

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НАД КАЗАХСТАНОМ

А. В. Чередниченко, А. В. Чередниченко, В. С. Чередниченко

*НИИ проблем биологии и биотехнологии Казахского Национального университета им. аль-Фараби,
Казахстан*

Поступила в редакцию 7 октября 2016 г.

Аннотация: В настоящей работе рассматриваются климатические колебания температуры и осадков на территории Республики Казахстан в течение двадцатого века. Известно, что в последние десятилетия и в начале нынешнего века имеет место глобальное потепление, что сильно беспокоит все человечество. Причиной потепления многие ученые называют антропогенное воздействие, обусловленное большими выбросами парниковых газов в атмосферу, которые оказывают утепляющее воздействие на планету, задерживая длинноволновое излучение Земли. Интенсивно разрабатываются программы адаптации к новым условиям, а также программы смягчения, т.е. уменьшения потепления в довольно отдаленном будущем.

Не вдаваясь в дискуссию о причинах глобального потепления, мы рассмотрели, как изменялась и изменяется температура и осадки на территории Казахстана, с тем, чтобы дать рекомендации по выбору путей адаптации, особенно адаптации сельскохозяйственной отрасли, к новым климатическим условиям.

Ключевые слова: изменения климата, временные ряды температуры и осадков, аппроксимация и гармонический анализ, начало похолодания.

Abstract: The work presents data over climate shifts of temperature and downfalls within the territory of the Republic of Kazakhstan in the 20th century. It is known that the last decades and the beginning of the present century are characterized by global warming, the effect which concerns all humanity. The majority of scientists consider human impact as a reason of warming as the impact is stipulated by significant greenhouse gas emissions, which exercise warming effect on the planet, impeding long-wave length radiation of the Earth. Adaptation programmes for new conditions and alleviation programmes for reduction of warming in a long-term period are under development now.

Without getting into discussion about reasons of the global warming, we consider, shifts of temperature and downfalls within the territory of Kazakhstan, in order to elaborate some recommendations over adaptation approaches, particularly adaptation of agricultural sector to the new climate conditions.

Key words: climate changes, time series of temperature and precipitation, approximation and harmonic analysis, beginning of cooling.

Проблема изменения климата является одной из наиболее актуальных в мире, поскольку затрагивает практически все страны и виды хозяйственной деятельности, хотя и в разной степени. Почти вся территория Казахстана расположена в аридной зоне, основная зона земледелия находится на севере (Северный Казахстан) в зоне рискованного земледелия, где из пяти лет два неурожайных. В

этих условиях глобальное потепление может привести к потере возможности обеспечивать свое население сельскохозяйственной продукцией, а это значит потерей продовольственной независимости.

Постоянной проблемой в Республике является недостаток воды. Ряд территорий испытывают недостаток даже питьевой воды. Глобальное потепление может данную проблему сильно усложнить.

В настоящем анализе мы рассматриваем временное и пространственное изменение только тем-

пературы воздуха и осадков. Материалы горных и высокогорных станций Алтая, Джунгарского и Заилийского Алатау в анализе не рассматривались.

Для анализа климатических элементов были использованы данные 45 метеорологических станций, что охватывает практически весь период наблюдений. Но, поскольку некоторые станции имели ряды короче, чем с начала XX века, то для достижения совместимости метеоданных при построении карт, они были ограничены периодом с 1930 годом.

При анализе климатических элементов мы отказались от линейной аппроксимации временных рядов ввиду того, что линейные тренды обладают большой временной инерцией. Так, чтобы перейти от выраженного положительного тренда температуры, характерного для последних десятилетий, к отрицательному, требуется более 10 лет, т.к. при выраженном понижении температуры тренд будет еще долго плавно уменьшать угол наклона до нуля. Поэтому мы аппроксимировали наши ряды полиномом шестой степени, который с одной стороны хорошо сглаживает временной ряд, сохраняя, однако, климатические экстремумы, а с другой полином достаточно чутко реагирует на изменение знака динамики всего за несколько лет. Недостатком такого метода аппроксимации является то, что мы не знаем, как долго будет сохраняться знак (направление) изменения изучаемого параметра. Поэтому одновременно с аппроксимацией временного ряда полиномом шестой степени мы широко использовали гармонический анализ рядов. В отличие от спектрального анализа выделяемые гармоники по времени привязаны к временному ряду, амплитуда каждой гармоники является мерой ее вклада в общую дисперсию ряда и в этом достоинство метода. Вторым важным достоинством гармонического анализа является наличие физического обоснования, суть которого в том, что каждая гармоника – это результат воздействия какого-то вполне определенного энергетического источника или суммы источников. Гармонический анализ, как известно, подразумевает разложение исходного временного ряда на тригонометрические функции. При этом каждая гармоника выбирает свою часть дисперсии. Чем быстрее сходится ряд, тем меньшим числом гармоник он может быть представлен. В нашем исследовании на уровне 95 % дисперсии временные ряды температуры замещались тремя-четырьмя гармониками, а осадков – четырьмя-пятью, т.е. временные ряды осадков сходятся медленнее. В тексте, однако, вклад гармоник мы оцениваем не долей дисперсии, а до-

лей среднего квадратического. Это позволяет нам использовать для меры рассеяния градусы и миллиметры соответственно, что очень удобно.

Если полином шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на тенденции в его динамике, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую из гармоник принято интерпретировать как результат воздействия определенной группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, существовавшие в процессе формирования климата ранее, вдруг исчезнут. Это утверждение позволяет строить сценарии изменения временного ряда на перспективу 20-30 лет как сумму основных его гармоник в каждой точке ряда, продленных на такой же период вперед.

Совпадение направлений аппроксимирующей линии и динамики сумм амплитуд основных гармоник показывает, случайны ли аппроксимируемые изменения или они обусловлены ходом основных гармоник.

В работе использована типизация макропроцессов по Вангенгейму-Гирсу, которая получила широкое распространение в России и странах бывшего Советского Союза [2]. Эта типизация основана на локализации волн Россби, т.е. на местоположении ложбин и гребней поля геопотенциала в средней тропосфере региона от середины Атлантики до 100° в.д. Если над Европейской частью России, т.е. западнее Уральского хребта, расположена ложбина, то восточнее этого хребта расположен гребень и такая ситуация относится к типу С (Mixed). При обратном расположении ложбины и гребня ситуация относится к типу Е (East). Ось гребня при такой ситуации может смещаться заметно восточнее, до совпадения с осью горного хребта.

Если же гребни и ложбины выражены слабо, меридиональные преобразования слабы, преобладает западно-восточный перенос, то такая ситуация относится к типу W (West). Количественных оценок интенсивности типов типизация Вангенгейма-Гирса не содержит.

Климатическими колебаниями принято считать колебания с периодом в 10 и более лет. К настоящему времени такой подход считается общепринятым и мы в нашей работе рассматриваем и называем климатическими колебания с периодом, превышающим 10 лет [4].

В [10-12] были всесторонне рассмотрены особенности изменения климата над территорией Казахстана и найдена общая зависимость его колебаний от индексов общей циркуляции атмосферы НАО, индексов Багрова и Токарева. Там же было

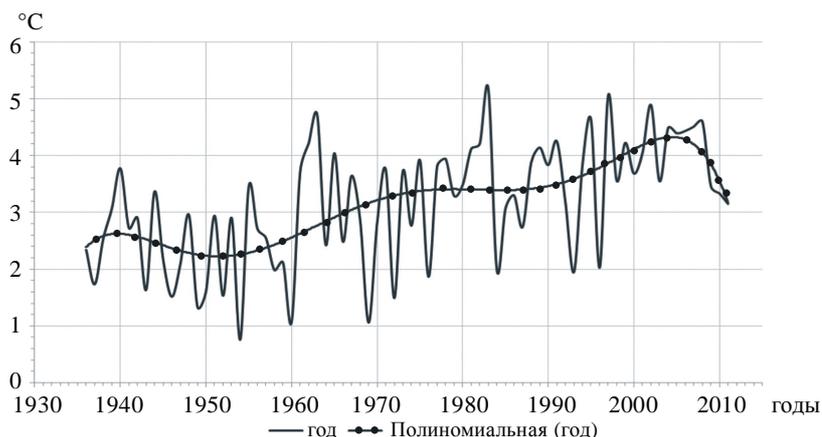


Рис. 1. Станция Караганда. Временной ряд температуры, аппроксимированный полиномом шестой степени

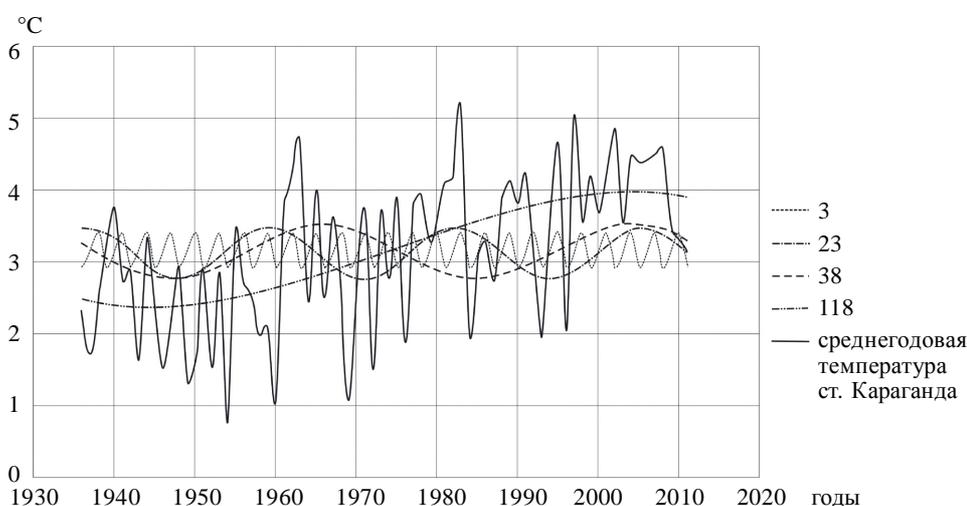


Рис. 2. Станция Караганда. Временной ряд температуры и результаты гармонического анализа

показано, что наблюдаемые колебания климата должны согласовываться с индексами макроциркуляции по Вангенгейму-Гирсу.

Нами рассмотрена связь имеющихся колебаний температуры и осадков на территории Казахстана во взаимосвязи с индексами макроциркуляции. При этом временные ряды температуры и осадков по 45 станциям Казахстана были подвергнуты аппроксимации полиномом шестой степени, а также выполнен спектральный и гармонический анализ [13]. Повторяемость типов циркуляции (в количестве суток) тоже была подвергнута гармоническому анализу. Расчеты выполнены по программе Statistica 7. Статистический анализ выполнен в соответствии с [13].

