

УДК 502/504.501.303.01.303.7

Доктор геогр. наук  
Канд. геогр. наук  
Доктор геогр. наук  
Канд. геогр. наук

А.В. Чередниченко \*  
Алексей В. Чередниченко \*  
В.С. Чередниченко \*  
Э.П. Кожаметова \*\*  
А.Ю. Смирнова \*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА ЦИКЛОВ В РЯДАХ ТЕМПЕРАТУРЫ

*ЦИКЛЫ В РЯДАХ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ, ВРЕМЕННОЙ СПЕКТР ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ, ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ, ДИСПЕРСИЯ, МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА*

*Выполнен спектральный анализ рядов температуры по пятидесяти метеорологическим станциям. Выделены и проанализированы основные циклы. Показано, что устойчивость циклов существенно изменяется по территории. Это может затруднить их использование при построении сценариев изменения климата.*

Исследованию цикличности, т.е. периодических колебаний, во временных рядах температуры и осадков, стока рек, а также целого ряда других метеорологических и природных факторов научное сообщество уделяет большое внимание с давних пор [1-19]. Интерес к проблеме объясняется просто. Не вызывает сомнения наличие суточного и годового хода температуры воздуха, давно известно об одиннадцатилетних колебаниях числа пятен на Солнце, позже были обнаружены и другие более длинные циклы как в жизни самого Солнца так и в жизни Солнечной системы в целом. Естественно ожидать, что солнечные циклы должны вызывать циклические колебания в компонентах окружающей среды. Ещё более общим является закон Ребиндера, хорошо известный в технике, согласно которому в системах, где есть расход или перераспределение энергии, имеют место и пульсации этой энергии. Планета Земля и космос являются системой, в которой постоянно происходит обмен энергией.

Знание законов, т.е. длины волны (или частоты) и амплитуды, по которым осуществляются колебание изучаемого параметра, позволяет

---

\* НИИ проблем экологии КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

\*\* Институт Географии МОН РК, г. Алматы

надеяться на успешный его прогноз на перспективу в предположении сохранения колебаний.

Атмосфера является всего лишь одной из компонент окружающей среды. На неё одновременно воздействует целый ряд факторов. Это и прямой нагрев под действием коротковолнового солнечного излучения, нагрев или охлаждение от подстилающей поверхности, общая циркуляция, сопровождающаяся переносом тепла или холода, длинноволновое излучение подстилающей поверхности и самой атмосферы, термодинамические процессы в атмосфере, облачность и многое другое. Естественно, что влияние всех воздействующих факторов, складываясь или вычитаясь, определяют состояние атмосферы в каждый момент времени.

Наличие нескольких факторов, воздействующих на атмосферу одновременно, приводит к тому, что во временных рядах температуры и осадков существует сразу несколько гармоник разной временной продолжительности, описывающих влияние основных воздействующих факторов. Это усложняет выделение гармоник и их анализ [2, 6, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15].

Модуль программы STATISTICA «Временные ряды» включает полную реализацию методов спектрального или Фурье анализа одного ряда и кросс-спектральный анализ двух рядов. Преимущества реализации спектрального анализа в STATISTICA особенно отчетливо проявляются при анализе очень длинных временных рядов (с более чем 250 тыс. наблюдений) и не предполагают каких-либо ограничений на длину ряда (в частности, длина исходного ряда не обязана быть четной). Вместе с тем, иногда бывает разумно предварительно увеличить или уменьшить длину ряда. Стандартные методы предварительной обработки ряда включают косинус-сглаживание, вычитание среднего и удаление тренда. Результаты обычного спектрального анализа содержат коэффициенты частоты, периода, коэффициенты при синусах и косинусах, периодограмму и оценку спектральной плотности. Оценка плотности может быть вычислена с помощью весов Даниеля, Хэмминга, Бартлетта, Тьюки, Парзена или с весами и шириной, заданными пользователем. Очень полезно, особенно при работе с длинными рядами, иметь возможность выводить в убывающем порядке заранее заданное число точек периодограммы или спектральной плотности; таким образом можно легко обнаружить резкие пики периодограммы и спектральной плотности для длинных рядов. Имеется возможность вычислить d-критерий Колмогорова-Смирнова для значений периодограммы, чтобы проверить, подчиняются ли они экспоненциальному рас-

пределению (является ряд белым шумом или нет). Для представления результатов анализа имеются различные типы графиков; можно отобразить коэффициенты при синусах и косинусах, периодограмму, лог-периодограмму, спектральную и лог-спектральную плотность по отношению к частотам, периодам и лог-периодам. Спектральный анализ показывает, какого рода колебания преобладают в данной функции.

