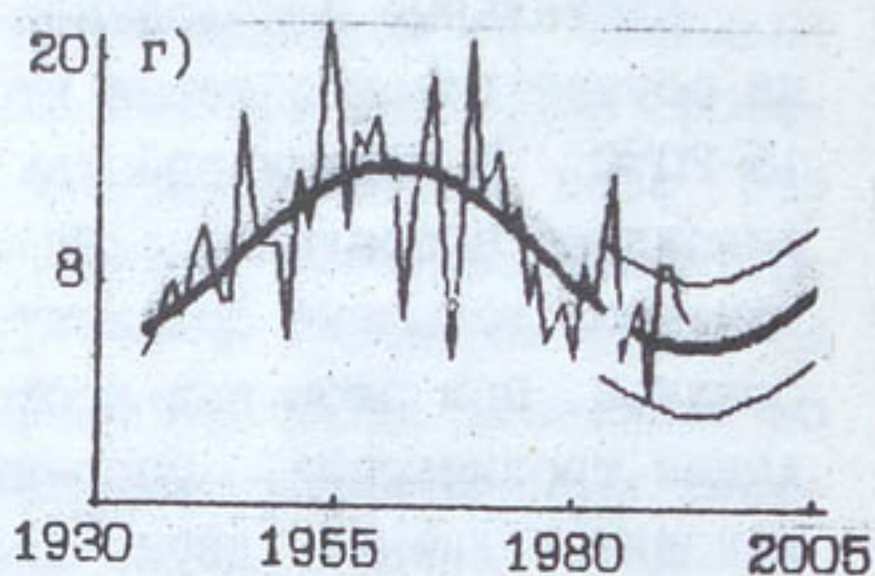
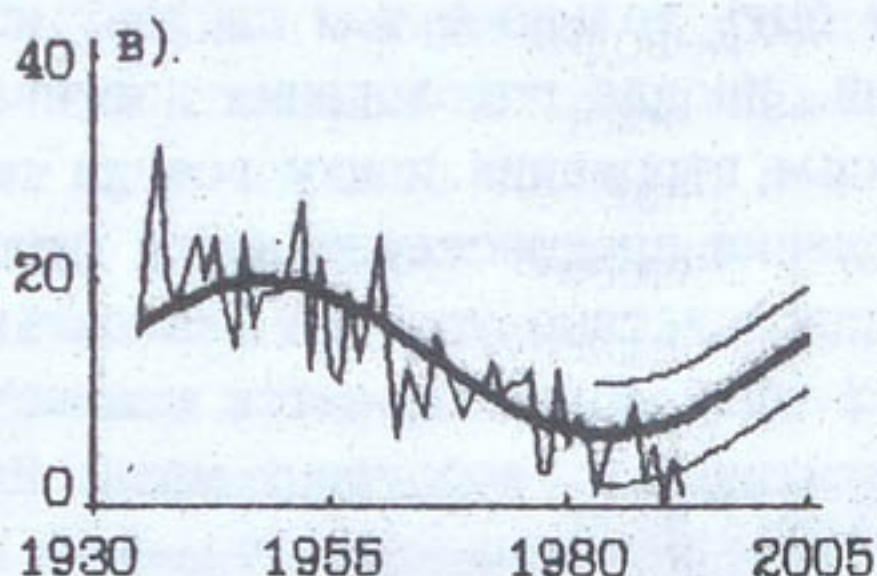
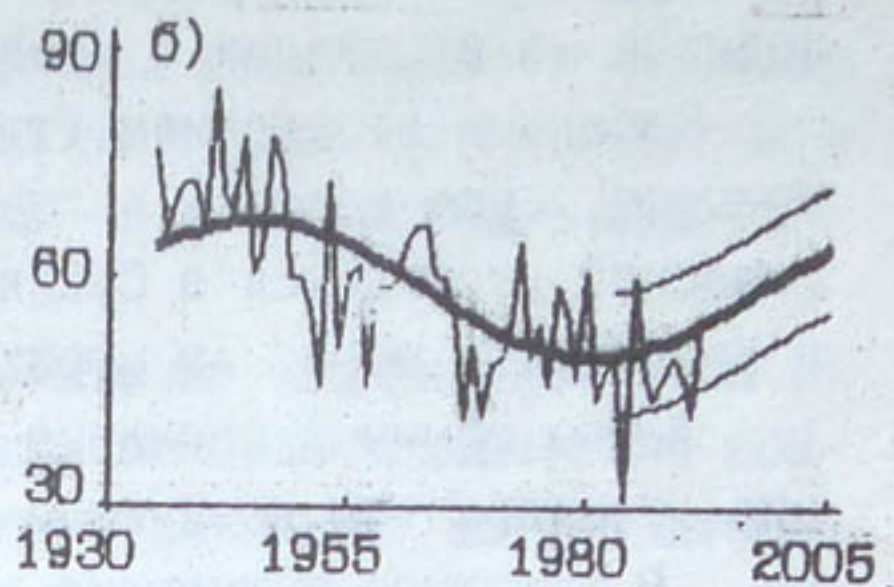
В рядах повторяемости класса южные циклоны на материале 1935-1982 годов был выделен тренд, описываемый гармонией с периодом 70 лет (рис.3.1а), который статистически значим на 1% уровне, как по коэффициенту корреляции ($r = 0,78$), так и по F-критерию. Выделенный тренд описывает 61% дисперсии исходного ряда.

Сопоставление изменения повторяемости южных циклонов со среднегодовой приземной температурой воздуха северного полушария и среднеквадратическим отклонением приземного давления по широтам показывает, что многолетние колебания этих величин происходят практически синхронно. Усиление или ослабление межполушарного обмена, а значит, рост и падение среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария ведет к увеличению или уменьшению частоты выхода южных циклонов.

число случаев



число случаев



— 1
 — 2

Рис.3.1. Изменение повторяемости класса типов 1+2+3 (а), типов 5+10 (б), типа 6 (в), типа 7 (г).
 1 - исходных ряд. 2 - выделенный тренд и среднеквадратические отклонения.

Северо-западные и западные вторжения. Северо-западным холодным вторжением (тип 5) называется такой синоптический процесс, при котором арктические или умеренные воздушные массы, ограничиваемые холодным фронтом, проникают на территорию Средней Азии с северо-запада через юго-восточную часть Европейского континента, Западный Казахстан и Устюрт /63,72/. Вторжение вызывает похолодание, сильные ветры, осадки, пыльные бури. Для холодного времени характерен переход дождя в снег. Половина всех заморозков по территории Средней Азии связана с северо-западным вторжением. Сильные осадки (30 мм за 12 часов при дожде и 20 мм за 12 часов при снеге) при северо-западных вторже-

ниях наблюдаются в 22 % случаев, причем половина случаев приходится на вторжения с предшествующим выходом южных циклонов.

Западным вторжением (тип 10) называется такой синоптический процесс, при котором воздух умеренных широт, реже прежний арктический вторгается в Среднюю Азию с запада, т.е. через Кавказ и Каспийское море, за меридиональным холодным фронтом /63,72/.

Летом обычные западные вторжения приносят некоторое понижение температуры воздуха и часто сопровождаются сильными ветрами. В холодное полугодие они дают также некоторое понижение температуры воздуха, но почти всегда сопровождаются осадками.

Длительные похолодания могут быть только в том случае, когда осуществляется серия вторжений. Иногда похолодания достигают 15-20°C. В горных районах западные вторжения почти всегда сопровождаются осадками. Если вторжению предшествует выход южного циклона, то могут создаваться благоприятные условия для сильных осадков. При этом над востоком Средней Азии создается напластование тропических, умеренных, арктических воздушных масс. Происходит слияние двух планетарных высотных фронтальных зон (ПВФЗ), являющихся как бы иллюстрацией двух вторжений влажных масс южного происхождения и холодных масс из полярного бассейна /63,72/.

Максимум повторяемости во времени западных и северо-западных вторжений наблюдался в 40-х годах и в среднем составлял 65-70 случаев, затем наблюдалось уменьшение, и минимум отмечался в первой половине 80-х годов и составил в среднем 50 случаев. В настоящее время наблюдается некоторая стабилизация повторяемости класса западные и северо-западные вторжения. Среднее многолетнее значение повторяемости этого класса за период 1935-1982 годы равно 59 случаям в год.

Анализ показал, что колебания повторяемости класса западных и северо-западных вторжений синхронны с колебаниями повторяемости формы циркуляции С Вангенгейма-Гирса. Это вполне логично, если принять во внимание, что тип С характеризуется ложбиной над восточной частью Европейского континента и высотными гребнями над Западной Европой и Западной Сибирью, т.е. положением высотных полей, которое предшествует западным и северо-западным вторжениям на Среднюю Азию.

В ряде повторяемости класса (5+10) за период 1935-1982 годов был также выделен тренд, описываемый гармоникой с периодом 70 лет (рис 3.16), который значим на 5% уровне по F-критерию и 1% уровне по коэффициенту корреляции, тренд описывает 48% дисперсии исходного ряда.

Северные вторжения. Северным холодным вторжением (тип 6) называется синоптический процесс, при котором арктический воздух или холодный воздух умеренных широт проникает на территорию Средней Азии с севера через Урал, Западную Сибирь и Казахстан /63,72/.

Северное вторжение сопровождается похолоданием и довольно широким спектром погодных явлений. Большинство вторжений протекает сравнительно спокойно при ясном или малооблачном небе без резких фронтальных явлений. В этом отношении особенно характерны медленные ультраполярные вторжения. Но встречаются также и вторжения, когда холодный фронт проявляется очень отчетливо во всех метеорологических элементах и развивается также, как северо-западные вторжения /63,72/.

Анализ ряда годовой повторяемости типа 6 показал, что максимальное количество северных вторжений наблюдалось во второй половине 30-х годов и в 40-х годах, и в отдельные годы было отмечено свыше 30 случаев. С начала 50-х началось уменьшение повторяемости типа 6, которое продолжается до настоящего времени.

В рядах повторяемости северных вторжений выделен тренд, описываемый гармоникой с периодом 73 года (рис.3.1в), который описывает 60% дисперсии исходного ряда, значим на 1% уровне по F-критерию и по коэффициенту корреляции.

Волновая деятельность. Волновой деятельностью (тип 7) называется такой синоптический процесс, когда в предгорных районах Средней Азии на квазистационарном фронте вторжения холодной воздушной массы небольшой вертикальной мощности развиваются циклонические волны. Эти волны, как правило, не достигают стадии окклюзии, хотя со временем их амплитуды возрастают. В южных частях Узбекистана устанавливается пасмурная, влажная погода с частыми осадками. Температурный режим в течение всего периода значительно колеблется. Эти колебания происходят на фоне температур, которыми обладала воздушная масса, пришедшая в Среднюю

Азию в виде холодного вторжения /63,72/.

Анализ показал, что максимум годовой повторяемости типа 7 приходится на 50-е годы (число случаев доходило до 22 в 1954 году), минимум - на начало и конец периода наблюдений, т.е. на 30-е и 80-е годы. Так, например, в 1935 году число случаев с волновой деятельностью равнялось 4, а в 1988 году - 2. Средняя многолетняя повторяемость за период 1935-1982 годов составила 10 случаев.

В рядах годовой повторяемости волновой деятельности был выделен гармонический тренд с периодом 72 года (рис.3.1г), который оказался статистически значимым на 1% уровне по коэффициенту корреляции ($r = 0,62$) и на 5% по F-критерию и описывает 49% дисперсии исходного ряда.

Периферии антициклонов. В отдельный класс (периферии антициклонов) были выделены типы юго-западная периферия антициклона (тип 9), юго-восточная периферия антициклона (тип 9а) и южная периферия антициклона (тип 9б) /63,72/.

Юго-западной периферией антициклона называется такой синоптический процесс, при котором господствует периферия отрога сибирского антициклона и наблюдается ясная спокойная погода. При определенных условиях, во время протекания типа 9 в горных и предгорных районах могут появляться радиационные туманы или сохраняется сложная облачность. При юго-западной периферии антициклона в зимнее время зафиксированы самые низкие температуры.

Юго-восточной периферией антициклона называется такой синоптический процесс, при котором у поверхности Земли над плато Устюрт, Нижней Волгой и Западным Казахстаном располагается малоподвижное антициклоническое ядро. Этот тип способствует сохранению облачной погоды с осадками над горами и ясной погодой над равниной.

Южной периферией антициклона называется такой синоптический процесс, при котором отрог сибирского антициклона распространяется на восточные районы Европейского континента, Западный Казахстан. Ось отрога проходит вблизи $50-55^{\circ}$ с.ш., и Средняя Азия оказывается на его южной периферии. В целом, при данном типе сохраняется холодная погода, на большей части территории без то

осадков. Но при определенных условиях могут наблюдаться туманы и даже сильные снегопады /63,72/.

Для анализа можно использовать только изменение повторяемости, начиная с 1945 года, т.к. введение типов 9а и 9б нарушило однородность ряда типа 9. Анализ показал, что среднее многолетнее значение за период 1945-1980 годы равно 75 случаям в год. Максимальные значения повторяемости класса наблюдались в начале анализируемого ряда и достигали в среднем 115-120 случаев, хотя можно предполагать, что в 30-х годах их повторяемость была выше.

Минимум наблюдался во второй половине 60-х годов (в среднем 50 случаев) и, начиная с конца 70-х годов, повторяемость типа 9+9а+9б начала расти, что соответствует изменению среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария и $\bar{b}_p$ на широтах 30° и 80° с.ш. Следовательно, изменение годовой повторяемости данного синоптического процесса также однозначно связано с изменениями T и $\bar{b}_p$. В этом ряде был выделен тренд, описываемый гармоникой с периодом 72 года (рис.3.2а). Выделенный тренд описывает 78% дисперсии исходного ряда, статистически значим на 1% уровне значимости и по коэффициенту корреляции ($r = 0.88$) и по F-критерию.

Малогradientное поле повышенного давления. Малогradientное поле повышенного давления (тип 12) - это синоптический процесс, при котором над Средней Азией устанавливается полоса повышенного давления /63,72/.

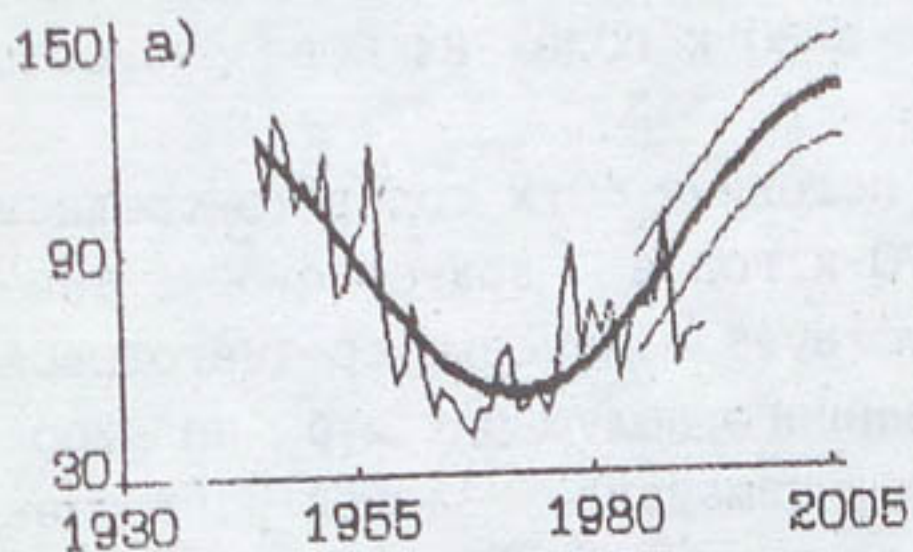
Тип 12 сопровождается во всех сезонах ясной или малооблачной погодой со слабыми ветрами и отсутствием каких-либо атмосферных явлений. Свойства воздушных масс, находящихся над Средней Азией при типе 12, зависят от предшествующего синоптического процесса, однако затем они приобретают некоторые общие черты, - они высушиваются, особенно в нижних слоях атмосферы. Исключением является крайний юго-восток Средней Азии, где могут отмечаться туманы или слабые осадки в холодный период года /63,72/.

Период наблюдений составляет 1945-1992 годы. Средняя многолетняя повторяемость типа составила 15 случаев в год.

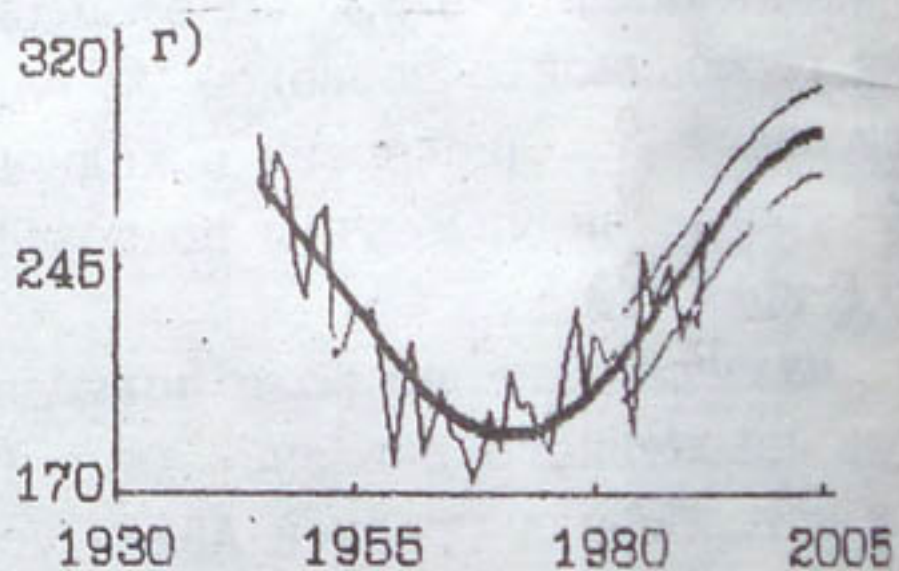
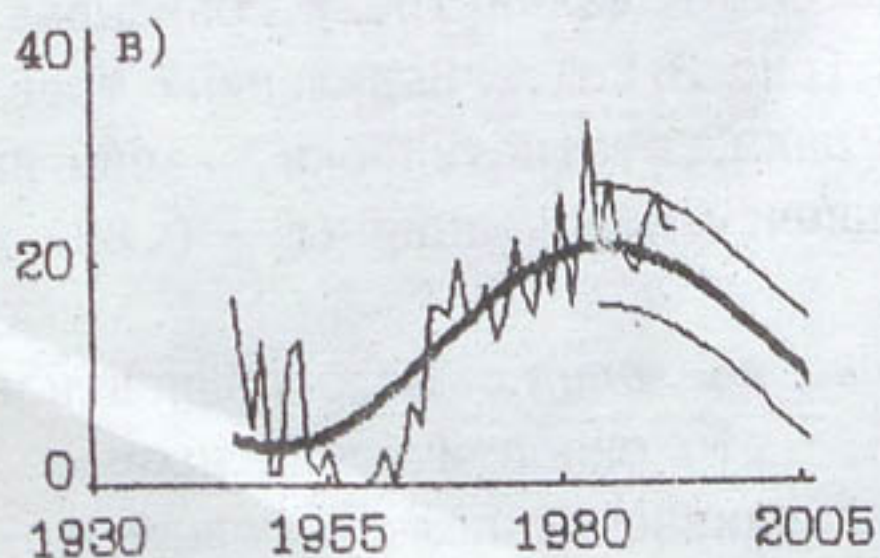
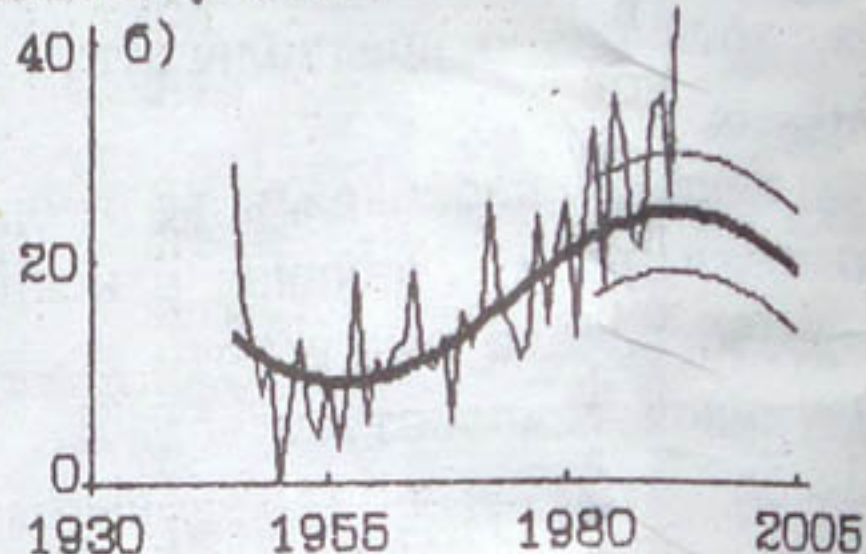
Анализ изменения годовой повторяемости типа 12 показывает, что минимальные значения наблюдались в 50-х годах. В 1950 го-

ду не наблюдалось ни одного случая с типом 12. Затем был отмечен рост повторяемости типа 12 и максимальные значения за период наблюдения наблюдались в 80-х годах, в 1985 году было 35 случаев. В рядах годовой повторяемости типа 12 был выделен гармонический тренд с периодом 70 лет, статистически значимый на 1% уровне по коэффициенту корреляции, на 5% уровне по F-критерию и описывает 48% дисперсии исходного ряда (рис.3.26).

число случаев



число случаев



— 1
— 2

Рис.3.2. Изменение повторяемости типа 9+9a+9б (а), типа 12 (б), типа 13 (в), общей повторяемости типов синоптических процессов (г). 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и среднеквадратические отклонения.

Малогradientное поле пониженного давления. Малогradientным полем пониженного давления (тип 13) называется синоптический процесс, при котором над Средней Азией появляется область пониженного давления, ориентированная меридионально /63,72/.

Характер погоды при типе 13 различен по сезонам и по происхождению, т.е. зависит от предшествующего синоптического процесса, на большей части территории Средней Азии в течение всего года при типе 13 наблюдается ясная и малооблачная погода без атмосферных явлений /63,72/.

Период наблюдения типа 13 составляет 1945-1992 годы. Средняя многолетняя повторяемость за этот период равна 12 случаям в год. Минимальные значения повторяемости данного процесса наблюдались в 50-х годах, когда несколько лет этот тип не появлялся, затем повторяемость стала расти и максимальные значения отмечались в 80-х годах. Так, в 1983 году было отмечено 33 случая. В ряде повторяемости типа 13 был выделен гармонический тренд с периодом 70 лет, который статистически значим на 1% уровне как по коэффициенту корреляции ($r = 0,80$), так и по F-критерию (рис.3.2в).

Общая повторяемость типов синоптических процессов Анализ повторяемости годового числа типов синоптических процессов показывает, что максимальные значения были в 40-х годах, хотя можно предположить, что повторяемость была выше в 30-х годах, затем было падение повторяемости до середины 60-х годов до 175 случаев и последующий рост с конца 70-х годов, который продолжается и в настоящее время. По этому ряду был выделен тренд, описываемый гармоникой с периодом 72 года, который статистически значим на 1% уровне как по F-критерию, так и по коэффициенту корреляции ($r = 0,91$) и описывает 85% дисперсии исходного ряда (рис.3.2г).

Среднее многолетнее значение ряда за период 1945-1992 годы равно 218. Сопоставление изменения общей повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии с изменениями среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария и на широтах 30° и 80° с.ш. показывает, что колебания происходили синхронно, т.е. увеличение повторяемости общего числа типов синоптических процессов соответствует усилению межширотного обмена и росту среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария. Из этого следует, что рост среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария соответствует не только росту общего числа типов синоптических процессов, но и

3.2. Оценки возможных изменений повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии до 2005 года

Таким образом, в изменениях повторяемости типов синоптических процессов были выделены периодичности, близкие к 70 годам, т.е., такие же, как и в изменениях характеристик глобального климата. Следовательно, если известно будущее изменение среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария и изменение $\bar{b}_p$ на отдельных широтах, например, на 30° и 40° с.ш., то можно оценить будущие изменения основных типов синоптических процессов.

Анализ рядов повторяемости типов региональной циркуляции проводился на материале до 1982 года, поэтому период 1983-1992 годов можно считать как проверку климатического прогноза на независимой выборке. Как видно из рис.3, фактические повторяемости типов синоптических процессов на независимой выборке в основном попадают в доверительный интервал для расчетных отклонений от тренда.

На рис.3.1а приведены ожидаемые изменения годовой повторяемости южных циклонов к 2005 году, полученные путем экстраполяции тренда, и возможные отклонения, полученные из рядов, представляющих разность между исходным рядом и выделенным трендом. Из рис.3.1а видно, что годовая повторяемость класса южные циклоны будет возрастать и к 2005 году достигнет величины 40 случаев в год с отклонениями от тренда 6 случаев в ту или другую сторону.

На рис.3.1б приведены предполагаемые изменения повторяемости класса (5+10) к 2005 году и возможные отклонения от тренда. Годовая повторяемость класса западные и северо-западные вторжения будет возрастать и к 2005 году достигнет величины 65 случаев в год с возможными отклонениями от тренда 8 случаев.

Годовая повторяемость северных вторжений также будет возрастать и к 2005 году достигнет величины 15 случаев в среднем, а отклонения от тренда составят 4-5 случаев в год, что видно из рис. 3.1в.

На рис.3.1г приведены ожидаемые изменения годовой повто-

ряемости волновой деятельности до 2005 года, рассчитанные путем экстраполяции тренда, и возможные отклонения от тренда. Годовая повторяемость типа волновая деятельность после некоторой стабилизации будет возрастать и к 2005 году ожидается около 5-6 случаев в год с возможными отклонениями от тренда 3-4 случая.

На рис.3.2а приведены прогностические изменения повторяемости класса периферии антициклонов ($9+9a+9b$), выделенный тренд, проэкстраполированный до 2005 года и возможные отклонения от тренда. Повторяемость периферии антициклонов в дальнейшем будет возрастать и к 2005 году достигнет величины 135 случаев в год с отклонениями от тренда 15 случаев.

Годовая повторяемость типа 12 во второй половине 90-х годов достигнет максимума и будет в среднем равна около 25 случаев в год, к 2005 году наступит некоторое снижение и будет около 20 случаев в год с возможными отклонениями от тренда 6 случаев (рис.3.2б).

На рис.3.2в приведены прогностические изменения повторяемости типа 13, из которого видно, что годовая повторяемость типа 13 (малоградиентное поле пониженного давления), по-видимому, в настоящее время достигла максимальной повторяемости в среднем примерно 25 случаев в год, в дальнейшем будет уменьшаться и к 2005 году будет равна примерно 15 случаям.

Годовая повторяемость общего числа типов синоптических процессов будет возрастать и достигнет к 2005 году 295 случаев в год с отклонениями 17 случаев (рис.3.2г).

Таким образом, общее число типов синоптических процессов увеличится, усилится межширотный обмен воздушными массами, синоптические процессы будут протекать быстрее, будет более частая смена погоды.

4. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Распределение температуры воздуха по территории Средней Азии определяется ее положением в глубине континента, свободным доступом холодных воздушных масс с севера и северо-запада, мощным горным барьером на юге, задерживающим эти холодные массы, а также сложным горным рельефом на востоке. Имеется ряд исследований температурного режима Среднеазиатского региона /7,9,55 и др./. В этих работах рассчитывались средние многолетние температуры воздуха у поверхности Земли по определенным месяцам, суммы активных температур (за период между датами устойчивых переходов через $+5^{\circ}\text{C}$ весной и осенью), суммы эффективных температур воздуха, средние даты устойчивых переходов через 0° , 5° , 10° , 15°C , суммы отрицательных температур воздуха, даты крайних заморозков. В работах /1-3/ более детально на материале до 1975 года даны характеристики теплообеспеченности по областям Республики Узбекистан. В работе /55/ исследованы многолетние колебания температурного режима Средней Азии, в том числе изменчивость термических ресурсов теплого периода и ее связь с особенностями циркуляции атмосферы.

Первым шагом при исследованиях изменения климата такого сложного физико-географического района, как Средняя Азия, необходимо решить проблему выбора опорных станций. Опорные станции должны быть длиннорядными и достаточно тесно взаимосвязанными с окружающими станциями. Такое исследование было выполнено в работе /49/, где с помощью объективной классификации по данным за период 1928-1980 годов станции Средней Азии, охватывающие в основном равнинную и предгорную часть региона, были разделены на 11 групп с однородными колебаниями среднемесячной температуры воздуха и на 11 групп с однородными колебаниями месячных сумм осадков. В настоящей работе для выделения опорных станций также был использован алгоритм объективной классификации, описанный в работе /91/. Классификация основана на самообучении с неизвестным числом классов, где мерой сходства является коэффициент корреляции.

Алгоритм классификации состоит в следующем. На каждом шаге после ранжирования объектов по коэффициентам корреляции в качестве эталона выбирается объект, имеющий с другими объектами наибольшее число коэффициентов корреляции не ниже порогового значения. Затем объект-эталон и выделенный класс удаляется из рассмотрения. За пороговое значение коэффициента корреляции на первом шаге взято значение 0,8, которое затем уменьшается, если класс не выделяется. Процедура повторяется до тех пор, пока количество объектов, объединенных в класс, не станет меньше трех, или же пока пороговое значение не станет меньше 0,65.

За множество объектов, подлежащих классификации и выделению опорных станций, были взяты значения среднемесячной приземной температуры воздуха по 60 станциям Средней Азии и данные характеристик термических ресурсов по станциям, число которых колеблется от 49 до 68. В табл.П.1.2 приведен список станций, базовые нормы (1951 - 1980 гг.) и нормы среднегодовой температуры воздуха у поверхности Земли по этим станциям, рассчитанные за весь период наблюдений. В табл.П.1.3-7 приведены списки станций, базовые нормы и нормы характеристик термических ресурсов по этим станциям, рассчитанные за весь период наблюдений.

В итоге объективной классификации из 60 станций Средней Азии были выделены 14 групп и соответственно 14 опорных станций с однородными колебаниями среднемесячной температуры воздуха и 8 станций, которые не вошли ни в одну из групп и оказались не связаны между собой. Таким образом, было выбрано 22 опорные станции: Кара-Кала, Дашховуз, Байрамали, Гушгы, Репетек, Гузар, Джизак, Искандеркуль, Денау, Термез, Устье р.Тос, Коканд, Байтык, Балыкчы, Суусамыр, Каракуджур, Тянь-Шань, Нарын, Сары-Таш, Каракуль, Хорог и Дарганата. По данным характеристик термических ресурсов было выделено 14 опорных станций - Джизак, Санзар, Шерабад, Куляб, Наманган, Тамды, Навои, Дарганата, Елотен, Чимбай, Ургенч, Ашгабат, Чагыл, Кизыл-Атрек.

4.1. Изменение среднегодовой приземной температуры воздуха

Для изучения колебания температурного режима Средней Азии были использованы ряды среднегодовой температуры воздуха у по-

верхности Земли по 22 опорным станциям за период наблюдения до 1990 года.

Для всех месяцев были вычислены средние многолетние значения температуры воздуха и их среднеквадратические отклонения. Сопоставление средних многолетних значений, полученных на данном материале, со средними многолетними значениями, приведенными в работе /9/, показало, что существенных изменений в нормах не произошло. Следовательно, многолетний температурный режим в равнинной и предгорной частях Средней Азии не изменился существенно. В январе сохраняется зональное распределение температур, которое нарушается на севере и западе под влиянием Аральского и Каспийского морей.

Распределение средних многолетних температур воздуха в апреле отличается от январских: уже намечаются очаги перегрева в пустынях Каракумы и Кызылкум, образующиеся под влиянием подстилающей поверхности.

За счет сформировавшихся очагов перегрева июльское распределение средних многолетних температур воздуха на равнинной территории существенно отличается от широтного. В типичном осеннем месяце (октябре) распределение средних многолетних значений температуры воздуха на равнинах снова приобретает зональный характер. В горных районах температура воздуха у поверхности Земли зависит во всех сезонах от высоты расположения станции и формы рельефа.

Изменения температурного режима связаны с изменением региональной циркуляции, которая в свою очередь связана с изменением глобального климата.

Известно, что основным индикатором изменения климата является среднегодовая температура воздуха, осредненная над большими площадями. Чем больше площадь осреднения, тем более сглажены величины среднегодовой температуры воздуха, и соответственно эти величины будут характеризовать более долговременные изменения или колебания климата. Исследование рядов на одной какой-либо станции не дает возможности делать выводы по большим территориям, так как эти ряды будут характеризовать еще и локальные особенности. Следовательно, чтобы исследовать изменения климата по какой-то достаточно большой территории, необходимо

анализировать осредненные значения не менее четырех-пяти станций. Эти станции не должны быть сильно взаимосвязаны, то есть находиться рядом, что предполагает необходимость проведения предварительных работ по оптимальному выбору станций.

В предлагаемой работе исследовались ряды значений отклонений среднегодовой приземной температуры воздуха от базовой нормы за 1951-1980 годы по 22 опорным станциям Средней Азии.

Были вычислены осредненные по 22 опорным станциям значения аномалий среднегодовой температуры воздуха Средней Азии. Анализ этого ряда за период 1930-1980 годов с помощью модели циклических компонент показал, что в нем отсутствует значимый линейный тренд, нет также трендов с периодом, характерным для изменения характеристик глобального климата. Однако обнаружена гармоника с периодом 22 года.

На рис.4.1а приводятся изменения среднегодовой приземной температуры воздуха, выделенный тренд, проэкстраполированный до 1990 года, и возможные отклонения от тренда. Выделенный тренд описывает 11% дисперсии исходного ряда и значим на 5% уровне по коэффициенту корреляции. Период 1981-1990 годов можно рассматривать как независимую выборку, а проэкстраполированный тренд как прогноз. Как видно из рис.4.1а, прогноз оказался достаточно успешным: относительная ошибка прогноза (ϵ) составила 0,81.

Средняя Азия представляет собой регион со сложными физико-географическими условиями, где имеются равнина, предгорья и горы, и, естественно, изменение климата происходит неодинаково в различных частях этого региона.

Вследствие этого регион Средней Азии в первом варианте был поделен на три части: равнину, предгорья и горную область. Равнинная часть Средней Азии описывалась станциями Дашквуд, Дарганата, Кара-Кала, Байрамалы, Джизак, Репетек, Гушгы. Горный район характеризуется станциями Каракуджур, Искандеркуль, Суусамыр, Тянь-Шань, Нарын, Сары-Таш, Каракуль, Хорог. Предгорная область - станциями Гузар, Термез, Денау, Коканд, Устье р.Тос, Байтык, Балыкчы.

Были получены ряды среднегодовых аномалий температур воздуха, осредненных по станциям, характеризующим равнинные, горные

и предгорные районы. Анализ с использованием модели циклических компонент на материале с 1930 по 1980 годы показал, что в среднегодовых температурах на равнине и предгорье имеются колебания с периодом 22 года (рис.4.16,в), то есть такие же, как и в среднегодовой температуре воздуха у поверхности Земли по всей Средней Азии.

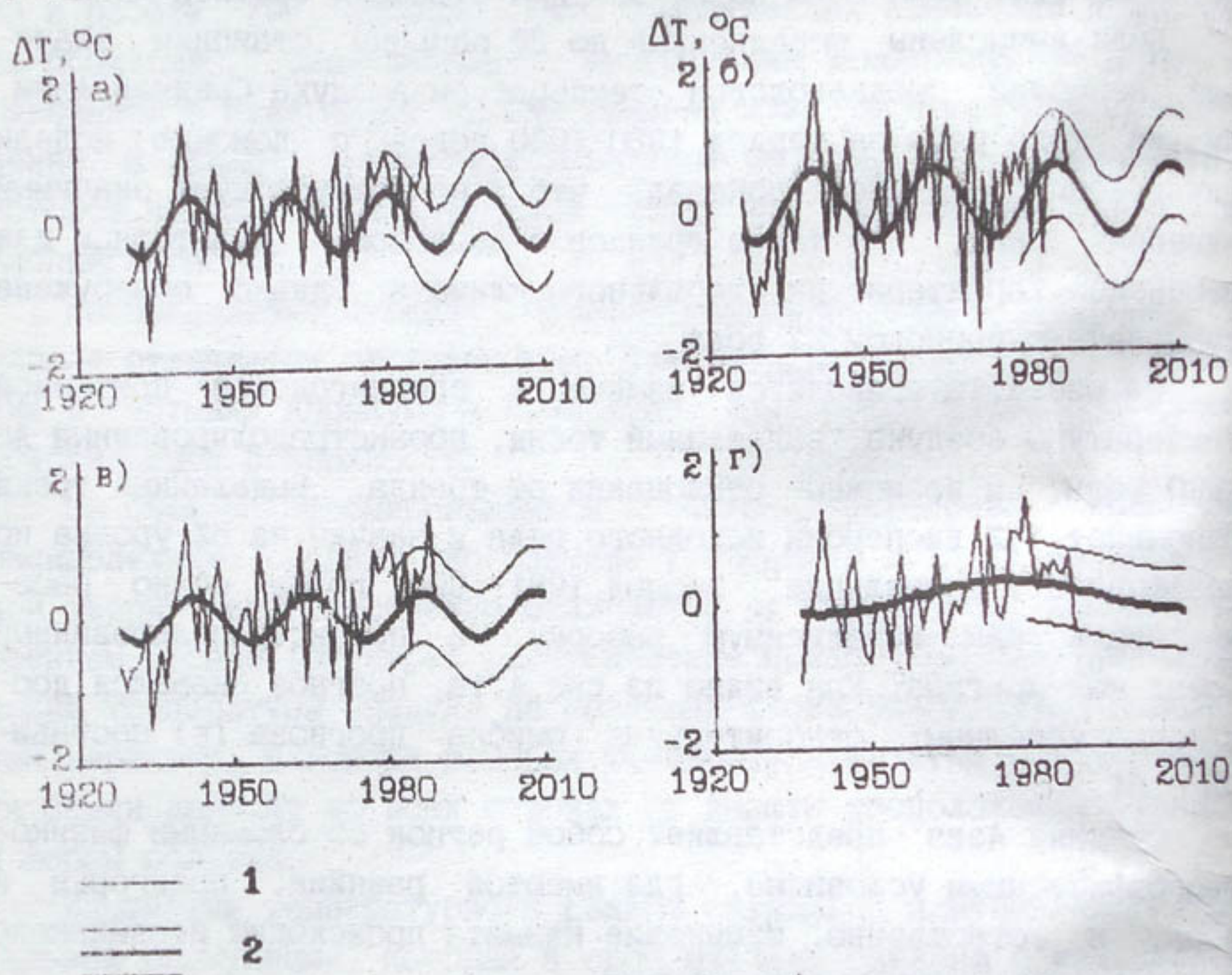


Рис.4.1. Изменение среднегодовой приземной температуры воздуха по всему Среднеазиатскому региону (а), по равнинной части (б), по предгорьям (в), по горам (г) в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы).
1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

На равнинной и в предгорной частях Средней Азии пониженные значения среднегодовой приземной температуры воздуха наблюдались в 30-х, 50-х и конце 60-х годов, а повышенные - в 40-х, 60-х и с середины 80-х годов по настоящее время.

Выделенные тренды описывают по 11% и 22% дисперсии исходных рядов, соответственно. Выделенные тренды статистически значимы.

на 5% уровне по коэффициенту корреляции. Успешность прогноза по ϵ за период 1981-1990 годы составила 0,92 и 0,76 для равнинных и предгорных районов, соответственно.

В рядах среднегодовой температуры воздуха, характеризующих горную часть Средней Азии, был выделен гармонический тренд с периодом равным 70 лет (рис.4.1г). Тренд описывает 9% дисперсии исходного ряда, значим на 5% уровне по коэффициенту корреляции. Успешность прогноза, полученного путем экстраполяции тренда с 1981 по 1990 год, по ϵ равна 0,86.