Климатические изменения Экстремумы во временных рядах температуры

Для выбора климатических экстремумов воспользуемся результатами аппроксимации времен-

ных рядов температуры полиномом шестой степени. За рассматриваемый период мы обнаружили климатические понижения температуры в 40-е–50-е, 80-е–90-е годы и похолодание, начавшееся с 2003 года, о котором было впервые сообщено нами в [10, 12]. Периоды климатических максимумов температуры имели место в тридцатые годы и в 66-75 годы и максимум в 1990-2000 годы, после которого началось интенсивное повсеместное понижение температуры.

Метеорологическая станция Караганда расположена примерно в центре территории Казахстана. Поэтому мы ее взяли в качестве примера для наглядности. На рисунке 1 приведены результаты аппроксимации временного ряда температуры по станции Караганда полиномом шестой степени, а на рисунке 2 результаты гармонического анализа этого же временного ряда.

Можно видеть, что на станции Караганда экстремумы температуры наблюдались в отмеченные

Амплитуды климатических колебаний температуры (°С)

Станции	Экстремумы						
	max 30-40 г.	min 40-50 г.	max 65-75 г.	min 80-90 г.	max 2003 г.	Вековая гармоника	0,5 веков. гарм., годы
Уральск	0,7	0,8	0,3	0,3	1,2	2,2	60
Иргиз	0,3	0,5	0,1	0,3	0,7	2,0	54
Караганда	0,3	0,4	0,4	0,4	1,1	1,5	51
Джезказган	0,6	0,6	0,2	0,3	0,1	2,4	53
Семипалатинск	1,0	1,0	0,1	0,1	1,5	1,5	51
Усть-Каменгорск	1,2	1,0	0,3	0,2	1,0	1,2	50
Кзылорда	0,9	0,9	0,1	0,2	0,3	2,3	50
Аральское море	0,6	0,5	0,1	0,1	1,0	2,7	50
Павлодар	0,2	0,3	0,1	0,1	1,3	1,9	42
Балхаш	0,3	–	0,3	–	0,1	1,4	–
Кустанай	0,8	0,9	0,3	0,3	0,7	2,4	54
Астана	0,2	0,3	0,2	0,3	0,8	2,1	54
Талдыкурган	0,4	0,5	0,3	0,2	0,7	2,2	52
Чимкент	1,0	0,6	0,3	0,4	0,3	1,8	50
Форт Шевченко	1,0	0,9	0,4	0,6	0,3	1,7	60

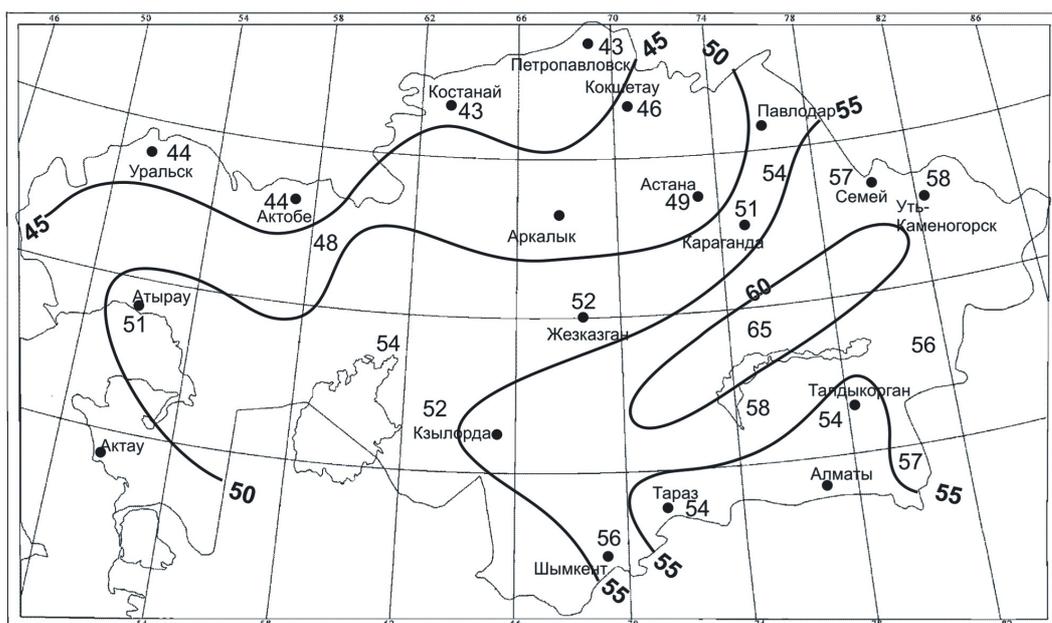


Рис. 3. Распространение по территории Казахстана климатического понижения температуры в сороковые-шестидесятые годы XX века

выше сроки. Примерно в такие же сроки наблюдались экстремумы температуры и на других станциях Казахстана. Обнаружились, однако, различия во времени наступления экстремумов в несколько лет. Чтобы уловить закономерности динамики, мы построили карты времени наступления экстремумов для каждого из случаев. Рассмотрим особенности и макроциркуляционные условия, при которых имели место перечислен-

ные выше климатические экстремумы. Сначала рассмотрим все понижения, а затем повышения температуры.

Случаи понижения температуры. На рисунке 3 представлена карта с данными о времени наступления климатического минимума температуры в сороковые-пятидесятые годы на территории Республики. Изолинии подписаны последними двумя цифрами года. Амплитуды климатических ко-

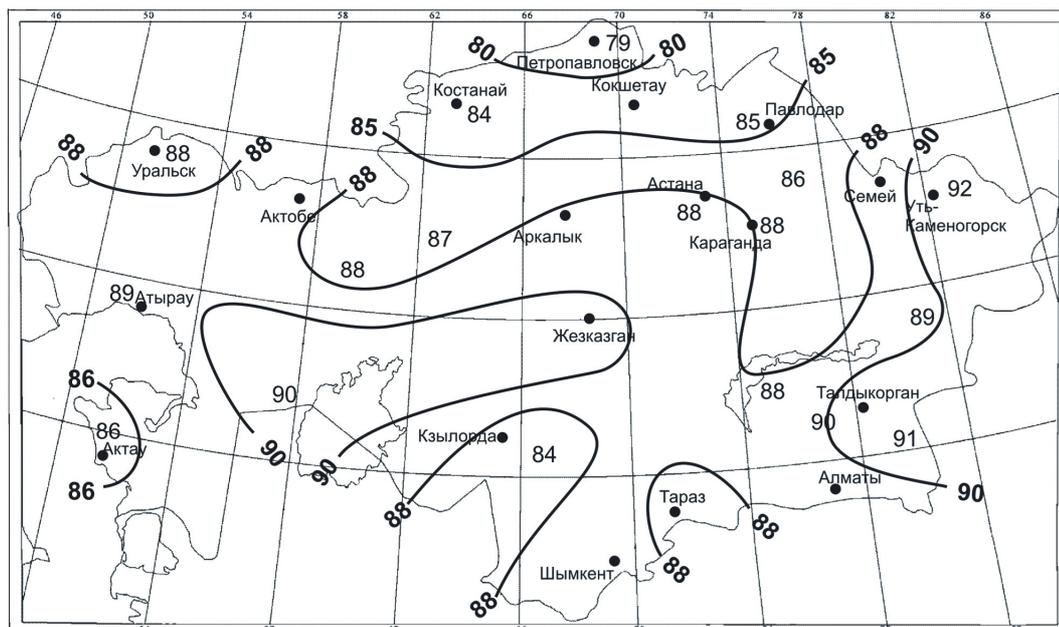


Рис. 4. Распространение по территории Казахстана климатического понижения температуры в восьмидесятые-девяностые годы XX века

лебаний температуры по ограниченному числу станций приведены в таблице 1.

Можно видеть, что понижение температуры началось почти одновременно на севере и северо-западе территории в 1943-1944 годах и затем медленно распространялось к юго-востоку (рис. 3). Только в ранние пятидесятые оно достигло линии Павлодар-Джезказган-Аральск. В середине и во второй половине пятидесятых похолодание достигло юго-востока Казахстана. Данное похолодание не проявилось только в районе Балхаша [10]. В период с пятидесятых по семидесятые годы здесь имел место растянутый минимум.

Рассмотрим, как изменяется величина похолодания в направлении с северо-запада на юго-восток (таблица 1).

В Кустанае и Уральске величина похолодания составила $0,8^{\circ}\text{C}$, в Иргизе и Джезказгане – $0,6^{\circ}\text{C}$, в Павлодаре и Астане – $0,3^{\circ}\text{C}$, в Семипалатинске и Усть-Каменгорске – $1,0^{\circ}\text{C}$, в Чимкенте и Джамбуле – $0,6^{\circ}\text{C}$. Таким образом, похолодание сороковых-пятидесятых годов было наиболее значимым на востоке Республики, а также на северо-западе и юго-востоке. Минимальным оно было в полосе Павлодар-Караганда-Балхаш, около $0,3^{\circ}\text{C}$. При этом в Балхаше это похолодание вообще не обнаруживалось.

Рассмотрим скорость и продолжительность рассматриваемого похолодания. В Уральске, Кустанае, Петропавловске оно началось в 1943-44 годах, Гурьеве (Атырау), Иргизе, Караганде – в 1951 году, а в Семипалатинске и Кызылорде – в 1956-

57 годах. Весь процесс похолодания, таким образом, распространялся в течение 8-15 лет.

Второе похолодание двадцатого века согласно [11] имело место в восьмидесятые-девяностые годы (рис. 4).

Оно началось около 1980 года на севере территории (Петропавловск) и медленно смещалось оттуда во все стороны. Так, на линии Уральск-Актюбинск и Астана-Балхаш-Семипалатинск оно начало отмечаться только с 1988 года, в районе Джезказгане – с 1990 года, в Усть-Каменгорске – с 1992 года. При этом южнее пятидесятой широты общая закономерность перемещения похолодания с севера на юг нарушается. Довольно быстро, практически одновременно с районом Павлодар-Астана-Актюбинск, похолодание наступает и на юге Казахстана (Тараз, Чимкент-Кзылорда). В то же время на востоке и в районе Арала оно наступает только в 1992 году.

Амплитуда второго похолодания была повсеместно меньше, чем первого (таблица 1). Так, в Петропавловске, где похолодание началось, она составила около $0,2^{\circ}\text{C}$, столько же в Уральске, Актюбинске, Джезказгане, Усть-Каменгорске. В то же время на юго-западе и на юге (Чимкент, Джамбул, Атырау) амплитуда похолодания достигала $0,6-0,9^{\circ}\text{C}$. В восточной части Республики похолодание составило всего $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$, а в Балхаше оно вообще не выделялось.

Третьим похолоданием мы считаем период, начавшийся с 2003 года (рис. 5).