Еще в конце 19 в. Э.А. Брикнером [19] и А.И. Воейковым [1] была выдвинута гипотеза о циклических изменениях климата – чередовании прохладно-влажных и тепло-сухих периодов в интервале 35...45 лет. Позже А.В. Шнитников [16-18] развил эти научные положения в виде стройной теории о внутривековой и многовековой изменчивости климата и общей увлажненности материков Северного полушария. По А.В. Шнитникову длительность отдельных внутривековых «брикнеровских» климатических циклов колеблется от 20...30 до 45...47 лет, на фоне которых развиваются циклы продолжительностью в 7...11 лет. В каждом втором «брикнеровском» цикле максимальные и минимальные значения температуры и влажности существенно превышают внутривековые показатели и классифицируются как циклы векового масштаба проявления. Вековые циклы развиваются в интервале 60...80 лет, приближаясь в северных районах к 90 годам [16-18]. А.В. Шнитниковым показано, что с момента окончания ледникового периода климат и общая увлажненность материков Северного полушария изменялись циклически, в интервале 1500...2100 лет. Всего за голоцен развивалось 6 макроклиматических циклов, в каждом из которых прохладно-влажная эпоха занимала 300...500 лет, сменяясь тепло-сухой в 600...800 лет, а затем переходной с продолжительностью 700...800 лет. По А.В. Шнитникову середина 19 века расценивается как принципиальный рубеж – окончание очередной прохладно-влажной климатической эпохи и начало тепло-сухой эпохи, которая развивается по настоящее время. Существование циклических многовековых изменений климата подтверждаются также в работах [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15].

Однако существование циклов в рядах температуры и осадков, в общей циркуляции признаётся не всеми или признаётся с большими оговорками. Так, С.П. Хромов относился к выявлению и реальности существования циклов в рядах температуры и осадков с большим скептицизмом [14]. Рассуждая о некоторых спорных вопросах, относящихся к цикличности солнечной активности и ее предполагаемым связям с климатом, он отмеча-

ет, что как раз циклы, длины которых сопоставимы с длинами наиболее достоверных солнечных циклов, отнюдь не преобладают среди находимых климатических циклов или не обнаруживаются вовсе. Е.С. Рубинштейн и Л.Г. Полозова установили по пятилетним скользящим средним температурам для 80 станций Северного полушария, что 11-летние колебания наблюдаются только на 20 % всех исследованных станций и немногим больше, чем в 2 % всех взятых вместе месяцев [12]. По А.С. Монину размытый максимум в спектре повторяемости циклов в длинных рядах средней месячной температуры в Москве и Санкт-Петербурге лежит между 2 и 5 годами; циклов в 11 и 23 года не обнаруживается [7, 8]. Монин указывает также на зарубежные исследования колебаний температуры и осадков по США и Европе, где циклы в 5...6, 11...12 лет и 22...23 года также не проявляются. Позднее А.С. Монин и И.Л. Вулис рассчитали 21 временной спектр долгопериодных колебаний метеорологических элементов, а также колец деревьев, озерных отложений и т.п., и обнаружили отсутствие 11-летней и 23-летней составляющих во всех спектрах [8]. Применяя автокорреляционный анализ, О.А. Дроздов и А.С. Григорьева обнаружили в осадках на территории СССР множество циклов длиной от двух до ста лет, причем спектры этих циклов неодинаковы по районам и по отдельным станциям [4]. Правда, для каждой станции набор циклов ограничен двумя - пятью для каждого сезона. Авторы замечают (стр. 67), что «такие солнечные циклы, как 5...6 и 11 лет, не выделяются над общим уровнем шума, исключение составляет цикл около 23 лет».

Отметим, что учет естественных циклических колебаний при прогнозных оценках изменений природных процессов на ближайшую перспективу (в полной мере это относится и климату, и к водным ресурсам) был и будет очень важной проблемой. Климатические сценарии, основанные на всех типах моделей общей циркуляции атмосферы, не учитывают циклические колебания климата, однако при прогнозах на ближайшую перспективу именно это обстоятельство может быть главной причиной неудачи такого прогноза [15].

Наличие обнаруженных циклов и их достоверность необходимо проверять с помощью других альтернативных статистических методик, основанных на анализе внутренней структуры временных рядов, а также оценивать значимость выявленных циклов.

Одним из методов такой проверки может служить пространственное распределение циклов. К тому же пространственный анализ циклов

позволяет сравнить их распределение с другими уже изученными характеристиками общей циркуляции, подтвердить или поставить под сомнение обнаруженные циклы.