Атмосферные процессы, формирующие температурный режим на юге и севере Средней Азии, различны и, как уже было показано, различаются и изменения среднегодовой приземной температуры воздуха на равнине и в горных районах. Следует отметить, что изменчивость среднегодовой приземной температуры на равнине почти вдвое больше, чем в горах. Поэтому Среднеазиатский регион был поделен на 4 района. Северо-западная и северная часть равнины характеризуется станциями Дашховуз, Дарганата, Байтык, Джизак, Коканд (район 1); юго-западная часть (юг равнины) - станциями Кара-Кала, Байрамалы, Гушгы, Термез (район 2); Северо-западный и Внутренний Тянь-Шань - Каракуджур, Суусамыр, Балыкчы, Тянь-Шань, Нарын и Устье р. Тос (район 3); юго-восточная часть Средней Азии (Памиро-Алай) - Денау, Гузар, Сары-Таш, Каракуль, Хорог, Искандеркуль (район 4).

Были вычислены осредненные значения среднегодовых приземных температур воздуха по указанным 4 районам. С помощью модели циклических компонент для 3 и 4 районов были выделены гармонические тренды с периодом 70 лет, которые описывают 19 и 10% дисперсии исходных рядов, соответственно, против 9%, когда эти районы были объединены. А выделение второй гармоники с периодом 22 года улучшает описание исходных рядов до 22 и 15%, соответственно. Тренды становятся значимыми как по коэффициенту корреляции, так и по F-критерию. Успешность прогнозов на независимой выборке за период 1981-1990 годов также стала выше, значения ϵ равны 0,83 и 0,82 против 0,86.

Выделенные тренды с периодом 22 года, характеризующие север (район 1) и юг равнинной части (район 2) Средней Азии, описыва-

ют 22% и 16% дисперсии исходных рядов, соответственно, они статистически значимы по F-критерию и по коэффициенту корреляции на 1% уровне. Успешность прогнозов на материале 1980-1990 годов по ϵ составляла 0,80 и 0,76 (рис. 4.2).

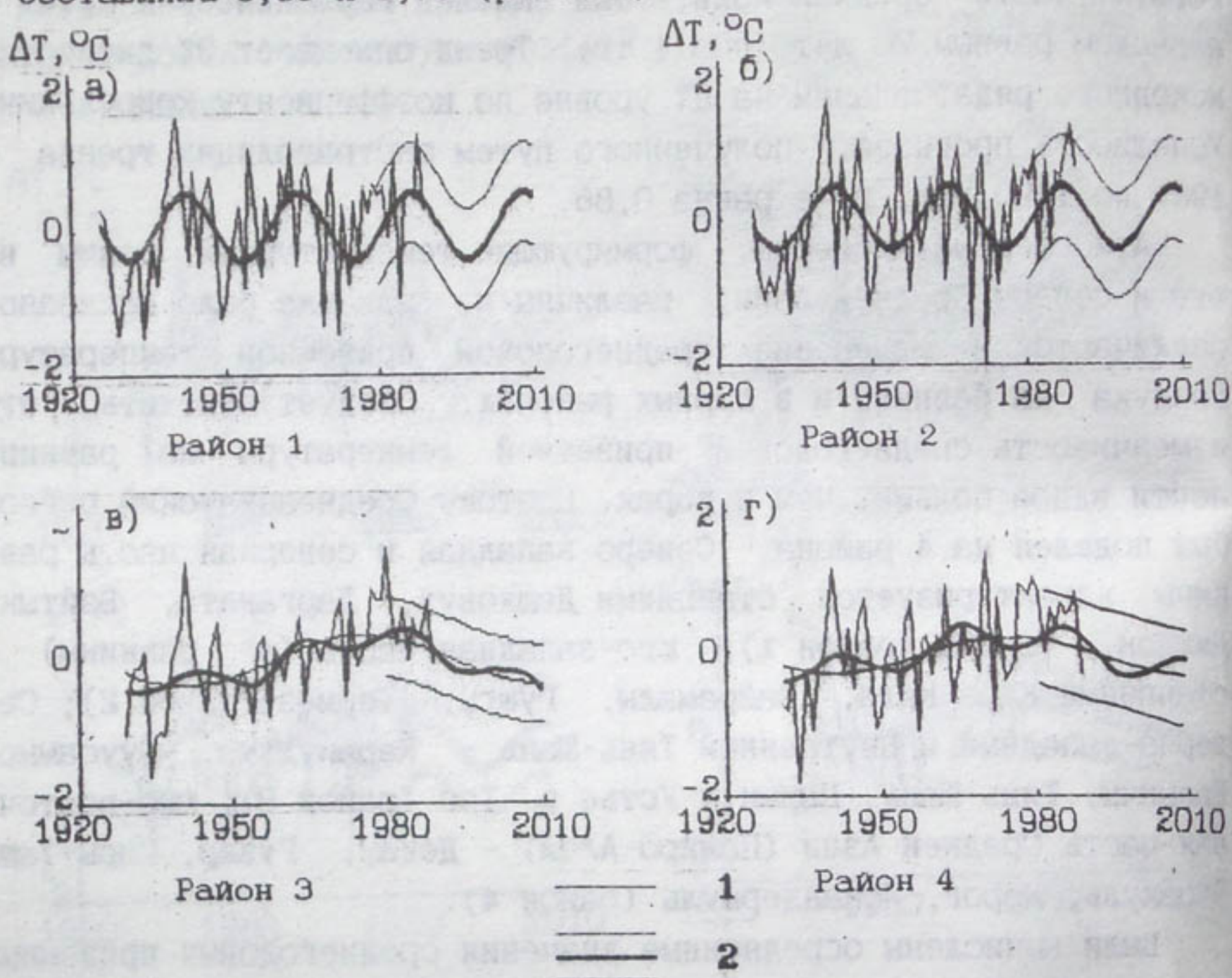


Рис. 4.2. Изменение среднегодовой приземной температуры воздуха по 4 районам Средней Азии в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы). 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

Проведенный анализ с помощью модели циклических компонент по каждой спорной станции в отдельности показал, что только на горных станциях можно выделить гармонический тренд с периодом 70 лет, а на остальных станциях выделить одинаковую для всех станций закономерность не удалось. На большинстве станций вообще отсутствуют значимые периодичности. Следовательно, это еще раз доказывает, что изменение климата можно обнаружить только по оптимально осредненным по пространству характеристикам климата.

Рассмотрим изменение температурного режима по полугодиям. В холодном полугодии во всех 4 рассматриваемых районах Средней Азии (рис. 4.3) обнаружен гармонический тренд с периодом 22 года.

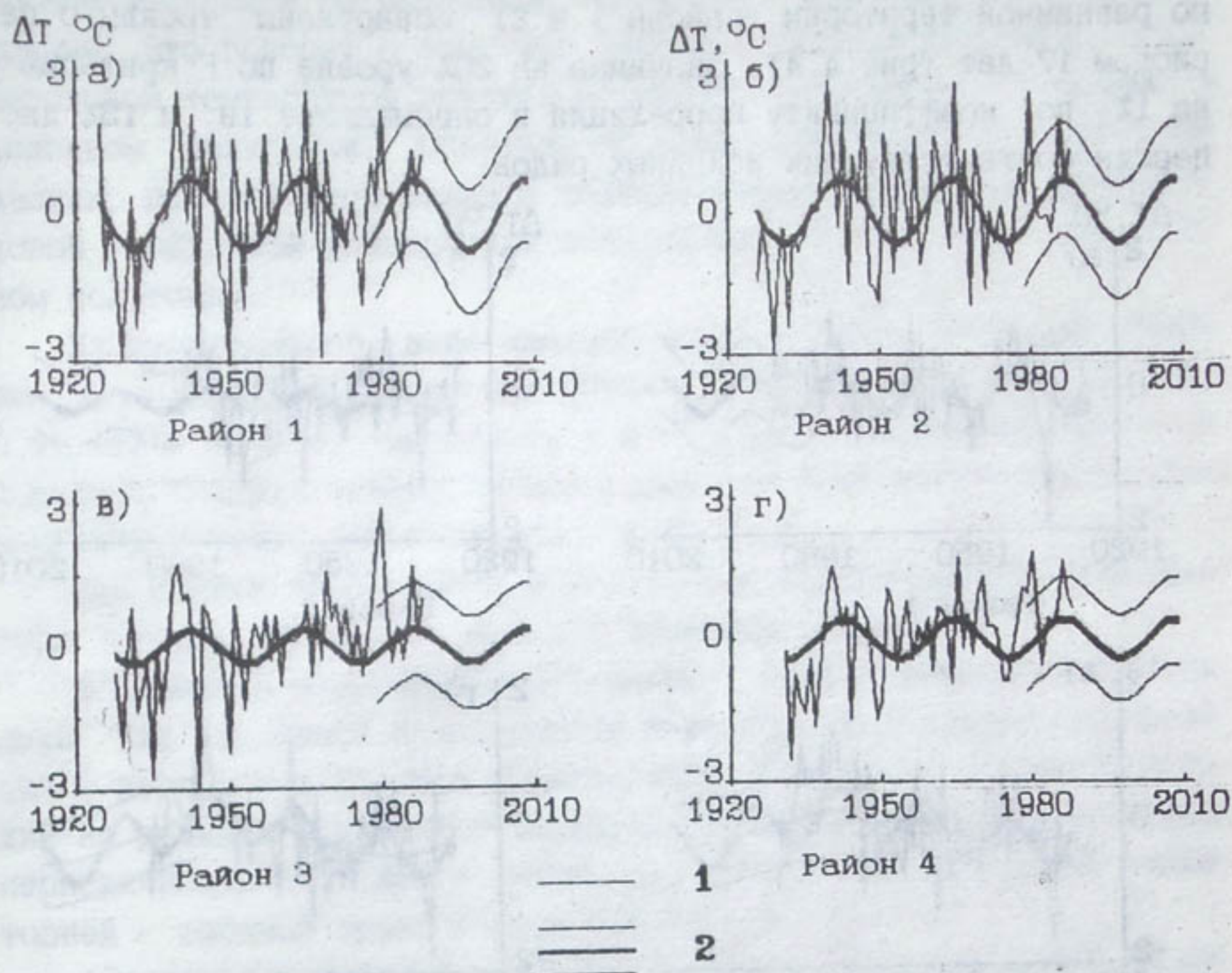


Рис. 4.3. Изменение температуры воздуха у поверхности Земли холодного полугодия по 4 районам Средней Азии в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы).
1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

По равнинной территории (районы 1 и 2) тренд значим на 20% уровне по F-критерию и на 1% уровне по коэффициенту корреляции и описывает 17% и 19% дисперсии исходных рядов. Изменчивость среднегодовой температуры воздуха по северной части равнинной территории больше, чем по южной примерно в 1,5 раза. Определяемость прогноза на независимой выборке за период 1981-1990 годов составила 0,7 и 0,8, соответственно.

По горным районам (3 и 4) выделенный период значим только

по коэффициенту корреляции на 5% уровне. Успешность прогноза за период 1981-1990 годов равна примерно 1,0 в обоих случаях.

В теплом полугодии в изменениях средней температуры воздуха по равнинной территории (районы 1 и 2) обнаружены тренды с периодом 17 лет (рис.4.4), значимые на 20% уровне по F-критерию и на 1% по коэффициенту корреляции и описывающие 19 и 13% дисперсии соответствующих исходных рядов.

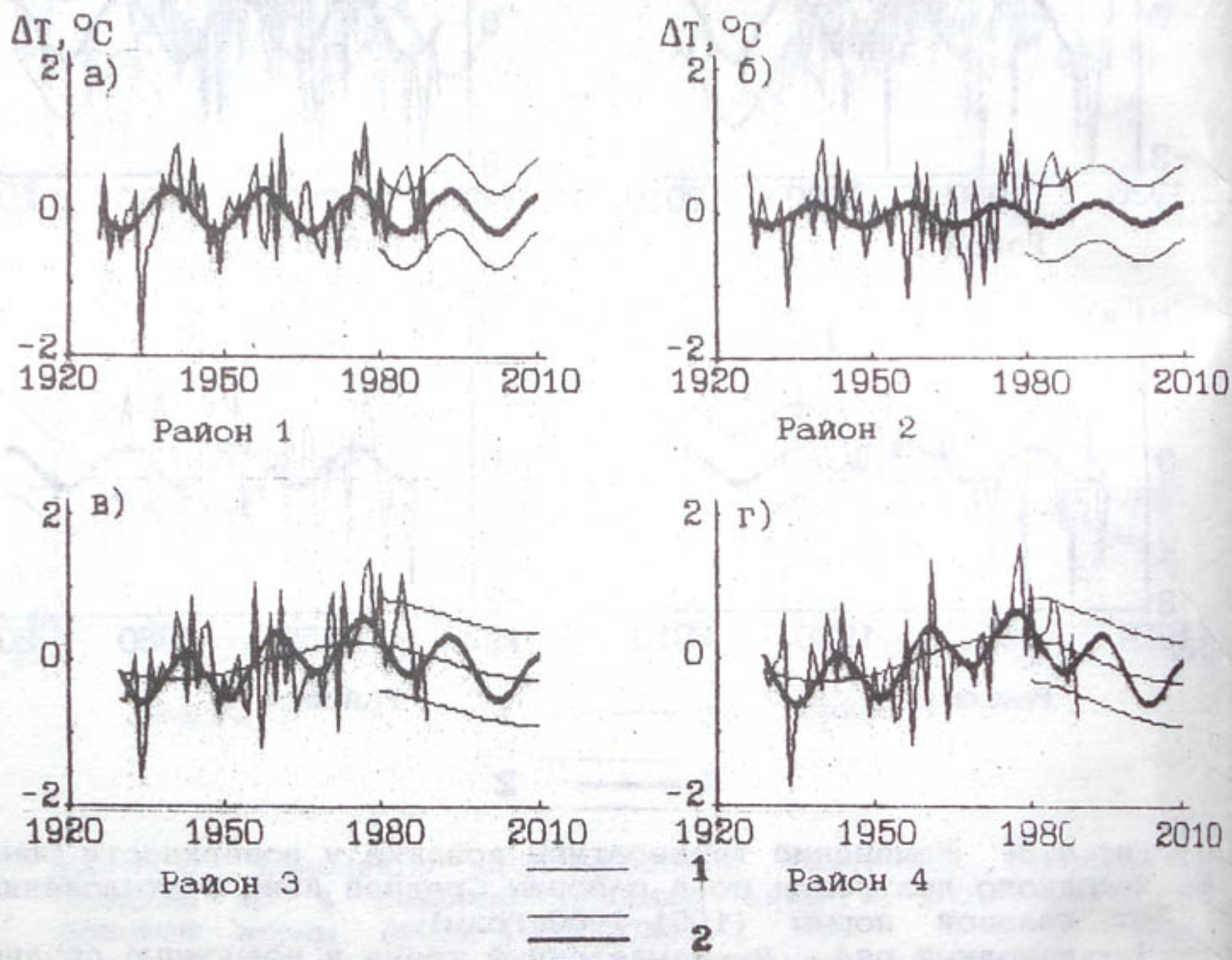


Рис.4.4. Изменение температуры воздуха у поверхности Земли теплого полугодия по 4 районам Средней Азии в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы).

1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

Оправдываемость прогнозов за период 1981-1990 годов по ϵ составила около 1,0 в обоих случаях. По горной территории (районы 3, 4) были выделены сложные тренды, состоящие из гармоник с периодом 70 и 17 лет, которые оказались значимы на 20% уровне по F-критерию и на 1% по коэффициенту корреляции и описывали 36 и 27% дисперсии соответствующих исходных рядов. Оправдываемость

мости прогнозов за 1981-1990 годы по ϵ равны 0,8 и 0,9, соответственно.

По фазе колебания среднемесячной температуры воздуха за холодное полугодие по равнинной территории совпадают со среднегодовыми. Это говорит о том, что основной вклад в изменение среднегодовой температуры воздуха на равнине вносят ее изменения в холодном полугодии. Обратная картина наблюдается в горных областях, где основной вклад в долговременные изменения среднегодовой приземной температуры воздуха вносят ее изменения в теплом полугодии.

Из приведенного выше анализа можно сделать следующие выводы. На равнинной территории Средней Азии отсутствуют колебания с периодом 70 лет, имеющиеся в изменениях среднегодовой температуры воздуха северного полушария, но есть достаточно хорошо различимые колебания с периодом в 22 года.

Над горной территорией в изменениях среднегодовой температуры воздуха выделяется тренд с периодом 70 лет.

В холодном полугодии в изменениях средней температуры воздуха над равнинной и предгорной территорией выделяются колебания с периодом в 22 года и амплитудой до 2°C . В теплом полугодии на равнине в изменении средней температуры воздуха выделена периодичность в 17 лет с амплитудой до 1°C , а над горной территорией - сложный тренд с периодом 70 и 17 лет.

Амплитуда колебаний температуры над равниной в холодном полугодии почти в 2 раза больше, чем в теплом, следовательно, основной вклад в изменение среднегодовой температуры воздуха здесь вносят изменения в холодном полугодии. Над горной территорией амплитуда колебаний примерно одинакова для обоих полугодий, а среднегодовые изменения температуры воздуха у поверхности Земли определяются в большей степени изменением температуры в теплом полугодии.

4.2. Оценка изменения приземной температуры воздуха в Средней Азии к 2005 году

Полагаясь на результаты анализа, полученные в разделе 4.1, и считая, что проэкстраполированный до 2010 года тренд опишет

фактические изменения среднегодовой и средней по полугодиям температуры для различных районов Средней Азии (рис. 4.2-4.4), можно предложить следующие оценки будущих изменений температурного режима Средней Азии.

В целом по Средней Азии ожидается незначительное понижение среднегодовой приземной температуры воздуха: к концу XX столетия она будет на $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы. Затем предполагается рост, и к 2005-2010 годам температуру следует ожидать примерно на $0,35^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы с возможными отклонениями от тренда до $0,6^{\circ}\text{C}$, что согласуется с результатами, полученными в главе 2.

На равнинной территории Средней Азии к концу XX столетия следует ожидать понижение среднегодовой приземной температуры воздуха в среднем на $0,5^{\circ}\text{C}$ от базовой нормы с возможными отклонениями $0,65^{\circ}\text{C}$, затем, к 2005-2010 годам температура с средним повысится на $0,5^{\circ}\text{C}$ с ежегодными возможными отклонениями $0,5^{\circ}\text{C}$.

По горной территории Средней Азии к 2005 году следует ожидать незначительное понижение среднегодовой температуры воздуха на $0,3-0,5^{\circ}\text{C}$ с возможными отклонениями от тренда $0,5^{\circ}\text{C}$.

По предгорью к концу XX столетия также ожидается понижение приземной среднегодовой температуры воздуха на $0,3^{\circ}\text{C}$ от базовой нормы, а затем рост до 2010 года: среднегодовая температура воздуха будет на $0,3^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы к 2005-2010 годам с отклонениями от тренда $0,5^{\circ}\text{C}$.

Рассмотрение возможных изменений среднегодовой температуры воздуха по 4 районам Средней Азии показывает, что по северу равнинной территории Средней Азии температура будет понижаться и к концу XX столетия составит в среднем $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы, затем она начнет повышаться и к 2005-2010 годам составит в среднем $0,5^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы с возможными ежегодными отклонениями от тренда $0,65^{\circ}\text{C}$.

По югу равнинной территории Средней Азии среднегодовая температура также будет понижаться и к концу XX столетия станет на $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы, затем ожидается повышение и к 2005-2010 годам она будет на $0,3^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы с возможными отклонениями до $0,7^{\circ}\text{C}$.

По северу горной территории Средней Азии (Северо-западный и

Внутренний Тянь-Шань) будет в среднем постепенное понижение среднегодовой приземной температуры воздуха: к 2005 году следует ожидать в среднем на $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы с возможными ежегодными отклонениями от тренда в $0,55^{\circ}\text{C}$.

Для юга горной территории Средней Азии (Памиро-Алай) также следует ожидать понижение среднегодовой приземной температуры воздуха: к 2005 году она будет в среднем на $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы с возможными отклонениями от тренда до $0,65^{\circ}\text{C}$.

В холодном полугодии на севере равнинной территории Средней Азии средняя приземная температура будет опускаться и к концу XX столетия будет в среднем на 1°C ниже базовой нормы, затем температура воздуха будет повышаться и к 2005-2010 годам достигнет величины $0,8^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы с возможными отклонениями от тренда $1,2^{\circ}\text{C}$.

По югу равнинной части Средней Азии в холодном полугодии средняя приземная температура воздуха будет также в среднем понижаться и к концу XX столетия окажется на $0,8^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы, затем начнется рост, и к 2005-2010 годам температура достигнет величины на $0,8^{\circ}\text{C}$ выше нормы с отклонениями от тренда $1,2^{\circ}\text{C}$.

В Северо-Западном и Внутреннем Тянь-Шане изменения незначительные, средняя температура воздуха будет понижаться и к концу XX столетия достигнет $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы, затем повышаться и к 2005 году будет на $0,3^{\circ}\text{C}$ выше нормы с отклонениями $1,0^{\circ}\text{C}$ в ту или в другую сторону.

По Памиро-Алаю изменения также будут незначительны и аналогичны изменениям для севера горной территории Средней Азии.

В теплом полугодии по северу равнинных областей Средней Азии изменения будут незначительными, к середине 90-х годов следует ожидать среднюю температуру воздуха на $0,2^{\circ}\text{C}$ выше базовой нормы, затем понижение и к 2005 году она окажется на $0,2^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы. По югу равнинной территории Средней Азии изменения аналогичны ожидаемым изменениям для северных территорий Средней Азии.

По Северо-Западному и Внутреннему Тянь-Шаню в теплом полугодии к 2005 году следует ожидать понижение средней температуры на $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже базовой нормы с флуктуациями в ту или

другую сторону $0,5^{\circ}\text{C}$. Аналогичные изменения, ожидаются к 2005 году в теплом полугодии на Памиро-Алае.

4.3. Средние многолетние даты устойчивых переходов среднесуточных температур воздуха через 0° , 5° , 10° , 15°C и даты крайних заморозков в воздухе

К одним из основных характеристик термических ресурсов региона относятся даты устойчивых переходов среднесуточной температуры у поверхности Земли через 0° , 5° , 10° , 15° весной и осенью и даты крайних заморозков. Карты распределения средних многолетних этих характеристик и их среднеквадратические отклонения приводятся на рис. П.2.1-10.

По крайнему югу Средней Азии, за редким исключением, среднесуточные температуры воздуха в зимний период не опускаются ниже 0°C на продолжительные периоды времени, т.е. устойчивого перехода через 0°C практически не происходит (рис.П.2.1а). В первой декаде февраля переход через 0°C происходит по Ашгабатской и Чарджевской областям Туркменистана, Бухарской, и Самаркандской областям Узбекистана. Во второй декаде февраля переход через 0°C происходит выше 40° с.ш. в Красноводской области Туркменистана, в Хорезмской области Узбекистана. Каракалпакстане и на севере Навоийской области. По северной части Туркменистана и по северу Каракалпакстана переход через 0°C происходит в третьей декаде февраля. По югу плато Устюрт переход через 0°C происходит в первой декаде марта, по северу плато Устюрт - во второй декаде марта. Следует отметить, что над пустыней Кызылкум переход через 0°C происходит раньше на 10-15 дней, чем в остальных районах, расположенных на этой же широте.

Среднеквадратические отклонения дат устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0°C в Чарджевской области Туркменистана, Бухарской, Самаркандской и Джизакской областях Узбекистана составляют 18-20 дней, к северу и югу колебания уменьшаются (рис.П.2.1б).

Осенью (второй переход) распределение дат устойчивых переходов через 0°C практически зональное, лишь по крайнему югу Средней Азии невозможно четко определить границу перехода.

Раньше всего, во второй декаде ноября, переход через 0°C начинается в зоне 45° с.ш., позднее - в третьей декаде ноября осуществляется по югу плато Устюрт и Каракалпакстане, в первой декаде декабря - по северу Туркменистана, Хорезмской области и северу Навоийской, Ташкентской и Сырдарьинской областям Узбекистана и по Чимкентской области Казахстана. Во второй декаде декабря переход через 0°C осуществляется в центральных районах Туркменистана, в Кашкардарьинской и Сурхандарьинской областях Узбекистана и в долинах Таджикистана, и, наконец, в третьей декаде декабря - по югу пустыни Каракумы. На крайнем юге Средней Азии, в большинстве случаев устойчивого перехода через 0°C не происходит (рис.П.2.2а).

Среднеквадратические отклонения дат устойчивых переходов через 0°C осенью до 16 дней отмечаются по северу Туркменистана, Навоийской, Джизакской и Ташкентской областям Узбекистана. К северу и к югу от этой зоны максимальные амплитуды колебаний уменьшаются: на юге пустыни Каракумы эта величина достигает 6-8 дней (рис.П.2.2б).

Карты распределения средних многолетних дат устойчивых переходов через 5° , 10° , 15°C весной и осенью и их среднеквадратические отклонения от средних приведены на рис.П.2.3-8.

В целом, распределение средних дат переходов в весенний период носит широтный характер, с небольшими отклонениями, отражающими влияние подстилающей поверхности или орографические особенности. Дисперсия дат весеннего перехода через 5° и 10°C существенно возрастает с севера на юг, а для перехода через 15°C по всей территории составляет 8-10 дней.

Следует отметить некоторые особенности в распределении дисперсий для перехода через 5°C . Это уменьшение среднеквадратических отклонений дат устойчивого перехода через 5°C по руслу Амударьи и их некоторый рост в пустыне Кызылкум (рис.П.2.3б).

Распределение средних дат перехода через 15°C , 10°C осенью близко к широтному (рис.П.2.6а, 8а) и носит более сложный характер для перехода через 5°C (рис.П.2.4а). Как видно из рис.П.2.4а, этот переход совершается в пустыне Кызылкум в более поздние сроки, чем на окружающей территории.

Поведение среднеквадратических отклонений аналогично весенним переходам: существенный рост с севера на юг для перехода через 5° и 10°C и однородный для перехода через 15°C - 8-10 суток.

Средние многолетние даты последних весенних заморозков приводятся на рис.П.2.9а. По югу Средней Азии последние заморозки весной наблюдаются в первой декаде марта. Во второй декаде марта последние заморозки весной бывают в зоне 40° с.ш., в Ферганской долине, в третьей декаде марта - по северу Туркменистана, Хорезмской, Навоийской областям Узбекистана и в первой декаде апреля - в Каракалпакстане. Сопоставление с картой распределения последних весенних заморозков, приведенной в работе /9/, показывает, что средние даты сместились примерно на 10 дней к более ранним срокам по всей территории Средней Азии. Среднеквадратические отклонения самые значительные на юге - до 14 дней и уменьшаются к северу. В Каракалпакстане эта величина составляет 8 дней (рис.П.2.9б).

Изменения дат первых осенних заморозков также происходят почти широтно (рис.П.2.10а). Наибольшие среднеквадратические отклонения изменений дат первых осенних заморозков наблюдаются на юге Средней Азии и в Центральных Кызылкумах - 14-18 дней. По остальной территории значения среднеквадратических отклонений колебаний уменьшаются до 10-12 дней (рис.П.2.10б).

Сопоставление с картой, приведенной в работе /9/, показывает, что на севере Средней Азии первые осенние заморозки наступают немного раньше, примерно на 5-10 дней. В центральных районах и по югу Средней Азии даты остались в основном прежними.

4.4. Изменение дат устойчивого перехода среднесуточных температур через 5° , 10° , 15°C и дат крайних заморозков в воздухе

Определение дат устойчивых переходов через 0°C на большей части территории Средней Азии (исключение составляют северные районы) встречает определенные трудности. Это связано с тем, что переход среднесуточной температуры через 0°C как зимой, так

и летом, может осуществляться 2-3 раза, а по югу иногда вообще такие переходы отсутствуют. Следовательно, в этих данных присутствует субъективизм и исследовать по ним изменения климата нецелесообразно.

Первый устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 5°C означает наступление весеннего сезона - первого этапа теплого вегетационного периода. Был проанализирован временной ход дат первого устойчивого перехода через 5°C на опорных станциях, и выделены группы станций с аналогичным многолетним ходом.

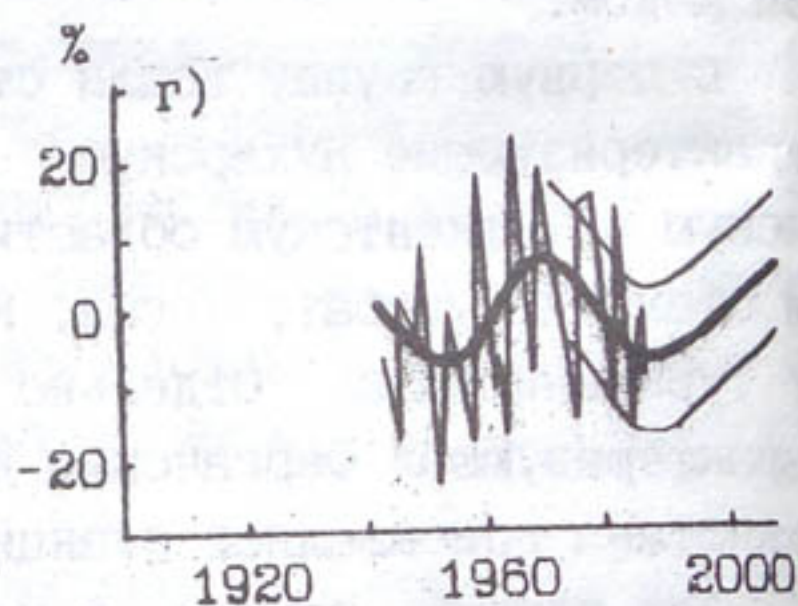
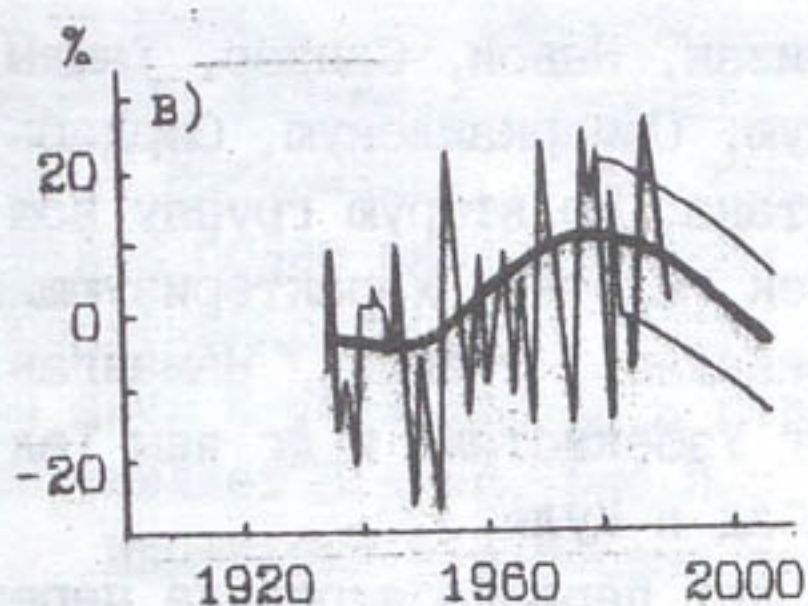
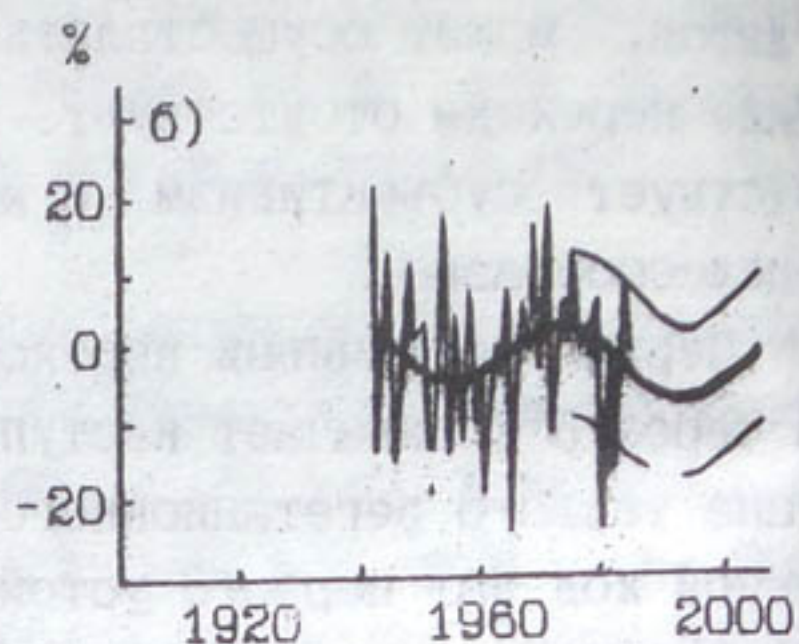
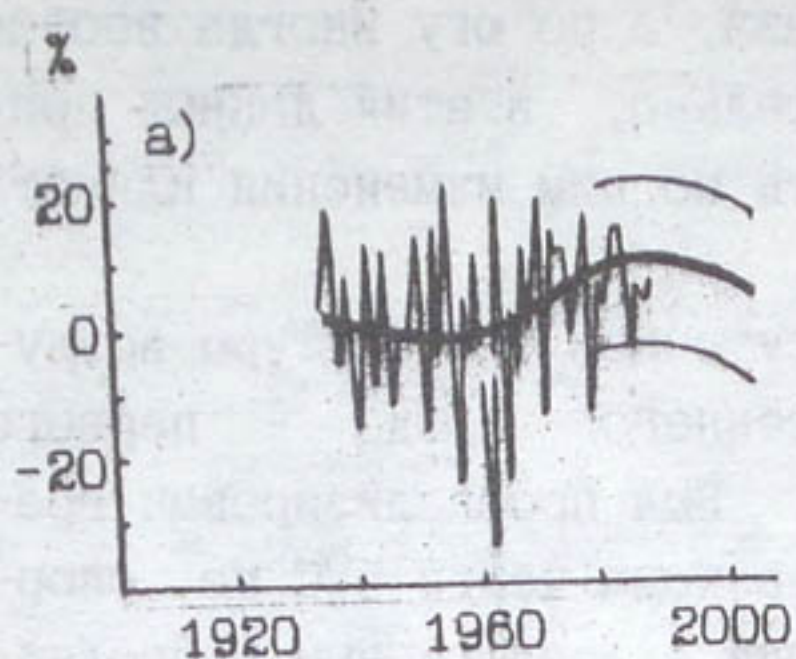
В первую группу вошли станции Джизак, Навои, Санзар, Тамды, характеризующие Бухарскую, Навоийскую, Самаркандскую, Сырдарьинскую и Ташкентскую области Узбекистана. Во вторую группу вошли станции Ашгабат, Чагыл, Кизыл-Атрек, Елотен, характеризующие юг Туркменистана. Отдельно рассматривалась станция Наманган, характеризующая Ферганскую долину. Юг Узбекистана и долины Таджикистана описывались станциями Шерабад и Куляб.

Для первой группы в изменениях дат первого перехода через 5°C статистически значимых линейных трендов не обнаружено. Тренд, выделенный с периодом 70 лет, также незначим (рис. 4.5а).

Проверка успешности прогнозов изменения дат перехода через 5°C за 1981-1990 годы по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям Узбекистана показала, что успешность прогноза по ϵ равна 0,43.

По югу Туркменистана (рис. 4.5б) в изменениях дат перехода через 5°C выделен тренд с периодом 35 лет, описывающий 23% дисперсии исходного ряда и значимый на 20% уровне по F-критерию. Как видно, по югу Туркменистана до 60-х годов наблюдалось незначительное смещение дат перехода через 5°C к более ранним срокам, а затем до 80-х годов началось смещение к более поздним срокам. Успешность прогноза по ϵ за период 1981-1990 годы по центральным районам и югу Туркменистана равна 1,0.

Для первой группы станций в изменениях дат второго перехода через 5°C выделен тренд, описываемый гармоникой с периодом 70 лет, который описывает 21% дисперсии исходного ряда, значим на 20% уровне по F-критерию (рис. 4.5в).



— 1
 — 2

Рис. 4.5. Изменение дат устойчивых переходов среднесуточных приземных температур воздуха через 5°C в отклонениях от базовой нормы (%), осредненных по опорным станциям. Весна: а - Джизак, Санзар, Навои, Тамды; б - Ашгабат, Чагыл, Кизыл-Атрек, Елотен, Дарганата; осень: в - Джизак, Санзар, Навои, Тамды; г - Ашгабат, Чагыл, Кизыл-Атрек, Елотен, Дарганата. 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

Из рисунка видно, что даты перехода через 5°C по центральным и северным территориям Узбекистана, начиная с 50-х годов, смещались к более поздним срокам до 80-х годов, при этом увеличилась изменчивость. Успешность прогноза на период 1981-1990 годов сроков перехода через 5°C осенью составила по ϵ 0,97.

По югу Туркменистана в изменениях дат второго перехода через 5°C выделен тренд с периодом 35 лет, который описывает 25% дисперсии исходного ряда, значим по F-критерию на 20% уровне.

Из рис. 4.5 видно, что даты перехода через 5°C по югу Туркменистана смещались к ранним срокам до 50-х годов, затем начали смещаться в сторону более поздних дат до 70-х годов, затем снова к более ранним срокам. По центральным районам и югу Туркменистана прогноз дат перехода через 5°C путем экстраполяции тренда на 1981-1990 годы показал оправдываемость по ϵ 1,1.

По югу Узбекистана и Таджикистану в изменениях дат перехода через 5°C каких-либо трендов не обнаружено.

Таким образом, проведенный анализ показал, что продолжительность периода активных температур воздуха с 60-х до 80-х годов увеличилась, за исключением юга Узбекистана и Таджикистана, где в многолетнем ходе дат перехода через 5°C и весной, и осенью трендов не обнаружено.

Изменение дат первого устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10°C по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской, Ташкентской областям Узбекистана и Каракалпакстане (опорные станции Джизак, Тамды, Навои, Ургенч) в многолетнем плане незначительны. В этих рядах не обнаружены статистически значимые линейные тренды.

По значениям отклонений от норм (1951-1980) на перечисленных опорных станциях был получен осредненный ряд, характеризующий изменения дат первого устойчивого перехода через 10°C по Узбекистану. Анализ этого ряда показал, что даты перехода через 10°C смещались к более ранним срокам до конца 70-х годов, после чего происходило все более позднее наступление дат перехода через 10°C . По этому ряду с помощью модели циклических компонент был выделен тренд с периодом 70 лет, который статистически не значим, на фоне которого обнаружены колебания с периодом 16 лет. Выделенный сложный тренд описывает уже 24 дисперсии исходного ряда, значим на 20% уровне по F-критерию.

На рис. 4.6а приведены изменения осредненных дат перехода через 10°C весной, выделенный сложный тренд, проэкстраполированный до 1990 года, и его возможное среднеквадратическое отклонение. Оправдываемость прогноза дат первого перехода через 10°C по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям и Каракалпакстану на материале 1981-1990 годов по ϵ составила 0,74.

По югу Туркменистана нет долговременных изменений, а выделить периодичности в несколько лет по всему ряду не удастся. По Таджикистану и Сурхандарьинской области Узбекистана (опорные станции Шерабад и Куляб) выделен тренд с периодом 35 лет, который статистически незначим (рис.4.6б).