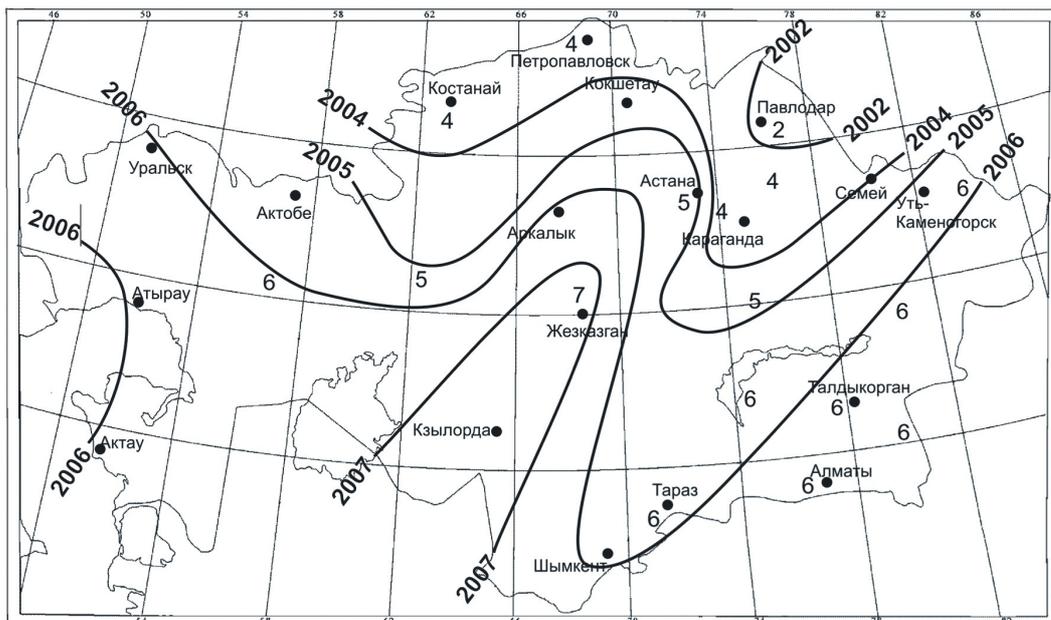


Рис. 5. Распространение по территории Казахстана похолодания, начавшегося в первой декаде нынешнего века и сменившего глобальное потепление

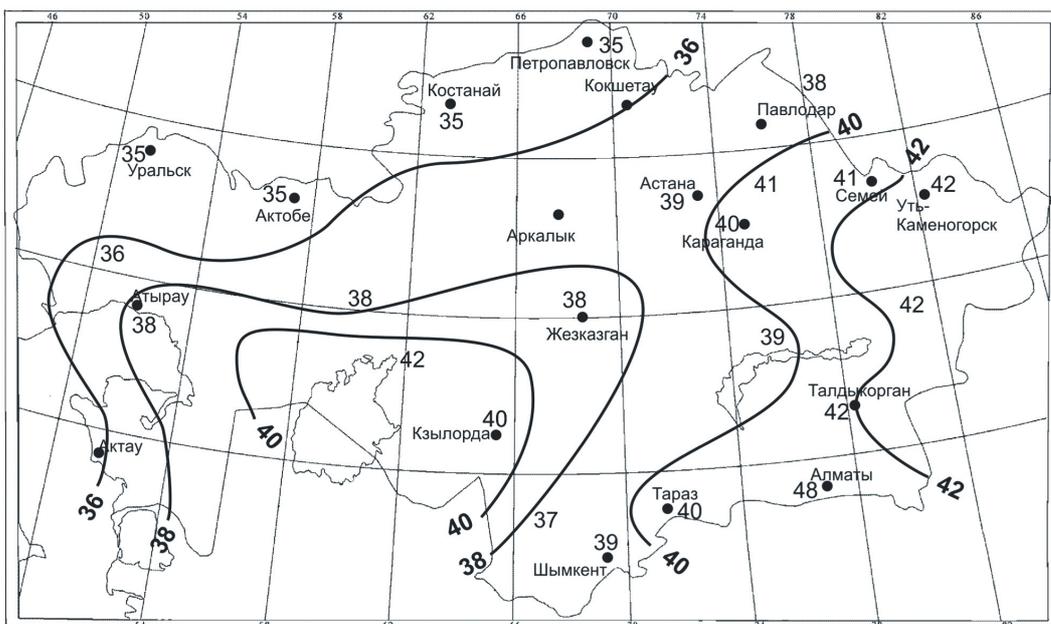


Рис. 6. Распространение по территории Казахстана потепления в тридцатые-сороковые годы XX века

Похолодание началось на северо-востоке территории и довольно быстро смещалось к юго-западу на район Чимкента. В Павлодаре оно было зафиксировано в 2003 году несколько позже, с 2004 года, похолодание началось в районе Костаная и оно тоже распространялось к юго-западу на район Атырау. К 2006 году это похолодание уже охватило всю территорию Казахстана. Позже всего похолодание проявилось в полосе Кзылорда-Астана. Таким образом, процесс начала по-

холодания охватил всю территорию Казахстана всего за 3-4 года.

Случаи климатических потеплений. Потепление началось на северо-западе в 1930-1935 годы, однако, дальнейшее его продвижение на территорию Казахстана происходило медленно (рис. 6).

Сама закономерность продвижения была нарушена. Так, в центральных и северо-восточных районах, а также в Балхаше и Чимкенте оно стало фиксироваться с 1939 года. В районе Арала, а так-

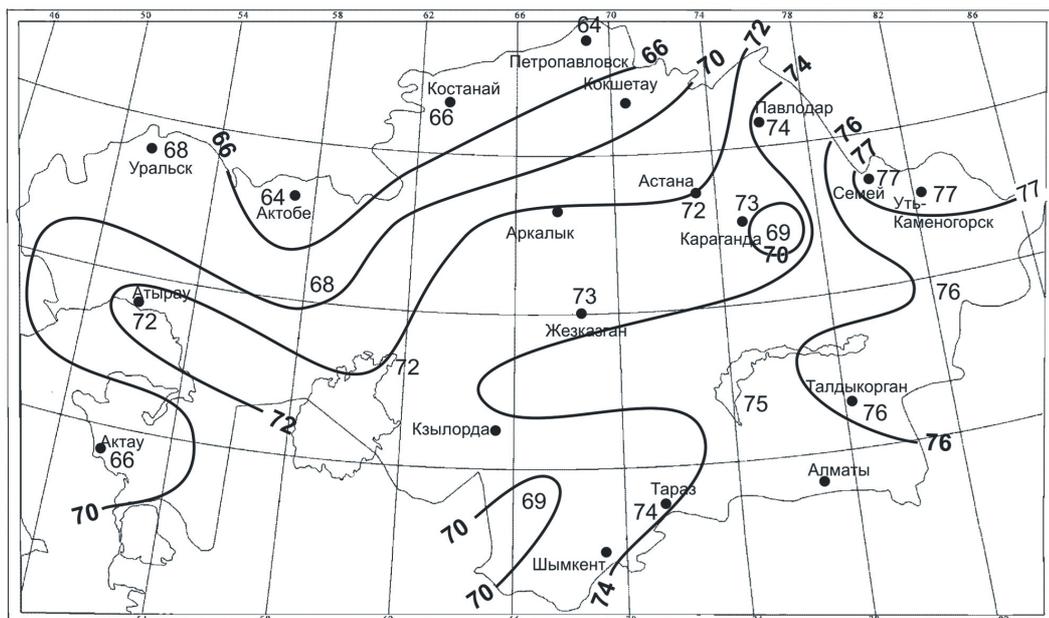


Рис. 7. Распространение по территории Казахстана потепления в шестидесятые-семидесятые годы XX века

же в восточной части Республики (Усть-Каменогорск и др.) – в 1941-1942 годы.

Амплитуда потепления тридцатых-сороковых годов была наибольшей на юге и востоке Казахстана – около 1°C (таблица 1). В центральных районах и на северо-востоке она была в пределах $0,3^{\circ}\text{C}$.

Максимум в 65-70-е годы на всей территории просматривается слабо (таблица 1). Его амплитуда не превышает $0,5^{\circ}\text{C}$ на юге и западе Республики, т.е. там, где она наибольшая. На северо-востоке и в районе Арала этот максимум едва заметен, $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$.

Распространение потепления 1966-1968 годы по территории началось с северо-запада (рис. 7). С небольшим опозданием оно проявилось и на юге в районе Туркестана (1969). В центральных районах потепление произошло в 1972-73 годы, а на востоке и юго-востоке – только в 1976 году.

Последнее потепление, с конца которого мы начали отсчитывать начало современного похолодания, началось в девяностые годы (рис. 4). Раньше всего потепление закончилось на северо-востоке в районе Павлодара, в 2002 году (рис. 5). Оценить величину последнего потепления сложно, поскольку начавшееся после него похолодание еще не закончилось. Тем не менее, если за амплитуду брать величину, отсчитанную от максимума температуры до минимума, куда она опустилась к 2010 году в результате наблюдающегося похолодания, то можно получить довольно достоверную оценку последнего потепления и величину уже наблюдающегося

похолодания одновременно. Эти данные содержатся в таблице 1 в колонке «max 2003».

Можно видеть, что величины довольно велики для климатических вариаций. На станциях, где похолодание началось раньше всего, амплитуда превышает 1°C , а там, где позже – оно меньше (таблица 1). Со временем отмеченные величины могут измениться, поскольку они взяты на краю временного ряда [13]. Однако, мы можем видеть, что в максимуме последнего потепления, закончившегося около 2000 года или несколько позже, имели место самые высокие температуры за последние 100 лет на территории Казахстана. Только на отдельных станциях они уступают максимуму в тридцатые годы.

Проанализированные выше экстремумы температуры расположены на восходящей ветви периодического колебания с минимумом в пятидесятые годы и максимумом – около 2005 года, т.е. на восходящей ветви векового колебания, характерного для временных рядов температуры большинства станций (последняя колонка таблицы 1). Поэтому прежде чем перейти к гармоническому анализу, мы оценили амплитуду этого колебания (таблица 1). Можно видеть (рис. 8), что эта амплитуда находится в диапазоне от $1,7$ до $2,9^{\circ}\text{C}$, т.е. она соизмерима с проявлениям нынешнего глобального потепления на территории Республики. Если это так, то *начавшееся похолодание, тоже с волнами, будет глубоким, до 3°C , и продолжительным, до 2030-2040 годов* (курсив редактора).

