

---

УДК 551.5,581,582,583,587

Доктор геогр. наук

В.С.Чередниченко<sup>1</sup>

Доктор геогр. наук

А.В.Чередниченко<sup>1</sup>

Канд. геогр. наук

А.В.Чередниченко<sup>2</sup>

## ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

**Ключевые слова:** температура, осадки, климатические колебания, сценарии, индексы общей циркуляции,

*Рассмотрены особенности климатических изменений температуры и осадков в Северном Казахстане. Показано, что, несмотря на относительно небольшие размеры региона, климатические изменения происходят здесь со значительной временной задержкой. В основу построения сценариев положены физические закономерности, заключающиеся в наличии связей между климатическими колебаниями, содержащимися во временных рядах температуры и осадков и климатическими колебаниями в индексах общей циркуляции атмосферы, выявленные в процессе гармонического анализа.*

**Введение.** Северный Казахстан является основным сельскохозяйственным регионом Республики, обеспечивая продовольственную независимость и безопасность, данная территория относится к зоне рискованного земледелия, здесь из пяти лет урожайными бывают в среднем только три. Естественно поэтому, что проблема изменения климата и то, как это может повлиять на условия сельскохозяйственного производства в регионе, является чрезвычайно важной. Анализ возможных изменений климата в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.

Территория Северного Казахстана простирается с юга на север от 51° до 55,5° с.ш. и с запада на восток от 61° до 78° в.д. (рис. 1), и включает в себя четыре области Республики: Северо-Казахстанскую (Петропавловск), Костанайскую (Костанай), Акмолинскую (Кокшетау) и Павлодарскую

---

<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Региональная программа USAID «Энергия будущего», г. Нур-Султан, Казахстан

(Павлодар), однако, южные районы Костанайской, Акмолинской и Павлодарской областей уже не являются сельскохозяйственными ввиду заметного понижения количества осадков и повышения температуры вегетационного периода. Исследуемый регион расположен в центре Евразии, и этим обуславливаются большие амплитуды годового хода температуры и относительно малое количество осадков из-за большой удалённости от океанов, в первую очередь от Атлантического океана.



*Рис. 1. Территория Северного Казахстана.*

**Материалы и методы.** В данной работе, прежде всего, использованы официальные данные гидрометеорологической службы Казахстана [9]. Это, среднемесячные характеристики температуры и осадков по станциям Северного Казахстана за период наблюдений от начала двадцатого века по настоящее время.

**Методы.** Авторы отказались от линейной экстраполяции временных рядов температуры и осадков из-за того, что линейные тренды обладают большой инерцией. Так, для перехода от положительного тренда к отрицательному требуется до 10 лет или больше, поскольку необходимо время, чтобы компенсировать накопленную положительную сумму отклонений и достичь нейтрального тренда. Только после этого возможен переход к отрицательному тренду. Поэтому мы аппроксимировали наши ряды полиномом шестой степени, обеспечивая значительное сглаживание ряда, при котором, однако, сохраняются климатические экстремумы. Такая полиномиальная аппроксимация достаточно чувствительна к общей тенденции ряда и улавливает её по данным всего за несколько лет. Недостатком такого

метода аппроксимации является то, что неизвестно, как долго появившаяся тенденция в изучаемом параметре сохранится. Поэтому кроме полиномиальной аппроксимации в исследовании широко использовался гармонический анализ временных рядов. Гармонический анализ, как известно, представляет временной ряд в виде некоторой суммы тригонометрических функций, каждая из которых выбирает свою долю дисперсии изучаемого параметра. Чем быстрее сходится временной ряд, тем меньшим числом гармоник выбирается основная часть дисперсии. В нашем исследовании до 95 % дисперсии во временных рядах температуры выбирается тремя гармониками, а в рядах осадков – четырьмя. Следовательно, временные ряды осадков сходятся медленнее, чем ряды температуры [10-12]. В данной работе оценивался вклад гармоник не в долях дисперсии, а через их амплитуду, что позволяет измерять вклад каждой из гармоник в градусах и миллиметрах соответственно, что очень удобно и физически наглядно.