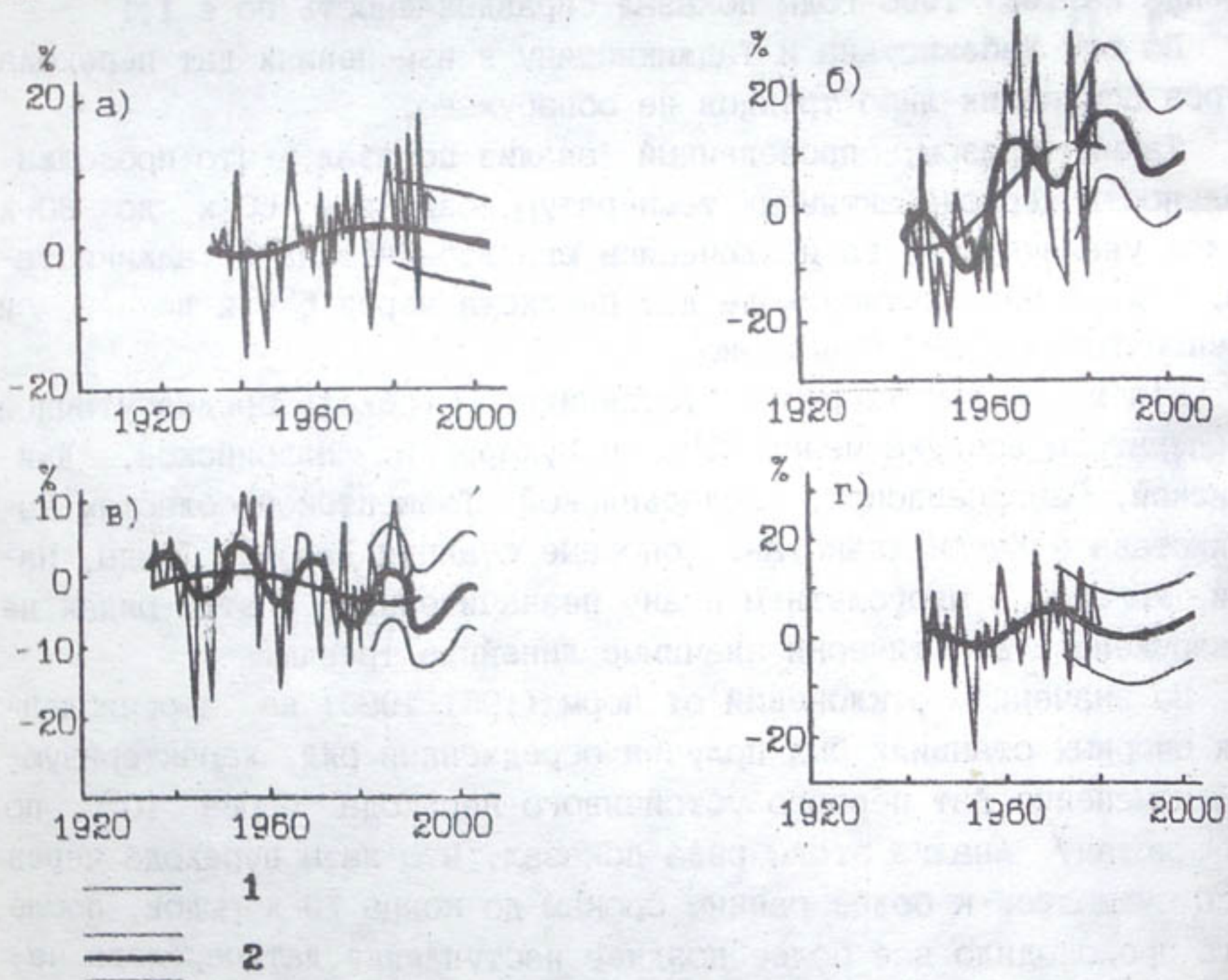


Рис.4.6. Изменение дат устойчивых переходов среднесуточных приземных температур воздуха через 10°C в отклонениях от базовой нормы (%), осредненных по опорным станциям. Весна: а - Джизак, Тамды, Навои, Ургенч; б - Шерабад, Куляб; осень: в - Джизак, Санзар, Навои, Тамды; г - Ашгабат, Кизыл-Атрек.
1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

По Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской областям Узбекистана (опорные станции Джизак, Санзар, Тамды, Навои), начиная с 50-х годов, даты осеннего перехода наблюдались в среднем позднее, особенно с середины 70-х годов. Статистически значимых трендов в изменениях дат второго перехода через 10°C в этих областях не выявлено.

По югу Туркменистана осенью в осредненном ряде переходов через 10°C по опорным станциям Ашгабат, Кизыл-Атрек, Елотен выделен тренд с периодом 70 лет, на фоне которого происходят колебания с периодом 20 лет. Выделенный тренд с периодом 70 лет описывает 22% дисперсии исходного ряда, а с учетом колебаний - 20 лет, тренд описывает 27% дисперсии исходного ряда, значим на 20% уровне по F-критерию. На рис. 4.6в,г приведены изменения дат осеннего перехода через 10°C по осредненному ряду и выделенные тренды, проэкстраполированные до 1990 года.

Оправдываемость прогноза дат перехода через 10°C осенью по югу Туркменистана на независимой выборке (1981-1990 годы) по ϵ равна 0,9.

По Каракалпакстану, Хорезмской, северу Навоийской областям Узбекистана в рядах дат вторых переходов через 10°C осенью не выделено статистически значимых трендов.

Таким образом, из проведенного анализа видно, что изменение дат перехода через 10°C весной и осенью отличаются друг от друга. В последние годы даты переходов через 10°C весной стали осуществляться позднее на 10 дней по Каракалпакстану, Хорезмской, Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям Узбекистана, а по югу Средней Азии в среднем не изменились. Также позднее стали осуществляться переходы через 10°C осенью по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской, Ташкентской, Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областям, по югу Туркменистана и Таджикистана - на 15 дней. В Каракалпакстане, Хорезмской и северу Навоийской области Узбекистана переходы через 10°C осенью осуществляются в пределах средних многолетних. Следовательно, вегетационный период в Средней Азии и Узбекистане, в том числе в последние 10-15 лет не уменьшился, даже в некоторых районах увеличился на 3-5 дней, но сместился на более поздние сроки.

Первый устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха у поверхности Земли через 15°C характеризует собой начало лета. Были проанализированы даты первых устойчивых переходов через 15°C по опорным станциям Джизак, Навои, Чимбай, Ургенч и Наманган.

Даты первого устойчивого перехода через 15°C по центральным

и северным областям Узбекистана, Ферганской долине и Каракалпакстану смещались на более поздние сроки до 60-х годов, затем с конца 60-х годов даты начали смещаться в сторону более ранних сроков до 80-х годов.

На рис. 4.7а приводятся осредненные изменения дат устойчивого перехода через 15°C весной и выделенный сложный тренд, описываемый гармониками с периодами 70 и 13 лет. Тренд описывает 16% дисперсии и значим на 5% уровне по коэффициенту корреляции.

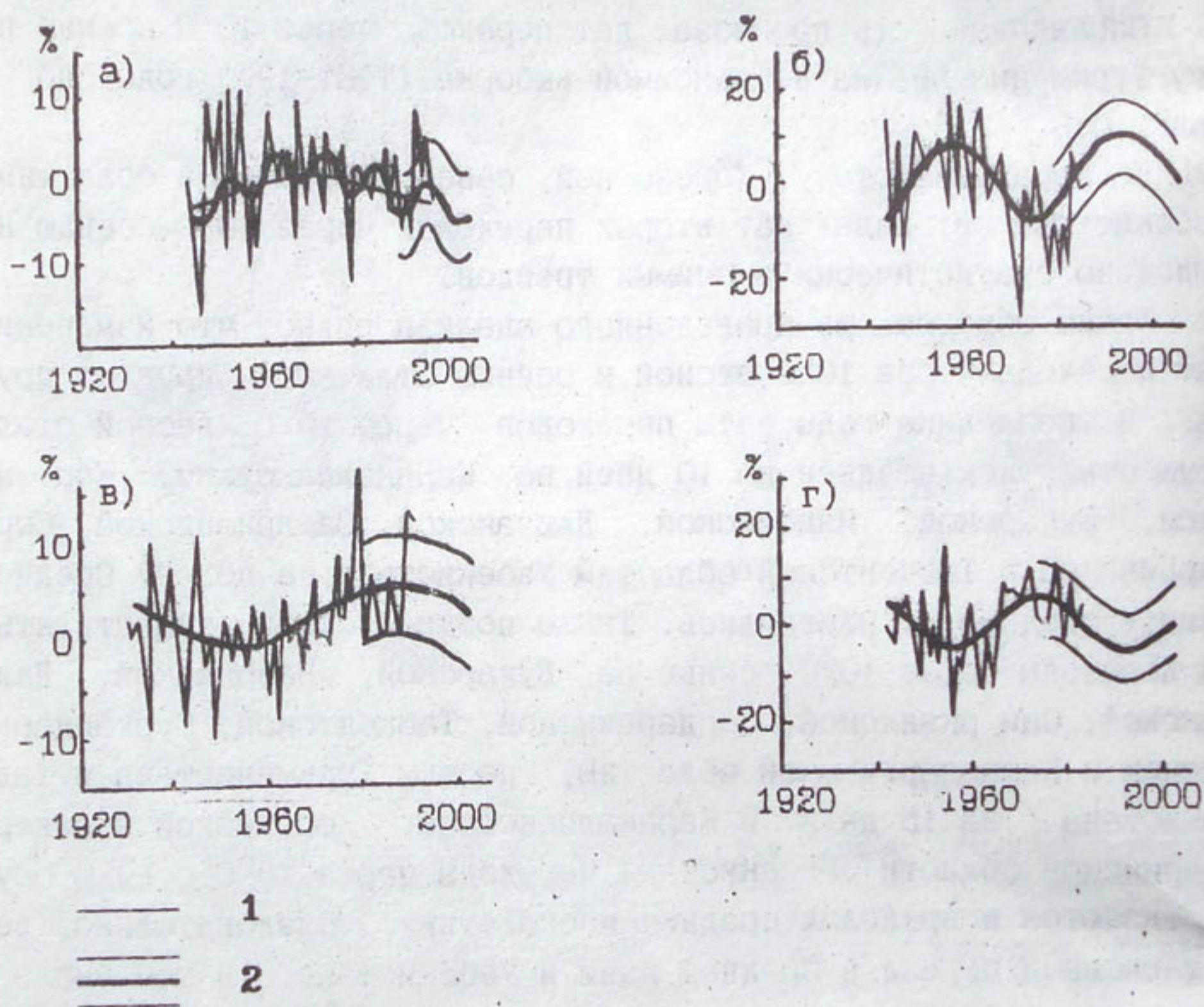


Рис. 4.7. Изменение дат устойчивых переходов среднесуточных приземных температур воздуха через 15°C в склонениях от базовой нормы (%), осредненных по опорным станциям. Весна: а - Джизак, Навои, Чимбай, Ургенч; б - Куляб; осень: в - Джизак, Навои, Чимбай, Ургенч, Наманган; г - Ашгабат, Чагыл, Кизыл-Атрек. 1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

Юг Таджикистана, Каршинская и Сурхандарьинская области Узбекистана и юг Туркменистана описываются станциями Ашгабат, Ку-

ляб, Чагыл, Кизыл-Атрек, Елотен. Ряды по этим станциям имеются с начала 40-х годов. Даты весеннего устойчивого перехода через 15°C по этим районам смещались к более поздним срокам до 60-х годов, затем наступил обратный процесс и даты стали смещаться к более ранним срокам до 80-х годов.

В рядах изменений дат весеннего устойчивого перехода через 15°C выделены тренды с периодом 35 лет. В качестве примера на рис. 4.7б приводятся изменения дат первого перехода через 15°C и выделенный тренд на станции Куляб. Тренд описывает 34% дисперсии исходного ряда, значим на 5% уровне по F-критерию и коэффициенту корреляции.

Успешность прогнозов дат весенних переходов через 15°C по всей территории Средней Азии на независимой выборке за 1981-1990 годы по ϵ равна 0,7.

Второй устойчивый переход через 15°C означает конец лета. Были проанализированы ряды по опорным станциям Джизак, Навои, Чимбай, Ургенч, Наманган. Анализ этих рядов показывает, что переход через 15°C осенью осуществлялся с 30-х годов до середины 40-х в большинстве случаев позднее средней многолетней (за 1951-1980 годы), затем отклонения в основном были отрицательные, т.е. переходы осуществлялись в более ранние сроки.

На рис. 4.7в приведены изменения осредненных дат осенних устойчивых переходов через 15°C и тренд, выделенный с использованием периода 70 лет. Выделенный тренд описывает 10% дисперсии исходного поля.

Юг Туркменистана, Узбекистана, Таджикистан описываются станциями Ашгабат, Кизыл-Атрек, Чагыл, Шерабад и Куляб. Даты перехода через 15°C до конца 50-х годов смещались к более ранним срокам, а затем, начиная с 60-х годов до начала 80-х, они стали смещаться на более поздние сроки. Таким образом, период 70-х и 80-х годов был благоприятным для теплолюбивых растений, так как в этот период продолжительность лета была больше в среднем на 3-7 дней, чем средняя многолетняя.

На рис. 4.7г приведены изменения дат перехода через 15°C и выделенный тренд с периодом 35 лет, проэкстраполированный до 1990 года. Выделенный тренд описывает 18% дисперсии исходного ряда.

Успешность прогноза дат осеннего перехода через 15°C по Каракалпакстану, Бухарской, Хорезмской, Навоийской, Джизакской, Сырдарьинской, Самаркандской, Ташкентской области Узбекистана и Ферганской долине на период 1981-1990 годов по ϵ составила 0,97. По югу Средней Азии успешность прогноза на выборке 1976-1985 годы по ϵ равна 0,78.

Последние заморозки весной и первые заморозки осенью играют существенную роль в сельском хозяйстве. Так, от последних заморозков весной зависят сроки высадки рассады в открытый грунт, посевов ранних сельскохозяйственных культур и т.д.

На рис. 4.8а приведены изменения дат последнего весеннего заморозка по большинству областей Узбекистана, выделенные тренды, проэкстраполированные до 1990 года. Как видно из рисунка, по большинству областей Узбекистана, кроме южных, существуют многолетние тенденции к более ранним срокам осуществления заморозков. Эта тенденция описывается трендом с периодом в 70 лет. На фоне этого тренда обнаружены колебания с периодом 16 лет. Этот сложный тренд значим по F-критерию на 20% уровне.

По центральным и южным районам Туркменистана выделен тренд с периодичностью 35 лет (рис. 4.8б), который значим на 5% уровне по коэффициенту корреляции и описывает 11% дисперсии исходного ряда.

Успешность прогнозов дат последних весенних заморозков за период 1981-1990 годов по Каракалпакстану и большинству районов Узбекистана по ϵ составила 0,5. По центральным и южным районам Туркменистана оценка прогноза по ϵ оказалась больше 1,0.

По югу Узбекистана и долинам Таджикистана обнаружить какие-либо многолетние изменения в датах последних заморозков весной не удалось.

Анализ данных первых осенних заморозков показывает, что в 60-х годах первые заморозки наступали раньше средних многолетних (1951-1980 годы). Затем с 60-х годов наметилась устойчивая тенденция к более поздним срокам, но начиная с конца 70-х годов сильно возросла изменчивость, хотя тенденция к более поздним срокам осуществления первых заморозков осенью осталась. В рядах первых заморозков осенью также имеется тренд с периодом 70 лет, описывающий 22% дисперсии исходного ряда. Прогноз дат

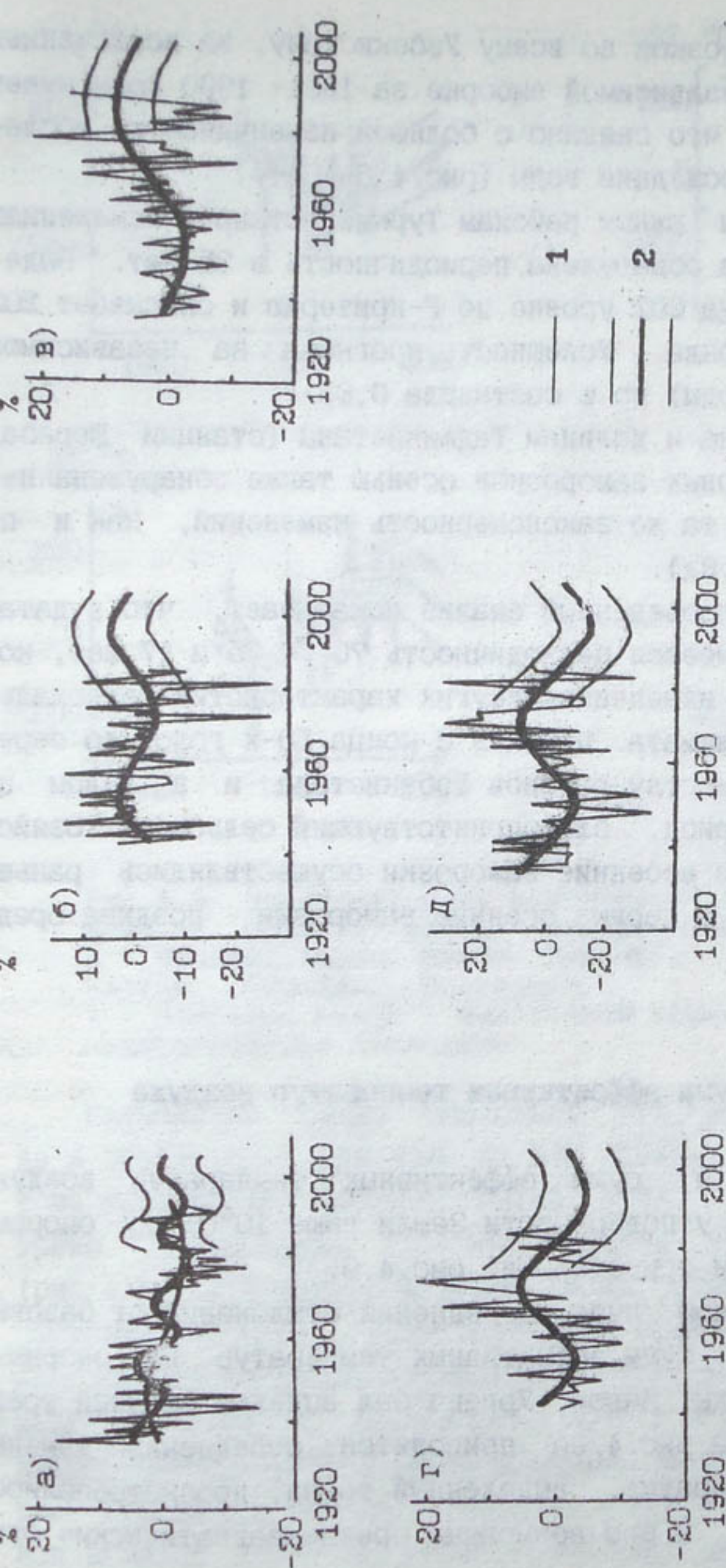


Рис. 4.8. Изменение крайних дат заморозков в отклонениях от базовой нормы (%).
 осредненных по опорным станциям.
 Весна: а - Джизак. Санзар. Наманган. Навои. Тамды. Ташауз. Ургенч. Чимбал; б - Ашгабад. Чагыл. Дарган-Ата. Кызыл-Атрек. Иолотань.
 Осень: в - Джизак. Наманган. Навои. Тамды. Чимбай; г - Ашгабад. Чагыл. Дарган-Ата. Кызыл Атрек. Иолотань; д - Куляб. Шерабад.
 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возмож. ле среднеквадратические отклонения.

первых осенних заморозков по всему Узбекистану, за исключением южных областей, на независимой выборке за 1981-1990 годы имеет успешность по $\epsilon=1,6$, что связано с большой изменчивостью исследуемого элемента в последние годы (рис.4.8в).

По центральным и южным районам Туркменистана в изменениях дат первых заморозков обнаружена периодичность в 35 лет. Выделенный тренд значим на 20% уровне по F-критерию и описывает 20% дисперсии исходного ряда. Успешность прогноза на независимой выборке (1974-1985 годы) по ϵ составила 0,88.

По югу Узбекистана и долинам Таджикистана (станции Шерабад и Куляб) в датах первых заморозков осенью также обнаружена периодичность 35 лет и та же закономерность изменений, как и по Туркменистану (рис.4.8д).

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в датах крайних заморозков имеется периодичность 70, 35 и 17 лет, которые обнаружены и в изменениях других характеристик регионального и глобального климата. Начиная с конца 50-х годов до середины 80-х, по большинству районов Узбекистана и в целом по Средней Азии был период, благоприятствующий сельскому хозяйству, т.е. последние весенние заморозки осуществлялись раньше средних многолетних, а первые осенние заморозки - позднее средних многолетних.

4.5. Изменение сумм эффективных температур воздуха

Изменения значений сумм эффективных температур воздуха (температура воздуха у поверхности Земли выше 10°C) по опорным станциям Средней Азии приведены на рис.4.9.

В ряде, полученном путем осреднения отклонений от базовых норм (1951-1980 годы), сумм эффективных температур на опорных станциях Чимбай, Тамды, Навои, Ургенч был выделен сложный тренд с периодом 70 лет. На рис.4.9а приводятся осредненные изменения эффективных температур, выделенный тренд, проэкстрополированный до 1990 года, и его возможные среднеквадратические отклонения.

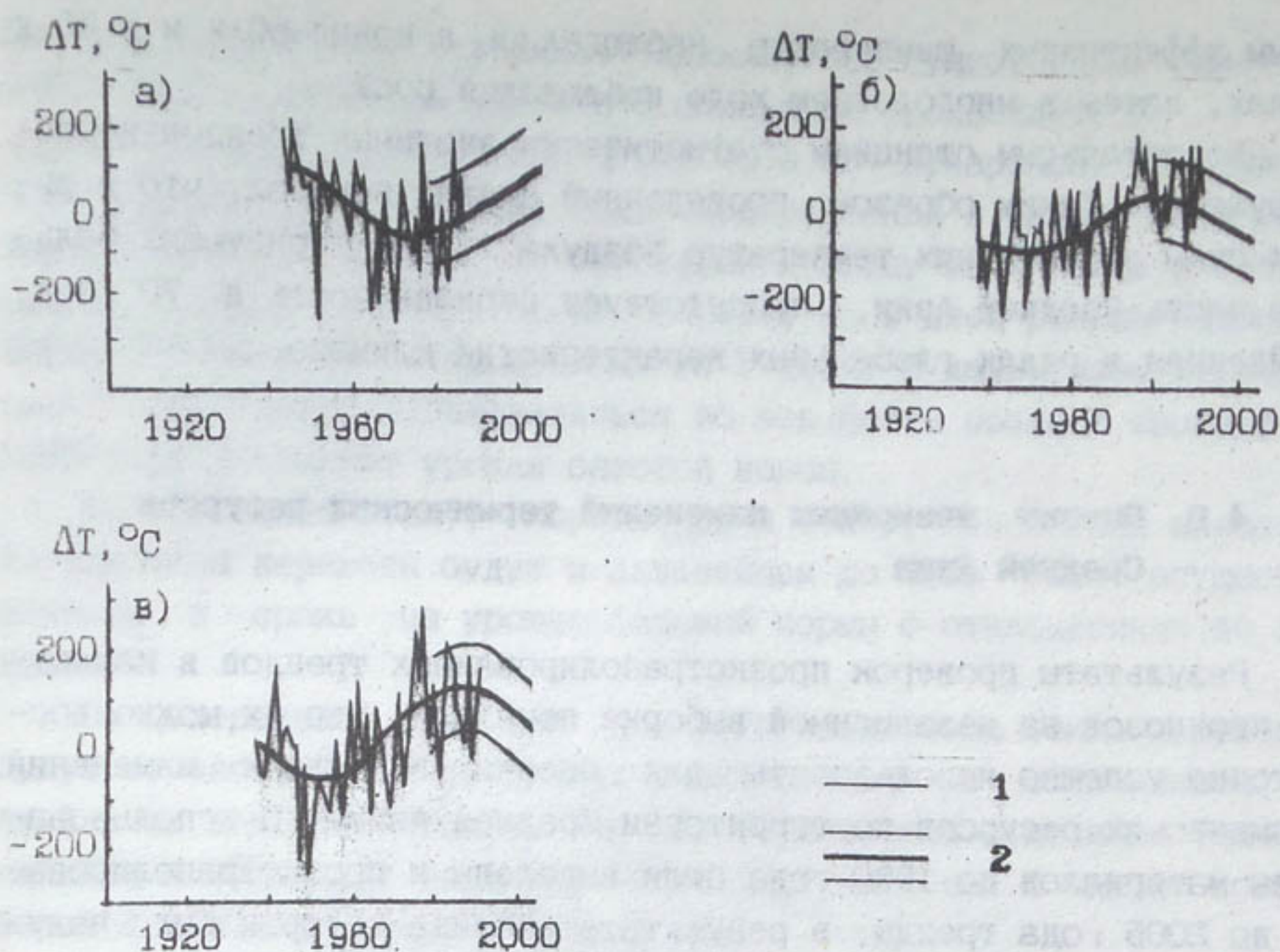


Рис. 4.9. Изменение сумм эффективных температур в отклонениях от базовой нормы, осредненных по опорным станциям. а - Чимбай, Тамды, Навои, Ургенч; б - Наманган; в - Ашгабат, Елотен, Шерабад, Дарганата. 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные средне-квадратические отклонения.

Выделенный тренд описывает 27% дисперсии исходного ряда и значим по F-критерию на 20% уровне. Успешность прогноза по ϵ на независимой выборке равна 0,72. Статистически значимый тренд с периодом 70 лет выделен и по станции Наманган (рис. 4.9б), и успешность прогноза на независимой выборке по ϵ составила 1,0. По ряду изменений сумм эффективных температур, осредненных по станциям Ашхабад, Елотен, Шерабад, Дангара, был выделен тренд с периодом 70 лет (рис. 4.9в) описывающий 22% дисперсии исходного ряда и значимый на 20% уровне по F-критерию. Успешность прогноза по ϵ за 1981-1990 годы составила 0,65. Как видно из рисунка, по югу Средней Азии минимальные значения

сумм эффективных температур наблюдалась в конце 50-х и в 60-х годах, затем в многолетнем ходе наблюдался рост.

По остальным станциям статистически значимых трендов не обнаружено. Таким образом, проведенный анализ показал, что в рядах сумм эффективных температур воздуха, характеризующих большую часть Средней Азии, присутствует периодичность в 70 лет, найденная в рядах глобальных характеристик климата.

4.6. Оценки возможных изменений термических ресурсов Средней Азии

Результаты проверок проэкстраполированных трендов в качестве прогнозов на независимой выборке показали, что их можно достаточно успешно использовать для оценки возможных изменений термических ресурсов по территории Средней Азии. С использованием материалов до 1990 года были выделены и проэкстраполированы до 2005 года тренды, в результате анализа которых были получены следующие выводы.

Весенний первый переход через 5°C по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям Узбекистана будет постепенно осуществляться во все более ранние сроки и к 2005 году достигнет величины базовой нормы с отклонениями 12 дней.

По центральным районам и югу Туркменистана этот переход будет постепенно осуществляться во все поздние сроки и к 2005 году достигнет величины базовой нормы. По югу Узбекистана и долинам Таджикистана существенных изменений в датах перехода через 5°C не произойдет, они останутся на уровне средней многолетней.

По Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям Узбекистана сроки осеннего перехода через 5°C будут меняться в сторону более ранних сроков и к 2005 году будет осуществляться в среднем до 5 дней раньше базовой нормы.

По центральным районам и югу Туркменистана даты осеннего перехода через 5°C сместятся к более поздним срокам и к 2005 году будут осуществляться на 7 дней позже базовой нормы.

По югу Узбекистана и долинам Таджикистана существенных изменений в датах перехода через 5°C осенью не произойдет.

Даты весеннего перехода через 10°C по Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям и Ферганской долине сместятся к концу 90-х годов к более ранним срокам и будут осуществляться на 8 дней раньше базовой нормы с возможными отклонениями до 5 дней. В дальнейшем переход через 10°C будет осуществляться во все более поздние сроки и к 2005 году достигнет уровня базовой нормы.

По Каракалпакстану, Хорезмской и северу Навоийской области Узбекистана переходы будут в дальнейшем до 2005 года осуществляться в сроки на уровне базовой нормы с отклонениями до 11 дней.

По центральным районам и югу Туркменистана также переходы будут осуществляться на уровне базовой нормы с отклонением 8 дней в ту или иную сторону. По югу Узбекистана и долинам Таджикистана к 2005 году переходы будут наступать на 5 дней позже базовой нормы с отклонениями 9 дней.

Переход через 10°C осенью по Каракалпакстану, Хорезмской и северу Навоийской области Узбекистана будут осуществляться на уровне базовых норм с отклонениями 11 дней.

По Бухарской, Навоийской, Джизакской, Самаркандской, Сырдарьинской и Ташкентской областям Узбекистана и Ферганской долине даты перехода через 10°C осенью будут осуществляться постепенно во все более ранние сроки и к 2005 году на 5 дней раньше базовой нормы с отклонениями 6 дней.

По югу Туркменистана даты осеннего перехода через 10°C имеют тенденцию к более ранним срокам и к 2005 году также в среднем будут осуществляться на 5 дней раньше базовой нормы с отклонениями 14 дней. По югу Узбекистана и долинам Таджикистана существенных изменений не ожидается, т.е. переходы через 10°C осенью будут осуществляться в сроки, близкие к средним многолетним.

Практически по всей территории Узбекистана и в долинах Таджикистана весенний переход через 15°C (начало лета) будет про-

исходить в более ранние сроки, к 2000 году в среднем до 5 дней раньше базовой нормы, но колебания от этих средних дат также будут в пределах 5 дней, затем будет тенденция перехода в более поздние сроки, и к 2005-2010 годам этот переход в среднем будет осуществляться примерно в сроки базовых норм с возможными отклонениями 5 дней.

Осенний переход через 5°C практически по всей территории Узбекистана будет наступать в более ранние сроки по сравнению с настоящим временем и к 2005 году будет на 2 дня позже базовой нормы, что примерно на 3 дня раньше, чем в 70-х, но на 3 дня позже, чем 50-х и 60-х годах. Полученные результаты согласуются с оценками изменений до 2005 года средней температуры воздуха в теплом полугодии и сумм эффективных температур воздуха. По юго-западу Узбекистана к 2005 году осенние переходы через 15°C будут осуществляться на 5 дней позже базовой нормы.

По всему Узбекистану, кроме южных областей, даты последних заморозков весной сдвинутся к более поздним срокам и к 2005 году будут на 3 дня позднее, чем базовая средняя многолетняя. По центральным районам и югу Туркменистана даты последних заморозков весной также будут сдвигаться на более поздний срок и к 2005 году будут близки к базовым нормам и отличаться от современного состояния на 5-7 дней. По югу Узбекистана и долинам Таджикистана изменения незначительны и даты останутся на уровне норм.

По всему Узбекистану, за исключением южных областей, даты первых осенних заморозков будут смещаться к более ранним срокам и к 2005 году будут осуществляться на 3 дня раньше базовой нормы.

По центральным районам и югу Туркменистана даты первых заморозков осенью будут смещаться к более поздним срокам, к 2005 году на 5 дней позже средней многолетней, что на 10 дней позже, чем в 50-х годах.

По югу Узбекистана и долинам Таджикистана тенденция такая же, только к 2005 году первые заморозки осенью будут происходить на 10 дней позднее базовой нормы и на 20 дней позднее, чем в 50-х годах.

Результаты проверок проэкстраполированных трендов в качестве прогнозов на независимой выборке за период 1981-1990 годов показали, что их можно достаточно успешно использовать для оценки возможных изменений термических ресурсов по территории Средней Азии. С использованием материалов до 1990 года были выделены тренды и проэкстраполированы до 2005 года, из которых следует, что по Каракалпакстану, Хорезмской, Навоийской областям Узбекистана к 2005 году следует ожидать суммы эффективных температур на уровне базовой нормы (1951-1980 годы), что будет на 100°C ниже, чем в 80-х годах, но на 100°C выше, чем в 50-х годах. Отклонения от тренда в обоих случаях составят 90°C .

По югу Туркменистана и Узбекистана и долинам Таджикистана следует ожидать возрастание сумм эффективных температур к концу 90-х годов до 150°C выше базовой нормы с отклонениями от тренда 80°C , что совпадает с ростом температур воздуха в теплом полугодии в этот период в данном районе.

По остальной территории изменения сумм эффективных температур воздуха будут незначительны.

В заключение главы можно сделать вывод, что изменения температурных характеристик климата по региону Средней Азии до 2005 года будут происходить в пределах естественных изменений, на фоне их значительной природной дисперсии.

Б. ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВЫХ СУММ ОСАДКОВ И ДРУГИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Б.1. Изменение годовых сумм осадков Средней Азии

Количество атмосферных осадков является одним из наиболее изменчивых элементов на земном шаре (изменчивость проявляется как в пространстве, так и во времени).

Исследованиям по выявлению многолетних циклических колебаний атмосферных осадков посвящено очень много работ, достаточно полный обзор приводится в /31, 29/.

Колебания количества атмосферных осадков рассматриваются в связи с внешними факторами, такими как солнечная активность (М.С. Эйгенсон, В.Ф. Логинов, Б.И. Сазонов, И.П. Дружинин и др.) /51, 60, 65, 66, 67/, или геофизическими и космическими факторами (И.В. Максимов и др.) /31, 33 и др./.

Основным математическим аппаратом по исследованию циклическости в рядах атмосферных осадков являются спектральный анализ и вычисление автокорреляционных функций. Недостатком этих подходов, на взгляд автора, является возможность выявления этими методами только циклическости с периодами значительно меньшими, чем длина ряда. В случае, когда исследуемый ряд является нестационарным, т.е. имеется значимый тренд среднего, циклическости могут быть не выявлены, хотя они и имеются.

Этих недостатков лишен метод циклических компонент или выделения скрытых перисодичностей, который позволяет выделить периодичности, сопоставимые с длиной ряда. Данный метод использовался для анализа временных рядов осадков.

Равнинная территория Средней Азии относится к зоне аридного и полуаридного климата, средние многолетние нормы годового количества осадков колеблются от 80 до 550 мм по пространству, основное количество осадков выпадает в октябре-мае. В горной части территории Средней Азии осадков за год выпадает значительно больше, чем на равнине.

В работе были использованы данные о годовых суммах осадков по 116 станциям и постам Средней Азии. В табл. П.1.2 приводится

список станций, базовые нормы за период 1951-1980 годов и нормы, вычисленные за весь период наблюдений до 1990 года.

Из табл. П.1.2 видно, что базовые нормы практически на всех станциях выше, чем нормы, вычисленные за весь период. Следовательно, период 1951-1980 годов относится в среднем к более влажному.

С использованием алгоритма объективной классификации из 116 станций были выделены 31 опорная станция - Ташкент, Чаткал, Бишкек, Нарын, Тянь-Шань, Тамга, Балыкчы, Каракуджур, Джергитал, Хайдаркан, Дежауз, Искандеркуль, Шахристанский перевал, Анзобский перевал, Сары-Таш, Каракуль, Хорог, Джаушангоз, им. Горбунова, Байсун, Куляб, Душанбе, Нукус, Дашховуз, Дарганата, Бухара, Теджен, Сарахс, Гушгы, Гасан-Кули, Красноводск. Годовые суммы осадков на этих станциях характеризуют распределение осадков по территории Средней Азии.

На рис.5.1а приведены изменения временных рядов годовых сумм осадков, осредненных по опорным станциям в отклонениях от базовой нормы (1951-1980 годы), и выделенный тренд, проэкстраполированный до 1990 года. Анализ показал, что в среднем по Средней Азии количество годовых осадков незначительно увеличивалось до второй половины 60-х годов и начиная с конца 70-х уменьшалось. Выделенный гармонический тренд оказался статистически незначимым, относительная ошибка прогноза путем экстраполяции тренда на 1981-1990 годы составила 0,62.

На рис.5.1 также приведены изменения годовых сумм осадков по равнинным и горным районам Средней Азии в отклонениях от базовой нормы (в мм) и выделены тренды, проэкстраполированные до 1990 года. Из рис.5.1б видно, что на равнине наблюдался незначительный рост количества осадков до второй половины 60-х годов, и в настоящее время наблюдается некоторое уменьшение количества осадков. Относительная ошибка прогноза на 1981-1990 годы составила 0,65.

По горной территории (рис.5.1в) максимум осадков наблюдался в 50-х годах (в среднем около 9 мм выше базовой нормы) и минимум во второй половине 30-х годов, когда годовые суммы осадков в среднем на 50 мм ниже базовой нормы. Второй минимум - в 70-х и в первой половине 80-х годов (годовые суммы осадков были в

среднем на 50 мм ниже нормы). Относительная ошибка прогноза составила 1,0.

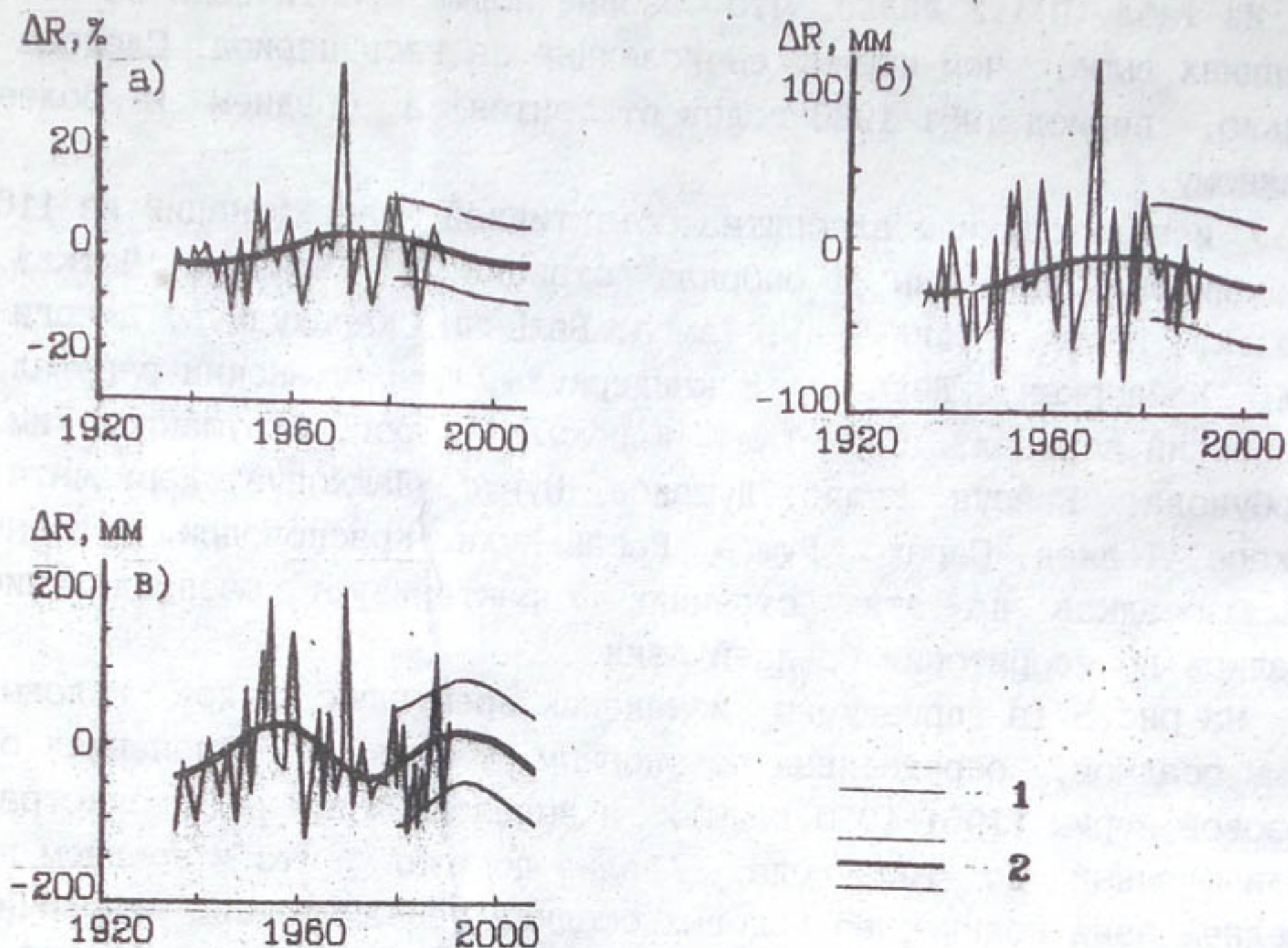


Рис. 5.1. Изменение аномалий годовых сумм осадков (R). а - Средняя Азия в целом (в % от базовой нормы), б - равнинная территория (мм), в - горная территория (мм). 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

В дальнейшем выделенные опорные станции были объединены в следующие группы.