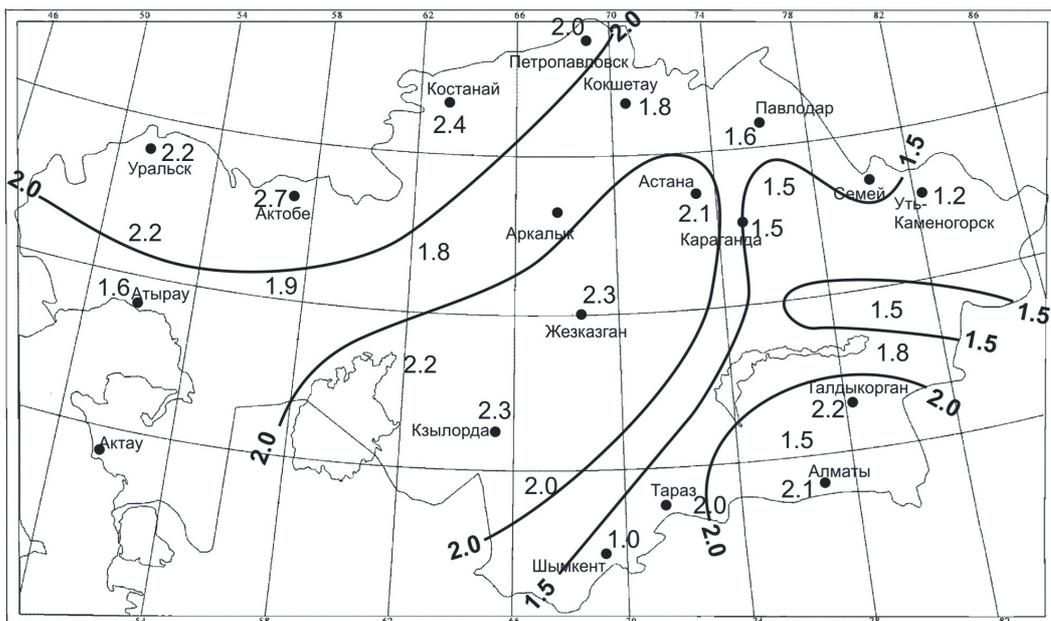


Рис. 8. Амплитуда вековой гармоника во временных рядах температуры

Рассмотрим далее, как наши климатические экстремумы связаны с типами макроциркуляции. На рисунках 9-11 представлен временной ход каждого из трех макротипов по [2, 5]. Можно видеть, что минимумы температуры в 40-50-е и в 80-90-е годы наблюдались при сходных условиях. Так, минимум 40-50-х годов имел место при амплитуде гармоник 103, 38 и 23 года индекса W и гармоник 98, 43 и 23 года индекса E, близких к норме на фоне роста гармоник 58 лет и максимума гармоник 23 года индекса C.

Похолодание в 80-90-е годы имело место тоже при амплитудах гармоник индексов W и E, близких к норме, а в гармониках индекса C в максимуме была сначала гармоника с периодом 8 лет, а затем гармоника с периодом 23 года. Гармоника с периодом 53 года была в минимуме. Соответственно, данное похолодание по амплитуде было слабее первых двух.

Потепления в 30-40-е, а также в 65-70-е годы имели место тоже при очень сходных макроциркуляционных условиях, а именно: первое потепление при близкой к норме амплитуде вековой (103 г.) и минимуме гармоник 38 лет индекса W и при минимуме гармоник 23 годов и ниже нормы гармоник 58 лет индекса C, но при максимумах гармоник 43 и 23 годов индекса E; второе потепление – при близкой к норме гармонике 103 лет и ниже нормы гармонике 38 лет индекса W, при ниже нормы гармоник 58 лет и минимуме гармоник 23 годов индекса C, но при максимумах гармоник 43 и 23 годов индекса E.

Потепление 66-75 годов имело место при близких к минимуму гармониках 103 и 38 годов индекса W, при максимуме гармоник 23 годов и близкой к норме гармонике 58 лет индекса C, но при максимумах или близких к максимуму гармониках 98, 43 и 23 годов индекса E.

Следовательно, понижение температуры имеет место при ослабленных или близких к норме гармониках W и E, но при выше нормы гармониках типа C.

Повышения температуры наблюдаются при ослабленных или близких к норме величинах гармоник индексов W и C, но при максимумах гармоник индекса E.

Полученные нами закономерности могут служить основной для построения сценариев климатических колебаний температуры на основе ожидаемого изменения индексов макроциркуляции атмосферы.

О внутригодовой структуре временных рядов температуры

Проанализируем далее внутригодовую структуру временных рядов температуры на примере станции Павлодар. Для этого выполним рядов температуры за каждый месяц. Результаты анализа содержатся в таблице 2. Можно видеть, что в рядах среднемесячных и среднегодовых температур присутствуют обычно не более трех гармоник. Однако гармоник в рядах среднегодовых температур обычно не совпадают с гармониками, наблюдающимися в рядах среднемесячных температур.

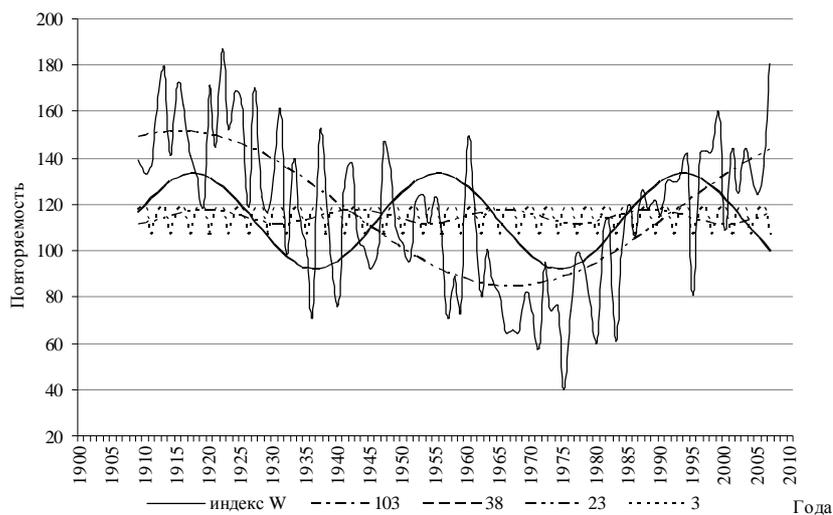


Рис. 9. Гармонический анализ индекса W

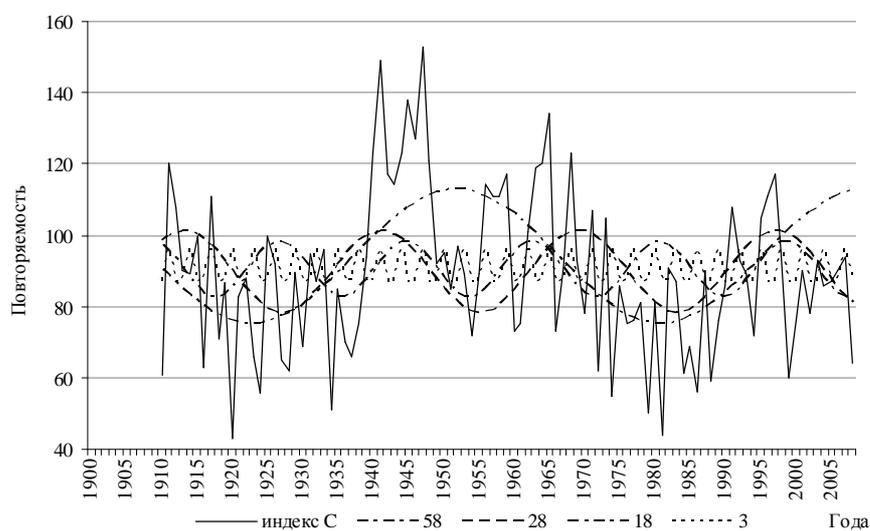


Рис. 10. Гармонический анализ индекса C

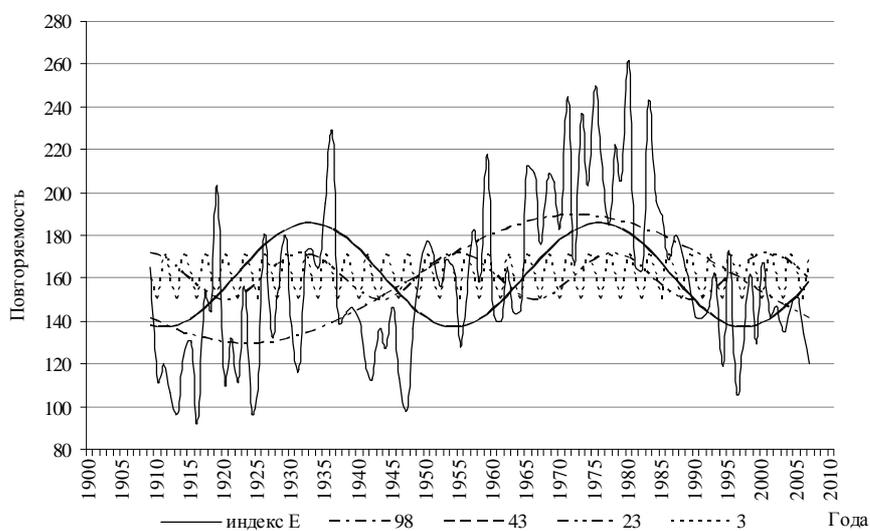


Рис. 11. Гармонический анализ индекса E

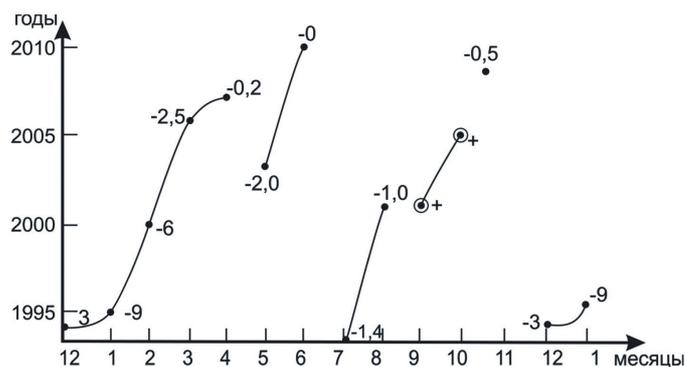


Рис. 12. Время наступления и величина похолодания, °C (цифра рядом с точкой). Знаком (+) отмечено потепление

Далее представлялось важным выяснить, как началось и развивалось нынешнее похолодание. Для этого нами помесечно проанализирован процесс похолодания на примере этой же станции Павлодар. Оказалось, что процесс нынешнего похолодания, отмечаемого по средней годовой температуре, проявляется и внутри года. Для анализа мы взяли временной ряд средней месячной температуры по станции Павлодар за восьмидесятилетний период [12]. Временной ряд за каждый месяц был аппроксимирован полиномом шестой степени и подвергнут спектральному и гармоническому анализу.

Представляло интерес, установить в каком месяце раньше всего началось похолодание, и какова амплитуда этого похолодания в каждом месяце на начало 2011 года. Для этого мы воспользовались данными аппроксимации временных рядов за каждый месяц. Результаты представлены на рисунке 12.