Если аппроксимация полиномом шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на изменение тренда в динамике ряда, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую гармонику принято интерпретировать как результат воздействия группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, которые участвовали в формировании временного ряда ранее, затем исчезнут. Это даёт возможность, во-первых, проверить, подтверждается ли полиномиальная тенденция на конце временного ряда соответствующим ходом основных гармоник, а, во-вторых, построить сценарий изменения временного ряда на 20...40 лет вперёд, как сумму продолженных основных гармоник на перспективу в каждой временной точке ряда. При этом основные гармоники, как основу прогноза, тоже можно аппроксимировать полиномом шестой степени, чтобы получить ожидаемый ход прогнозируемого параметра.

Климатические колебания в регионе авторы объясняют исключительно колебаниями общей циркуляции атмосферы. Для описания общей циркуляции в работе использованы широко известные индексы Вангенгейма для первого естественного синоптического района, простирающегося от середины Атлантики примерно до меридиана 100° в.д. [3, 12]. Вся территория Казахстана находится в пределах этого района. Количественных характеристик интенсивности процесса типизация Вангенгейма не содержит.

Как уже было сказано, климатические изменения, т.е. рост температуры или уменьшение количества осадков или то и другое одновременно,

могут привести вообще к невозможности заниматься в этом регионе земледелием. Поэтому необходимы сценарии изменения температуры и осадков на перспективу на период до 2040...2050 гг. Для этого сначала проанализируем временные ряды температуры и осадков в регионе [1, 5].

### Результаты гармонического анализа

*Температура.* В таблице 1 приведены результаты гармонического анализа рядов температуры по станциям региона, а на рис. 2, в качестве примера, результаты гармонического анализа временного ряда температуры станции Шарбакты.

Таблица 1

Продолжительность (годы) и амплитуда (°С) гармоник в рядах температуры станций Северного Казахстана

Станции	Гармоники						
	Первая			Вторая		Третья	
	Продолжительность	Амплитуда	Начало/конец	Продолжительность	Амплитуда	Продолжительность	Амплитуда
Кокшетау	148/114	2,8	2003/1946	38	0,9	23	0,8
Костанай	233/122	2,6	2004/1943	38	1,2	23	0,8
Астана	198/106	2,6	2005/1952	38	1,2	23	0,8
Павлодар	93/100	1,6	203/1953	38	0,6	23	0,8
Шарбакты	103/98	1,8	2002/1953	38	0,7	23	0,7
Явленка	180/118	1,9	2004/1945	39	0,8	24	0,8
Петропавловск	173/120	2,1	2003/1943	39	0,8	24	0,8
Среднее	-/110	2,2	-/-	38	0,9	23	0,8

В табл. 1 приведены характеристики первых трёх гармоник, выбирающих около 90 % дисперсии временного ряда. Однако мы для анализа будем пользоваться не долями дисперсии, а амплитудой гармоник. Амплитуды являются аналогом долей дисперсии, но более удобны и наглядны при анализе. Продолжительность первых гармоник по данным гармонического анализа колеблется от 100 до 220 лет, т.е. в довольно широких пределах, в том числе и за счёт погрешностей, обусловленных недостаточной длиной ряда (до 10 %). Для первых гармоник кроме их продолжительности в знаменателе приведена реальная продолжительность «вековых» циклов в рядах температуры, найденная по результатам полиномиальной аппроксимации, и не содержащая вышеупомянутой погрешности, обусловленная не только первой гармоникой, но всеми тремя.



*Рис. 2. Станция Шарбакты. Временной ряд температуры и результаты гармонического анализа.*

Можно видеть, что в этом случае длины первых гармоник уже различаются незначительно. Наличие второй и третьей гармоник при значительной их амплитуде и наличии синхронности часто обуславливают смещение временного ряда на понижение, несмотря на то, что «вековая» гармоника ещё растёт. Длина реальных циклов (знаменатель) определена на основе аппроксимации временного ряда температуры полиномом шестой степени. Можно видеть, что реальные вековые циклы тоже не остаются постоянными по территории. Они самые длинные в центральной и западной частях региона, согласуясь с длинами гармоник.