В первую группу включены станции Нукус и Дашховуз, характеризующие Каракалпакстан, Хорезмскую и север Навоийской области Узбекистана и Дашховузскую область Туркменистана. Во вторую группу - станции Дарганата, Тоджен, Серахс, Гушгы, характеризующие центральные и южные районы Туркменистана. В третью группу отобраны станции им. Горбунова, Сары-Таш, Нарын, Каракуджур, Тянь-Шань, Балыкчы, Ташта. В четвертую группу - станции Ташкент, Андижан, Самарканд, Джергитал. В пятую группу - Хорог,

жаушангоз, Каракуль. В шестую группу - Искандеркуль, Шахрисанский перевал, Анзобский перевал, Дехауз.

Отдельно рассматривались станции Гызыларбат, Красноводск, Гасан-Кули, характеризующие западную часть Туркменистана, также станции в горных и предгорных областях - Чаткал, Суусамыр, Бишкек; станции Байсун, Душанбе, Куляб, характеризующие долины Таджикистана и юг Узбекистана.

На рис. 5.2а приведены изменения осредненных годовых сумм осадков в отклонениях от базовой нормы по станциям Нукус и Дашховуз, выделенный тренд, проэкстраполированный до 1990 года.

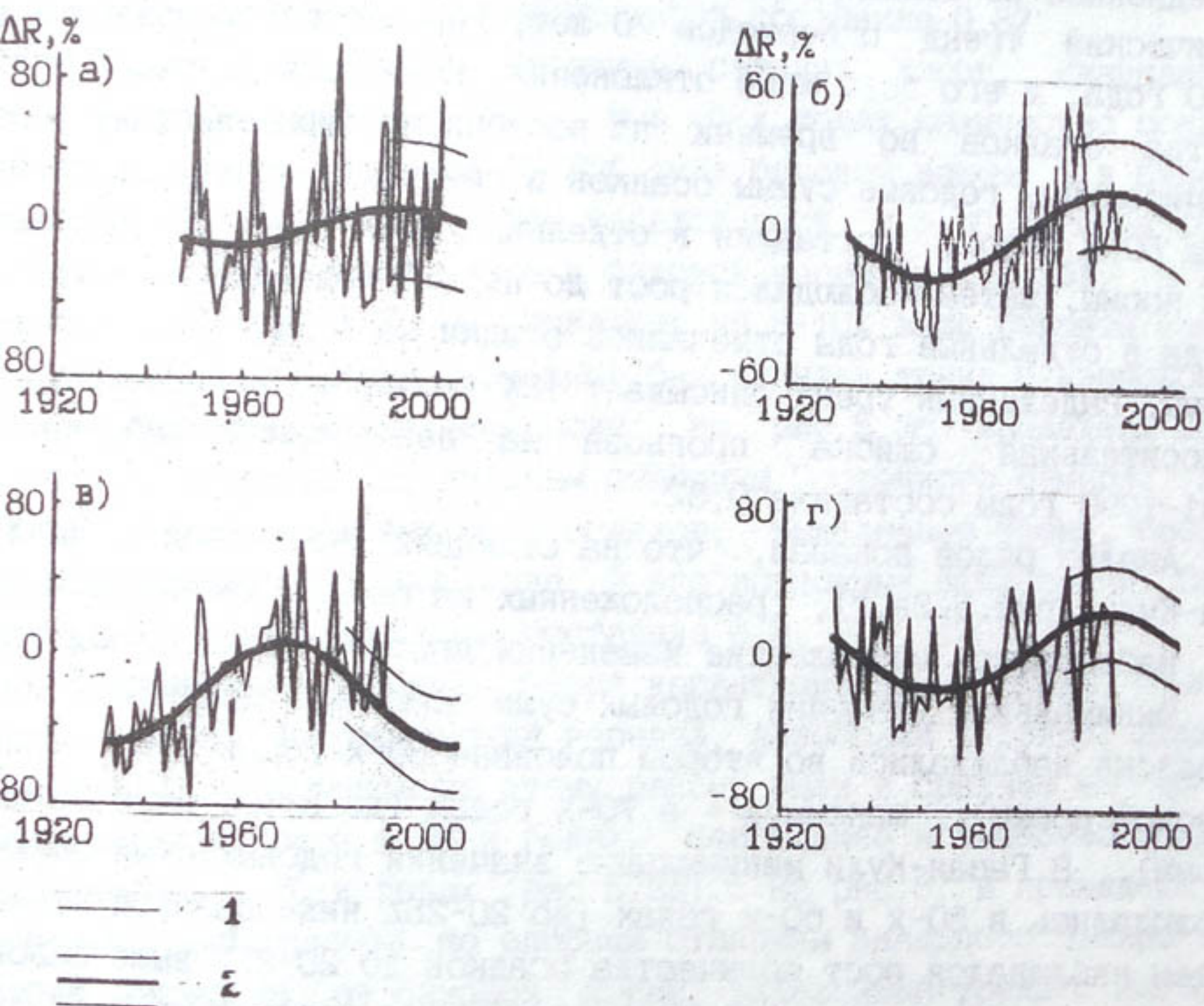


Рис. 5.2. Изменение аномалий годовых сумм осадков в отклонениях от базовой нормы ($\Delta R, \%$), осредненных по опорным станциям. а - Нукус, Дашховуз, б - Дарганата, Теджен, Серахс, Гушгы, в - Красноводск, г - Гасан-Кули. 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Анализ распределения годовых сумм осадков за весь период наблюдения показывает, что по Каракалпакстану, Хорезмской и се-

веру Навоийской области Узбекистана и Дашховузской области Туркменистана минимум осадков наблюдался в 50-х и начале 60-х годов и в отдельные годы составлял менее 40% от базовой нормы. С конца 60-х и в начале 70-х годов наблюдалось увеличение количества осадков до 180% от базовой нормы в отдельные годы. Статистически значимого линейного тренда в этом ряде не наблюдается, гармонический тренд с периодом 70 лет также статистически незначим.

На рис. 5.2б приведены изменения годовых сумм осадков осредненных по станциям Дарганата, Теджен, Серахс и Гушгы, гармонический тренд с периодом 70 лет, проэкстраполированный до 1990 года, и его возможные отклонения. Колебания годового количества осадков во времени по восточному Туркменистану более значительны, годовые суммы осадков в среднем уменьшались до начала 50-х годов, составляя в отдельные годы менее 60% от базовой нормы, затем наблюдался рост до первой половины 80-х годов, когда в отдельные годы отмечались осадки на 60-40% выше базовой нормы. Выделенный тренд описывает 12% дисперсии исходного ряда. Относительная ошибка прогноза на независимой выборке за 1981-1990 годы составила 0,82.

Анализ рядов показал, что на станциях Красноводск и Гасан-Кули (рис. 5.2в,г), расположенных на берегу Каспийского моря, наблюдались многолетние изменения противоположного характера. Минимальные значения годовых сумм осадков в среднем в Красноводске наблюдались во второй половине 30-х годов (до 40% ниже базовой нормы), максимум - в 70-х годах (до 5-10% выше базовой нормы). В Гасан-Кули минимальные значения годовых сумм осадков наблюдались в 50-х и 60-х годах (до 20-25% ниже базовой нормы), затем наблюдался рост количества осадков до 20-25% выше базовой нормы. На рис. 5.2в,г приведены изменения годовых сумм осадков на станциях Красноводск и Гасан-Кули и тренды, проэкстраполированные до 1990 года. Выделенные тренды описывают 40% и 17% дисперсии изменений годовых сумм осадков в Красноводске и Гасан-Кули и значимы по F-критерию на 5 и 20% уровне, соответственно.

По Ферганской долине, Ташкентской, Сырдарьинской, Джизакской

кой и Самаркандской областям Узбекистана, где опорными станциями являются Джергитал, Андижан, Ташкент, Самарканд, отсутствует значимый линейный тренд.

На рис. 5.3а приведены изменения осредненных аномалий годовых сумм осадков от базовой нормы по опорным станциям Джергитал, Андижан, Ташкент, Самарканд, тренд с периодом 70 лет, проэкстраполированный до 1990 года, и возможные отклонения от тренда. Незначительное увеличение годовых сумм осадков наблюдалось до середины 60-х годов, когда количество осадков превысило базовую норму в среднем на 5-10%. Прогноз на 1981-1990 годы указывает на уменьшение годовых сумм осадков до 10% от базовой нормы, относительная ошибка прогноза составила 0,87.

По Восточному Памиру (опорные станции Хорог, Джаушангоз, Каракуль) в середине 30-х и в 40-х годах количество осадков наблюдалось в среднем на 15-20% ниже базовой нормы, а в отдельные годы - на 40-50%, затем начался рост, и в 50-х годах сумма годовых осадков была близка к базовой норме (рис. 5.3б). В 70-х годах количество осадков оказалось на 5-10% выше базовой нормы.

В ряде годовых сумм осадков был выделен тренд с периодом 70 лет, описывающий 11% дисперсии. На рис. 5.3б приведены изменения осредненных (по опорным станциям Восточного Памира) значений аномалий годовых сумм осадков, выделенный тренд, проэкстраполированный до 1990 года, и его возможные отклонения. Относительная ошибка прогноза составила 0,6.

Территорию Западного Памира характеризуют опорные станции Искандеркуль, Шахристанский перевал, Анзобский перевал, Дехауз. Годовые суммы осадков по этому району были в среднем на 20-25% ниже базовой нормы в 40-х годах. Наибольшее количество осадков наблюдалось в 70-х годах (рис. 5.3в). На рис. 5.3в приведены изменения, осредненных по опорным станциям Западного Памира значений аномалий от базовой нормы, выделенный тренд с периодом 70 лет, проэкстраполированный до 1990 года, и возможные отклонения от тренда. Относительная ошибка прогноза составила 1,0.

По Иссык-Кульской и восточным районам Ошской области Кыргызстана (опорные станции им. Горбунова, Сары-Таш, Нарын, Каракуджур, Тянь-Шань, Балыкчы, Тамга) наблюдались в среднем годо-

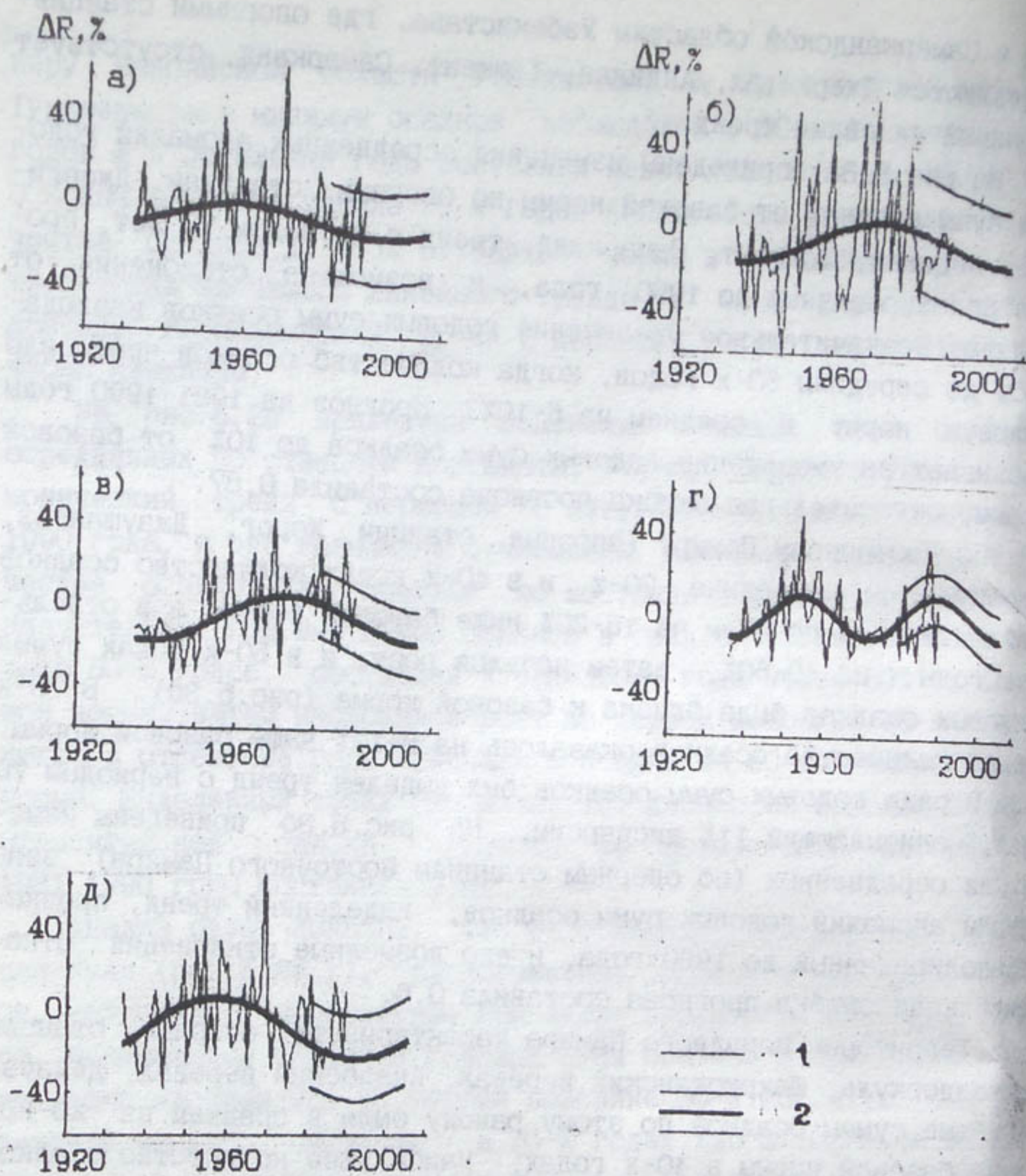


Рис. 5.3. Изменение аномалий годовых сумм осадков в отклонениях от базовой нормы ($\Delta R, \%$), осредненных по опорным станциям: а - Ташкент, Самарканд, Андижан, Джергитал; б - Хорог; Джаушангоз, Кара-Куль; в - Искандеркуль, Шахристанский перевал, Анзобский перевал, Дехауз; г - им. Горбунова, Сары-Таш, Нарын, Каракуджур, Тянь-Шань, Балыкчы, Тамга; д - Чаткал, Устье р.Тос, Устье р.Терс, Талас..
1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

вые суммы осадков ниже базовой нормы на 10-15% в 40-х и в конце 70-х и начале 80-х годов и выше базовой нормы на 10-15% в 50-х. По ряду значений аномалий годовых сумм осадков от базовой нормы, осредненных по опорным станциям, выделен тренд с периодом 35 лет, который описывает 19% исходного ряда и значим на 20% уровне по F-критерию. На рис.5.3г приведены изменения осредненного ряда, выделенный тренд, проэкстраполированный до 1990 года, и его возможные отклонения.

Отдельно также рассмотрена одна из зон формирования стока рек Сырдарья и Талас, характеризуемая станциями Чаткал, Устье реки Тос, Устье реки Терс и Талас. Во второй половине 30-х и в 40-х годах годовые суммы осадков были ниже базовой нормы на 3-15%, к 70-м годам - на 5-10% выше базовой нормы.

На рис.5.3д приведены изменения осредненных по станциям Чаткал, Устье реки Тос, Устье реки Терс и Талас значений аномалий годовых сумм осадков, тренд, проэкстраполированный до 1990 года. Значимого линейного тренда нет, тренд с периодом 70 лет также статистически незначим, описывает только 7% дисперсии исходного ряда, но был дан прогноз на 1981-1990 годы путем экстраполяции этого тренда и относительная ошибка прогноза составила 0,7.

По югу Узбекистана и долинам Таджикистана, характеризующихся опорными станциями Байсун, Куляб, в годовых суммах осадков статистически значимых трендов не обнаружено, в качестве прогноза на 1981-1990 годы дана средняя многолетняя. Ошибка прогноза составила 0,9.

По станциям Бухара, Нурата, характеризующих центральную часть Узбекистана, также не обнаружено статистически значимых трендов, не выделено значимых трендов по станции Бишкек.

5.2. Оценки возможных изменений годовых сумм осадков

Оценки успешности прогнозов на независимой выборке за 1981-1990 годы, полученных путем экстраполяции трендов, показали удовлетворительные результаты. Поэтому для оценки возможных изменений годовых сумм осадков до 2005 года были проэкс-

траполированы выделенные тренды с использованием данных до 1990 года. Прокстраполированные тренды и возможные отклонения от тренда показаны на рис. 5.1-5.3. Из этих рисунков видно, что годовые суммы осадков по территории Средней Азии будут уменьшаться, и к 2005 году ожидается их значение в среднем на 5% ниже базовой нормы.

По равнине Средней Азии годовые суммы осадков будут уменьшаться и к 2005 году их ожидается в среднем на 20 мм меньше базовой нормы.

В горах годовое количество осадков к 2005 году также будет в среднем на 25 мм меньше базовой нормы.

По Каракалпакстану, Хорезмской и северу Навоийской, Ташкентской, Сырдарьинской, Джизакской, Самаркандской и Каршинской областям Узбекистана, а также по Ферганской долине к 2005 году следует ожидать количество годовых осадков на 5-10%, а по восточным областям Туркменистана на 5% ниже базовой нормы.

По горным областям Памиро-Алая к 2005 году количество осадков окажется на 15% ниже базовой нормы, т.е. на уровне второй половины 30-х и начале 40-х годов.

По Иссыкульской и Ошской областям Кыргызстана к концу XX столетия следует ожидать годовое количество осадков на 5-10% выше базовой нормы, а к 2005 году оно будет близко к базовой норме.

Самое существенное изменение в годовых суммах осадков к 2005 году должно произойти в Краснодарске, где ожидается понижение на 35% от базовой нормы.

Б.3. Изменения годового стока рек Сырдарья и Амударья в зоне формирования и оценки их возможных изменений

Средняя Азия расположена внутри огромного континента Евразия и значительно удалена от океанов, что обуславливает засушливость климата. Поэтому огромную роль в экономике стран Среднеазиатского региона играют водные ресурсы Сырдарьи и Амударьи основных рек этого региона. Особенно актуальной стала проблема водных ресурсов Средней Азии в связи с предполагаемым глобаль-

ным потеплением. Каковы бы ни были причины изменения глобального климата, они неизбежно сопровождаются изменениями общей и региональной циркуляции атмосферы, и, следовательно, приводят к изменению режима выпадения атмосферных осадков и температуры воздуха, а значит и изменению водных ресурсов. Особенно сильно это должно отразиться в районах с засушливым и полузасушливым климатом. Межправительственная группа экспертов по изменению климата в своем первом докладе считает, что даже небольшое увеличение средней температуры воздуха (на 1°C) и уменьшение осадков на 10% может привести к уменьшению речного стока на 40-70%.

Проблеме формирования стока рек Средней Азии посвящены исследования /5,69,81 и др./, где показано, что основную роль в формировании стока играет количество атмосферных осадков, выпадающих в горах. В работах /5,17,68,81 / проведены исследования особенностей распределения атмосферных осадков по районам, высоте, ориентации склонов, сезонам и т.д. Закономерности изменения основных стокообразующих факторов климата (атмосферные осадки, температура воздуха), происходившим в прошлом, посвящены исследования Е.П. Борисенкова, Е.С. Рубинштейн и Л.Г. Полозовой, Х.Х. Лэма и др.

Средняя Азия относится к региону с засушливым и полузасушливым климатом, и весь сток практически полностью используется на хозяйственные нужды. Следовательно, водные ресурсы в зоне формирования стока являются важнейшей климатической характеристикой для региона Средней Азии. Изменение водных ресурсов также может усугубить и без того сложную экологическую ситуацию в зоне Аральского моря.

В работе исследованы изменения годового стока главных рек Средней Азии Сырдарьи и Амударьи в зоне формирования. С этой целью были проанализированы ряды притоков воды в Токтогульское, Андижанское и Чарвакское водохранилища, которые относятся к бассейну Сырдарьи. Проанализированы также ряды притоков воды в Нурекское водохранилище и ряды годового стока по створу Керки выше Каракумского канала.

Годовой сток рек в горных районах является интегральной характеристикой климата, так как он формируется под влиянием количества выпавших атмосферных осадков, температуры воздуха и

солнечной радиации. В свою очередь атмосферные осадки и температура воздуха формируются под влиянием циркуляции атмосферы и, если считать, что солнечная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы мало изменяется со временем, то приходящая к поверхности Земли радиация зависит в основном от количества облачного покрова, т.е. также от циркуляции атмосферы.

Следовательно, в рядах годового стока рек должны быть такие же колебания, которые обнаружены в характеристиках глобального и регионального климата.

Анализ изменения притока воды в Токтогульское водохранилище показал, что годовой приток воды был на 5-10% выше базовой нормы в конце 50-х и в 60-х годах с последующим уменьшением до середины 80-х годов. В рядах годового притока воды в Токтогульское водохранилище был выделен гармонический тренд с периодом 70 лет, описывающий 9% дисперсии исходного ряда и статистически незначимый (рис. 5.4а).

В изменениях среднегодового притока воды в Андижанское водохранилище (рис. 5.4б) тренды не обнаружены, это, по-видимому, связано с тем, что зонами формирования рек Каракульджа и Яссы является Ферганский хребет, а рек Куршаб и Тар - Алайский хребет, и изменения в годовом стоке в этих реках идут практически в противофазе.

В изменениях годового притока воды в Чарвакское водохранилище не обнаружено значимого линейного тренда. Тренд с периодом 70 лет также статистически незначим, но относительная ошибка прогнозов на независимом материале составила 0,81 (рис. 5.4в).

В изменениях годового притока воды в Нурекское водохранилище (бассейн Амударьи) выделен тренд с периодом 70 лет, описывающий 10% дисперсии исходного ряда (рис. 5.4г).

Проанализированы также изменения средних годовых расходов по створу Керки выше Каракумского канала (данные получены от Н.Е. Горелкина), которые характеризуют изменения во времени годового стока в зоне формирования в общем реки Амударьи без учета водозабора в Таджикистане. Этот анализ показал, что максимальные значения отмечались в 40-х и 50-х годах, когда сток Амударьи был в среднем на 20% выше базовой нормы, а минимальные - в 80-х, когда в среднем сток был на 25% меньше базовой нормы

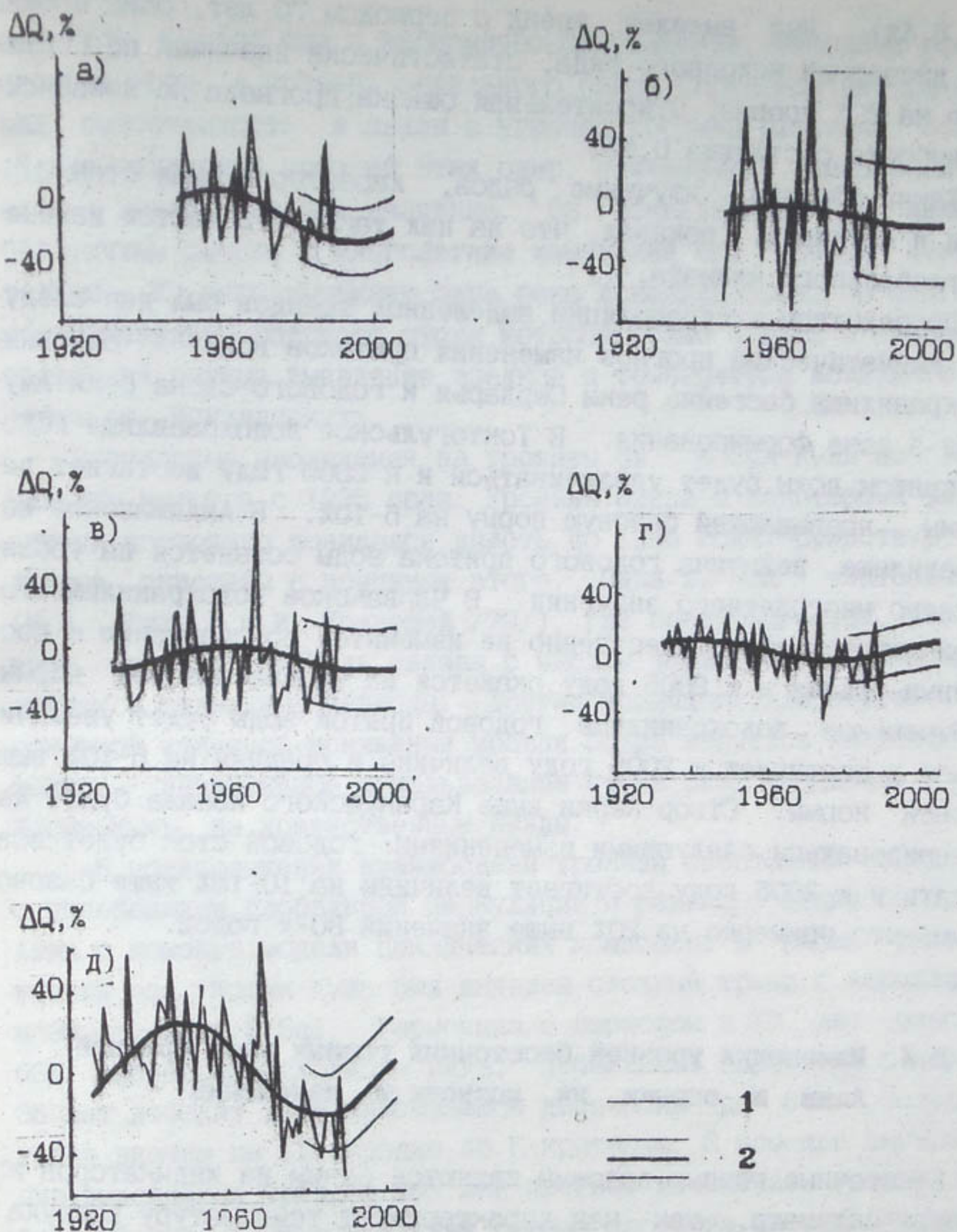


Рис.5.4. Изменение годового притока в основные водохранилища Сырдарьи и стока Амударьи в отклонениях от базовой нормы ($\Delta Q, \%$).

а - Токтогульское водохранилище, б - Андиджанское, в - Чарвакское, г - Нурекское, д - Амударья (створ Керки выше Каракумского канала).

1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

(рис. 5.4д). Был выделен тренд с периодом 70 лет, описывающий 26% дисперсии исходного ряда, статистически значимый по F-критерию на 20% уровне. Относительная ошибка прогноза на независимой выборке составила 0,95.

Таким образом, изучение рядов, характеризующих сток Сырдарьи и Амударьи, показал, что на них также отражаются изменения глобального климата.

Посредством экстраполяции выделенных трендов был дан следующий климатический прогноз изменения притоков воды в основные водохранилища бассейна реки Сырдарьи и годового стока реки Амударьи в зоне формирования. В Токтогульское водохранилище годовой приток воды будет увеличиваться и к 2005 году достигнет величины, превышающей базовую норму на 5-10%. В Андижанское водохранилище величина годового притока воды останется на уровне среднего многолетнего значения. В Чарвакское водохранилище годовой приток воды существенно не изменится по сравнению с последними годами и к 2005 году окажется на уровне базовой нормы. В Нурекское водохранилище годовой приток воды будет увеличиваться и достигнет к 2005 году величины в среднем на 5-10% выше базовой нормы. Створ Керки выше Каракумского канала будет характеризоваться следующими изменениями: годовой сток будет возрасти и к 2005 году достигнет величины на 10-15% выше базовой нормы, что примерно на 20% выше значений 80-х годов.

5.4. Изменения уровней бессточных горных озер Средней Азии и оценки их возможных изменений

Бессточные горные водоемы являются одним из индикаторов изменения климата, так как характеризуют температуру воздуха и режим количества выпадающих осадков в районе водосбора такого водоема.

Уровни бессточных горных водоемов Средней Азии должны реагировать на изменение климата в прошлом и на современные изменения. Изменение уровней горных бессточных озер также позволяет судить и об изменениях количества выпадающих атмосферных осадков и температуры воздуха. Такие горные водоемы, как оз. Ис-

сык-Куль, имеют еще и экономическое значение, выполняя рекреационную роль, а уровень завального озера Сарезское всегда вызывал озабоченность в связи с угрозой прорыва плотины. Поэтому знание ожидаемых уровней этих озер, связанных с изменением климата, имеет большое значение. Оз. Искандеркуль не является бессточным озером и многолетние изменения его уровня незначительны. Из него вытекает одна река Искандердарья, по многолетним изменениям годового стока которой можно судить о характере изменений режима выпадения осадков и температуры воздуха в бассейне оз. Искандеркуль.

Регулярные наблюдения за уровнем оз. Иссык-Куль по станции Балыкчы имеются с 1935 года. Уровень озера с некоторыми флуктуациями постоянно понижался вплоть до 1986 года. Существуют различные гипотезы о причинах этого. Одна из них - тектоническая (Н.А. Шило и М.И. Кривошей /79/), где предполагается, что уровень озера Иссык-Куль связан с числом землетрясений, происшедших в отдельные периоды. Другие исследователи считают, что основной причиной понижения уровня озера является антропогенный фактор - интенсивное использование стока рек, впадающих в озеро Иссык-Куль, на хозяйственные нужды.

В предположении взаимосвязи уровней бессточных горных озер с колебаниями глобальной циркуляции и режима осадков по Средней Азии с помощью модели циклических компонент в рядах изменения уровня оз. Иссык-Куль был выделен сложный тренд с периодами 70 и 35 лет (рис.5.5а). Гармоника с периодом в 70 лет описывает 63% дисперсии исходного ряда, добавление гармоники с периодом 35 лет доводит долю описываемой дисперсии до 84%. Выделенный тренд значим на 1% уровне по F-критерию. С помощью экстраполяции выделенных трендов был дан прогноз изменения уровня озера до 2005 года. Относительная ошибка прогноза на независимой выборке (1985-1990 гг.) составила 0,44. Как видно из рисунка, уровень оз. Иссык-Куль, начиная с 1987 года, будет продолжать расти и к 2005 году повысится на 1,0-1,5 м. Данные до 1994 года подтверждают прогноз роста уровня оз. Иссык-Куль.

На рис.5.5б приведены относительные изменения озера Искандеркуль, определенного по рядам стока реки Искандердарья, и выделенный тренд с периодом 70 лет, описывающий 16% дисперсии ис-

ходного ряда, значимый на 20% уровне по F-критерию и проэкстраполированный до 2005 г.

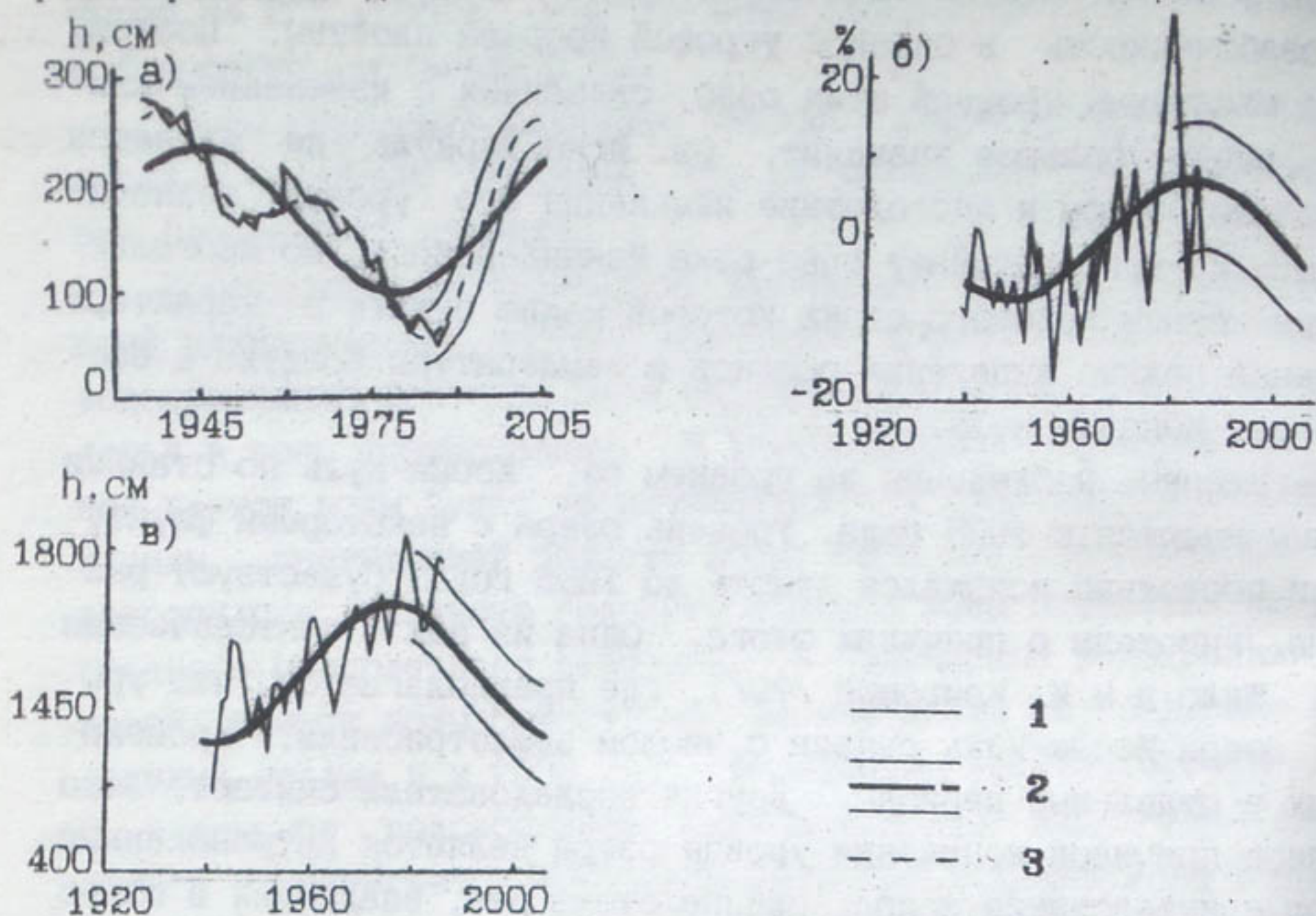


Рис. 5.5. Изменение уровня бессточных озер.
 а - Иссык-Куль (см), б - Искандеркуль (%), в - Сарезское (см).
 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения, 3 - выделенная гармоника 35 лет.

Относительная ошибка на независимой выборке оказалась больше 1,0, что объясняется увеличением дисперсии в последние годы. В среднем уровень оз. Искандеркуль уменьшится к 2005 году относительно 80-х годов на 10%.

В изменениях уровня Сарезского озера также имеется тренд с периодом 70 лет, описывающий 64% дисперсии исходного ряда и значимый на 1% уровне по F-критерию. На рис. 5.5в приведены многолетние изменения уровня этого озера и выделенный тренд с периодом 70 лет, проэкстраполированный до 2005 года. Относительная ошибка прогноза на независимом материале (1981-1990 гг.) составила 0,8. Из рисунка видно, что в дальнейшем уровень Сарезского озера будет уменьшаться и к 2005 году достигнет уровня 60-х годов.

Анализ рисунков с изменением уровней озер показал, что уровень оз. Иссык-Куль колеблется практически в противофазе с колебанием уровней оз. Искандеркуль и Сарезского озера, что согласуется с изменениям стоков рек, имеющих водосбор в указанных районах.

5.5. Изменения гляциоклиматических характеристик ледников Средней Азии и оценки их возможных изменений.

Исследование изменчивости гляциоклиматических показателей необходимо для определения колебаний запасов водных ресурсов, используемых для орошения и производства электроэнергии. Для Средней Азии это очень актуально, так как здесь практически весь сток идет на орошение земель и другие хозяйственные нужды.

Исследованиям динамики ледников в отдельных районах и по северному полушарию в целом посвящено много работ /4,18,20,28,42,44,46,62,80 и др./. Одним из основных выводов, полученных в этих работах, является зависимость площади и мощности ледников от колебаний климата, и соответственно от колебаний температуры воздуха. В работах отмечено существование некоторой периодичности в изменениях ледников, так, в /80/ сделан вывод о межвековых (1850 лет) и внутривековых (преимущественно 30-35 лет) колебаниях ледников.

В работах А.С. Щетинникова по материалам аэрофотосъемки и космфотосъемки за 1957-1959 и 1978-1980 годы получены оценки изменения размеров ледников. За этот период в процессе деградации площадь оледенения Гиссаро-Алая сократилась на 15,8%, Памира - на 10,8. Деградация оледенения отмечалась и в других горных районах Средней Азии и Казахстана. По данным Е.Н. Билесова /20/ с 1955 по 1986 год оледенение северного склона Заилийского Алатау сократилось на 16,0%, а объем льда на 14,6%.

С.В. Калесник, обобщивший многочисленные результаты наблюдений за колебаниями различных ледников, пришел к выводу: "ледники во всех странах мира находятся в стадии генерального сокращения, отступление - нормальное состояние ледников" /43/.

лет, проэкстраполированные до 1989 года, и возможные среднеквадратические отклонения прогнозируемых величин.

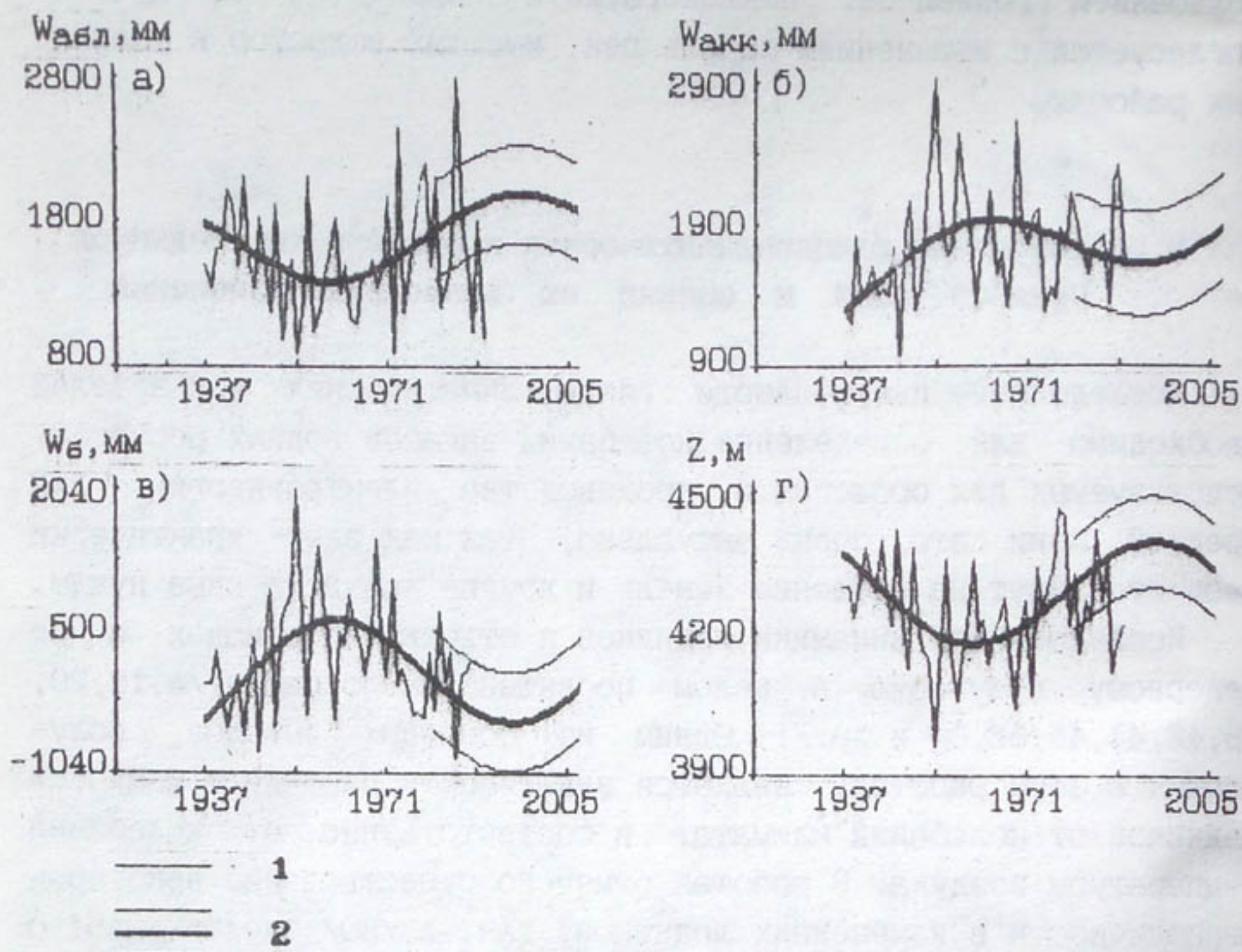


Рис. 5.6. Изменение гляциоклиматических показателей ледника Абрамова.
а - абляция, б - аккумуляция, в - баланс массы ледника, г - максимальная высота сезонной снеговой границы.
1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Как видно, тренд аккумуляции колеблется синхронно с трендом баланса массы.