Можно видеть, что первые признаки похолодания появились в декабре 1995 года, и к концу 2010 года суммарное похолодание в этот месяц составило 3°C. В январе похолодание появилось всего на год позже, в 1996 году, но к 2010 году оно составило 9°C. В феврале похолодание начало фиксироваться только с 2000 года, т.е. через пять лет после его первого появления в декабре, и к 2010 году составило 6°C. В марте похолодание началось только в 2006 году и составило 2,5°C до контрольного срока. В апреле похолодание начало отмечаться только с 2007 года и составило к 2010 году всего 0,2°C.

Таким образом, в период с декабря по апрель похолодание, впервые проявившись в декабре 1995 года, постепенно распространялось на последующие месяцы до апреля включительно в течение 12 лет. За это время наиболее значительные

понижения температуры произошли в зимние месяцы в декабре (3°C), январе (9°C) и феврале (6°C).

В остальные месяцы года похолодание распространялось без выраженной закономерности. Так, в мае оно проявилось в 2004 году, т.е. раньше, чем в марте и составило 2°C к контрольному сроку. В июне похолодание началось только в 2010 году. Далее в июле оно началось очень плавно в 1994 году, т.е. ранее, чем в декабре, и за это время (16 лет) составило только 1,4°C. В августе похолодание начало регистрироваться с 2001 года, составив 1,0°C.

В сентябре и октябре похолодание не отмечалось вовсе. Более того, в августе температура повысилась примерно на 0,6°C, а в октябре — на 1,7°C.

В ноябре температура начала понижаться с 2008 года, понизившись на 0,5°C, а в декабре — как уже сказано, после 1995 года.

В результате отмеченного не синхронного, но достаточно общего, за исключением двух месяцев, понижения температуры средняя за год температура воздуха в Павлодаре начала снижаться только с 2003 года.

Таким образом, за наблюдаемый период похолодания в большинстве месяцев средняя температура достигла или опустилась ниже максимума тридцатых-сороковых годов. Только в конце весны и осенью она все еще несколько превышает этот уровень.

Просматриваемая закономерность в понижении температуры в период с декабря по апрель позволяет надеяться на наличие соответствующей закономерности в общей циркуляции атмосферы, нахождение которой имело бы практический интерес.

Сценарий ожидаемых изменений температуры на период до 2050 года. По результатам гармонического анализа временных рядов температуры и осадков по станциям Казахстана выделены наи-

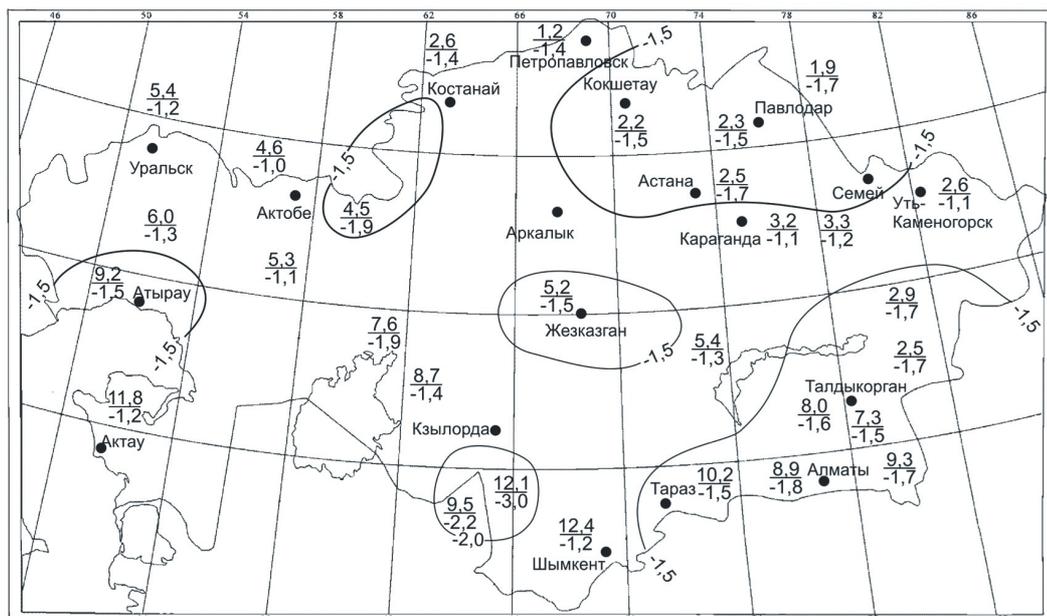


Рис. 13. Сценарий изменения поля температуры по территории Казахстана к 2050 году

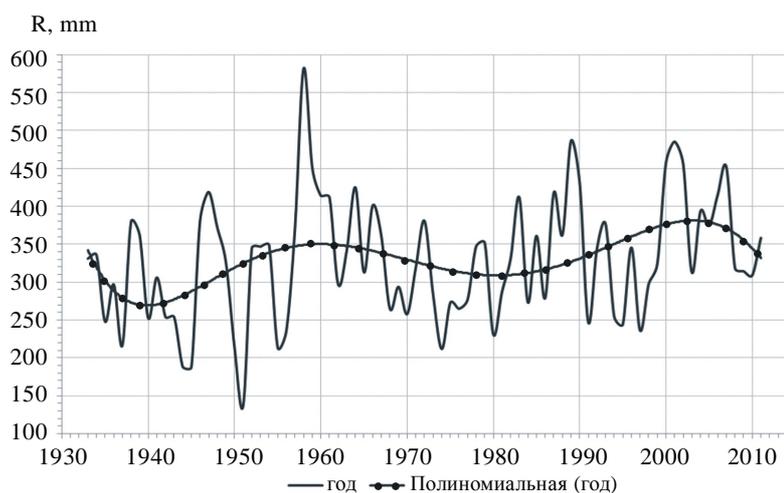


Рис. 14. Временной ряд осадков на станции Караганда, аппроксимированный полиномом шестой степени

более значимые по амплитуде гармоники с периодом, превышающим 10 лет, и на их основе построены сценарии изменения температуры и осадков к 2050 году. Температура к тому времени понизится практически на всей территории на 1,1-3,0°C, опустившись до уровня шестидесятых годов XIX века.

Используя информацию, содержащуюся в нашей [10], мы выполнили такие расчеты на основе гармонического анализа в предположении, что обнаруженные во временных рядах температуры и осадков основные гармоники сохранятся.

Сценарий изменения поля температуры на перспективу. На рисунке 13 представлена карта пространственного распределения средних годовых

величин температуры (числитель) и ожидаемой величины изменения средней годовой температуры, с момента начала похолодания, т.е. примерно за 40 лет (знаменатель). Она построена по методике [3], в основе которой лежит предположение, что имеющие место гармоники сохранятся и в будущем.

Можно видеть, что на всей территории Республики температуры понизятся. Понижения следует ожидать в пределах от 1,0 до 3,0°C. Величины похолодания примерно соответствуют имевшим место в последние десятилетия величинам потепления [11]. Это и естественно, поскольку основной вклад в колебания температуры вносит вековая гармоника, (около 110 лет), максимум которой

Чередование экстремумов температуры (t) и осадков (Q) (годы)

Станции	Экстремумы								
	max t	min Q	min t	max Q	max t	min Q	min t	max Q	max t
Павлодар	39	–	54	64	74	–	85	98	0,2
Уральск	35	48	44	48	68	72	88	99	98
Туркестан	37	37	52	59	69	84	84	05	06
Жаркент	42	41	57	58	76	78	91	92	06
Астана	39	–	49	60	72	85	88	03	05
Куйган	42	40	58	70		88		06	
Самарка	42	36	59	56	–	82	88	98	03
Атырау	38	37	51	51	72	76	89	02	06
Караганды	40	39	51	59	73	81	88	04	04
Джамбул	40	38	54	58	74	82	88	03	06
Уст-Каменгорск	42	37	58	68	77	92	92	07	06
Кустанай	35	42	43	56	66	76	84	00	04

имел место около 2000 года. Соответственно, самое значимое похолодание, до 3°C, ожидается в районе Туркестана, а также на юго-востоке Республики, 1,5-1,8°C. Такой же величины похолодание ожидается на северо-востоке в районе Астаны-Павлодара-Семипалатинска. Над центральными и западными районами ожидается несколько меньшее понижение температуры 1,1-1,3°C.

Средние годовые температуры воздуха к 2050 году опустятся до нормы, рассчитанной за период наблюдений, предшествующий росту температур в конце XX века.

Результаты гармонического анализа временных рядов осадков

Во временных рядах осадков после аппроксимации полиномом шестой степени на рассматриваемом временном участке с 1930 по 2011 годы, как правило, имеют место две волны с периодом 35-40 лет. Амплитуда этих волн выражена по-разному в разных регионах, экстремумы и период волн тоже заметно различаются. Для примера на рисунке 14 дан временной ход осадков на станции Караганда, аппроксимированный полиномом шестой степени.

Данные станции Караганда представляют центральный регион Республики, на периферии имеют свои особенности в ходе осадков, но главные признаки сохраняются [10-12]

На рисунке 15 представлено распределение продолжительности периодов в рядах осадков, снятых с кривых аппроксимации этих рядов полиномом шестой степени.

Можно видеть, что полувековой или брикнеровский цикл имеет место по сути на всей территории. Преобладают циклы от 40 до 46 лет, но на северо-западе (Уральск) они близки к 50 годам, а на востоке (Семипалатинск) и в районе Балхаша – 60 годам.

Поскольку циклы вычислены на основе анализа аппроксимации рядов осадков полиномом шестой степени, то основные гармоники, имеющиеся в рядах, уже суммированы, и полученные величины (периоды) могут быть использованы при построении сценариев на несколько десятков лет вперед.

В таблице 2 представлено время наступления экстремумов осадков в сравнении с экстремумами температуры.

Рассмотрим экстремумы осадков в хронологическом порядке. Можно видеть, что первое проявление минимума осадков в сороковые годы прошлого века появилось в 1937 году а закончилось оно в 1948 году, т.е. минимум на отдельных станциях наблюдался в течение 9-11 лет (таблица 2).

Максимум количества осадков в пятидесятые-шестидесятые годы впервые появился на северо-западе территории (Уральск) в 1948 году и медленно распространялся к юго-востоку. В Караганде он начался в 1959 году, а в Усть-Каменгорске – в 1968 году. Для большей наглядности мы построили карту с изотопами наступления максимума количества осадков (рис. 16).