В качестве примера на рис. 3, приведён временной ряд температуры для станции Шарбакты, аппроксимированный таким образом.



*Рис. 3. Временной ряд температуры для станции Шарбакты, аппроксимированный полиномом шестой степени.*

В табл. 1 приведены также годы начала и конца реальных (первых) гармоник по станциям региона. Видно, что начало потепления в регионе

наступило не одновременно, а растянулось примерно на 10 лет, в то время как его конец наступил в течение двух – трёх лет. Эта растянутость наступления экстремумов, в данном случае минимума температуры, является следствием неодинаковости длины первых гармоник.

**Осадки.** Если температура является непрерывной величиной, то осадки - это дискретное явление. К тому же осадки сильно зависят от орографии. Поэтому мы не получили «одинаковости» гармоник для территории рассматриваемого региона, как это было при анализе температуры.

При построении сценариев динамики осадков на перспективу мы не посчитали возможным воспользоваться результатами гармонического анализа временных рядов осадков по аналогии с построением сценария температуры. Каждый случай осадков (импульс) характеризуется очень малым отношением длительности импульсов к периоду их повторения. Большая по сравнению с длительностью импульса величина периода повторения приводит к медленной сходимости ряда и к необходимости учитывать большое число гармоник, поскольку амплитуды соседних гармоник близки по величине, что имеет место и в нашем случае. Согласно теории гармонического анализа [4] «ряды Фурье пригодны скорее для анализа временных рядов, чем для синтеза» и построения прогностических сценариев.

Поэтому для построения сценариев динамики осадков на перспективу воспользуемся связью между временными рядами осадков и компонентами общей циркуляции атмосферы (типами макропроцессов), чтобы построить сценарии динамики осадков на перспективу. Для начала, однако, выполним гармонический анализ самих типов макропроцессов. Результаты такого анализа типов макросиноптических процессов E, C и W приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты гармонического анализа временных рядов типов циркуляции

Номера гармоник	типы					
	E		C		W	
	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни
1	98	60	58	40	103	65
2	43	40	28	25	38	40
3	23	20	18	20	23	5

Из табл. 2 можно видеть, что у всех типов более 90 % дисперсии выбирается первыми тремя гармониками, а у макротипа W – по сути двумя.

У всех типов с увеличением номера гармоники ее амплитуда, быстро понижается, т.е. ряды быстро сходятся, что говорит о высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связности рядов. [4] на это же указывает и соотношение длин гармоник.

Во временном ряде повторяемости типа E имеются вековые гармоники (98 лет) с амплитудой 60 суток, вторая гармоника продолжительностью 43 года и амплитудой 40 суток и третья гармоника продолжительностью 23 года и амплитудой 20 суток.

Вековая гармоника имеется также, в типе W (103 года), максимальная из всех гармоник, с амплитудой до 65 суток. Вторая гармоника продолжительностью 38 лет имеет амплитуду 40 дней, а третья – продолжительностью 23 года имеет амплитуду всего около 5 суток. В анализе третья гармоника в типе W по сути может не учитываться.