Сопоставление полученных климатических трендов с изменениями среднегодовой температуры северного полушария показывает, что изменения массы ледника Абрамова синхронно связаны с изменениями среднегодовой температуры воздуха северного полушария. Понижение среднегодовой температуры воздуха северного полушария влечет рост индекса баланса массы ледника, и наоборот, рост среднегодовой температуры соответствует его уменьшению.

На рис. 5.7 приведены исходные ряды гляциоклиматических по-

В настоящей работе сделана попытка найти зависимость между изменениями гляциоклиматических показателей ледников Туюксу, Голубина, Абрамова и Федченко, по которым имеются временные ряды характеристик ледников (восстановленные и наблюдаемые), с изменениями среднегодовой температуры воздуха и характеристиками циркуляции атмосферы. Ледники Туюксу и Голубина расположены на Северо-западном Тянь-Шане, а ледники Абрамова и Федченко на Памиро-Алае, следовательно, исследование изменения параметров этих ледников во времени будет характеризовать колебания оледенения в двух горных системах.

В качестве параметров, характеризующих гляциоклиматические показатели ледников, взяты аккумуляция ($W_{акк}$), абляция ($W_{абл}$), максимальная высота сезонной снеговой границы (Z), а также индекс баланса массы ледника (W_b), представляющий собой разность аккумуляции и абляции.

По леднику Абрамова использованы величины, измеренные на средней многолетней высоте фирновой границы 4,25 км с 1968 по 1989 год, и величины, реконструированные за период с 1935 по 1967 год по методике, описанной в [10,20,28,44]. На леднике Федченко эти величины рассчитывались для высоты 4 км по методике, описанной в [45]. По ледникам Туюксу и Голубина использованы данные гляциоклиматических показателей из работ [4,20].

Аккумуляция, главным образом, зависит от количества выпавших осадков, абляция от температурного режима, а баланс массы и высота сезонной снеговой границы зависят от того и другого, т.е. от атмосферных процессов в целом.

Закономерности, выявленные в рядах среднегодовой температуры воздуха северного полушария и в характеристиках циркуляции атмосферы (см. гл.2), могут проявиться в рядах гидрометеорологических элементов, имеющих замкнутый годовой цикл, какими являются, например, гляциоклиматические показатели ледника.

Тренды выделялись в рядах гляциоклиматических показателей ледников Абрамова, Федченко, Туюксу и Голубина на всем имеющемся периоде до 1980 года.

На рис. 5.6 приводятся временной ход баланса массы, аккумуляции, абляции и максимальной высоты сезонной снеговой границы ледника Абрамова, выделенные тренды с периодом 70

казателей ледника Федченко, выделенные тренды, проэкстраполированные до 1989 года, и возможные среднеквадратические отклонения прогнозируемых величин.

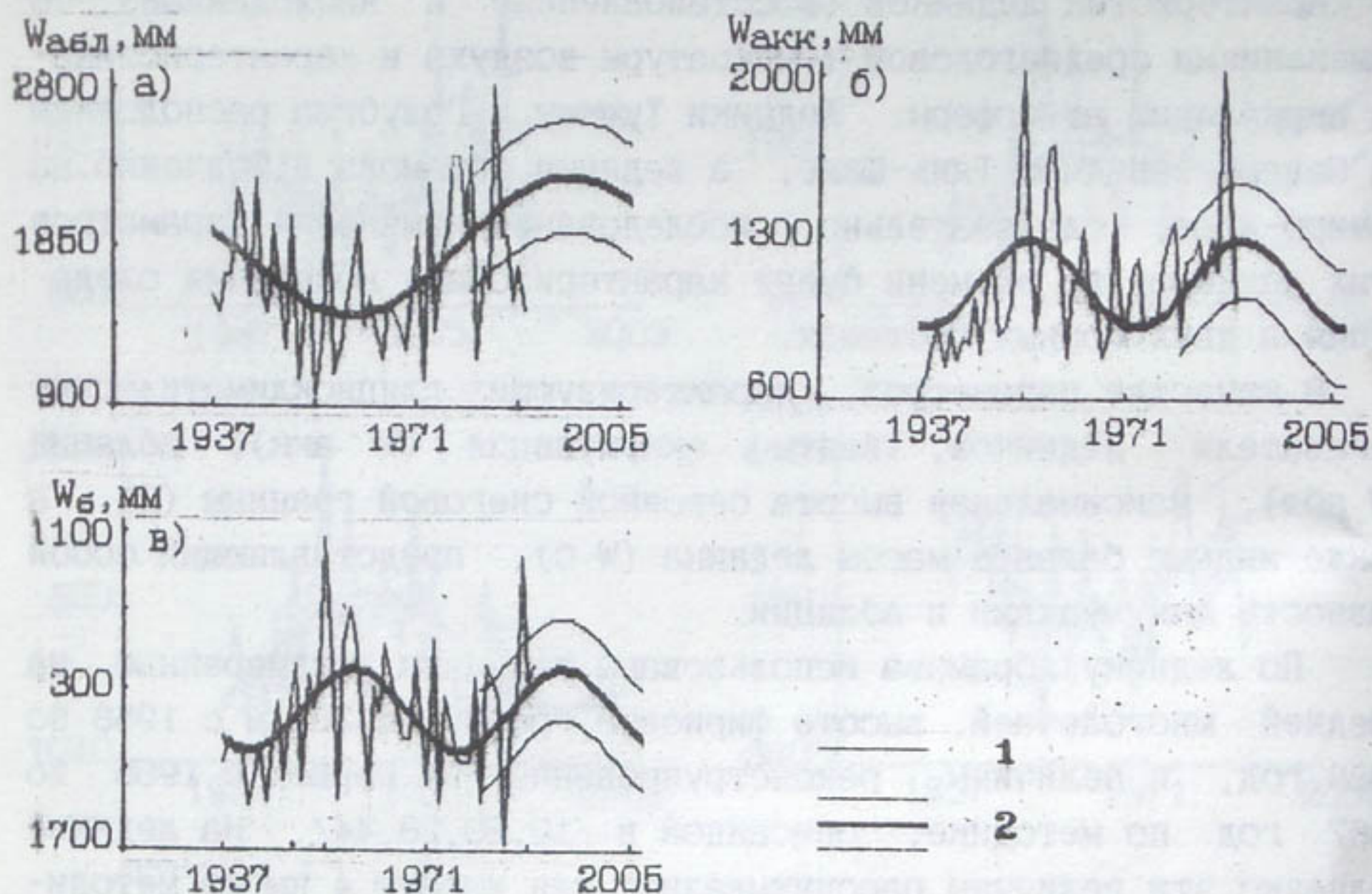


Рис. 5.7. Изменение гляциоклиматических показателей ледника Федченко.

а - абляция, б - аккумуляция, в - баланс массы ледника, 1 - исходный ряд, 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Как видно из рисунка, начиная с 40-х годов, индекс баланса массы ледника увеличивается, достигая максимума к середине 60-х годов (рис. 5.7). Аккумуляция, так же как и у ледника Абрамова, колеблется синхронно с трендом баланса массы. В этих рядах, характеризующих ледник Федченко, выделена гармоника с периодом 35 лет, амплитуда которой сравнима с амплитудой глобального тренда с периодом 70 лет.

Теперь рассмотрим ледники Туюксу и Голубина, расположенные на Северо-западном Тянь-Шане. В изменениях гляциоклиматических показателей ледника Туюксу имеются значимые линейные тренды, на фоне которых наблюдаются колебания с периодами, близкими к 65 годам.

На рис. 5.8 приведены колебания характеристик гляциоклиматических показателей ледника Туюксу, выделенные тренды, проэкстраполированные до 1987 года, и возможные среднеквадратические отклонения прогнозируемых величин. В ряде абляции выявлен статистически значимый линейный тренд роста, а в рядах аккумуляции и индекса баланса массы - значимый линейный тренд уменьшения указанных величин. Колебания гляциоклиматических показателей на фоне линейного тренда соответствуют колебаниям повторяемости формы циркуляции С (см. гл. 2).

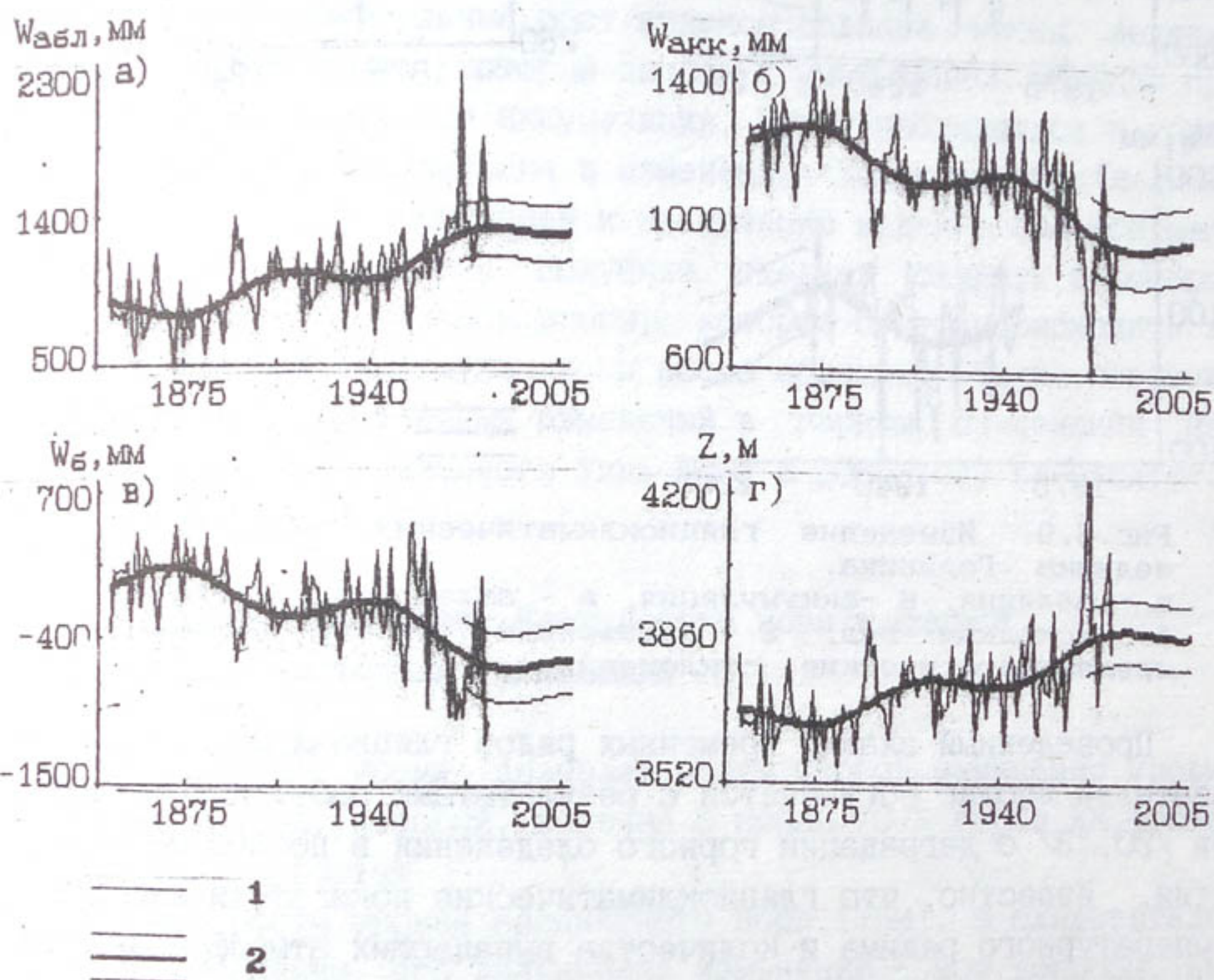


Рис. 5.8. Изменение гляциоклиматических показателей ледника Туюксу.
 а - абляция. б - аккумуляция. в - баланс массы ледника.
 г - максимальная высота сезонной снеговой границы.
 1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Изменения во времени гляциоклиматических показателей ледника Голубина также имеют периодичность примерно в 70 лет (рис. 5.9). Аккумуляция ледника была минимальна в 30-х го-

дах и максимальна в 70-х, в настоящее время наблюдается некоторая стабилизация. Аналогичные колебания наблюдаются в ряде индекса баланса массы.

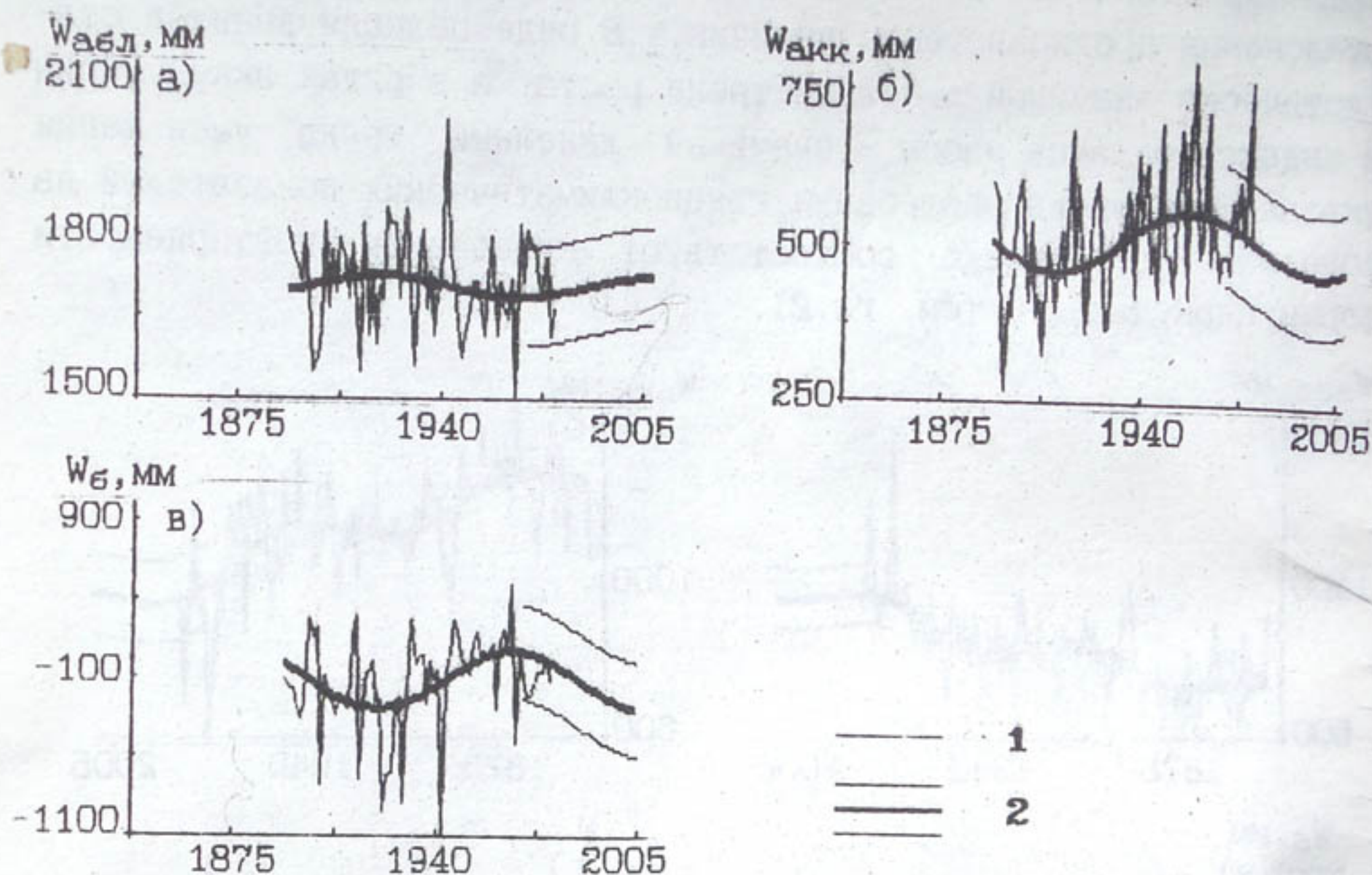


Рис. 5.9. Изменение гляциоклиматических показателей ледника Голубина.
а – абляция, б – аккумуляция, в – баланс массы ледника.
1 – исходный ряд. 2 – выделенный тренд и возможные среднеквадратические отклонения.

Проведенный анализ временных рядов гляциоклиматических показателей вполне согласуется с результатами работ других авторов [20, 43] о деградации горного оледенения в последние десятилетия. Известно, что гляциоклиматические показатели зависят от температурного режима и количества выпадающих атмосферных осадков, которые, в свою очередь, связаны с циркуляцией атмосферы в регионе.

Основной причиной деградации горного оледенения Средней Азии в последние десятилетия, по-видимому, следует считать рост температуры воздуха над горными районами Средней Азии, который связан с активизацией южных процессов. При этом одновременно наблюдалось незначительное уменьшение атмосферных осадков на большинстве горных станций.

Анализ рассмотренных рядов гляциоклиматических показателей ледников проводился на материале до 1980 года. Период 1981-1989 годов рассматривался как независимая выборка. Проверка показала неплохое соответствие тенденций изменений с фактическими данными по всем рядам, однако ошибка прогнозов во всех случаях оказалась больше 1,0.

Масса ледника Абрамова будет уменьшаться до 2000-2005 года в основном за счет уменьшения аккумуляции, так как абляция не будет претерпевать значительных изменений. Затем следует ожидать некоторый период стабилизации, с последующим ростом. Будет наблюдаться незначительный рост индекса баланса массы ледника Федченко к 2005 году, который связан с уменьшением абляции при незначительном изменении аккумуляции. Будет наблюдаться в среднем некоторая стабилизация в изменениях характеристик ледника Туюксу с небольшой тенденцией к увеличению индекса баланса массы ледника. По леднику Голубина следует ожидать некоторое уменьшение индекса баланса массы, которое будет происходить за счет уменьшения аккумуляции и роста абляции. Таким образом, ожидать очень существенных изменений в горном оледенении Памиро-Алая и Северо-западного Тянь-Шаня к 2005 году не следует.

5.6. Изменение уровня Каспийского моря и оценки его возможных изменений

В последнее время вызывает много споров изменение уровня Каспийского моря, который, начиная с конца 70-х годов XX столетия, постоянно растет.

Причина роста уровня Каспийского моря (УКМ) а следовательно, и перспективы его дальнейших изменений - вот вопросы, интересующие как ученых, так и общественность. Имеются различные точки зрения на причины изменения УКМ. Н.А. Шило и М.И. Кривошей /79/, проанализировав наблюдения за УКМ и землетрясениями в его окрестностях с 1880 по 1984 год, нашли, что невязки уравнения водного баланса связаны с силой землетрясений, исходя из этого делается вывод о том, что причина изменения УКМ тектоническая.

Другой точки зрения придерживаются Г.С. Голицын и Г.Н. Панин /29/, их заключение основано на анализе изменения уровня Каспия и составляющих его водного баланса за 1930-1987 годы. Обобщение разных методов расчета водного баланса показало, что изменение УКМ почти на 90% связано с соответствующими изменениями составляющих водного баланса. Основной вклад в изменение УКМ дают изменения речного стока и видимого испарения.

Аналогичный вывод получен В.Ю. Георгиевским в работе /25/. На основе исследований многолетних изменений стока р. Волги он показал, что колебания УКМ определяются главным образом суммарным притоком, из которого на долю Волги приходится более 80%.

Иное заключение получено А.В. Мещерской и Е.К. Воробьевой /53/ на основе анализа взаимных корреляционных функций между суммарным речным притоком и УКМ с неисключенными и с исключенными квадратическими трендами; они приходят к выводу, что долгопериодные составляющие в колебаниях суммарного речного притока и уровня Каспия не связаны между собой.

В целом ряде работ /24, 26 и др./ найдены зависимости между атмосферной циркуляцией и стоком р. Волга, соответственно и УКМ. Влияние процессов форм циркуляции W, E и C на УКМ исследовано А.А. Гирсом /26/. Показано, что низкий уровень Каспийского моря должен наблюдаться при процессах в эпоху формы E, высокий уровень - при процессах в эпоху C, а при процессах в эпоху W - относительная стабилизация уровня или повышение. Также показано, что при процессах форм циркуляции W и E в рассматриваемом районе наблюдаются положительные аномалии температуры воздуха, усиливающие испарение с водной поверхности и вызывающие дополнительное понижение УКМ. При процессах формы C наблюдаются отрицательные аномалии температуры воздуха, способствующие уменьшению испарения. Следовательно, формы циркуляции W, E и C являются комплексной характеристикой, включающие в себя совокупность факторов, влияющих на УКМ. Но в то же время в работе /71/ показано, что в зависимости от периода, за которые были вычислены средние многолетние нормы повторяемости форм циркуляции W, E и C, границы циркуляционных эпох могут значительно различаться, а это, в свою очередь, может привести к изменению зависимости УКМ от процессов в эпоху форм циркуляции W, E и C.

Следует отметить также, что зависимость УКМ от циркуляционных эпох определялась в основном по бассейну Волги, а приток воды р. Болга составляет только около 80% общего притока воды в Каспийское море.

Наши выводы, объясняющие причину многолетних изменений УКМ, также основаны на анализе рядов повторяемости форм циркуляции W, E, C по Вангенгейму-Гирсу за 1891-1979 годы (рис.2.4), среднегодовых значений УКМ, полученного путем осреднения данных измерений в Баку, Махачкале, Форт Шевченко и Красноводске в отклонениях от уровня Мирового океана (данные В.Ю. Георгиевского) за период 1879-1979 годов (рис.5.10) и отклонений длительности земных суток от эталонных в середине года (δP) из /71/ за период 1656-1983 годов (рис.2.2).

В рядах годовой повторяемости форм циркуляции W и E имеется значимый линейный тренд, это показано в работе /70/, а в ряде повторяемости формы циркуляции C значимый линейный тренд не обнаруживается. Анализ ряда УКМ также показывает наличие значимого линейного тренда, т.е. практически за весь период наблюдения происходило понижение уровня Каспийского моря.

В конце 70-х годов XX столетия был отмечен минимальный уровень Каспия, такая же картина наблюдалась с повторяемостью формы циркуляции W, и наоборот, в это время был максимум повторяемости формы циркуляции E. С конца 70-х годов по настоящее время наблюдается рост УКМ, уменьшение повторяемости формы циркуляции E и увеличение повторяемости формы циркуляции W. Следовательно, если будут известны изменения повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса в будущем, то на их основании можно предсказать многолетние изменения УКМ.

Ряд УКМ значительно короче ряда δP , но предполагая их взаимосвязь, в изменениях УКМ был выделен сложный тренд с использованием периодов 220 и 70 лет, полученных по ряду δP . При этом предполагалось, что максимуму гармоника с периодом 220 лет, выделенному по ряду δP , соответствуют максимумы или минимумы в гармониках с тем же периодом, описывающим ряды повторяемостей форм W, E, C и УКМ.

На рис.5.10, помимо исходного ряда УКМ, приведены выделенные тренды, проэкстраполированные до 2005 года, и возможные

среднеквадратические отклонения. Тренд с периодом 220 лет, обнаруженный в изменениях УКМ, значим на 1% уровне по F-критерию и описывает 88% дисперсии исходного ряда. Вторая гармоника с периодом 70 лет в ряде УКМ увеличивает долю описываемой дисперсии до 91%. Следовательно, мы можем предположить, что в изменениях УКМ имеются колебания с 220-летним периодом, на фоне которых происходят колебания с периодом 70 лет.

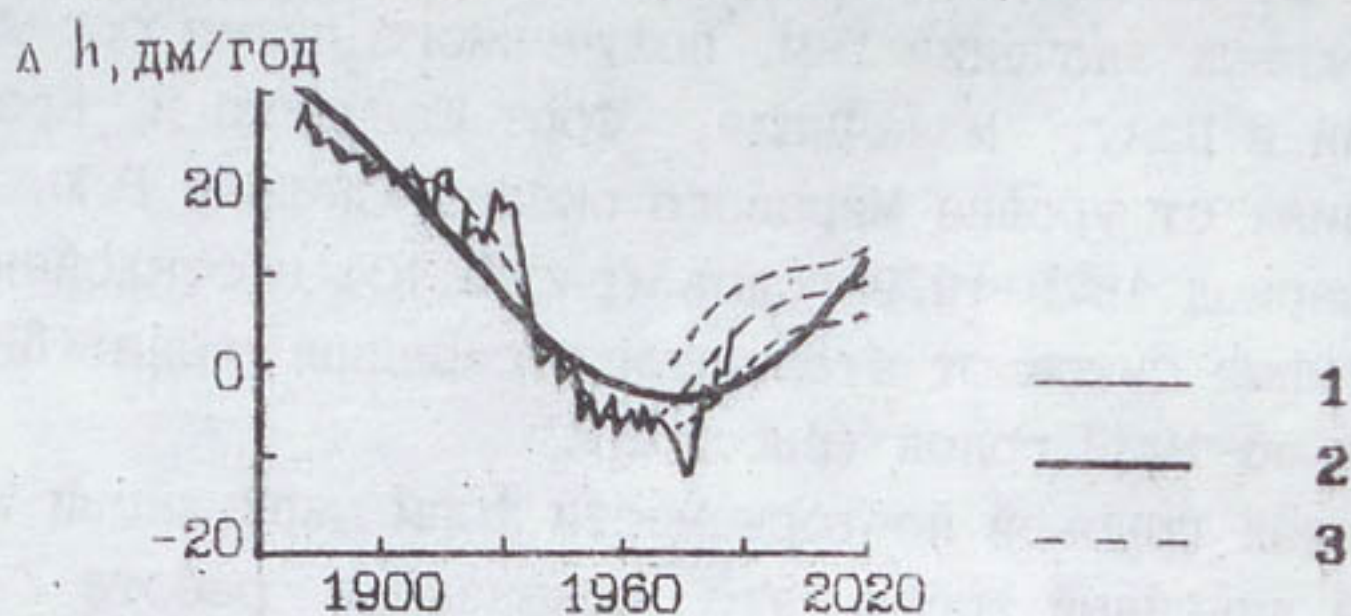


Рис. 5.10. Изменение уровня Каспийского моря.
1 — исходный ряд. 2 — гармоника с периодом 220 лет, 3 — гармоника с периодом 70 лет на фоне 220-летних колебаний.

Таким образом, восходящей ветви 220-летнего цикла в ряде δP соответствует нисходящая ветвь в рядах формы циркуляции W и УКМ и восходящая ветвь в ряде формы циркуляции E. Колебания с периодом 70 лет в ряде δP находятся в противофазе с такими колебаниями в ряде повторяемости формы циркуляции C и синхронны с колебаниями УКМ. Следовательно, увеличение повторяемости зональных процессов (W) однозначно ведет к росту уровня Каспия, а увеличение повторяемости меридиональных процессов (E и C) — к его понижению. Такая связь вполне объяснима — рост повторяемости формы циркуляции W означает увеличение переноса влажного воздуха из Атлантики в районы водосбора рек, формирующих уровень Каспийского моря, а рост повторяемости формы циркуляции E соответствует увеличению числа дней с антициклональными полями в районе водосбора. Рост повторяемости формы циркуляции C ведет к выходу циклонов с юга в районы формирования стока р. Волга, но в зависимости от разновидности формы циркуляции C увлажняются отдельные районы бассейна. Влияние повторяемости этой формы циркуляции на уровень Каспия значительно слабее, чем форм W и E.

Анализ данных по уровню Каспия проводился без учета антропо-

погенных факторов, таких как изъятие части речного стока на хозяйственные нужды и уменьшение видимого испарения за счет нефтяной пленки, покрывающей большие площади поверхности Каспия и перекрытия Кара-Богаз-Гола. Но результаты проверки на независимой выборке показали удовлетворительную успешность прогнозов, по-видимому, указанные эффекты частично взаимно погашаются.

Таким образом, анализ изменения уровня Каспийского моря показал, что его уровень до настоящего времени в основном зависит от циркуляции атмосферы в районе водосбора, которая, в свою очередь, зависит от гелиокосмических факторов.

Весь анализ изменений уровня Каспийского моря проводился на материале за период 1879-1979 годов, следовательно, период 1980-1990 годы можно рассматривать как независимую выборку. Среднеквадратическая ошибка прогноза изменения уровня Каспийского моря за этот период составила 27 см при заданных возможных среднеквадратических отклонениях 29 см и естественной изменчивости 122,5 см.

Экстраполяция выделенных трендов и проведенный анализ показывает, что уровень Каспия до 1998-2000 года будет расти в среднем на 8-9 см в год, затем наступит период стабилизации, когда средний рост уровня будет незначительным, а с 2025 года последует подъем, который продлится примерно до 2060 года.

5.7. Изменение солнечной радиации по Узбекистану

Солнечная радиация является главным источником тепловой энергии почти для всех природных процессов и является одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь она в значительной степени зависит от атмосферных процессов, например, от облачности или прозрачности атмосферы.

В работе анализировались изменения во времени следующих характеристик солнечной радиации. Прямая солнечная радиация - это солнечная радиация, поступающая на деятельную поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от диска Солнца. Рассеянная радиация - это та часть солнечной радиации, которая поступает на земную поверхность со всех точек небесного

свода после рассеяния в атмосфере. Суммарная радиация показывает общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Радиационный баланс представляет собой алгебраическую сумму приходных и расходных составляющих радиации /74/.

В работе анализировались изменения среднемесячных характеристик солнечной радиации на 7 станциях (Тахиаташ, Ташкент, Кызылча, Термез, Фергана, Каракалпакия, Тамды) по 4 центральным месяцам климатических сезонов (январь, апрель, июль и октябрь) по срокам наблюдений в 12 ч 30 мин.

По значениям рассматриваемых характеристик были сначала вычислены условные среднегодовые значения путем осреднения месячных данных. Затем было получено среднегодовое значение для Узбекистана путем осреднения среднегодовых данных солнечной радиации по 7 указанным станциям. Следовательно, нами анализировались хорошо сглаженные характеристики солнечной радиации. На рис.5.11 приведены изменения осредненных характеристик солнечной радиации по Средней Азии.

Анализ прямой солнечной радиации, приходящей на перпендикулярную лучам поверхность, показывает, что наибольшие значения наблюдались в первой половине 60-х годов и, начиная со второй половины, происходило уменьшение прямой радиации до первой половины 80-х годов, затем начался рост, который продолжается и в настоящее время. Это изменение достаточно хорошо описывается гармоническим трендом с периодом 35 лет. Выделенный тренд описывает 73% дисперсии исходного ряда и значим на 1% уровне по F-критерию.

В рядах рассеянной радиации происходил рост с начала наблюдений. Он хорошо согласуется с трендом с периодом в 70 лет, который описывает 58% дисперсии исходного ряда и значим на 1% уровне по F-критерию.

В изменения суммарной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, также выделен тренд с периодом 31 год, который описывает 54% дисперсии исходного ряда и значим на 1% уровне по F-критерию. За период наблюдений наибольшие значения суммарной радиации наблюдались в 60-х годах с последующим уменьшением до конца 70-х.

В изменениях радиационного баланса также был обнаружен тренд с периодом 32 года, описывающий 46% дисперсии исходного ряда и значимый на 20% уровне по F-критерию. Наибольшее значение радиационного баланса наблюдалось в 60-х годах, затем - уменьшение до конца 70-х годов и рост, который наблюдается и в настоящее время.

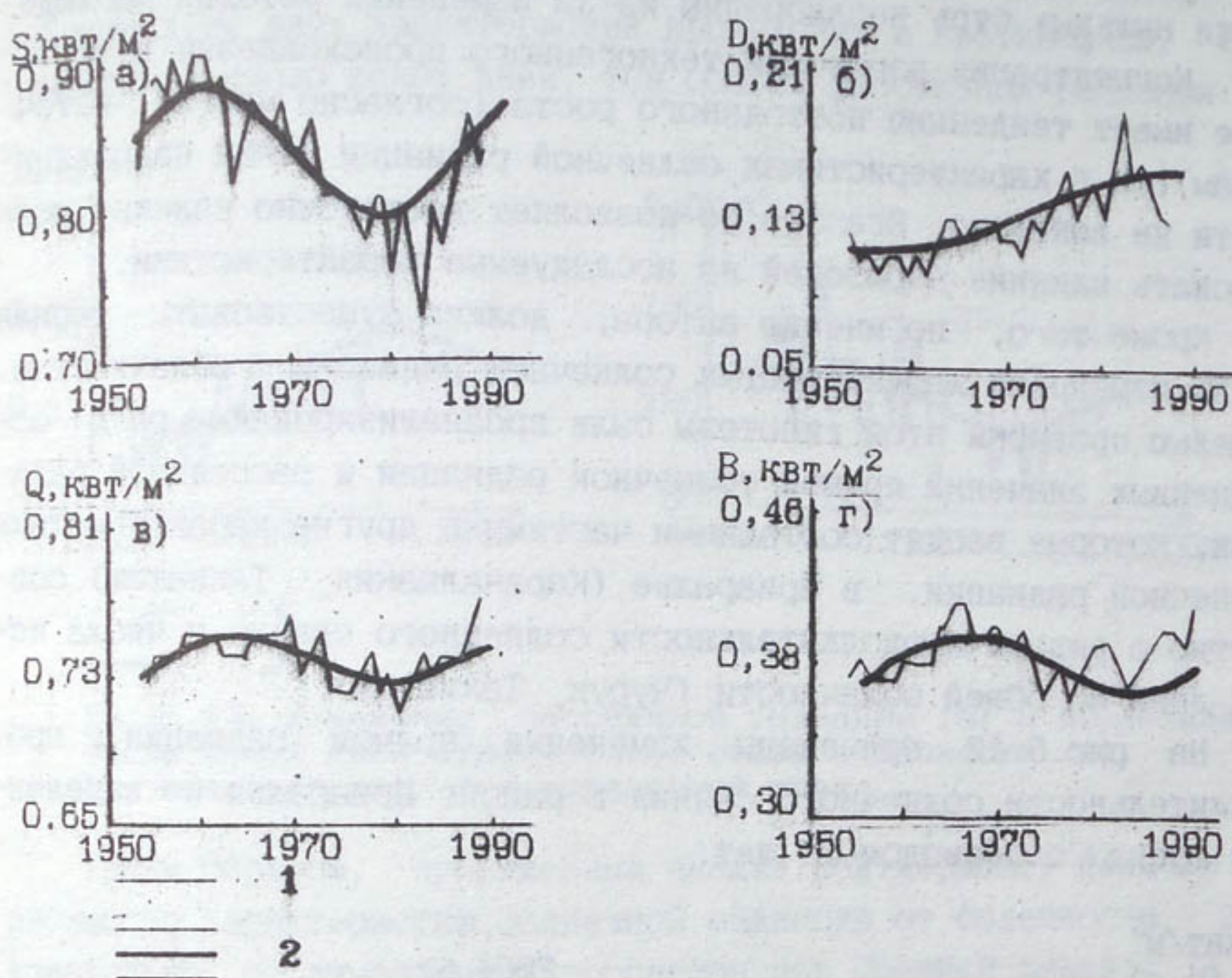


Рис.5.11. Изменение прямой радиации (а), рассеянной (б), суммарной (в) и радиационного баланса (г).
1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в изменениях характеристик солнечной радиации имеются тренды, описываемые Брикнеровским циклом 35 лет и периодичностью 70 лет (рассеянная радиация), обнаруженной в рядах, характеризующих изменения глобального и регионального климата.

За исследуемый период времени не наблюдалось изменений в светимости Солнца, следовательно, все изменения характеристик солнечной радиации в Узбекистане связаны с изменениями в атмосфере (прозрачность, облачность). Прозрачность атмосферы зависит

от аэрозолей природного и антропогенного характера, а облачность, главным образом, от циркуляции атмосферы.

Изменение концентрации аэрозолей природного характера зависит от количества и интенсивности пыльных бурь, т.е. от циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности, но ряды повторяемости пыльных бурь неоднородны из-за изменения методик наблюдений. Концентрация аэрозолей техногенного происхождения в атмосфере имеет тенденцию постоянного роста (согласно многим источникам), а в характеристиках солнечной радиации такой направленности не выявлено. Все это не позволяет достаточно надежно исследовать влияние аэрозолей на исследуемые характеристики.

Кроме того, по мнению автора, должна существовать тесная связь изменения характеристик солнечной радиации с облачностью. С целью проверки этой гипотезы были проанализированы ряды осредненных значений прямой солнечной радиации и рассеянной радиации, которые входят составными частями в другие характеристики солнечной радиации, в Приаралье (Каракалпакия, Тахиаташ) совместно с рядами продолжительности солнечного сияния и числа ясных дней по общей облачности (Чурук, Тахиаташ).

На рис.5.12 приведены изменения прямой радиации и продолжительности солнечного сияния в районе Приаралья и выделенные тренды с периодом 35 лет.