Можно видеть, что рост количества осадков начался не только на северо-западе, но и на северо-востоке (район Павлодара). Распространение к

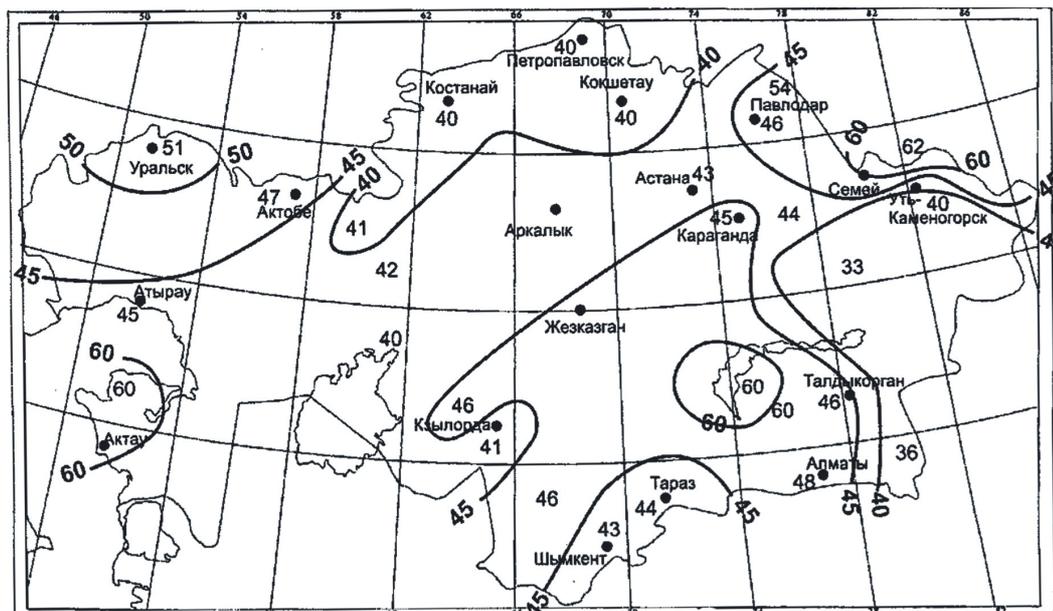


Рис. 15. Распределение продолжительности основных периодов во временных рядах осадков, вычисленных на основе полиномиальной аппроксимации

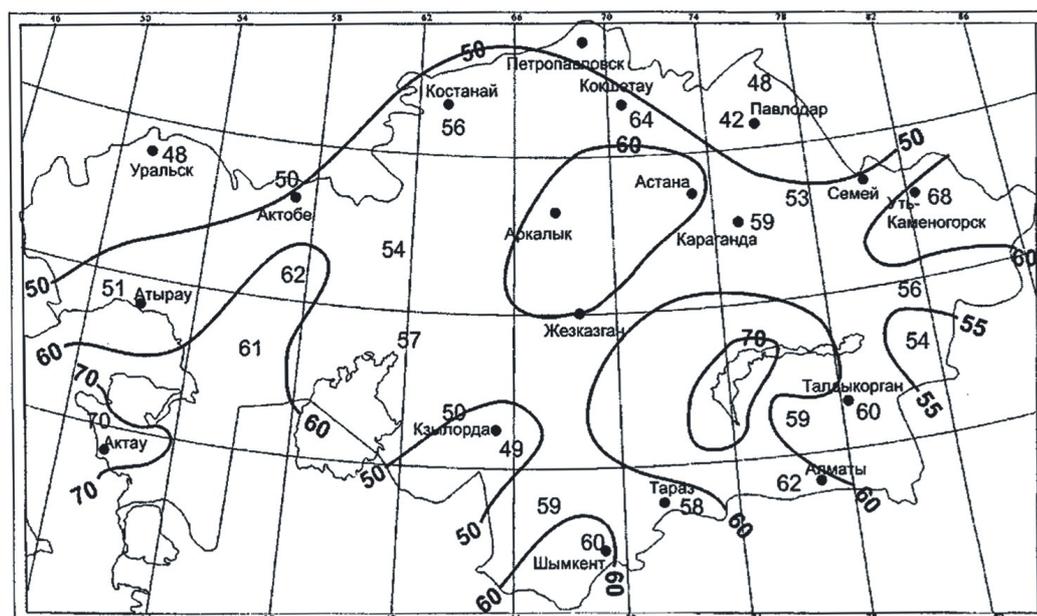


Рис. 16. Время наступления максимума количества осадков в пятидесятые-шестидесятые годы

югу и юго-востоку, однако, происходило не постепенно, а в виде очагов. Так, в районе Кызылорды рост осадков начался с небольшим опозданием по сравнению с Уральском и Павлодаром, несколько позже – в районе Аягуза, а затем на юго-востоке в районе Талдыкургана и Алматы. Позже всего этот рост начался на Алтае (1968) и в районе Балхаша (1970). Весь процесс роста осадков на территории продолжался 12 лет.

Следующее снижение осадков в семидесятые-восьмидесятые годы началось одновременно на

северо-востоке в 1964 году и на юге в 1962 году. Несколько позже оно началось и на северо-западе, в 1970 году (таблица 2 и рис. 17).

Снижение происходило медленно. В центральных районах оно произошло в 1981-85 годы, а в районе Балхаша – Алматы – в девяностые годы, а на Алтае только в 1992 году. Снижение количества осадков наблюдалось в течение 30 лет.

Очередной рост осадков начался в конце XX – начале XXI века на юго-востоке территории (таблица 2 и рис. 18). Несколько позже максимум ко-

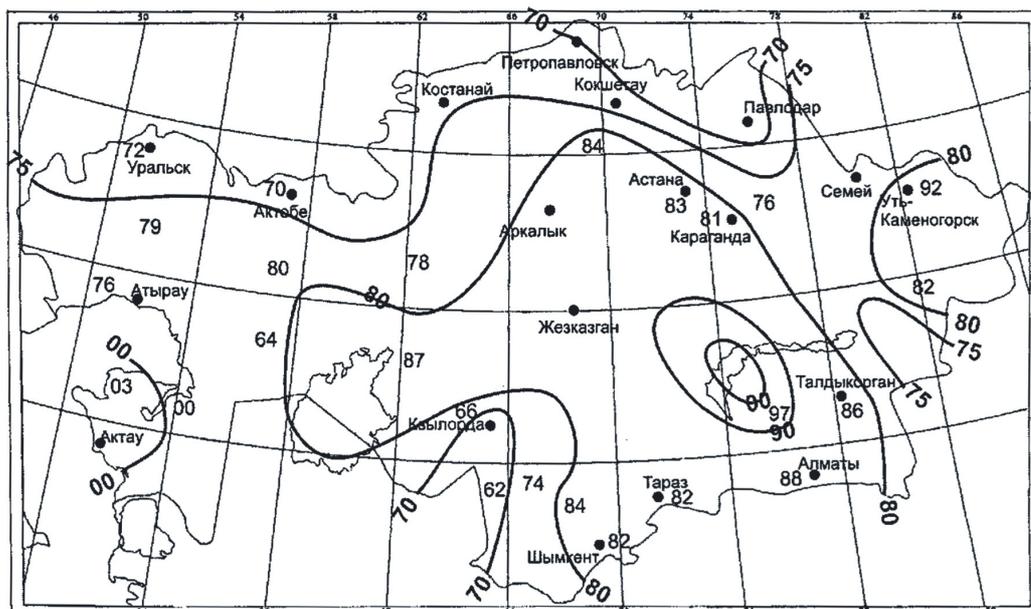


Рис. 17. Время наступления минимума количества осадков в семидесятые-восьмидесятые годы

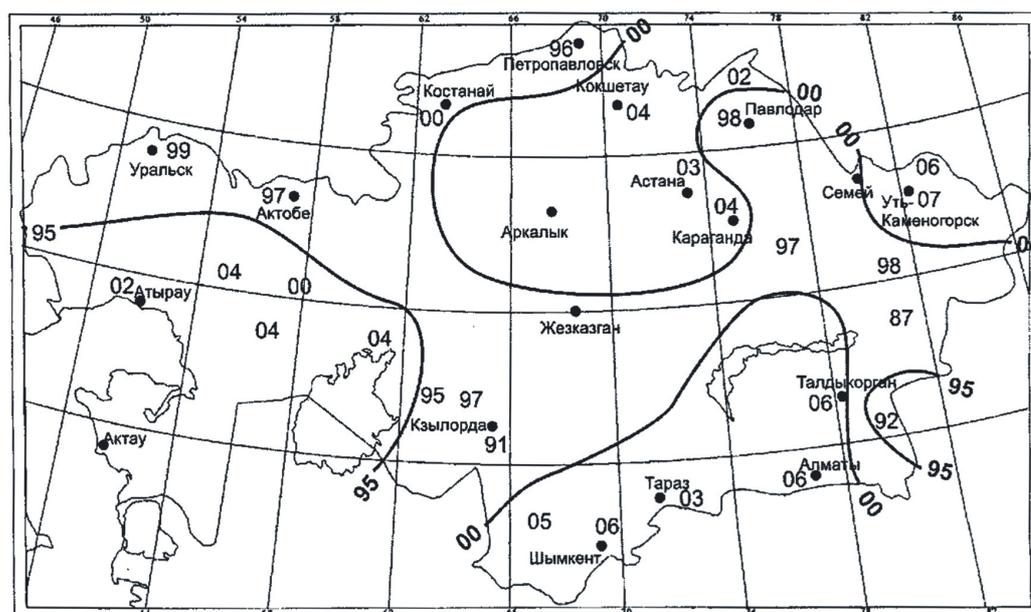


Рис. 18. Время начала роста количества осадков в конце двадцатого – начале двадцать первого века

личества осадков наступил на северо-западе, северо-востоке и юго-западе в районе Кзылорды. Позже всего максимум наступил в северном Казахстане, на юге и юго-западе, а затем на Алтае (рис. 18). Весь процесс наступления максимума осадков длился 15 лет.

В качестве выводов к анализу времени наступления экстремумов по территории отметим, что этот процесс растягивается на 11-30 лет. Поэтому результаты о наступлении экстремума, получаемые для определенного региона, а тем более для от-

дельной станции, не следует без анализа распространять на всю территорию Республики.

Как сочетаются экстремумы температуры и осадков? Из таблицы 2 видно, что совпадение экстремумов скорее случайность, чем закономерность. Максимумы осадков в 50-60-е и 90-2000-е годы имели место на фоне понижения температуры, а минимум в 37-42 годы преимущественно предшествовал максимуму температуры 40-х годов.