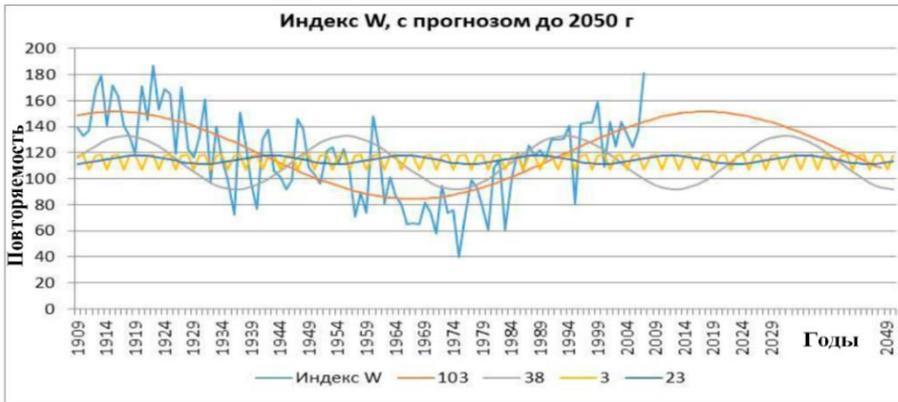
Во временном ряде типа C вековая гармоника отсутствует. Самой длинной является гармоника 58 лет с амплитудой 40 суток. Вторая гармоника продолжительностью 28 лет имеет амплитуду 25 суток. Третья гармоника продолжительностью 18 лет имеет амплитуду 20 суток.

Из трех макротипов циркуляции гармоники типа C имеют самые минимальные амплитуды (в два раза по сравнению с соответствующими гармониками других типов), а сами гармоники – наименьшую продолжительность.

Из выполненного анализа гармоник всех трёх типов циркуляции следует, что все они быстро сходятся, что предполагает наличие в них высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связность рядов. Это позволяет нам использовать их для построения сценария изменения осадков на перспективу.

Сценарий изменения количества осадков на перспективу построим в предположении, что гармоники в рядах типов общей циркуляции атмосферы сохраняются. Для этого выделенные гармоники мы продлили до 2050 г. (рис. 4). Проанализируем особенности их хода на временном участке до 2050 г.

а)



б)



в)

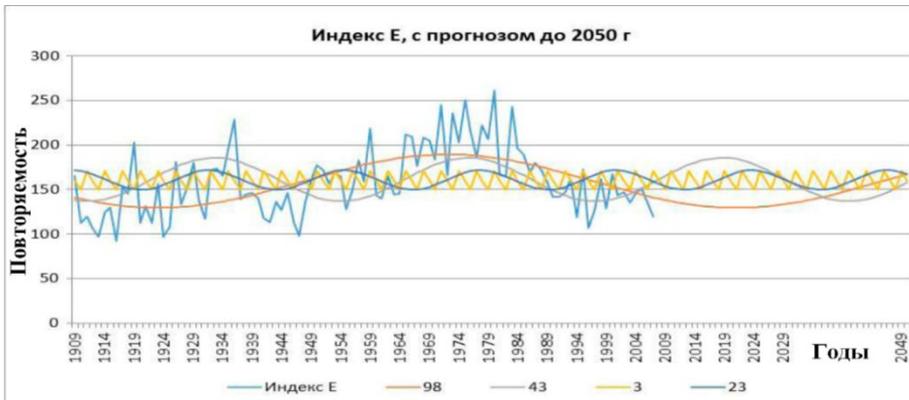


Рис. 4. Гармонический анализ индексов общей циркуляции атмосферы: (а) индекс W, (б) индекс C, (в) индекс E с их прогнозом до 2050 г.

Как следует из нашего анализа, повышенное количество осадков, ожидается при одновременном максимуме двух гармоник типа W или E, а пониженное – при одновременном максимуме первых двух гармоник типа C. При этом гармоники других типов должны находиться около нормы.

На анализируемом временном участке в максимуме амплитуды находится вековая гармоника типа W, которая и определяет осадки около нормы. Выше нормы они были в конце XX века и будут около 2025...2035 гг., когда и вторая гармоника типа W в максимуме.

Амплитуда вековой гармоники типа E в течение всего периода будет ниже нормы и её влияние будет слабым.

Амплитуда первой гармоники типа C, с которой связан минимум осадков в регионе, находится в максимуме в настоящее время, влияние которой перекрывается вековой гармоникой типа W.

На всём анализируемом временном участке не наблюдается совпадения максимумов первой и второй гармоник типов W или E, а также типа C, способствующих формированию выраженных климатических экстремумов осадков. Наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020...2025 гг., амплитуда колебаний  $\pm 20$  мм от многолетней нормы.