Для проблемы изменения климата наибольший интерес представляют циклы, превышающие десятилетие. В то же время циклы в несколько лет легче проанализировать во взаимосвязи с характеристиками общей циркуляции атмосферы. Мы выполнили пространственный анализ всех циклов, обнаруженных при анализе, начиная с продолжительности в 2...3 года. В эту категорию объединены все наблюдавшиеся циклы в диапазоне от 2 до 3,3 года. Количественной характеристикой цикла была величина содержащейся в нем дисперсии или её аналога, в данном случае Peridogram values (PV), как наиболее удобная при анализе. Выделение самих циклов, особенно длинных, однако, оказалось более успешным с помощью весов Хэмминга, что мы часто и делали.

Как сказано выше, для того, чтобы точно установить границы длинных циклов, необходимо их выделять, варьируя длиной ряда. В данной работе мы этого сделать не можем по техническим причинам. Поэтому под длинами рядов 72, 36 и 24 года следует подразумевать все ряды с близкой длиной. Такой подход позволил нам упростить общий анализ рядов. Чем короче ряд, тем точнее определены его границы. На наших рисунках «крестиком» помечены области, где соответствующая гармоника выделяется в виде максимума (экстремума) PV. Знаком «минус» помечены области, где гармоника значима, но максимума не имеет.

На рис. 1 представлены величины PV для циклов 2...3 года.

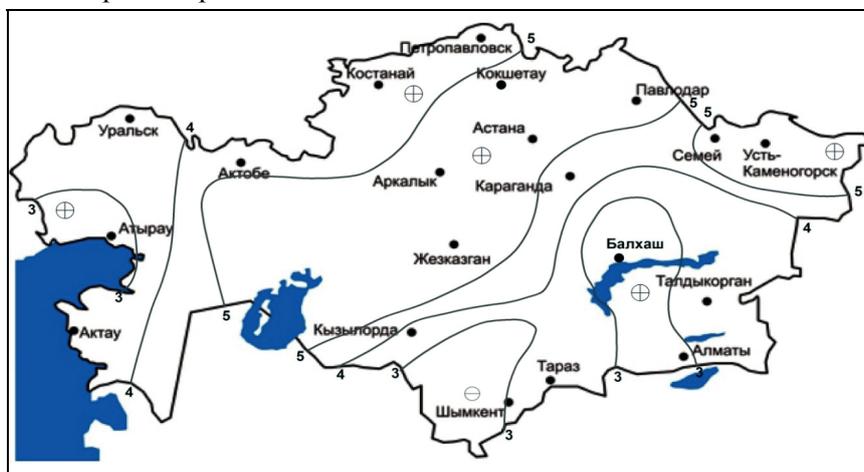


Рис. 1. Доли дисперсии (PV) для 2...3 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

С северо-востока на юго-запад через центральные районы Казахстана вытянута обширная область больших  $PV$  ( $> 5$ ). Еще одна такая же область  $PV$  расположена в районе Усть-Каменогорска – Семипалатинска. К северо-западу и северу территории величины  $PV$  понижаются до 2,9 и 4,2 соответственно. Юго-восток Республики занят пониженными величинами  $PV$  ( $< 3$ ), но без выраженного центра, так в Таразе и Талдыкоргане  $PV < 3.3$ .

Циклы продолжительностью 2...3 года выражены на всей территории Казахстана. Циклы продолжительностью 4 года имеют значительно меньшие величины  $PV$ , чем 2...3 летние (Рис. 2).

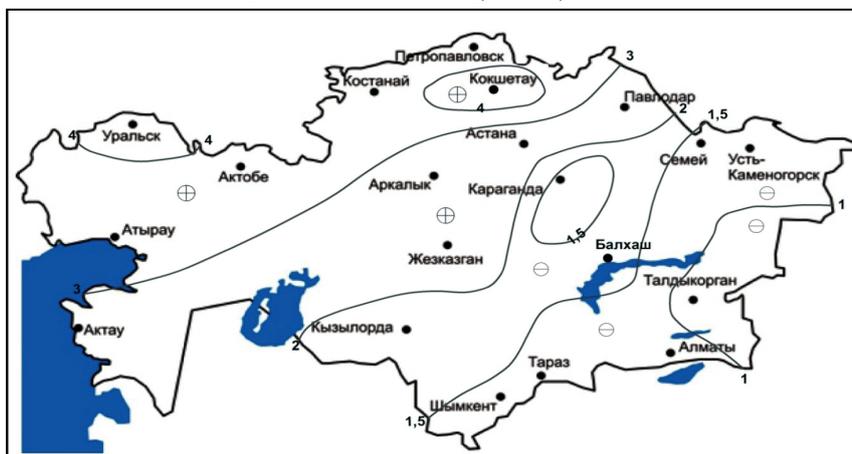


Рис. 2 Доли дисперсии ( $PV$ ) для 4 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

Самые большие величины  $PV$  на северо-западе и севере Казахстана, где они составляют 4,3 и 6,6  $PV$  в максимуме.