В таблице 3 приведены результаты гармонического анализа временных рядов осадков по не-

Основные гармоники (период, годы) в рядах осадков и их амплитуды (мм)

Станции	Первая		Вторая		Третья	
	период	амплитуда	период	амплитуда	период	амплитуда
Куйган	43	10	23	20	13	18
Алматы	42	25	27	30	18	18
Жаркент	68	20	28	40	18	40
Талдыкурган	33	30	23	35	–	–
Жамбул	38	105	23	30	13	30
Туркестан	–	–	–	–	–	–
Шимкент	38	65	–	–	–	5
Казалинск	36	15	21	10	15	20
Аральское море	–	–	28	30	8	40
Кзылорда	33	25	–	–	13	30
Самарка	53	60	23	40	13	30
Катон-Карагай	48	100	23	90	8	90
Усть-Каменгорск	–	–	23	35	–	–
Аягуз	33	50	–	–	18	40
Караганда	–	80	–	–	13	55
Мартук	38	60	–	–	13	40
Новосибирск	43	120	23	65	8	20
Темир	33	60	–	–	18	40
Актобе	38	35	–	–	–	75
Ф. Шевченко	48	30	28	30	8	35
Атырау	33	30	–	–	18	20
Уральск	43	65	–	–	18	65
Баянаул	38	45	–	–	8	15
Павлодар	–	–	–	–	15	38-50
Щербакты	33	30	–	–	8	20
Астана	43	50	23	40	8	40
Кокчетав	–	–	28	65	18	65
Кустанай	38	35	23	35	8	15

которым станциям Казахстана. Приведены данные по трем основным гармоникам. Прежде всего можно видеть, что во временных рядах осадков вековая гармоника отсутствует. Для первой гармоники характерен период 33-48 лет, который известен как брикнеровский цикл. Период второй гармоники равен 23 года. Амплитуды первой и второй гармоник близки, от 20 до 90 мм осадков. Период третьей гармоники неустойчив по территории и изменяется от 8 до 18 лет, амплитуда этой гармоники несколько меньше, чем двух первых.

Сделаем краткий вывод. Для временных рядов осадков характерными являются гармоники полувековые, в половину и в треть от полувековых. Вековые гармоники с периодом 100-120 лет для временных рядов осадков, в отличие от временных рядов температуры, не характерны.

Амплитуду гармоник можно проанализировать на основе данных таблицы 3. Амплитуда первой гармоники наибольшая только в 50 % станций. В остальных 50 % самую большую амплитуду имеет вторая гармоника или даже третья. Данный факт существенно снижает достоверность прогностических сценариев на перспективу.

Рассмотрим связь колебаний количества осадков с типами макропроцессов и гармониками в их рядах (рис. 18-11).

Понижение количества осадков в сороковые годы мы рассматривать не будем в виду того, что эта область находится в самом начале временного ряда и начало похолодания, как известно, определить трудно.

Максимум количества осадков в пятидесятые-шестидесятые годы формировался под влиянием

роста амплитуды полувековой гармоник (58 лет) макротипа С при максимуме гармоник 39 лет макротипа W и при снижении амплитуды гармоник 42 года макротипа E.

Снижение количества осадков в семидесятые - восьмидесятые годы имело место при минимуме вековой гармоник, который сложился с минимумом гармоник 39 лет макротипа W. Полувековая гармоника макротипа С тоже была близкой к минимуму, а гармоник 42 года и 21 год макротипа E были в максимуме.

Рост количества осадков в девяностые годы имел место при максимуме амплитуды гармоник 38 лет и росте амплитуды вековой гармоник макротипа W, при максимуме гармоник 28 лет и росте гармоник 58 лет макротипа С и существенном снижении амплитуд гармоник вековой, 42 года макротипа E.

Обобщая, можно сказать, что увеличение амплитуды (повторяемости) основных гармоник макротипов С и W и существенном снижении амплитуды основных гармоник типа E приводит к росту количества осадков, и это количество растет вместе с ростом амплитуд гармоник макротипов С и W и соответствующем уменьшении амплитуд гармоник типа E. При росте гармоник типа E и уменьшении амплитуд основных гармоник типа С и W количество осадков начинает уменьшаться. Данные закономерности можно использовать при построении сценариев изменения количества осадков на 20-40 лет на перспективу.

Сценарий изменения поля осадков на перспективу. Изменение количества осадков к 2050 году будет неоднозначным (рис. 19). Здесь в числителе приведена норма количества осадков, а в знаменателе – их ожидаемые изменения к 2050 году. Как видно из рисунка 19, количество осадков претерпит разнонаправленные изменения. По северу, и востоку и юго-западу Республики осадки увеличатся на 20-30 мм, а на западе и юго-востоке территории они примерно на столько же уменьшатся. На востоке Республики количество осадков увеличится на 10-50 мм. Примерно такое же увеличение осадков ожидается над Северным Казахстаном, 20-40 мм. В районе Арала – Кызылорды осадки тоже увеличатся на 10-25 мм.

В полосе Павлодар-Чимкент изменения количества осадков не ожидается. На западе Республики, а также на юго-востоке ожидается уменьшение количества осадков на 20-35 мм/год.

Только на небольшой части территории Казахстана количество осадков к 2050 году изменится

более чем на 10 % от нормы. На северо-западе Республики ожидаемое снижение несколько превышает эту долю. В основном земледельческом районе, Северном Казахстане, количество осадков даже увеличится. Следовательно, условия для сельскохозяйственной деятельности останутся, как и в настоящее время не простыми, но они не ухудшатся.

Итак, попробуем объяснить причину отмечаемого сейчас понижения температуры в регионах Казахстана и Западной Сибири.

Важнейшей проблемой, стоящей перед метеорологами, является прогноз погоды, особенно долгосрочный прогноз. Именно в этой области сосредоточены основные усилия и в этой области применяются самые современные методы анализа. Соответственно, получены значительные результаты в области познания общей циркуляции атмосферы. Еще к середине XX века при решении приливного уравнения Лапласа в приложении к атмосфере были выделены волны, известные как волны Россби. Позже был выделен класс быстрых волн, смещающихся с запада на восток, и класс медленных волн, смещающихся с востока на запад. В шестидесятые годы прошлого века было показано, что квазигеострофические модели обладают рядом недостатков в описании процессов общей циркуляции. Поэтому для прогноза глобальных процессов начали использовать полные уравнения гидродинамики. В эти же годы, поскольку волновая природа колебаний в атмосфере была уже известна и достаточно изучена, получили развитие спектральные модели в различных системах координат. В настоящее время такие модели стали важным инструментом исследования общей циркуляции.

Авторы [8] нашли, что период собственных колебаний атмосферы находится в широких пределах от 22,5 года до одних суток. С увеличением толщины атмосферы период ее собственных колебаний возрастает для всех без исключения длин волн, что физически понятно. Однако отделить собственные колебания от вынужденных не представляется возможным, хотя теоретическая оценка каждого из них реальна. Правда, в цитируемой работе анализировался ряд значений геопотенциала на уровне 500 мбар за период с 1972 по 1998 год, т.е. за 26 лет. Возможно, по этой причине более длинные периоды не были выявлены. Исследование [8] было направлено на решение проблем долгосрочных прогнозов, что возможно и определило область интересов исследователей. Анализируя колебания высот изобарической поверхности 500 мбар в отдельных пунктах Северного

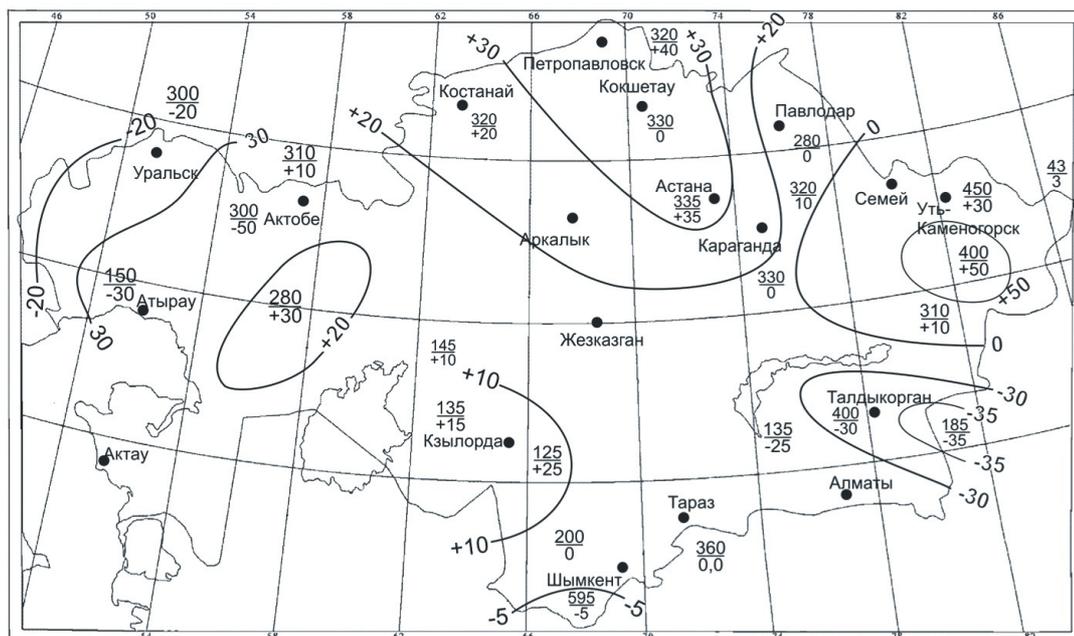


Рис. 19. Сценарий изменения поля осадков по территории Казахстана к 2050 году

полушария за период с 1949 по 1998 год, ими были выделены периоды колебаний в 3,75 года и 2,5 года. Максимум амплитуды (дисперсии) приходился на край спектра, который авторы объяснили тем, что «...он может не описывать <конкретное> периодическое колебание, скорее всего он связан с трендом или с некоторым суммарным долгопериодным изменением, включающим в себя тренд и малую составляющую пятидесятилетнего или более длительного цикла». Другими словами наличие более длительных циклов не отрицается. Фурье – гармоника, соответствующая периоду 2,5 года, имеет два отчетливых максимума – один на северо-востоке России, а второй на юге Гренландии с амплитудами 1,45 и 1,58 да соответственно с вкладом в общую дисперсию 18 и 20 %, т. е. эти колебания значимы. Наступление максимумов находится в противофазе, максимум над югом Гренландии наступает примерно через год после его наступления на северо-востоке России. Волна, таким образом, перемещается с востока на запад.

Попытаемся согласовать наши результаты, полученные для территории Казахстана, с некоторыми результатами исследования динамики общей циркуляции Северного полушария, изложенными выше. Прежде всего, во временных рядах температуры имеют место волны тепла и холода, которые наступают не одновременно по всей территории, а их распространение занимает несколько лет, что согласуется с данными [8]. Выявленные нами климатические колебания в рядах температуры и

осадков согласуются с типами циркуляции, т.е. с вполне определенной локализацией и интенсивностью волн Россби. Так, с обнаруженными в [8] колебаниями в поле давления с периодом 22,5 года хорошо согласуются вторые гармоники в осадках с периодом около 23 лет. Поскольку мы выделили также гармонику с периодом около 43-50 лет, то естественно предположить, что она есть и в поле давления. Следовательно, в общем выявленные нами гармоники в рядах температуры и осадков являются отображением колебаний в общей циркуляции атмосферы, дополняя и расширяя наши знания о ней.