Большое подобие аппроксимационных кривых осадков отмечается на других станциях региона и позволяет рассчитывать, что ожидаемые климатические изменения количества осадков будут иметь место во всем регионе, хотя время наступления экстремумов на станциях будет несколько разным согласно нашим результатам.

Понижение температуры, которого авторы ожидают, хотя и небольшое, будет способствовать уменьшению испарения, что благоприятно скажется на земледелии.

**Обсуждение.** Построен климатический прогноз ожидаемого климатического изменения температуры и осадков хотя и разными методами, но на физических связях.

Представляет интерес сравнить наши данные и прогноз изменения климата по территории Казахстана с данными других авторов. Так, в [7, 13] на конец XX и начало XXI века вероятно - статистическими методами прогнозировались изменения температуры и осадков по территории Казах-

стана и Средней Азии. Предиктантами были температура и осадки на территории, а предикторами – глобальный коэффициент прозрачности, коэффициент оптической плотности, концентрация углекислого газа, приземная температура воздуха северного полушария и др. Причинно-следственные связи при этом не обсуждались. В работе [12], показано, что и прогноз осадков и прогноз температуры не оправдались. Часть связей была интерпретирована как ложная.

В то же время в [2], начиная с 2010 г., отмечалось потепление над югом Сибири. Примерно с этого же времени начали отмечать начало похолодания на северо-востоке Казахстана и мы, а в [12] было показано, что похолодание уже охватило всю территорию Республики.

К настоящему времени начало похолодания отмечается уже многими исследователями. Так, Европейский центр среднесрочных прогнозов в [8] глобальную температуру за последние годы представляет в виде практически горизонтальной линии. Понятно, что в некоторых регионах она может иметь и отрицательный тренд.

Согласно данным Гидрометцентра России [6] нулевые тренды средней за последние 10 лет температуры охватили не только юго-запад Сибири, но и большую часть Казахстана. Если бы были взяты температуры только за последние 7...8 лет, то отрицательными трендами был бы охвачен весь Казахстан, как это получено в нашей [12].

Из сказанного выше видно, что процесс похолодания охватил значительный регион, и наши результаты хорошо согласуются с результатами других авторов. Следует ли из этого, что земледелию в Северном Казахстане ничего не угрожает? Как отмечено выше, территория относится к зоне рискованного земледелия, два из пяти лет являются неурожайными. Поэтому остаётся проблема адаптации к существующим климатическим условиям. Кроме того, борьба за уменьшение выбросов парниковых газов, даже если они не являются первопричиной потепления, является также борьбой за сокращение выбросов в окружающую среду всевозможных загрязняющих веществ, создающих вторую не менее важную проблему для человечества.

**Результаты.** В результате выполненных исследований мы получили следующее.

Временные ряды температуры при гармоническом анализе первые три гармоники, как правило, выбирают около 90 % дисперсии. Благодаря

этому возможно построение сценариев на перспективу в предположении сохранности первых гармоник разложения.

Гармоники временных рядов метеорологических станций в пределах региона Северного Казахстана очень сходны. Это позволяет применить метод «ближайших соседей», взяв для анализа одну станцию из группы.

Температура в Северном Казахстане в течение ближайших 50 лет будет понижаться в пределах амплитуды вековой гармоник, около 2 °С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижением амплитуды вековой гармоник, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0,8 °С.

Показано, что гармоники во временных рядах осадков не обладают достаточной сходимостью из-за того, что каждый случай осадков (импульс) характеризуется очень малым отношением длительности импульсов к периоду их повторения. Большая по сравнению с длительностью импульса величина периода повторения приводит к медленной сходимости ряда и к необходимости учитывать большое число гармоник, поскольку амплитуды соседних гармоник близки по величине. В то же время гармоники в рядах осадков мало меняются по территории, и это позволяет при построении сценария на перспективу применять метод «ближайших соседей». Применительно к осадкам при построении прогноза на перспективу более целесообразно использовать связи между климатическими изменениями осадков и колебаниями индексов общей циркуляции атмосферы. На период до 2050 г. в Северном Казахстане наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020...2025 гг., амплитуда колебаний  $\pm 20$  мм от нормы.