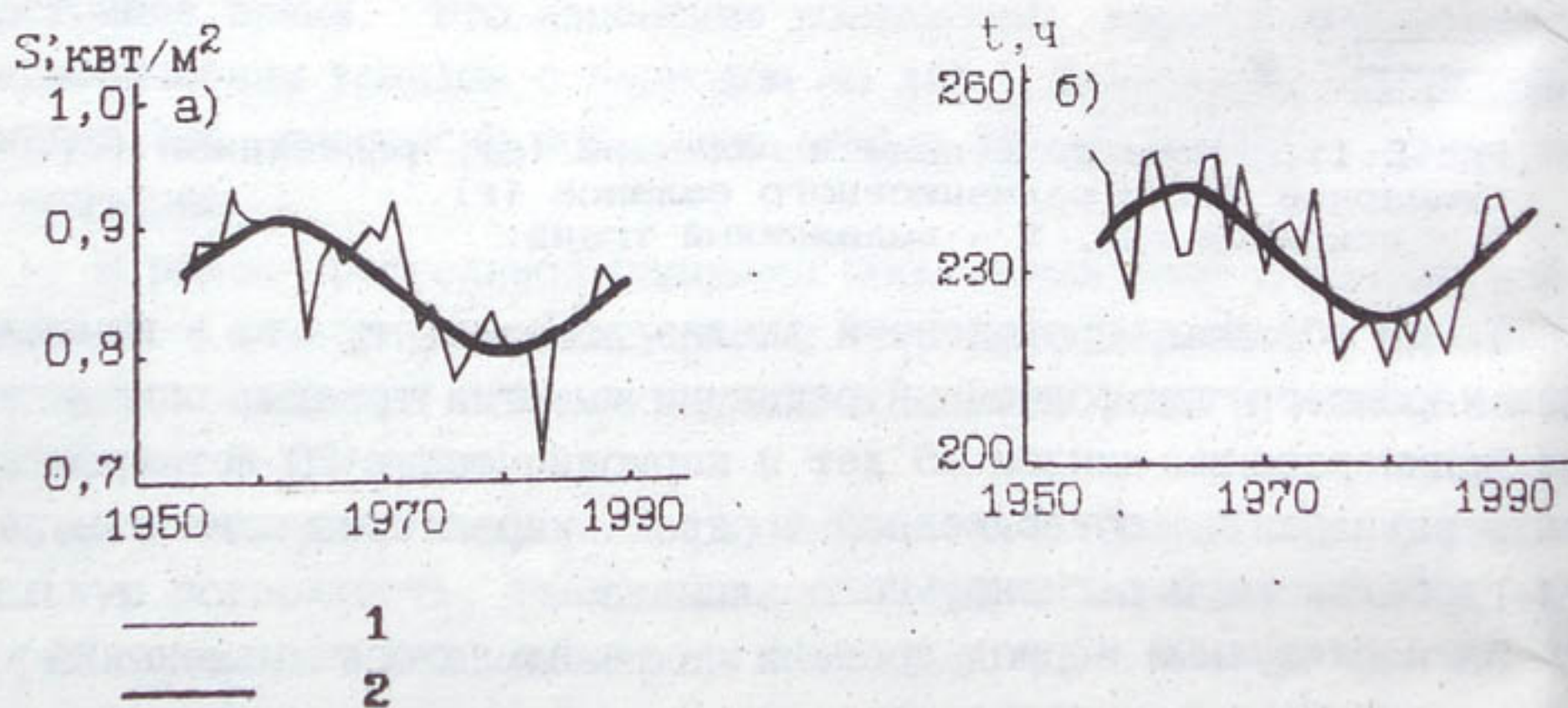


Рис.5.12. Изменение прямой радиации (а) и продолжительности солнечного сияния (б).
1 — исходный ряд, 2 — выделенный тренд.

Из рисунка видно, что многолетние изменения прямой радиации и продолжительности солнечного сияния синхронны, сле-

зательно, чем больше продолжительность солнечного сияния, тем больше приток на земную поверхность прямой солнечной радиации, т.е. увеличение числа дней с нижней облачностью ведет к уменьшению прямой солнечной радиации.

На рис.5.13 приведены изменения рассеянной радиации и числа ясных дней относительно общей облачности. Как видно, колебания этих двух характеристик происходят в противофазе, т.е. чем меньше число ясных дней, тем больше рассеянная радиация.

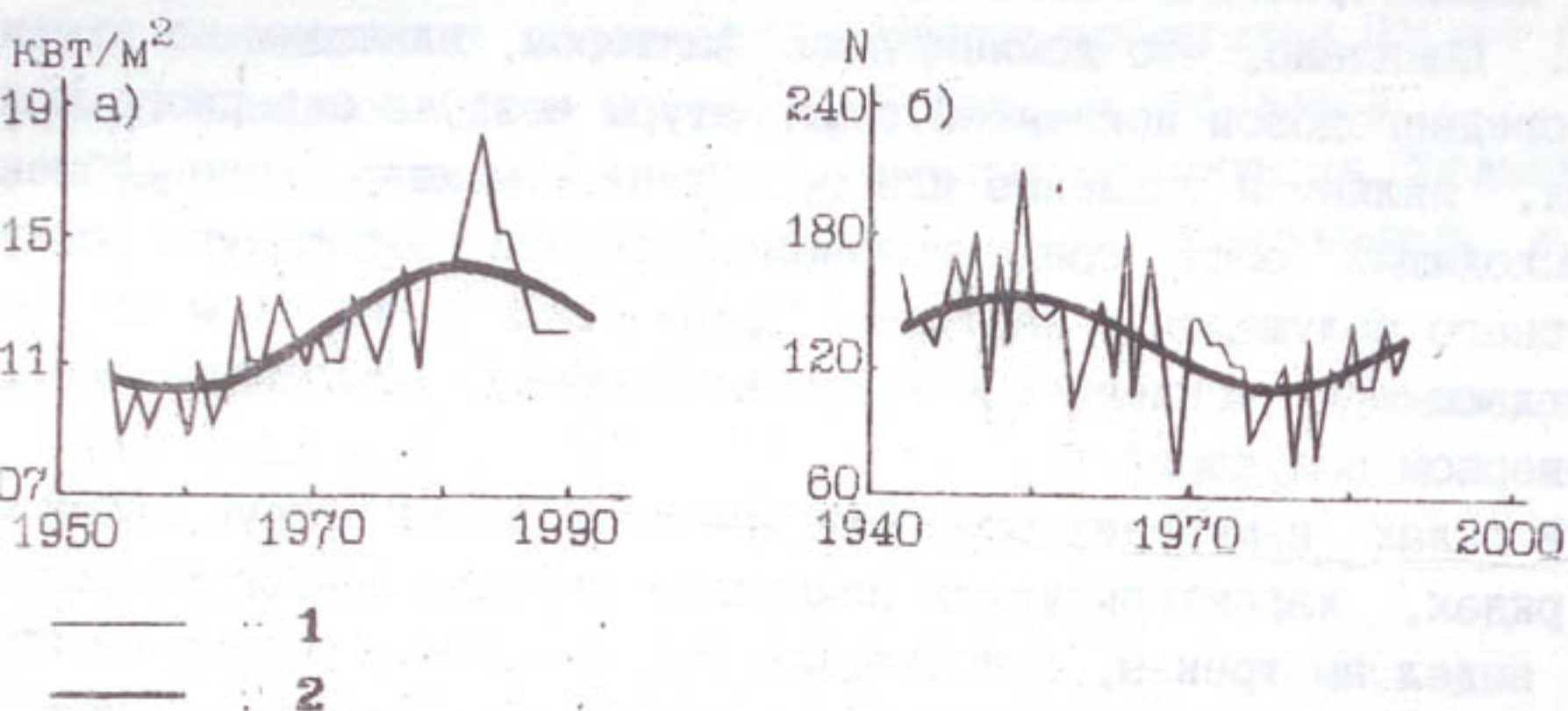


Рис.5.13. Изменение рассеянной радиации (а) и изменение числа ясных дней относительно общей облачности (б).
1 - исходный ряд. 2 - выделенный тренд.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает наличие зависимости характеристик солнечной радиации от облачности, следовательно, от атмосферных процессов над Средней Азией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемой книге приведены результаты исследования причин изменения климата в современную эпоху посредством анализа временных рядов, характеризующих естественные климатообразующие факторы. С помощью модели циклических компонент исследовались характеристики глобального и регионального климата Средней Азии. Показано, что доминирующим фактором, влияющим на изменение среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария, является усиление или ослабление межширотного обмена. Происходящий рост среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария в настоящее время также в основном связан с наблюдающимся усилением межширотного обмена воздушными массами в северном полушарии.

В рядах изменения скорости вращения Земли вокруг своей оси и в рядах, характеризующих изменение климата северного полушария, выделены тренды, описываемые гармониками с периодами 220 и 70 лет. Проверка разработанной концепции изменения климата северного полушария на независимой выборке за период 1970-1990 годов показала, что успешность прогнозов среднегодовой приземной температуры воздуха северного полушария, повторяемости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса за этот период достаточно высокая.

С помощью модели циклических компонент проанализированы также ряды, характеризующие изменение регионального климата Средней Азии: средние температуры воздуха у поверхности Земли за год и по полугодиям; годовые суммы осадков; характеристики термических ресурсов; водные ресурсы в зоне формирования рек Сырдарья и Амударья; уровни горных бессточных озер и уровень Каспийского моря; гляциоклиматические показатели ледников; характеристики солнечной радиации по Узбекистану; типы синоптических процессов Средней Азии. В результате такого исследования в рядах климатических характеристик выделены тренды, описываемые гармониками с периодами 70, 35, 22, 17 и 12-13 лет.

Проведенная проверка климатических прогнозов по региону Средняя Азия, полученных посредством экстраполяции выделенных трендов на период 1981-1990 годов, показала достаточно высокую успешность прогноза.

В книге представлен региональный сценарий изменения климата Средней Азии до 2005 года.

В целом по Среднеазиатскому региону ожидается незначительное понижение приземной среднегодовой температуры воздуха. Термические ресурсы к 2005 году в среднем изменятся незначительно. Годовые суммы осадков будут уменьшаться и к 2005 году ожидается их значение в среднем на 5% ниже базовой нормы (1951-1980 годы). Возрастет общая повторяемость типов синоптических процессов, т.е. будет происходить более частая смена погодных условий. Существенных изменений в горном оледенении Памиро-Алая и Северо-Западного Тянь-Шаня к 2005 году не ожидается.

Таким образом, изменения характеристик климата Средней Азии до 2005 года будут происходить в пределах естественных колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А г р о к л и м а т и ч е с к и е ресурсы Наманганской, Андижанской, Ферганской областей (Ферганской долины) Узбекской ССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 196 с.
2. А г р о к л и м а т и ч е с к и е ресурсы Джизакской и Самаркандской областей Узбекской ССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 217 с.
3. А г р о к л и м а т и ч е с к и е ресурсы Кашкадарьинской и Бурхандарьинской областей Узбекской ССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1979. - 264 с.
4. А й з и н В.Б. Реконструкция баланса массы ледника Голубина // МГИ. - 1988. - Вып. 62. - С. 119-126.
5. А л е к с е е в а А.К. Закономерности современных изменений стока горных рек Средней Азии // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. - 1988. - Вып. 149. - С. 33-46.
6. А н т р о п о г е н н ы е изменения климата / Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэль - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 405 с.
7. Б а б у ш к и н Л.Н. Агроклиматическое описание Средней Азии // Научные труды ТашГУ. - 1964. - Вып. 236. - С. 5-185.
8. Б а й д а л М.Х., Х а н ш и н а Д.Г. Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. - М.: Гидрометеоздат, 1986. - 130 с.
9. Б а л а ш о в а Е. Н., Ж и т о м и р с к а я О.М., С е м е н о в а О.А. Климатическое описание республик Средней Азии. - Л.: Гидрометеоздат, 1960. - 242 с.
10. Б а с и н Н.С., К а м н я н с к и й Г.М. Опыт реконструкции морфологических характеристик ледника Абрамова // Тр. САННИ Госкомгидромета. - 1987. - Вып. 123(204). - С. 84-93.
11. Б о р з е н к о в а И.И., З у б а к о в В.А. Климатический оптимум голоцена как модель глобального климата начала XXI века // Метеорология и гидрология. - 1984. - N 8. - С. 69-77.
12. Б о р з е н к о в а И.И. Об увлажнении суши Северного полушария в геологическом прошлом // Метеорология и гидрология. - 1987. - N 10. - С. 53-61.
13. Б о р з е н к о в а И.И. Влажность аридных районов Северного полушария в позднеледниковье голоцена // Изв. АН СССР,

сер. геогр. - 1990. - N 2. - С. 28-38.

14. Б о р з е н к о в а И.И. Изменение климата в кайназое.
- Л.: Гидрометеиздат, 1992. - 247 с.

15. Б о р и с е н к о в Е.П., К о н д р а т ь е в К.Я.
Круговорот углерода в природе. - Л.: Гидрометеиздат, 1988.
- 320 с.

16. Б у д ы к о М.И., В и н н и к о в Л.Я. Проблема об-
наружения антропогенного изменения глобального климата // Ме-
теорология и гидрология. - 1983. - N 9. - С. 14-26.

17. Б у д ы к о М.И., Г р о й с м а н П.Я. Потепление 80-х
годов // Метеорология и гидрология. - 1989. - N 3. - С. 5-10.

18. Б у д ы к о М.И., Е ф и м о в а Н.А., Л о б а-
н о в В.В. Будущий уровень Каспийского моря // Метеорология и
гидрология. - 1988. - N 5. - С. 86-94.

19. В и з е В.Ю. Колебание солнечной деятельности и ледови-
тость арктических морей. // Докл. юб. сессии ААНИИ.-Л., 1945.
- 7 с.

20. В и л е с о в Е.Н., Г у ж а в и н а Е.А. Реконструк-
ция баланса массы ледника Туюксу за последнее десятилетие // МГИ.
- 1988. - Вып. 62. - С. 41-51.

21. В и т е л ь с Л.А. Циклоны северных морей и потепление
Арктики // Метеорология и гидрология. - 1946. - N 4. - С. 32-40.

22. В е л и ч к о А.А. Глобальное изменение климата и реак-
ция ландшафтной оболочки // Изв. АН СССР, сер. геогр. - 1981.
- N 5. - С. 5-22.

23. В е л и ч к о А.А., К л и м а н о в В.А. Климатические
условия северного полушария 5-6 тыс. лет назад. // Изв. АН
СССР. - 1990. - N5. - С. 38-52.

24. Г е о р г и е в с к и й В.Ю. Расчеты и прогнозы изме-
нений уровня Каспийского моря под влиянием естественных клима-
тических факторов и хозяйственной деятельности // Тр. ГГИ.
- 1978. - Вып. 255. - С. 94-112.

25. Г е о р г и е в с к и й В.Ю. Многолетние колебания
стока р.Волга и изменение уровня Каспийского моря // Тр. ГГИ.
- 1981. - Вып. 273. - С. 76-85.

26. Г и р с А.А. Многолетние колебания атмосферной цир-
куляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы.

- Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 280 с.

27. Г и р с А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 488 с.

28. Г л а з ы р и н Г.Е., М о ш к и н А.Т. Возможность выявления прямой связи между кратковременными изменениями климата и положением концов ледников // МГИ. - 1974. - Вып.24. - С. 260-264.

29. Г о л и ц ы н Г.С., П а н и н Г.Н. Еще раз об изменении уровня Каспийского моря // Вестник АН СССР. - 1989. - N 9. - С. 59-63.

30. Г р у з а Г.В. Климатическая изменчивость и прогноз изменений климата // Природа. - 1992. - N 8. - С. 28-36.

31. Д р о з д о в О.А., Г р и г о р ь е в а А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 158 с.

32. Д р о з д о в О.А., Г р и г о р ь е в а А.С. Циклическая структура временного поля осадков и использование ее для прогноза. - Обнинск, 1974. - 42 с.

33. Д р о з д о в О.А. О возможности климатических прогнозов на основании учета цикличности, обусловленной космическими и земными факторами // Тр.ГГО. - 1971. - Вып. 274. - С. 3-27.

34. И з м е н е н и я средней температуры воздуха за 1841-1985 гг. / К.Я. Винников, П.Я. Гройсман, К.М. Лугина, А.А. Голубев // Метеорология и гидрология. - 1987. - N 1. - С. 45-55.

35. И л ь и н о в а Т.С., Т у р с у н о в А.Ю., Э м м З.Г. Статистико-стохастическая характеристика синоптических положений над Средней Азией // Тр. САНИГМИ. - 1965. - Вып.20(3).

36. И з м е н е н и е температуры воздуха северного полушария за период 1880-1975 гг. / И.И. Борзенкова, К.Я. Винников, Л.П. Спирина, Д.И. Стехновский // Метеорология и гидрология. - 1976. - N 7. - С. 27-35.

37. И н а г а м о в а С.И., В о й н о в а Т.А., Г р и г о р ь е в а Т.С. Вероятности появления и чередования типов синоптических процессов Средней Азии и их роль в формировании климата // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1983. - Вып. 95(176). - С. 12-25.

38. К а з а р я н ц Э.С. О повторяемости южных циклонов в Средней Азии // Тр. САНИГМИ. - Вып. 54(135). - 1978. - С. 3-6.

39. К а з а р я н ц Э.С. Особенности термобарического поля атмосферы при прорыве юго-западных циклонов в Среднюю Азию в зимне-весенний период // Тр. САНИГМИ. - 1979. - Вып. 65(146). - С. 52-61.

40. К а л е н д а р ь типов синоптических процессов над Средней Азией / Е.А. Аксарина, В.А. Бугаев, М.И. Буркова и др. Под ред. Э.С. Ильиновой. - Ташкент, 1980. - Вып. 1. - 138 с.

41. К а л е н д а р ь синоптических процессов над Средней Азией / Под ред. Войновой Т.В., Инагамовой С.И. - Ташкент. - 1980. - Вып. 2. - 49 с.

42. К а л е н д а р ь синоптических процессов над Средней Азией / Под ред. Инагамовой С.И. - Ташкент. - 1993. - Вып. 3. - 56 с.

43. К а л е с н и к С.В. Очерки гляциологии. - М.: Геофизика, 1963. - 551 с.

44. К а м н я н с к и й Г.М., К и с л о в Б.В., Н о з д р ю х и н В.К. Баланс массы ледника Абрамова и возможность его расчета по метеорологическим показателям // МГИ. - 1985. - Вып. 54. - С. 52-59.

45. К а м н я н с к и й Г.М., Ч е р т а н о в С.П. Анализ причин изменения годовой и внутригодовой скорости движения ледника Федченко // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1988. - Вып. 129 (210). - С. 97-110.

46. К и м И.С., К а м н я н с к и й Г.М., Н и к у л и н а С.П. Влияние глобального изменения климата на ледники Памиро-Алая // Тр. САНИГМИ. - 1992. - Вып. 146(227). - С. 83-91.

47. К и м И.С. О типизации полей месячных сумм осадков по Средней Азии // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1980. - Вып. 80(161). - С. 13-16.

48. К и м И.С., Н и к у л и н а С. П., С п е к т о р м а н Т.Ю. Сверхдолгосрочный прогноз притоков воды в основные водохранилища бассейна реки Сырдарьи с учетом климатического тренда // Метеорология и гидрология. - 1992. - № 5. - С. 92-96.

49. К и м И.С. Классификация полей месячных и двухмесячных аномалий температуры воздуха и осадков по Средней Азии // Тр.

САНИГМИ. - 1989. - Вып. 131(212). - С. 94-100.

50. К и м И.С., С п е к т о р м а н Т.Ю. О временном ходе сезонных сумм осадков по Средней Азии // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1982. - Вып. 94 (175). - С. 94-96.

51. Л о г и н о в В.Ф., С а з о н о в Б.И. 22-летний цикл в увлажненности Северной Европы // Солнечные даты. - 1966. - №6. - С. 66-69.

52. М а м е д о в Э.Д. Плувиалы и ариды в позднеплейстоценовой и голоценовой истории пустынь СССР и сопредельных стран // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. - М: Наука, 1982. - С. 94-99.

53. М е щ е р с к а я А.В., В о р о б ъ е в а Е.К. Оценка зависимостей между температурно-влажностным режимом и суммарным речным притоком в Каспийское море // Метеорология и гидрология. - 1990. - № 9. - С. 78-84.

54. М и л а н к о в и ч М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. - Л.: ГОНТИ, 1939. - 207 с.

55. М н о г о л е т н и е колебания температурного режима Средней Азии / С.Г. Чанышева, Т.Л. Веремеева, Э.П. Илиняк, Н.В. Порфирьева // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 27-58.

56. М о и с е е в Н.Н. У роковой черты // Вестник АН СССР. - 1991. - №3. - С. 76-82.

57. М о л о с н о в а Т.И., И л и н я к Э.П. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы и типов синоптических процессов // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 3-11.

58. М о л о с н о в а Т.И., И л и н я к Э.Л., Ч е в ы ч а л о в а Т.М. Крупные аномалии атмосферных осадков по территории Средней Азии и их климатическая изменчивость // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 98-113.

59. М о л о с н о в а Т. И., С у б б о т и н а О. И., Ч а н ы ш е в а С.Г. Климатические последствия хозяйственной деятельности в зоне Аральского моря. - М.: Гидрометеоиздат. - 1987. - 119 с.

60. П о к р о в с к а я Т.В. Синоптико-климатологические

и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - 254 с.

61. Р а с ш и р е н н о е резюме научной оценки изменения климата // Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Доклад рабочей группы I МГЭИК, ВМО, июнь 1990.

62. Р у б и н ш т е й н Е.С., П о л о з о в а Л.Г. Современные изменения климата. - Л.: Гидрометеоиздат, 1966. - 276 с.

* 63. Р у к о в о д с т в о по краткосрочным прогнозам погоды. Часть II. Вып. 3. Средняя Азия / Под ред. Инагамовой С.И., Войновой Т.А., Казарянц И.С. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 322 с.

64. Р у к о в о д с т в о по месячным прогнозам погоды. / Под ред. Аристова Н.А., Багрова Н.А. и др. - Л.: Гидрометеоиздат, 1972. - 341 с.

65. С а з о н о в Б.И. Суровые зимы и засухи. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 240 с.

66. С а з о н о в Б.И. Высотные барические образования и солнечная активность. - Л.: Гидрометеоиздат, 1964. - 131 с.

67. С а з о н о в Б.И. Возможное объяснение длительных периодов засушливости // Тр. ГГО. - 1977. - Вып.386. - С. 70-77.

68. С е м е н о в В.А., А л е к с е е в а А.К. Климатические изменения стока рек СССР // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. - 1985. - Вып. 133. - С. 94-136.

69. С е м е н о в В.А. Сток рек засушливых территорий. - М.: Гидрометеоиздат, 1990. - 169 с.

70. С и д о р е н к о в Н.С., С в и р е н к о П.И. К вопросу о многолетних колебаниях атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. - 1983. - N 11. - С. 20-25.

71. С и д о р е н к о в Н.С., С в и р е н к о П.И.. Многолетние изменения атмосферной циркуляции и колебания климата в первом естественном синоптическом районе // Тр. ГМЦ СССР. - 1991. - Вып. 316. - С. 93-105.

72. С и н о п т и ч е с к и е процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио и др. - Ташкент.: АН УзССР, 1957. - 464 с.

73. С о в р е м е н н ы е изменения климата северного полушария / К.Я. Винников, Г.В. Груза, В.Ф. Захаров и др. // Ме-

теорология и гидрология. - 1980. - N 6. - С. 5-17.

74. С о л н е ч н а я радиация, радиационный баланс и солнечное сияние // Справочник по климату СССР. - Л.: Гидрометеоздат. - 1966. - Вып.3 С. 30 - 64.

75. С у б б о т и н а О.И., З в е р я н с к а я А.А., Ч е в ы ч а л о в а Т.М. Особенности распределения по территории Средней Азии аномалий годовых сумм осадков // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 87-98.

76. С у б б о т и н а О.И., Ч е в ы ч а л о в а Т.М. К вопросу о цикличности годовых сумм осадков на территории Средней Азии и их многолетней тенденции // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 113-122.

77. С у б б о т и н а О.И., Ч е в ы ч а л о в а Т.М. Особенности многолетних изменений атмосферной циркуляции на территории Средней Азии // Тр. САНИГМИ. - 1991. - Вып. 141(222). - С. 12-21.

78. С т а т и с т и ч е с к и е характеристики типов синоптических процессов Средней Азии / Т.А. Войнова, С.И. Инагамова, Л.Р. Билялова, Т.С. Григорьева // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1983. - Вып.95 (176). - С. 3-11.

79. Ш и л о Н.А., К р и в о ш е й М.И. Связь колебаний уровня Каспийского моря с напряжениями в земной коре // Вестник АН СССР. - 1989. - N 6. - С. 83-90.

80. Ш н и т н и к о в А.В. Современная фаза внутривековой изменчивости горного оледенения северного полушария // Изв. ВГО. - 1961. - Т.93. - Вып.1. - С. 8-22.

81. Ш у л ь ц В.Л. Реки Средней Азии. Ч. I, II. - Л.: Гидрометеоздат, 1965. - 691 с.

82. B e r g e r A. Milankovich theore and climate // Revieres of geophisics. - 1988. - Vol. 26. - N 4. - P. 624-657.

83. F o l l a n d C.K., P a r k e r D.E., K a t e s F.E. Worldwide marine temperature fluctuations, 1856-1981 // Nature. - 1984. - N 310. - P.670-673.

84. H a n s e n J., L e b e d e f f S. Global trends of measured surface air temperature // Journal of geophysikal re-seach. - 1987. - Vol. 92. - N 11. - P.13.345-13.372.

85. H a n s e n J., L e b e d e f f S. Global surface air

temperature: update trough 1987 // Geophysikal research letters. - 1988. - Vol. 15. - N 4. - P. 323-326.

86. Northern Hemisphere surface air temperature variations 1851-1984 / Jones P.D., Raper S.C.B., Bradle R.S., Diaz H.F., Kelly P.M. and Wigley T.M.L. // Journal of Climate and Applied Meteorology. - 1986. - Vol. 25. - P. 161-179.

87. Jones P.D., Raper S.C.B., Wigley T.M.L. Southern Hemisphere surface air temperature variations 1851-1984 // Journal of Climate and Applied Meteorology. - 1986. - Vol. 25. - P.1213-1230.

88. Jones P.D., Wigley T.M.L., Kelly P.M. Variations in surface air temperature: Part 1, Northern Hemisphere 1881-1980 // Monthly Weather Review. - 1982. - N 110. - P.59-70.

89. Jones P.D., Wigley T.M.L., Wright P.B. Global temperature variations between 1861 and 1984 // Nature. - 1986. - V. 322. - P. 430-434.

90. Kelly P.M., Sear C.B. The climatic impact of explosive volcanic eruptions // Nature. - 1984. - N 311. - P. 740-743.

91. Lund J.A. Map-pattern classification by statistical methods // J. Appl. Meteorology. - 1963. - Vol. 2. - N 1. - P. 56-65.

92. Observed Climate Variability and Change / Folland G.K., Karl T.R., Nicholls H. and other // Climate Change. - 1992. - P. 135-170.

93. Oliver R.C. On the response of hemispheric mean temperature to stratospheric dust: an approach // J.Appl.Meteor. - 1976. - N 15. - P. 933-950.

94. Ramanathan V. Greenhouse effect to due chlorofluorocarbons: climatic implications // Science. - 1975. - N 190. - P. 50-52.

95. Siegenthaler U. 19th century measurements of atmospheric CO - a comment // Climate Change.- 1984.- N 6. - P. 409-411

96. Tsonis A.A., Elsner J.B. Testing the global

warming hypothesis // Geophysical research letters. - Vol.16.
- N 8. - P. 795-797.

97. V i n n i k o v K.Ya., G r o i s m a n P.Ya., L u -
g i n a R.M. Empirical Data on Contemporary Global Climate
Changes (Temperature and Precipitation) // Journal of Climate.
- 1990. - Vol.3. - P. 662-677.

98. W M O. On the Assessment of the Role of CO on Climate
Variation and their Impact. - 1981. - Geneva, WMO.

99. Z h e n g D.W., S o n g G.X., L u o S.F. El Nino
prediction // Nature. - 1990. - Vol. 348. - N 8. - P. 119.

Таблица 1

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы среднегодовых температур воздуха $t^{\circ}\text{C}$, рассчитанные за весь период наблюдений, по станциям Средней Азии

Станция	Нормы		Станция	Нормы	
	базовые	за весь период		базовые	за весь период
Байтык	6,5	6,4	Термез	16,8	16,9
Красный Октябрь	5,1	4,9	Федченко	13,4	13,2
Нарын	3,2	2,8	Фергана	13,3	13,2
Ош	11,7	11,5	Хива	12,6	12,5
Балыкчы	7,4	7,2	Чарвак	11,7	11,7
Сары-Таш	-2,7	-2,8	Чимбай	10,6	10,4
Тянь-Шань	-7,8	-7,6	Китаб	15,2	15,0
Талас	7,6	7,7	Шерабад	18,1	18,1
Устье р. Тос	7,8	7,9	Дехауз	4,2	4,2
Бишкек	10,3	10,4	Душанбе	14,2	14,3
Хайдаркан	6,9	6,9	Искандеркуль	6,6	6,6
Чолпоната	7,5	7,4	Куляб	16,6	16,4
Чаткал	2,5	2,5	Курган-Тюбе	15,8	15,8
Андижан	13,5	13,4	Худжанд	14,3	11,5
Байсун	13,2	13,6	Уратюбе	11,4	11,5
Богарное	13,0	13,0	им. Горбунова	-6,9	-7,0
Бухара	14,2	14,7	Нурата	13,6	13,5
Гузар	16,5	16,4	Репетек	16,2	16,3
Дальверзин	13,9	14,0	Теджен	16,6	16,4
Джизак	14,2	14,2	Тахтабазар	16,8	16,7
Коканд	13,6	13,6	Дашховуз	12,7	12,4
Карши	15,7	15,5	Чарджев	15,3	15,3

Продолжение табл. 1

Станция	Нормы		Станция	Нормы	
	базовые	за весь период		базовые	за весь период
Самарканд	13,2	13,2	Байрамалы	16,4	16,1
Тамды	13,8	13,8	Гаудан	10,6	10,6
Ташкент	13,8	13,6	Гасан-Кули	15,8	15,8
Дарганата	13,7	13,7	Хорог	8,9	8,9
Денау	16,4	16,1	Пскем	9,3	9,3
Елотен	15,7	15,6	Суусамыр	-2,0	-2,0
Кара-Кала	16,1	16,1	Каракуджур	-0,3	-0,4
Гушгы	14,9	14,8	Каракуль	-3,7	-3,8

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы годовых сумм осадков (в мм), рассчитанные за весь период наблюдений, по станциям и постам Средней Азии

Станция, пост	Нормы		Станция, пост.	Нормы	
	базовые	за весь период		базовые	за весь период
Ургенч	87,2	87,7	Чарвак	843,0	793,4
Нурата	243,4	230,5	Касансай	321,3	304,6
Ташкент	442,7	416,0	Ангрен	416,8	391,3
Джизак	403,7	402,1	Майдантал	825,8	787,5
Кокарал	347,5	335,9	Ангрен (долина)	543,7	526,1
Галляарал	355,7	344,2	Сары-Челек	953,7	922,5
Карши	257,8	244,4	Устье р. Тос	764,6	713,2
Каунчи	348,5	332,9	Устье р. Терс	312,4	296,2
Шахрисабз	552,7	549,9	Андиган	259,6	251,6
Самарканд	372,4	353,1	Пайтут	312,6	301,4
Дальверзин	328,2	309,4	Федченко	206,7	202,2
Чаткал	485,5	444,5	Коканд	117,5	109,8
Пскем	867,6	837,6	Фергана	171,1	177,3
Актаректава	1014,5	995,0	Шахристанский		
Гульча	497,0	495,5	перевал	444,4	417,4
Тассай	756,1	788,5	Искандеркуль	306,5	286,6
Донгузтау	861,3	832,9	Сангистон	220,9	211,1
Джергитал	738,8	686,8	Анзобский перевал	458,5	416,1
Воздвиженское	658,5	644,4	Мадрушкент	225,7	215,1
Тополино	445,1	437,8	Дехавз	328,1	309,4
Хайдаркан	531,7	525,9	им. Горбунова	1227,0	1213,6
Узген	624,5	615,2	Каракуль	80,0	71,6
Ош	348,1	352,9	Ишканим	112,8	109,5
Джидалик	262,1	239,3	Хорог	292,6	253,5
Шанюл	536,8	548,7	Джаушангоз	142,8	134,3

Станция	Нормы		Станция	Нормы	
	базовые	за весь период		базовые	за весь период
Тулекен	407,9	400,0	Рушан	248,0	251,5
Киргизата	459,0	444,3	Хазарноу	536,4	541,1
Палан	456,5	433,9	Татар	489,3	464,7
Дупкур	341,1	322,6	Рамит	1027,1	1030,8
С, усамыр	371,3	370,4	Тавильдора	907,8	905,1
Талас	329,6	313,4	Комсомолабад	899,0	878,7
Байтык	560,1	538,7	Душанбе (агро)	658,7	633,2
Бишкек	432,6	418,5	Дангара	567,4	556,3
Чонарык	617,0	608,7	Курган-Тюбе	287,7	287,2
Кочкорка	210,3	208,8	Куляб	583,8	561,6
Красный Октябрь	640,9	610,4	Душанбе	657,4	632,6
Нарын	307,1	300,2	Байсун	485,8	475,2
Каракуджур	382,3	330,8	Денау	360,7	357,4
Иккинарын	374,1	373,5	Шерабад	180,4	195,2
Тянь-Шань	321,7	312,5	Термез	136,1	140,0
Тамга	253,8	250,9	Гузар	337,9	327,2
Балыкчы	132,7	128,1	Дашнабад	612,4	581,0
Чолпоната	263,4	264,7	Дехканабад	331,3	325,6
Сары-Таш	384,2	365,7	Акрабат	444,0	433,3
Дарганата	105,3	109,4	Файзабад	821,8	822,8
Елотен	158,0	153,0	Чарджоу	122,9	117,1
Гушгы	294,0	282,0	Ч-шме	102,2	100,1
Тахтабазар	251,5	247,1	Теджен	154,1	148,8
Серахс	203,1	184,4	Репетек	121,8	116,0
Кзылджар	354,3	350,5	Каттагон	531,0	522,2
Саламалик	861,0	837,5	Кинггузар	472,9	476,6
Тассай	756,1	788,5	Косчан	575,5	572,5
Сарыбулак	772,2	752,3	Кампырбаши	332,5	327,9
Зарчуб	519,4	507,2	Угноргон	314,5	336,1

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы, рассчитанные за весь период наблюдений, сумм эффективных температур в °С, по станциям Средней Азии

Станция	Нормы		Станция	Нормы	
	базовые	за весь период		базовые	за весь период
Бозсу	2273	2358	Федченко	2301	2306
Джизак	2482	2501	Фергана	2306	2301
Сырдарья	2247	2267	Термез	2884	2934
Самарканд	2099	2114	Шерабад	3178	3215
Санзар	1530	1551	Ургенч	2395	2392
Галлялар	2054	2055	Карши	2765	2738
Бухара	2437	2532	Душанбе	2214	2270
Тамды	2693	2693	Шахристанский		
Акбайтал	2403	2428	перевал	1315	1324
Навои	2459	2480	им. Горбунова	277	273
Наманган	2422	2420	Комсомолобад	1829	1838
Касансай	1999	2031	Дангара	2575	2575
Анджидан	2360	2375	Курган-Тюбе	2655	2657
Ашгабат	2914	2933	Айвадж	2984	3009
Дарганата	2509	2505	Гушгы	2365	2384
Чарджев	2688	2684	Красноводск	2643	2665
Репетек	2935	2987	Пайтут	2359	2364
Бахарден	3042	3042	Тянь-Шань	342	331
Керки	2795	2805	Ош	1959	1956
Кизыл-Атрек	2803	2804	Бишкек	1688	1702
Байрамалы	2854	2856	Талас	1064	1088
Теджен	2952	2926	Каратал	702	709
Елотен	2626	2625	Сусамыр	260	269
Тахтабазар	2956	2976	Нарын	682	693
Джалал-Абад	2070	2084			

Таблица 4

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы, рассчитанные за весь период наблюдений, дат устойчивых переходов среднесуточных температур воздуха через 5°С весной и осенью по станциям Средней Азии

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Ташкент	2.03	1.03	20.11	23.11
Бозсу	26.02	24.02	25.11	25.11
Джизак	25.02	26.02	26.11	23.11
Сырдарья	27.02	26.02	22.11	20.11
Самарканд	27.02	28.02	26.11	23.11
Санзар	3.03	7.03	22.11	20.11
Нурата	3.03	4.03	23.11	22.11
Галляарал	3.03	5.03	22.11	19.11
Наримановка	28.02	2.03	23.11	21.11
Бухара	2.03	1.03	23.11	21.11
Тамды	3.03	4.03	22.11	19.11
Акбайтал	4.03	7.03	20.11	19.11
Навои	25.02	23.02	26.11	25.11
Наманган	1.03	27.02	22.11	22.11
Касансай	3.03	2.03	20.11	22.11
Андижан	1.03	28.02	20.11	20.11
Федченко	1.03	28.02	20.11	19.11
Коканд	1.03	28.02	20.11	20.11
Фергана	3.03	28.02	21.11	21.11
Байсун	2.03	4.03	23.11	24.11
Термез	22.02	19.02	26.11	28.11
Карши	18.02	18.02	27.11	28.11
Душанбе	17.02	18.02	5.12	6.12
Шахристанский перевал	23.05	20.05	27.09	26.09
Куляб	9.02	10.02	8.12	8.12
Курган-Тюбе	9.02	9.02	23.11	20.11
Айвадж	7.02	7.02	7.12	6.12
Ирхт	6.05	4.05	2.10	2.10
Мургаб	15.05	13.05	25.09	24.09
Хорог	26.03	25.03	6.11	6.11
Ашгабат	23.02	21.02	2.12	30.11
Дашховуз	15.03	15.03	26.11	23.11
Чагыл	6.03	6.03	20.11	18.11
Дарганата	7.03	6.03	28.11	17.11
Чарджев	24.02	22.02	26.11	23.11
Репетек	20.02	19.02	5.12	2.12
Бахарден	27.02	23.02	15.12	10.12

Продолжение табл. 4

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Кизыл-Атрек	8.02	9.02	8.12	6.12
Байрамалы	17.02	18.02	1.12	30.11
Теджен	18.02	18.02	3.12	3.12
Елотен	16.02	16.02	30.11	27.11
Тахтабазар	17.02	9.02	18.12	13.12
Гушгы	21.02	20.02	30.11	30.11
Бишкек	19.03	19.03	6.11	5.11
Талас	31.03	30.03	31.10	29.10
Пржевальск	4.04	3.04	21.10	20.10
Тео-Ашуу	1.06	2.06	10.09	10.09
Суусамыр	27.04	27.04	1.10	30.09
Нарын	6.04	6.04	20.10	19.10
Арпа	17.05	18.05	13.09	13.09
Джалал-Абад	9.03	9.03	18.11	17.11
Сары-Таш	27.05	27.05	19.09	19.09

Таблица 5

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы, рассчитанные за весь период наблюдений, дат устойчивых переходов среднесуточных температур воздуха через 10°C весной и осенью по станциям Средней Азии (номера дней от начала года)

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Бозсу	27.03	24.03	30.10	29.10
Джизак	27.03	24.03	1.11	31.10
Сырдарья	26.03	26.03	28.10	28.10
Самарканд	27.03	25.03	29.10	29.10
Санзар	31.03	31.03	26.10	26.10
Нурата	29.03	28.03	27.10	27.10
Галляарал	29.03	28.03	26.10	26.10
Наримановка	29.03	28.03	28.10	27.10
Бухара	27.03	26.03	27.10	28.10

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Тамды	27.03	27.03	27.10	26.10
Акбайтал	29.03	30.03	25.10	25.10
Навои	25.03	25.03	31.10	30.10
Наманган	24.03	22.03	30.10	29.10
Касансай	28.03	27.03	28.10	29.10
Андижан	27.03	24.03	30.10	29.10
Федченко	25.03	24.03	28.10	30.10
Коканд	24.03	21.03	29.10	29.10
Фергана	26.03	24.03	29.10	27.10
Байсун	28.03	28.03	28.10	28.10
Термез	16.03	16.03	6.11	7.11
Шерабад	10.03	10.03	16.11	17.11
Ургенч	29.03	28.03	22.10	23.10
Карши	21.03	21.03	1.11	1.11
Душанбе	18.03	18.03	7.11	7.11
Шахристанский перевал	6.07	6.07	21.08	20.08
Куляб	12.03	13.03	13.11	13.11
Курган-Тюбе	12.03	14.03	8.11	7.11
Айвадж	10.03	12.03	12.11	11.11
Ирхт	12.06	12.06	7.09	6.09
Мургаб	21.06	21.06	30.08	31.08
Хорог	17.04	16.03	17.10	17.10
Ашгабат	18.03	19.03	7.11	5.11
Дашховуз	30.03	30.03	23.10	23.10
Чагыл	30.03	30.03	28.10	27.10
Дарганата	25.03	26.03	25.10	24.10
Чарджев	24.03	23.03	3.11	31.10
Репетек	19.03	20.03	5.11	4.11
Бахарден	20.03	19.03	8.11	6.11
Кизыл-Атрек	21.03	21.03	14.11	14.11
Байрамалы	17.03	16.03	9.11	8.11
Теджен	15.03	15.03	12.11	9.11
Елотен	16.03	16.03	6.11	4.11
Тахтабазар	16.03	16.03	9.11	8.11
Гушгы	23.03	24.03	6.11	4.11
Бишкек	7.04	7.04	18.10	17.10
Талас	17.04	16.04	2.10	3.10
Пржевальск	30.04	29.04	30.09	29.09
Тео-Антуу	28.04	17.04	12.08	14.08
Суусамыр	24.05	25.05	7.09	6.09
Нарын	3.05	1.05	1.10	30.09
Арпа	5.07	6.07	20.08	20.08
Джалал-Абад	29.03	28.03	30.10	30.10
Сары-Таш	4.07	6.07	20.08	20.08