Результат, что на территории Казахстана началось похолодание, не является совсем неожиданным. По крайней мере с 2011 года национальная метеослужба Российской Федерации фиксирует начало похолодания на севере Европейской части России, а также по югу Западной Сибири и юго-востоку Восточной Сибири в зимнее время [6]. Несколько меньшее похолодание отмечается на этих же территориях весной и летом. Только осенью оно отсутствует. Мы отмечали, и это подтверждается большинством исследователей, что основная часть потепления имела место в зимний период. Начало заметного похолодания в этом сезоне компенсирует имевшее место потепление.

Мы в нашем исследовании исключили из анализа горные районы, поскольку для этого требуются другие подходы. Однако в работе [7] показано, что на леднике Туокусу в горах Заилийского

Алатау (юго-восток Казахстана) тоже началось похолодание. При этом там увеличилось количество осадков в твердой фазе.

В исследованиях Занди Рахмана, диссертацию которого мы рецензировали, показано, что в Иране, в провинции Хузестан, в холодный период года рост температуры прекратился [9]. Имеется ряд других исследований, подтверждающих тенденции к похолоданию на Евразийском континенте.

Как нами показано, начавшееся похолодание происходит в основном зимой и на фоне роста вековой гармоник зонального переноса (тип W). Известно, что усиление зонального переноса обычно приводит к выносу теплых масс с океана на континент, что должно способствовать потеплению. На самом деле зональный перенос приводит к активизации циклогенеза, но циклоны перемещаются вдоль 65 параллели, осуществляя вынос теплого воздуха в Арктику. В тылу этих циклонов, однако, поступает холодный воздух в умеренные широты, где и располагается Казахстан. Конкретные механизмы реализации волновых колебаний нами не рассматривались. Как сказано в той же [8], «Вопрос о физических причинах, вызывающих эти колебания, остается открытым».

Таким образом, в результате выполненных исследований по проблеме изменения климата в Казахстане нами получено следующее.

1. Анализ временных рядов температуры и осадков за XX век по станциям Казахстана показал, что климатические колебания температуры и осадков имели место и в прошлом.

2. Наблюдавшийся в последние десятилетия рост температуры в начале XXI века прекратился. Похолодание началось на северо-востоке и к 2010 году охватило всю территорию.

3. Гармонический анализ временных рядов температуры показал, что основная доля дисперсии приходится на вековую гармонику с амплитудой около 2,0°C. В начале XXI века имел место максимум этой гармоник. В будущем именно она будет определять климатическое понижение температуры в ближайшие десятилетия.

4. Климатические колебания температуры хорошо согласуются с колебаниями общей циркуляции атмосферы: понижение температуры имеет место при ослабленных или близких к норме гармониках W и E, но при выше нормы гармониках типа C. Повышения температуры наблюдаются при ослабленных или близких к норме величинах гармоник индексов W и C, но при максимумах гармоник индекса E.

5. Во временных рядах осадков выраженного тренда в последние десятилетия не наблюдалось, однако климатические колебания количества осадков были значительными. Вековая гармоника в рядах осадков на территории Казахстана обычно отсутствует или слабо выражена. Присутствует полувекровая гармоника, которая в большинстве случаев содержит основную долю дисперсии. Колебания в рядах осадков тоже хорошо согласуются с колебаниями общей циркуляции атмосферы: количество осадков растет при увеличении амплитуды (повторяемости) основных гармоник макротипов C и W и существенном снижении амплитуды основных гармоник типа E. При росте гармоник типа E и уменьшении амплитуд основных гармоник типа C и W количество осадков начинает уменьшаться.

6. При условии сохранения основных гармоник в рядах температуры и осадков построены сценарии ожидаемых изменений температуры и осадков к 2050 году. Температура будет понижаться и достигнет к тому времени уровня минимума, наблюдавшегося около тридцатых годов прошлого века. Количество осадков будет колебаться, оставаясь на большей части территории около нормы. Межгодовая изменчивость осадков останется значительной.

Наши результаты, в первую очередь результаты гармонического анализа и анализа пространственно-временного перемещения климатических экстремумов температуры и осадков, хорошо согласуются с результатами исследований общей циркуляции атмосферы, а также с результатами анализа динамики атмосферы по спектральным моделям.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан. Грант №0493/ГФ-4 «Изменение климата Республики Казахстан и его воздействие на поверхностный сток, экосистемы и хозяйственную деятельность».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин А. В. Методология оценки периодичностей изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря / А. В. Бабкин // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 11. – С. 63-73.
2. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы / А. А. Гирс. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1971. – 280 с.
3. Граховский Г. Н. Долгопериодные колебания барических полей в системе общей циркуляции атмосферы / Г. Н. Граховский, М. П. Евсеева, Р. П. Репинская. – Санкт-Петербург, 2005. – 100 с.

4. Груза Г. В. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // *Метеорология и гидрология*. – 2004. – № 4. – С. 50-68.
5. Дмитриев А. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов / А. А. Дмитриев, В. А. Белязо. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2006. – 358 с.
6. Ерисковская Л. А. Изменение континентальности климата за последние годы (на примере ледника Туяксу) / Л. А. Ерисковская // *Гидрометеорология и экология*. – 2015. – № 1. – С. 29-35.
7. Зандидарагариби Р. Пыльные бури в Хузестане и их изучение с помощью радаров в условиях современных климатических изменений : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.23 / Р. Зандидарагариби. – Казань, 2015. – 23 с.
8. Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год [Электронный ресурс] : Доклад / Росгидромет. – Электрон. дан. М : 2012.
9. Сазонов Б. И. Суровые зимы и засухи / Б. И. Сазонов. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1991. – 240 с.
10. Чередниченко Александр В. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ / Александр В. Чередниченко, Алексей В. Чередниченко, В. С. Чередниченко. – Алматы, 2013. – 365 с.
11. Чередниченко А. В. Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счет доступных водозапасаов облачности / А. В. Чередниченко. – Бишкек : Илим, 2009. – 260 с.
12. Cherednichenko Alexander V. Current trends of temperature variations in the territory of Kazakhstan / Alexander V. Cherednichenko, Alexey V. Cherednichenko, V. S. Cherednichenko // *Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate : Proceedings of AASSA Regional Workshop*. – Barnaul, 2013. – P. 47-55.
13. Sneyers R. On the statistical analysis of series of observations / R. Sneyers // *World Meteorological Organization. Technical Note*. – Geneva, 1990. – No. 143. – 190 p.
2. Girs A. A. Mnogoletnie kolebaniya atmosfernoй tsirkulyatsii i dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy / A. A. Girs. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1971. – 280 s.
3. Grakhovskiy G. N. Dolgoperiodnye kolebaniya baricheskikh poley v sisteme obshchey tsirkulyatsii atmosfery / G. N. Grakhovskiy, M. P. Evseeva, R. P. Repinskaya. – Sankt-Peterburg, 2005. – 100 s.
4. Gruza G. V. Obnaruzhenie izmeneniy klimata: sostoyanie, izmenchivost' i ekstremal'nost' klimata / G. V. Gruza, E. Ya. Ran'kova // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2004. – № 4. – S. 50-68.
5. Dmitriev A. A. Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polyarnykh regionov / A. A. Dmitriev, V. A. Belyazo. – Sankt-Peterburg : Gidrometeoizdat, 2006. – 358 s.
6. Eriskovskaya L. A. Izmenenie kontinental'nosti klimata za poslednie gody (na primere lednika Tuyuksu) / L. A. Eriskovskaya // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2015. – № 1. – S. 29-35.
7. Zandidaragari R. Pyl'nye buri v Khuzestane i ikh izuchenie s pomoshch'yu radarov v usloviyakh sovremennykh klimaticheskikh izmeneniy : avtoref. dis. ... kand. geograf. nauk : 25.00.23 / R. Zandidaragari. – Kazan', 2015. – 23 s.
8. Ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2011 god [Elektronnyy resurs] : Doklad / Rosgidromet. – Elektron. dan. M : 2012.
9. Sazonov B. I. Surovye zimy i zasukhi / B. I. Sazonov. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1991. – 240 s.
10. Cherednichenko Aleksandr V. Vremennye ryady temperatury i osadkov. Statisticheskyy analiz. / Aleksandr V. Cherednichenko, Aleksey V. Cherednichenko, V. S. Cherednichenko. – Almaty, 2013. – 365 s.
11. Cherednichenko A. V. Izmenenie klimata Kazakhstana i vozmozhnosti adaptatsii za schet dostupnykh vodozapasov oblachnosti / A. V. Cherednichenko. – Bishkek : Ilim, 2009. – 260 s.
12. Cherednichenko Alexander V. Current trends of temperature variations in the territory of Kazakhstan / Alexander V. Cherednichenko, Alexey V. Cherednichenko, V. S. Cherednichenko // *Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate : Proceedings of AASSA Regional Workshop*. – Barnaul, 2013. – P. 47-55.
13. Sneyers R. On the statistical analysis of series of observations / R. Sneyers // *World Meteorological Organization. Technical Note*. – Geneva, 1990. – No. 143. – 190 p.

REFERENCES

1. Babkin A. V. Metodologiya otsenki periodichnostey izmeneniy urovnya i elementov vodnogo balansa Kaspiyskogo morya / A. V. Babkin // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2005. – № 11. – S. 63-73.

Чередниченко Александр Владимирович
доктор географических наук, доцент, главный научный сотрудник НИИ проблем биологии и биотехнологии Казахского Национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, т. +77771625174, E-mail: geliograf@mail.ru

Cherednichenko Alexander Vladimirovitch
Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology of the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Republic of Kazakhstan, tel. +77771625174, E-mail: geliograf@mail.ru

Чердниченко Алексей Владимирович
кандидат географических наук, старший научный сотрудник НИИ проблем биологии и биотехнологии Казахского Национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, т. +77772164945, E-mail: aleksey3969@mail.ru

Чердниченко Владимир Сергеевич
доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии и метеорологии Казахского Национального университета им. аль-Фараби, академик международной высшей школы, руководитель проекта НИИ проблем биологии и биотехнологии Казахского Национального университета им. аль-Фараби, т. +77773551262, E-mail: geliograph@mail.ru

Cherednichenko Aleksey Vladimirovitch
Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology of the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Republic of Kazakhstan, tel. +77772164945, E-mail: aleksey3969@mail.ru

Cherednichenko Vladimir Sergeyevitch
Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Hydrology and Meteorology, Kazakh National University named after Al-Farabi, Academician of the International Higher School, Project Manager of the Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology of the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Republic of Kazakhstan, tel. +77773551262, E-mail: geliograph@mail.ru