Несмотря на то, что в ближайшие десятилетия ожидается понижение температуры в регионе, способствующее понижению испарения, а осадки ожидаются около нормы, адаптационные мероприятия в сельском хозяйстве необходимы ввиду большой межгодовой изменчивости количества осадков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросянц М.А., Пшеничный А.Я., Романов Н.Н., Чернышева О.Н. Синоптические процессы

- Средней Азии – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. – 478 с.
2. Всемирный фонд дикой природы. [Электрон. ресурс] – URL: [akokorin@wwf.ru](mailto:akokorin@wwf.ru) (дата обращения: 07.01.2019).
  3. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 488 с.
  4. Груза Г.В., Ранькова Э. Я. Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата // Шестьдесят лет центру гидрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – С. 148-170.
  5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 270 с.
  6. Данные Гидрометцентра России. Наблюдаемые климатические тренды в средних сезонных полях температуры. [Электрон. ресурс] – URL: <http://meteoinfo.ru/climate/2015-05-25-13-36-16/3468-clim-trend-s> (дата обращения 07.01.2019).
  7. Пилифосова О.В. Вероятностный сверхдолгосрочный прогноз полей изменений сумм осадков в регионе «Казахстан-Средняя Азия» // Труды КазНИГМИ, 1991. – Вып.111. – С. 66-75.
  8. Подразделение климатических исследований. [Электрон. ресурс] – URL: <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения 07.01.2019).
  9. Справочник по климату Казахстана. // Многолетние данные. – Алматы: Казгидромет, 2004. – Вып.1-14.
  10. Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания. – Алматы, 2015. – 208 с.
  11. Чередниченко А.В., Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Временные ряды температуры и осадков: Статистический анализ. Алматы, 2013. – 367 с.
  12. Чередниченко А.В., Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Климатические циклы во временных рядах температуры над Казахстаном. Начало цикла похолодания // Гидрометеорология и экология – 2013. – №4. – С. 7-26.
  13. Sneyers R. On the Statistical Analysis of Series of Observations. // Technical note – Geneva: WMO, 1990. – №143. – 192 p.

Поступила 11.01.2019

Геогр. ғылымд. докторы

В.С.Чередниченко

Геогр. ғылымд. докторы

А.В.Чередниченко

Геогр. ғылымд. канд.

А.В.Чередниченко

## СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА КҮТІЛЕТІН КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ

**Түйін сөздер:** температура, жауын-шашын, климаттық ауытқулар, сценарийлер, жалпы айналым индекстері;

*Солтүстік Қазақстандағы температура мен жауын-шашынның климаттық өзгеру ерекшеліктері қарастырылған. Аймақтың салыстырмалы аз көлеміне қарамастан, климаттық өзгерістер бұл жерде айтарлықтай уақытша кідіріспен орын алады. Сценарийлерді құрастырудың негізіне физикалық заңдылықтар алынған, ол гармоникалық талдау процесінде анықталған температура мен жауын-шашынның уақытша қатарындағы климаттық ауытқулар мен атмосфераның жалпы айналым индексіндегі климаттық ауытқулар арасындағы байланыстардың болуы.*

V.S. Cherednichenko, A.V. Cherednichenko, A.V. Cherednichenko

## CLIMATE CHANGE EXPECTED IN NORTHERN KAZAKHSTAN

**Keywords:** temperature, precipitation, climatic fluctuations, scenarios, general circulation indices

*The features of climatic changes in temperature and precipitation in Northern Kazakhstan are considered. It is shown that, despite the relatively small size of the region, climatic changes occur here with a significant time delay. The basis for building scenarios is based on physical laws, which consist in the presence of links between climatic fluctuations contained in time series of temperature and precipitation and climatic fluctuations in the indices of the general circulation of the atmosphere, identified in the process of harmonic analysis.*