Таблица 6

Базовые нормы (1951-1990 годы) и нормы, рассчитанные за весь период наблюдений, дат устойчивых переходов среднесуточных температур воздуха через 15°C весной и осенью по станциям Средней Азии

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Бозсу	13.04	11.04	5.10	6.10
Джизак	13.04	11.04	6.10	7.10
Сырдарья	13.04	13.04	3.10	3.10
Самарканд	16.04	13.04	4.10	5.10
Навои	11.04	11.04	4.10	5.10
Наманган	10.04	10.04	6.10	7.10
Касансай	16.04	15.04	3.10	4.10
Андижан	11.04	11.04	5.10	6.10
Федченко	11.04	11.04	5.10	5.10
Коканд	10.04	9.04	5.10	6.10
Фергана	14.04	12.04	5.10	4.10
Шерабад	1.04	2.04	22.10	24.10
Чимбай	20.04	20.04	25.09	27.09
Ургенч	15.04	13.04	1.10	1.10
Карши	10.04	9.04	9.10	10.10
Душанбе	14.04	14.04	11.10	13.10
Куляб	10.04	9.04	20.10	21.10
Курган-Тюбе	8.04	8.04	15.10	17.10
Айвадж	4.04	3.04	17.10	18.10
Ирхт	19.07	19.07	15.08	16.08
Мургаб	22.07	22.07	7.08	8.08
Хорог	17.05	16.05	2.10	1.10
Ашгабат	7.04	7.04	17.10	18.10
Ташауз	15.04	13.04	3.10	5.10
Чагыл	14.04	14.04	11.10	11.10
Дарганата	11.04	12.04	8.10	7.10
Чарджев	7.04	8.04	10.10	11.10
Репетек	6.04	5.04	13.10	14.10
Бахарден	8.04	6.04	19.10	20.10
Кизыл-Атрек	8.04	5.04	22.10	23.10
Байрамалы	4.04	3.04	17.10	17.10
Теджен	2.04	2.04	21.10	21.10
Елотен	5.04	6.04	13.10	13.10
Тахтабазар	7.04	6.04	17.10	18.10
Гушгы	12.04	13.04	10.10	10.10

Базовые нормы (1951-1980 годы) и нормы, рассчитанные за весь период наблюдений, дат последних весенних и первых осенних заморозков по станциям Средней Азии

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Ташкент	27.03	27.03	2.11	27.10
Бозсу	23.03	22.03	31.10	31.10
Джизак	20.03	20.03	7.11	31.10
Сырдарья	29.03	26.03	17.10	19.10
Самарканд	25.03	28.03	31.10	30.10
Санзар	6.04	7.04	22.10	23.10
Галляарал	5.04	5.04	6.10	7.10
Наримановка	25.03	23.03	29.10	28.10
Тамды	25.03	26.03	25.10	24.10
Акбайтал	4.04	3.03	14.10	16.10
Навои	22.03	23.03	19.10	20.10
Наманган	13.03	13.03	9.11	6.11
Касансай	21.03	22.03	9.11	6.10
Андижан	17.03	17.03	2.11	31.10
Федченко	18.03	20.03	5.11	31.10
Коканд	17.03	17.03	30.10	1.11
Фергана	14.03	18.03	5.11	3.11
Шерабад	3.03	28.02	27.11	26.11
Чимбай	8.04	8.04	11.10	13.10
Ургенч	29.03	30.03	22.10	21.10
Карши	21.03	20.03	3.11	30.10
Душанбе	20.03	21.03	10.11	11.11
Худжанд	19.03	17.03	11.11	8.11
Шахристанский перевал	4.06	8.06	13.09	14.09
Сангистон	29.03	3.04	5.11	3.11
Комсомолабад	25.03	24.03	15.11	13.11
Дангора	15.03	17.03	12.11	10.11
Куляб	11.03	12.03	26.11	23.11
Курган-Тюбе	10.03	12.03	14.11	13.11
Пархар	12.03	13.03	13.11	10.11
Айвадж	5.03	4.03	21.11	18.11
Ирхт	29.05	1.06	21.09	20.09
Мургаб	22.06	21.06	23.08	25.08
Хорог	2.04	4.04	4.10	7.10
Ашгабат	11.03	13.03	8.11	8.11
Дашховуз	31.03	31.03	24.10	23.10
Чагыл	29.03	28.03	24.10	24.10

Станция	Нормы			
	весна		осень	
	базовые	за весь период	базовые	за весь период
Дарганата	25.03	27.03	20.10	19.10
Чарджев	18.03	18.03	4.11	1.11
Репетек	25.03	25.03	14.10	17.10
Бахарден	13.03	14.03	11.11	11.11
Керки	11.03	10.03	6.11	6.11
Кизыл-Атрек	5.03	3.03	27.11	27.11
Байрамалы	14.03	15.03	5.11	3.11
Теджен	10.03	11.03	11.11	7.11
Елотен	16.03	18.03	3.11	30.10
Тахтабазар	18.03	16.03	4.11	1.11
Гушгы	22.03	23.03	28.10	26.10
Бишкек	11.04	10.04	12.10	13.10
Талас	28.04	29.04	27.09	28.09
Каратал	5.04	5.04	2.10	1.10
Тео-Ашуу	12.04	15.06	4.09	4.09
Суусамыр	5.04	8.06	21.08	19.08
Нарын	28.04	30.04	2.10	1.10
Арпа	19.03	3.04	4.11	16.10
Джалал-Абад	20.03	19.03	8.11	6.11
Сары-Таш	21.03	7.04	25.10	12.10

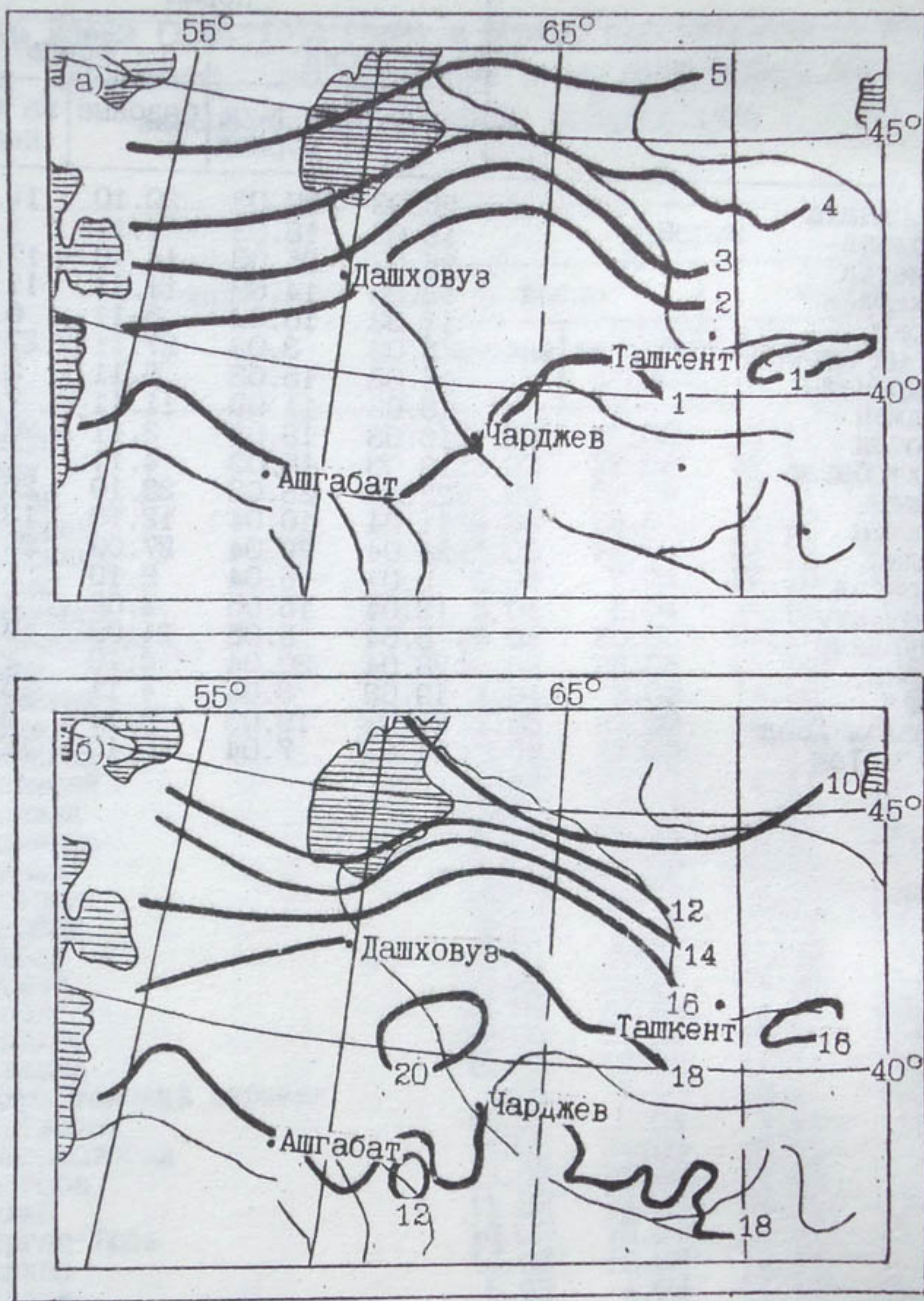


Рис.П.2.1. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 С весной. 1 - I декада февраля, 2 - II декада февраля, 3 - III декада февраля, 4 - I декада марта, 5 - II декада марта. б) Среднеквадратические отклонения, сут.

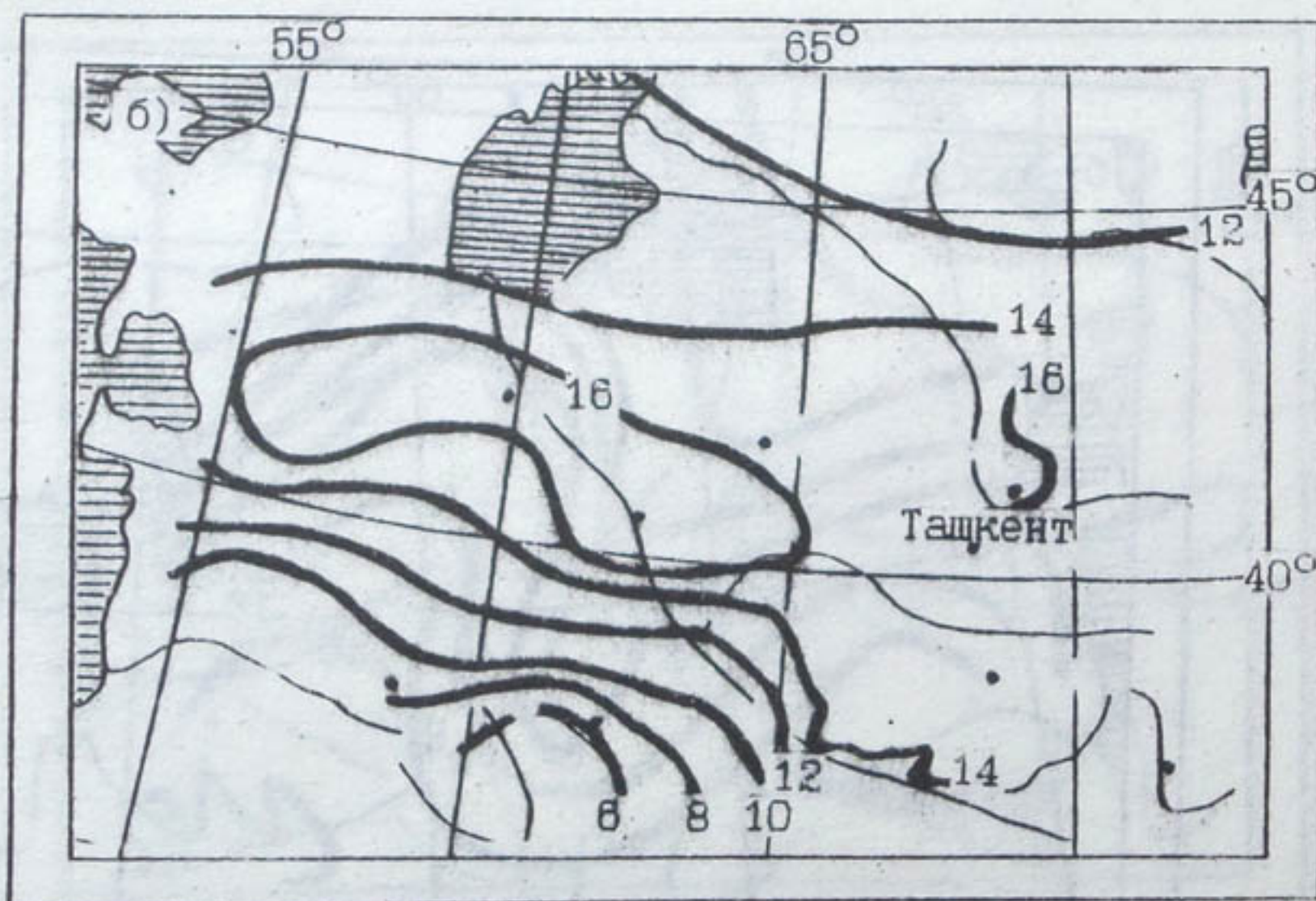
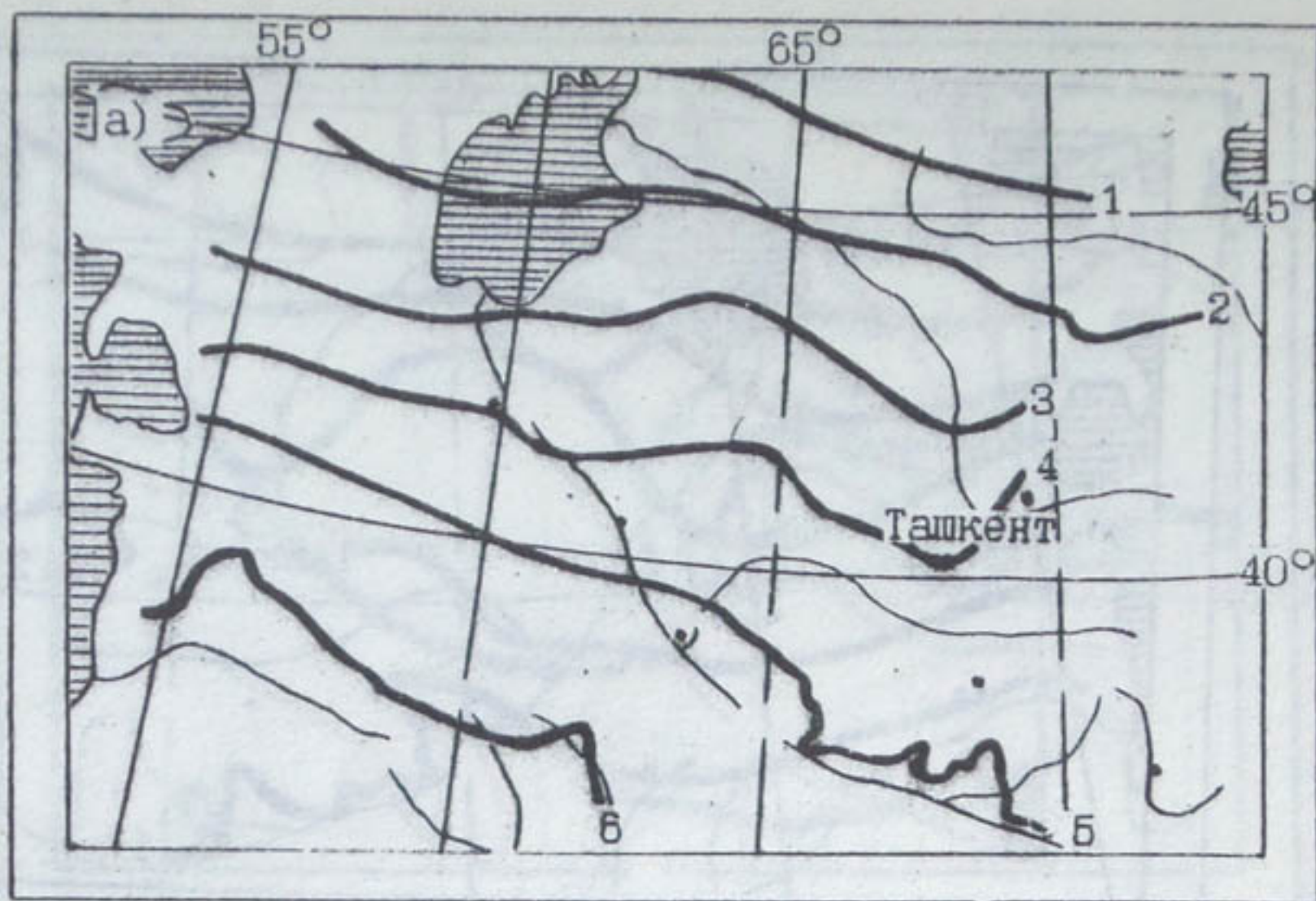


Рис. П.2.2. а) средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C осенью. 1 - I декада ноября., 2 - II декада ноября, 3 - III декада ноября, 4 - I декада декабря, 5 - II декада декабря. б) Среднеквадратические отклонения, сут.

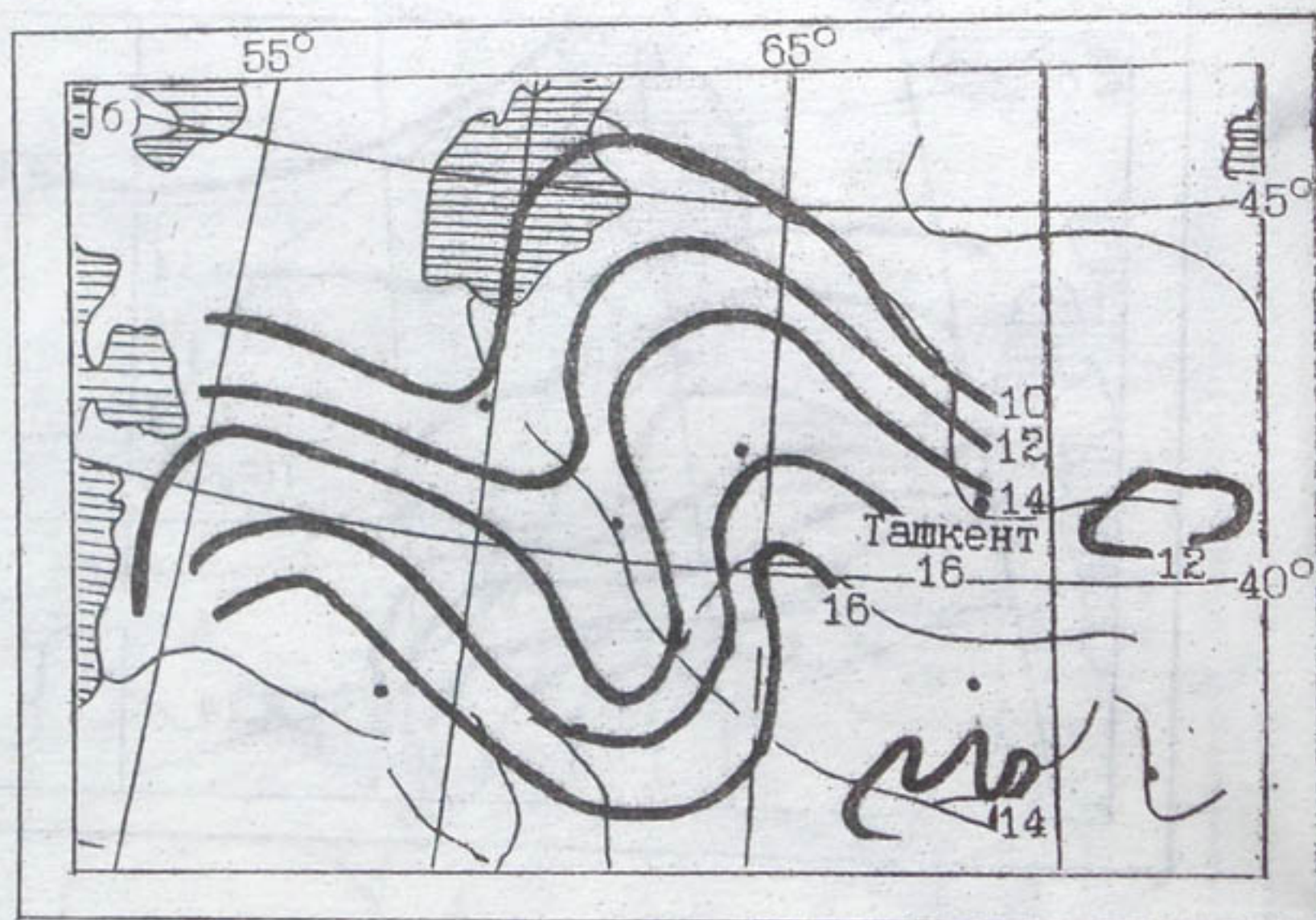
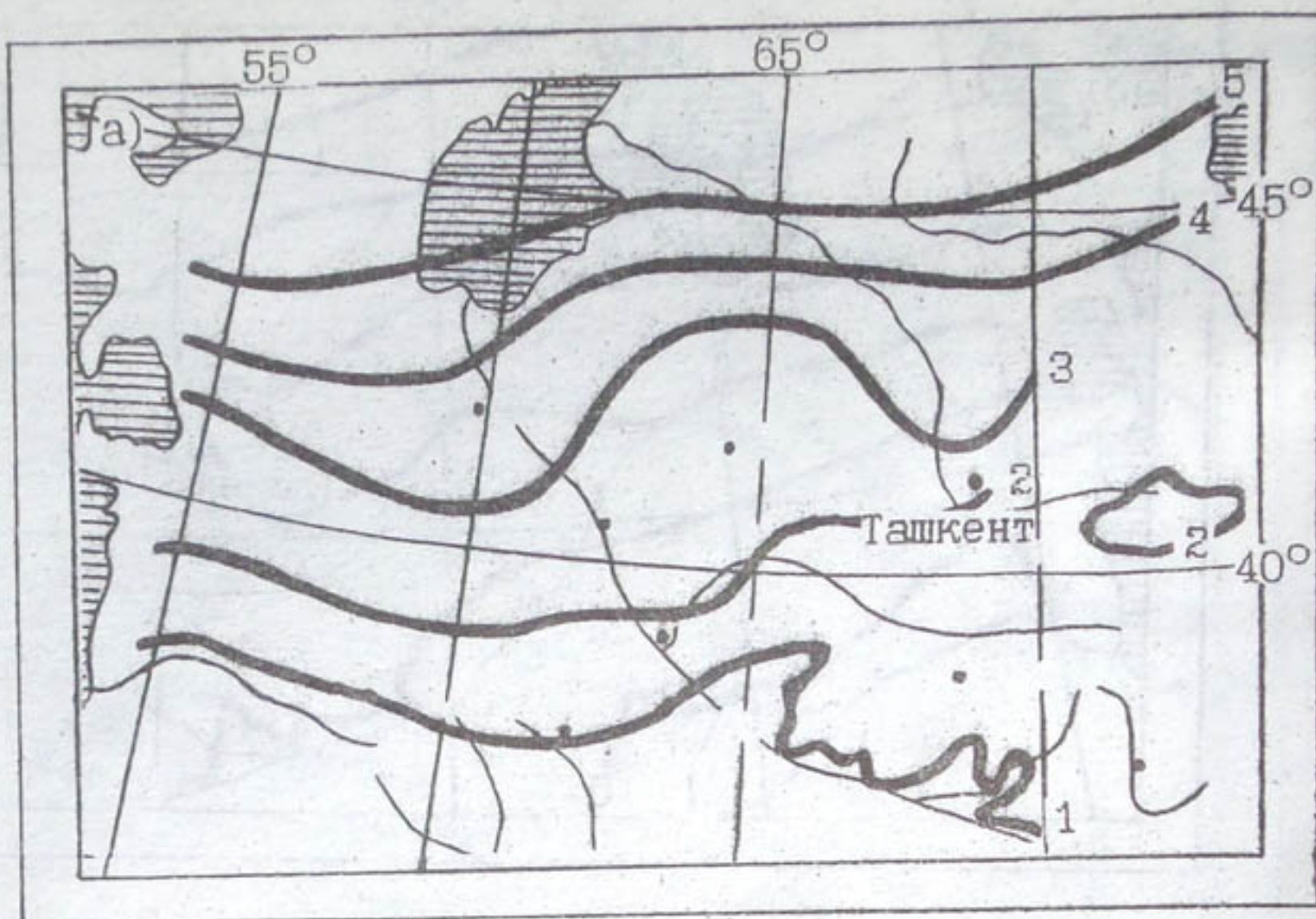


Рис. П. 2. 3. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 С весной. 1 - II декада февраля, 2 - III декада февраля, 3 - I декада марта, 4 - II декада марта, 5 - III декада марта. б) Среднеквадратические отклонения, сут.

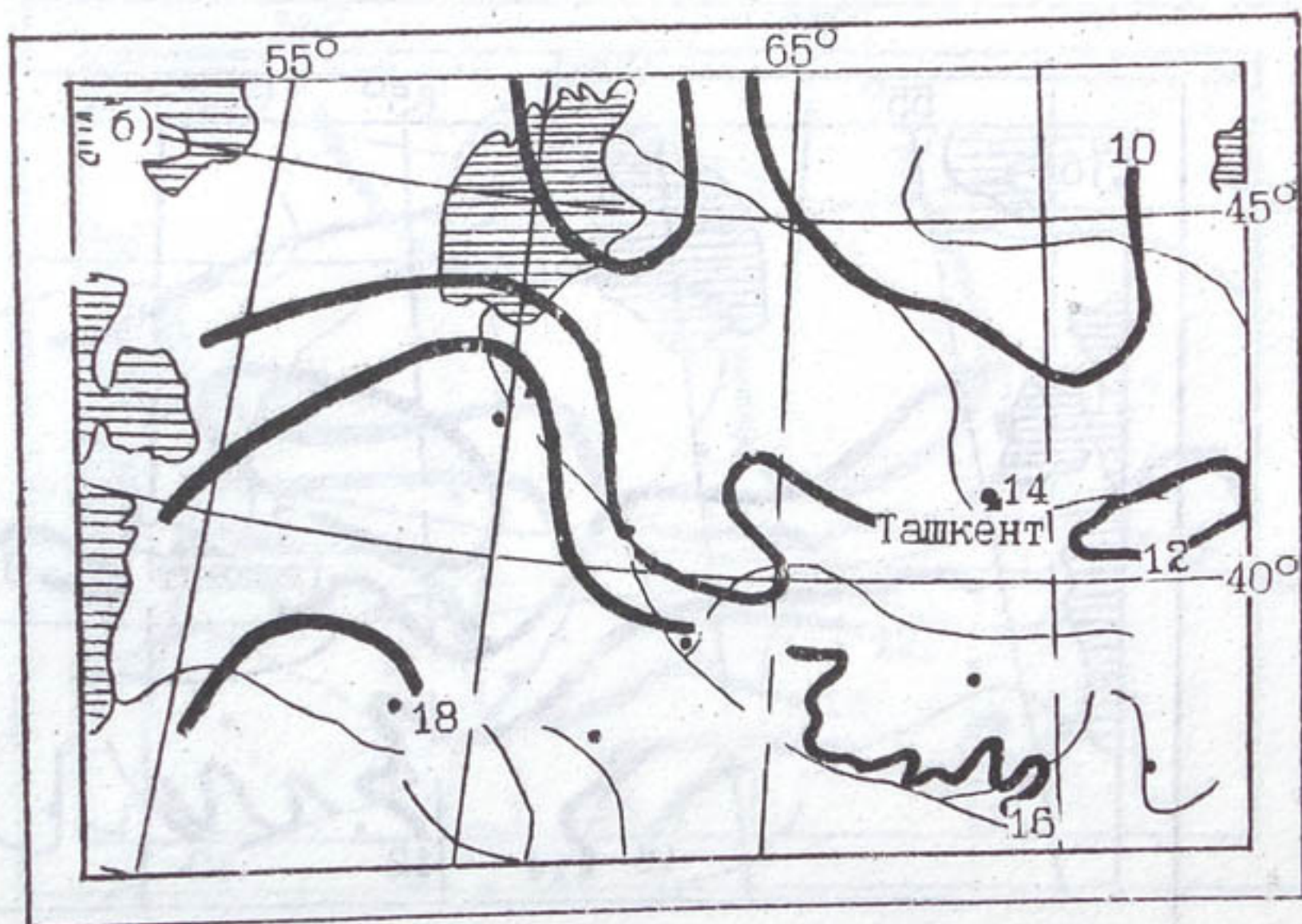
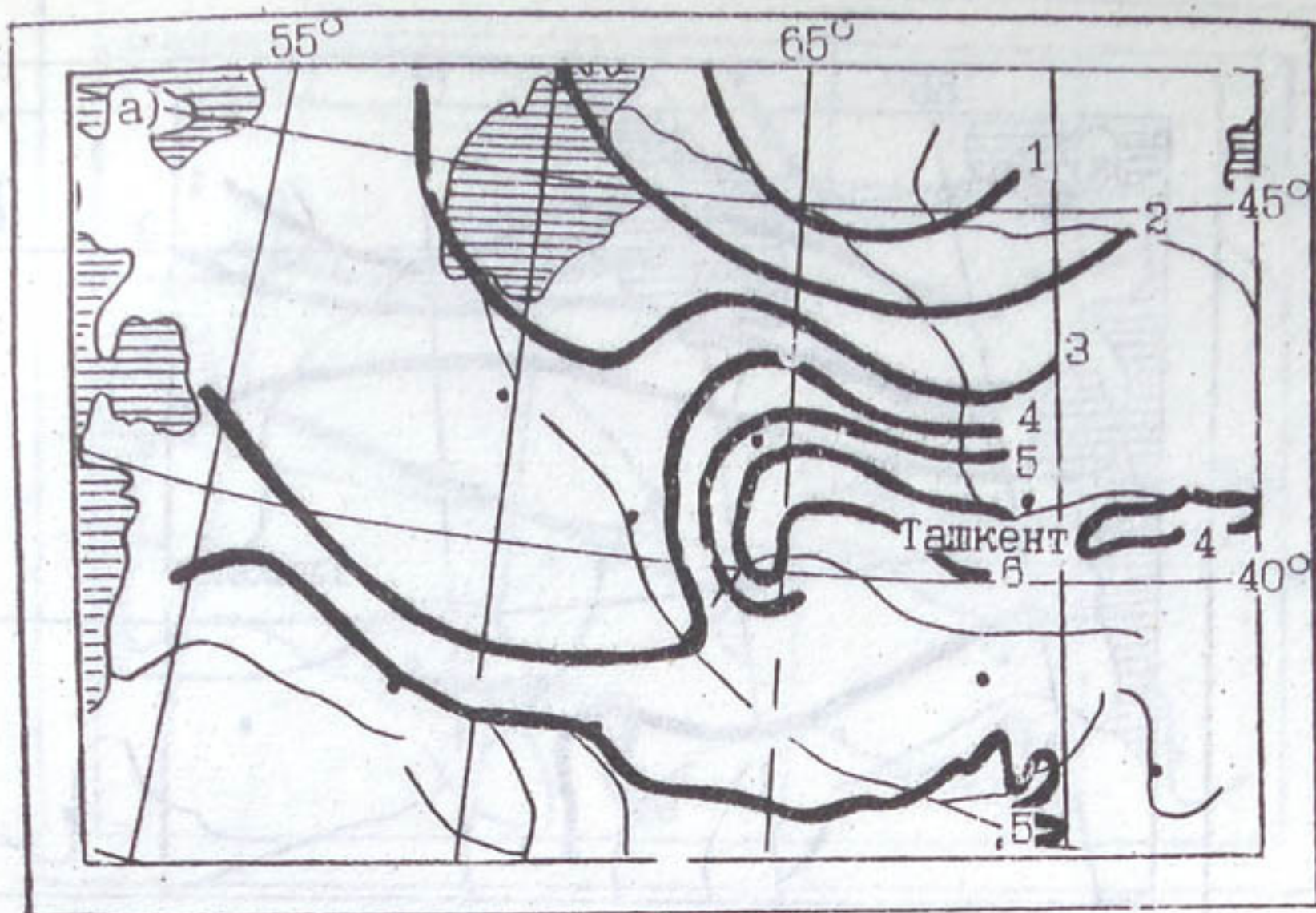


Рис. П. 2. 4. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 С осенью. 1 - III декада сентября, 2 - I декада октября, 3 - II декада октября, 4 - III декада октября, 5 - I декада ноября, 6) Среднеквадратические отклонения, сут.

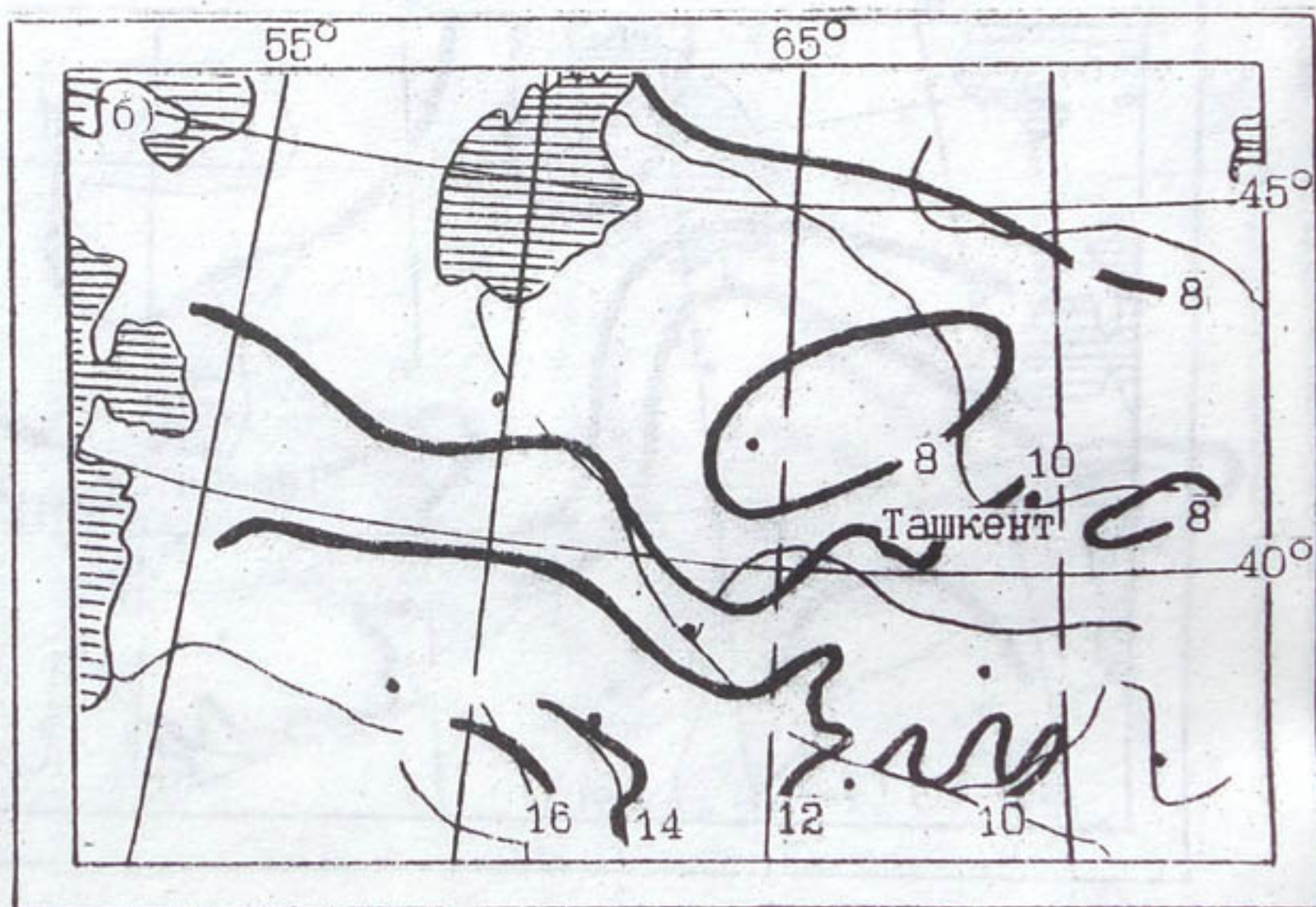
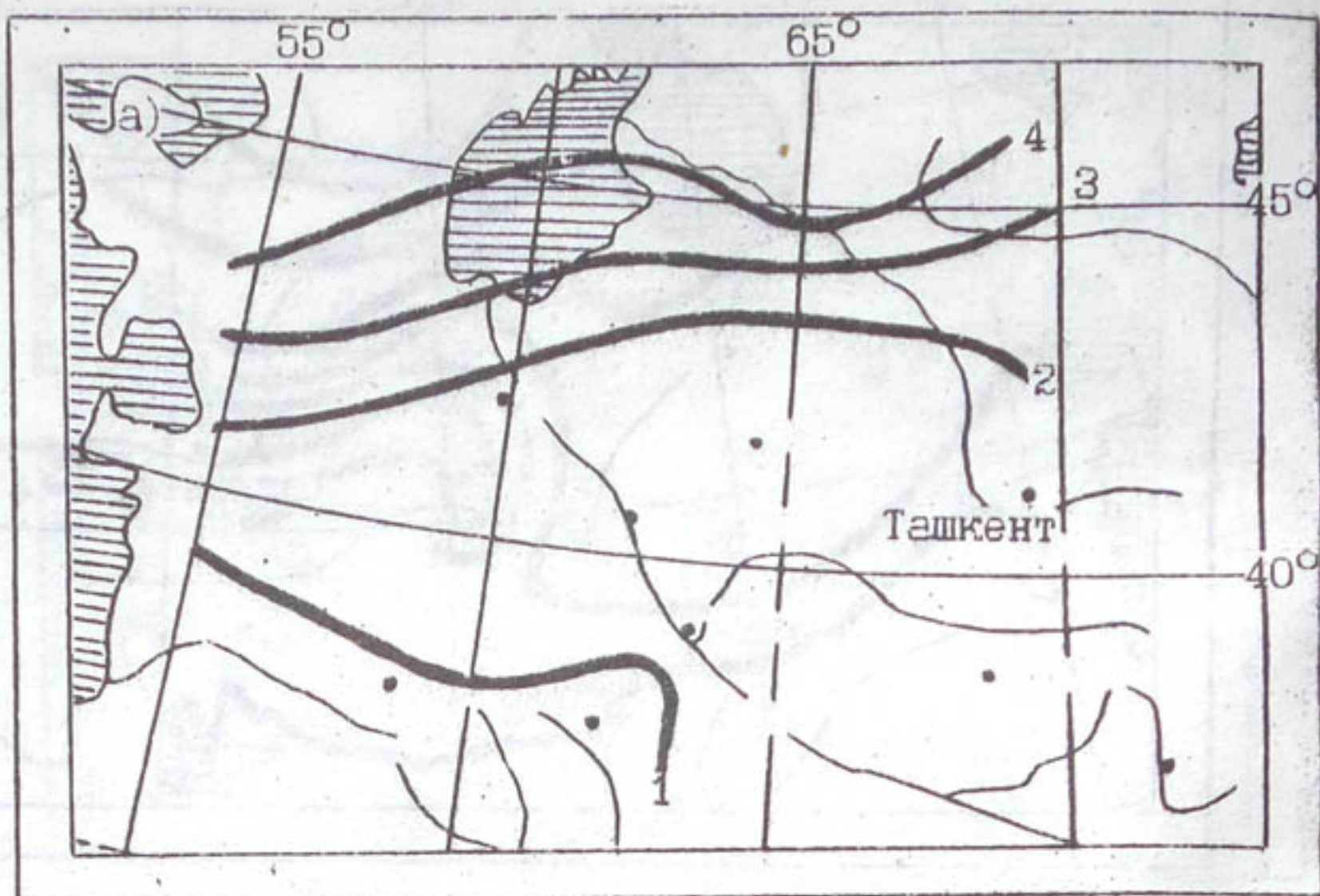


Рис. П. 2. 5. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 С весной. 1 - II декада марта. 2 - III декада марта. 3 - I декада апреля. 4 - II декада апреля. б) Среднеквадратические отклонения, сут.

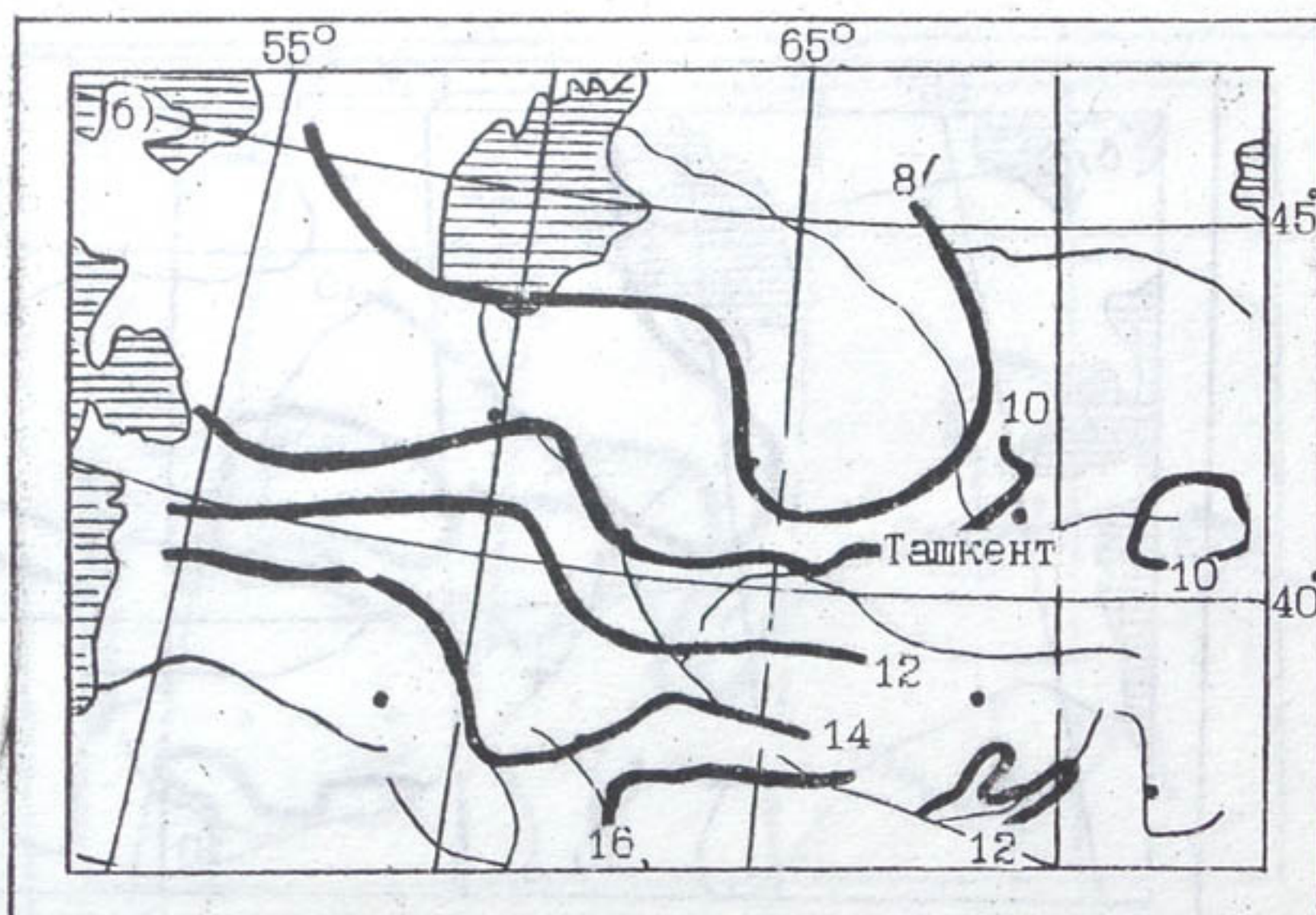
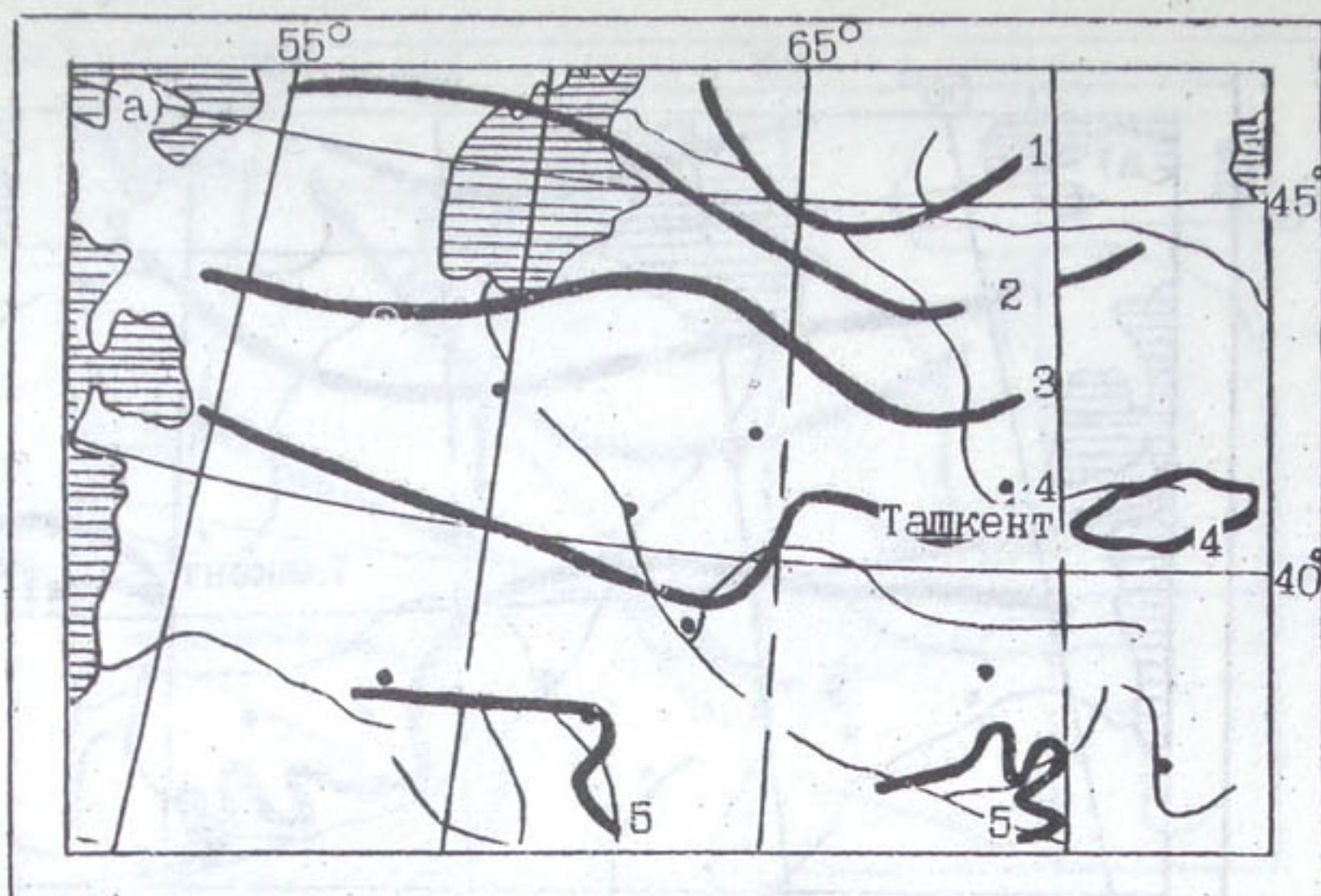


Рис. П. 2. 6. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10°C осенью.
 1 - III декада сентября, 2 - I декада октября, 3 - II декада октября, 4 - III декада октября, 5 - I декада ноября.
 б) Среднеквадратические отклонения, сут.

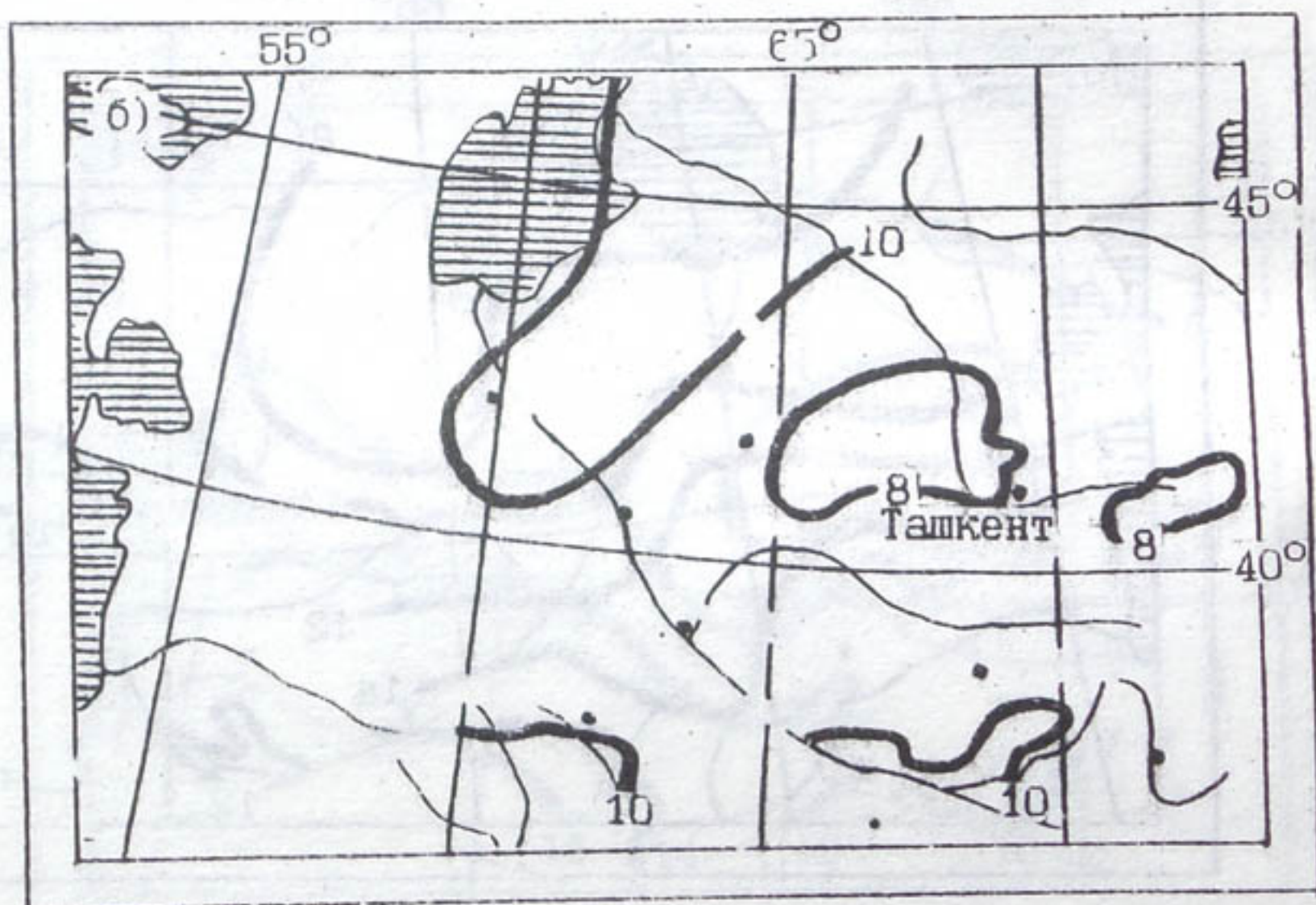
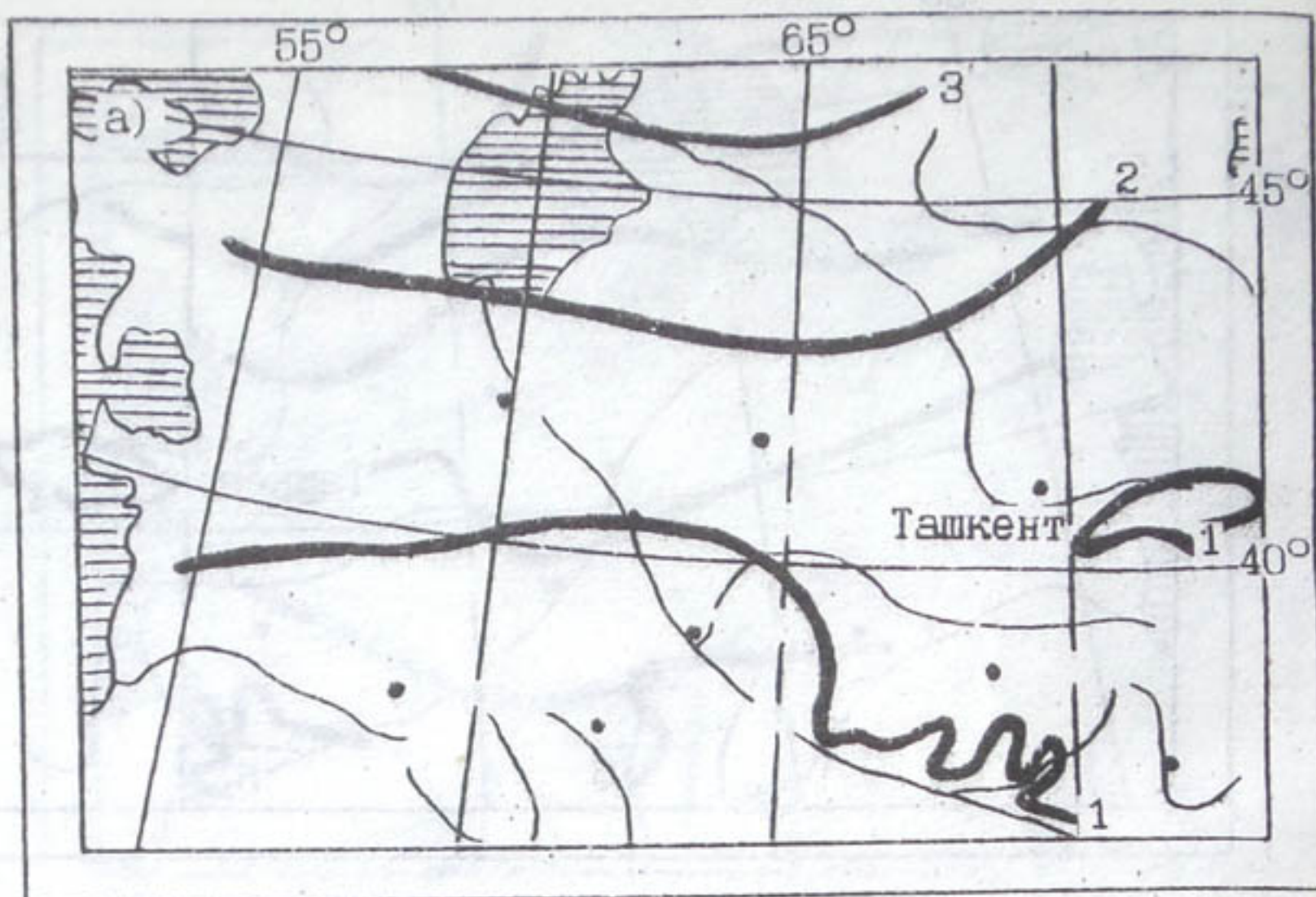


Рис. П.2.7. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 15°C весной. 1 - I декада апреля, 2 - II декада апреля, 3 - III декада апреля.

б) Среднеквадратические отклонения, сут.

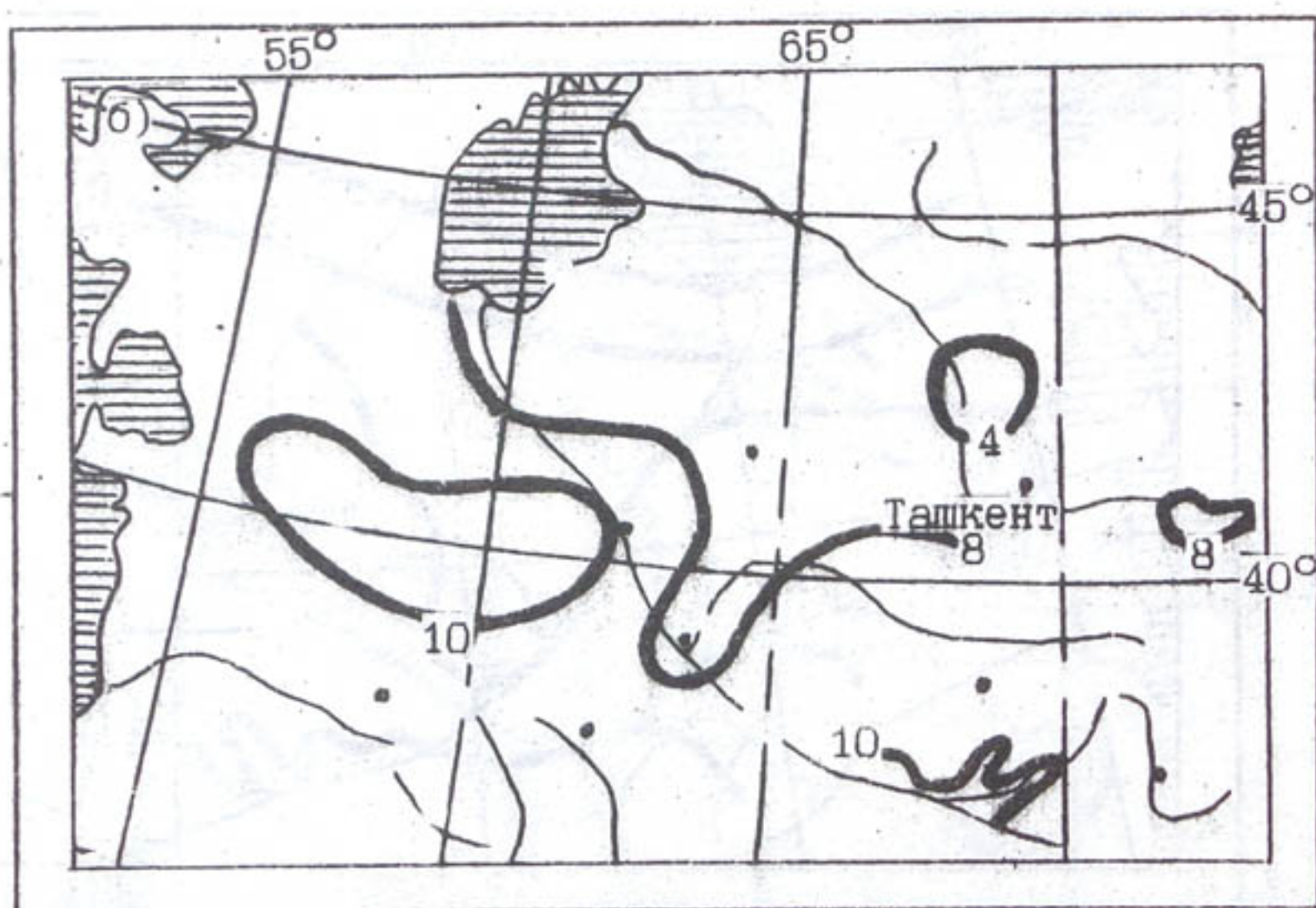
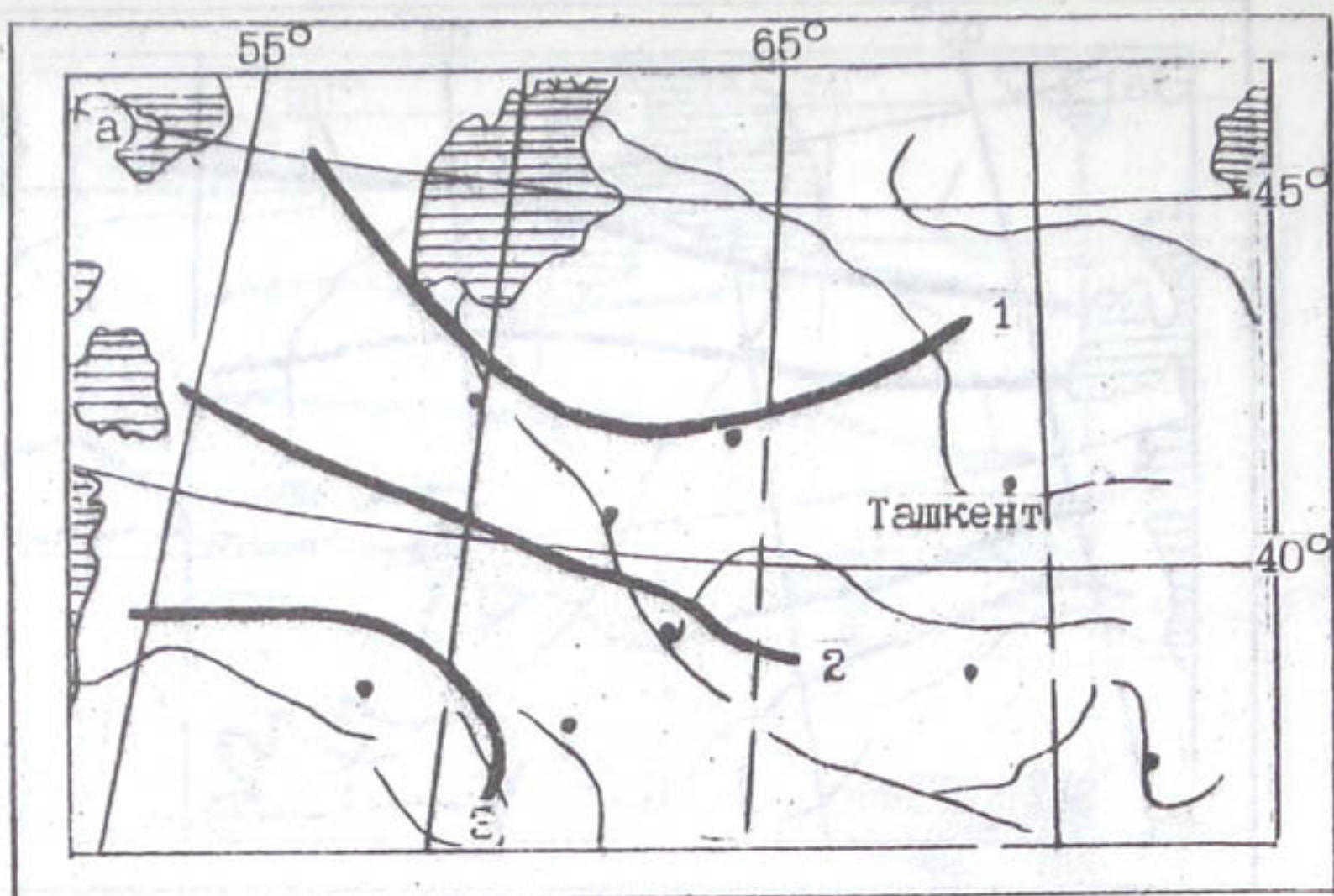


Рис. П. 2.8. а) Средние многолетние даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 15°C оселью. 1 - III декада сентября, 2 - I декада октября, 3 - II декада октября.
б) Среднеквадратические отклонения, сут.

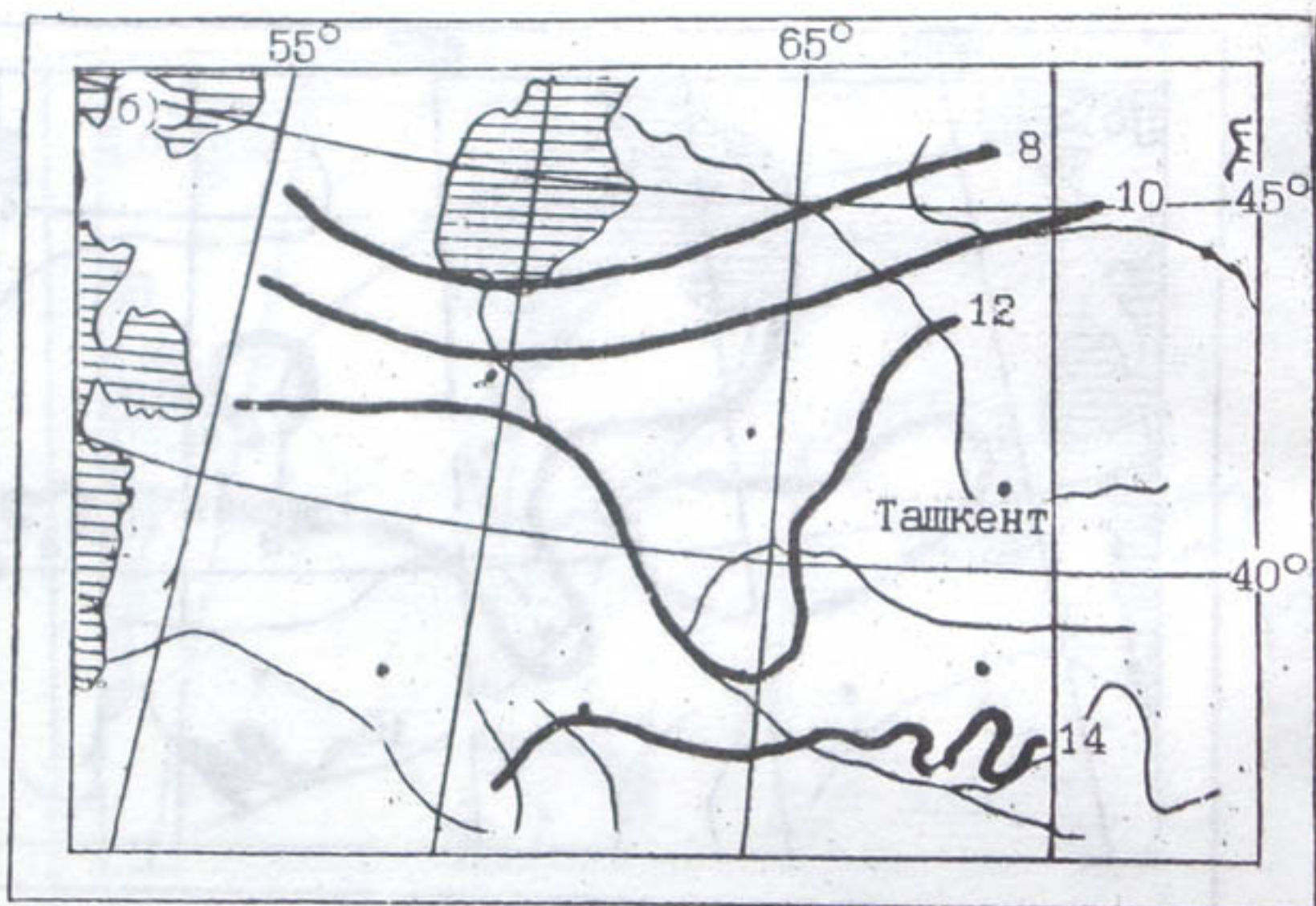
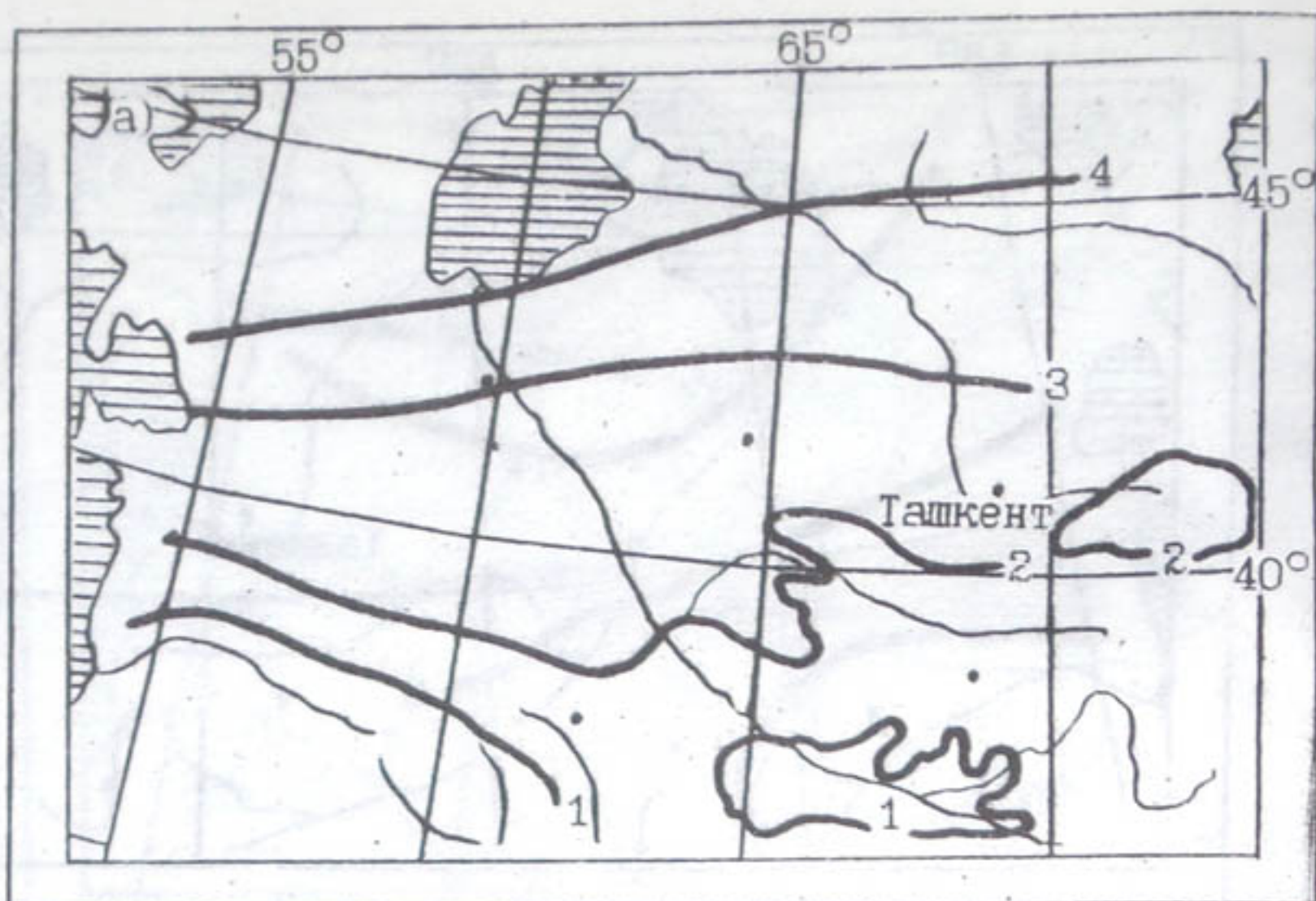


Рис. П. 2. 9. а) Средние многолетние даты последних весенних заморозков.

1 - I декада марта, 2 - II декада марта, 3 - III декада марта, 4 - I декада апреля.

б) Среднеквадратические отклонения, сут.

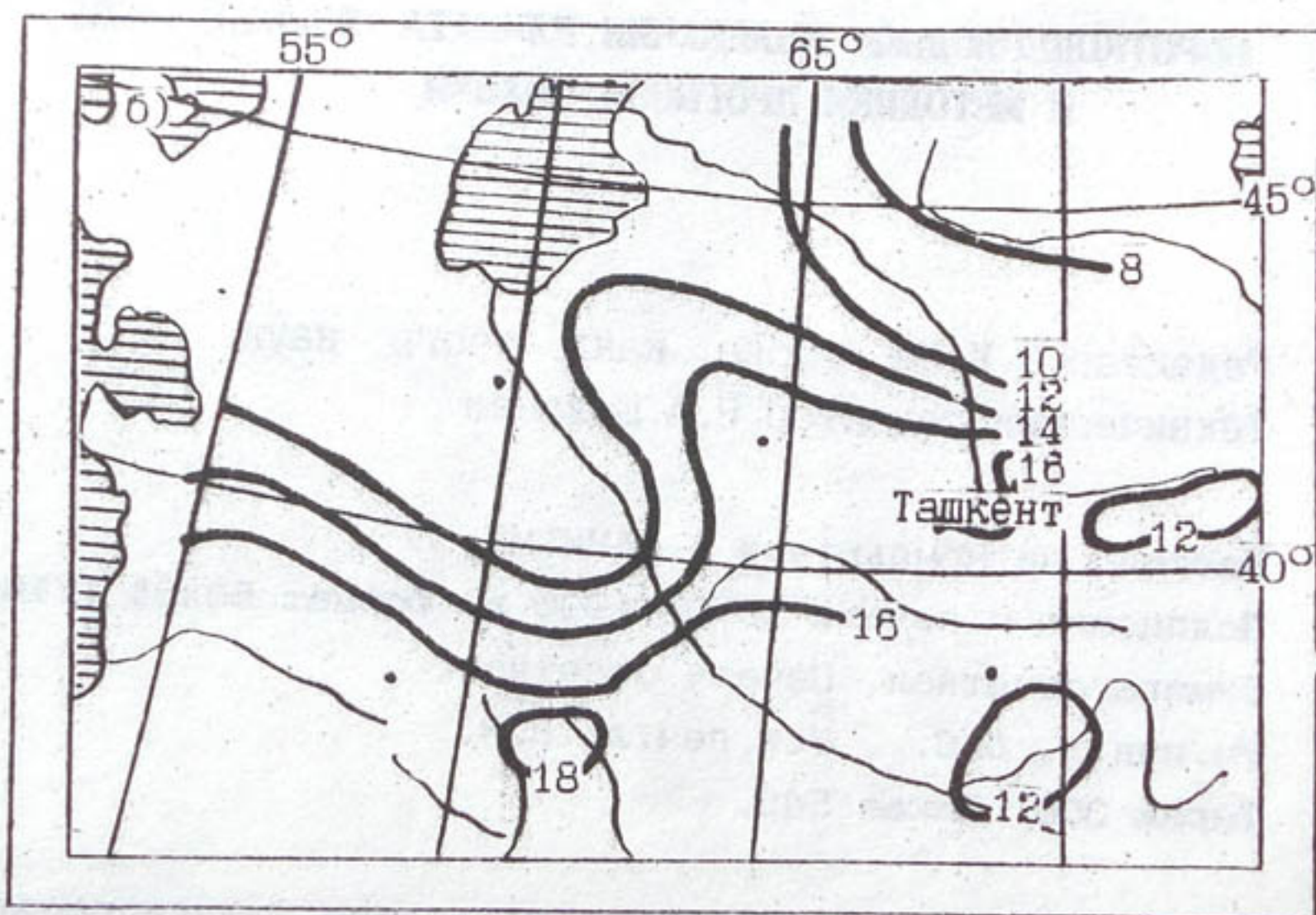
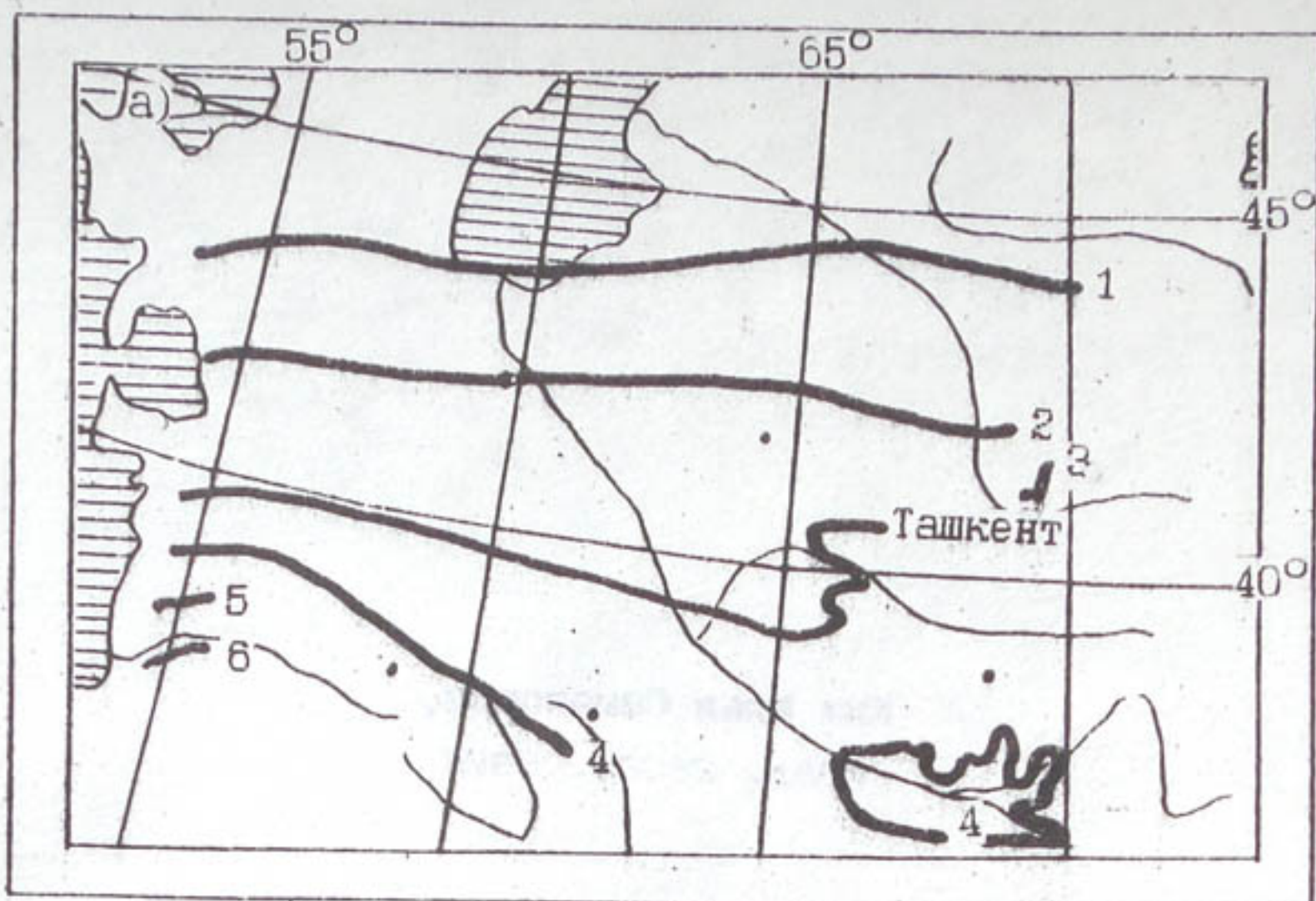


Рис. П. 2. 10. а) Средние многолетние даты первых осенних заморозков.
 1 - I декада октября, 2 - II декада октября, 3 - III декада октября, 4 - I декада ноября, 5 - II декада ноября, 6 - III декада ноября.
 б) Среднеквадратические отклонения, сут.

Ким Илья Семенович,
канд. геогр. наук

**КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА СРЕДНЕЙ АЗИИ
И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Редактор С.И.Инагамова, канд. геогр. наук
Технический редактор Н.А.Шелаева

Набрано на компьютере в САНИГМИ.

Подписано к печати 28.05.1996 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Уч.изд.л. 6,8. Усл.печ.л. 8,8.

Тираж 300. Заказ 545.

Издательский отдел САНИГМИ, Типография Главгидромета РУз,
700052, Ташкент, Обсерваторская, 72.