К юго-востоку величины  $PV$  плавно понижаются до 2...2,6  $PV$  в районе Кызылорды – Павлодара, до 1,8  $PV$  в полосе Туркестан – Балхаш и около 1,2...0,6  $PV$  на юго-востоке территории и на Алтае.

Циклы продолжительностью 4 года хорошо выражены по сравнению со смежными северозападнее линии Кызылорда – Джезказган – Караганда – Павлодар. Югозападнее от этой линии, включая Алтай, циклы не выражены, т.е. величина  $PV$  для них не образует максимума по сравнению со смежными регионами.

Восьмилетние циклы не обнаруживаются. Однако повсеместно на всей территории Казахстана имеют место циклы продолжительностью 8,4 и 7,6 года. Суммарная  $PV$  этих двух циклов превышает 5. На рис. 3 представлено пространственное распределение величины  $PV$  для цикла 7,6 года.

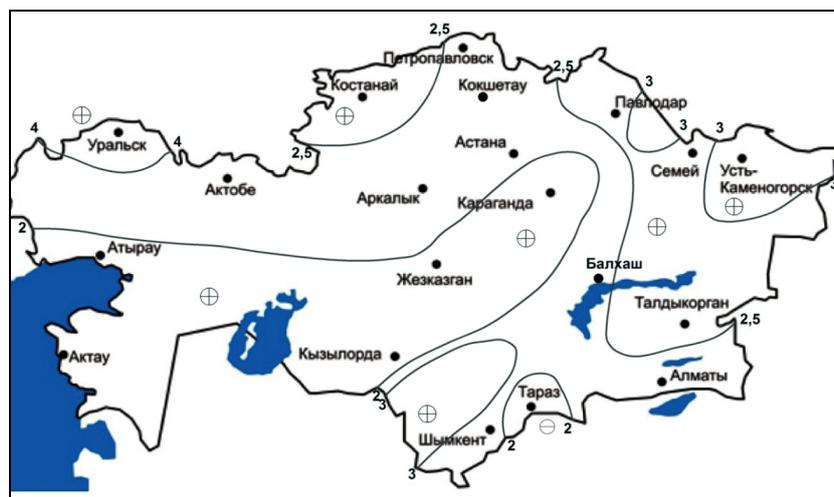


Рис. 3. Доли дисперсии (PV) для 8 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

Циклы в 8 лет хорошо выражены на большей части Казахстана, кроме района Тараза.

Величины PV, меньшие 2, имеют место в полосе, захватывающей район Арала, Джезказгана и Караганду. Несколько выше PV в районе Астаны и Кокчетава, около 2,2...2,4.

Величины PV, превышающие 2,5 единиц, расположены на востоке Республики они захватывают не только район Алтая (PV > 4,5), но и большую часть Прибалхашья и Джунгарию.

Циклы в 16 лет очевидны только в Северном Казахстане, на Алтае и в районе Чимкента – Тараза (+). На остальной части территории они не выражены (-). У северных предгорий Заилийского Алатау, в Чимкенте и Таразе величины PV особенно низкие 1,2...1,4.

Циклы с периодом в 16 лет уже представляют определенный интерес для рассматриваемой проблемы (рис. 4). Большие величины PV для данного цикла наблюдаются над Северным Казахстаном. В Петропавловске они превышают 2,7, понижаясь к 50° с.ш. до 1,3...1,7 PV. Ещё три небольшие области повышенных величин PV находятся в районе Арала, от 6 до 2,7 PV и Туркестана – Тараза, 4,5 PV. На территории южнее 50° с.ш. величины PV меньше 1,5.

На рис. 5 представлены величины циклов продолжительностью 24 года. Циклы такой продолжительности имеют место на крайнем юго-востоке Республики (Чимкент – Алматы, 8,0...2,88) и на Алтае (Усть-Каменогорск 2,7 PV), а также в полосе Арал – Караганда – Семей, 3,2...2,2 PV.

Северо-западнее циклы такой продолжительности не выражены, т.е. они находятся в минимуме по сравнению с PV большей и меньшей продолжительности. На рис. 5 этот район помечен знаком (-) в отличие от районов, где циклы в 24 года выражены на фоне смежных. Они помечены знаком (+).

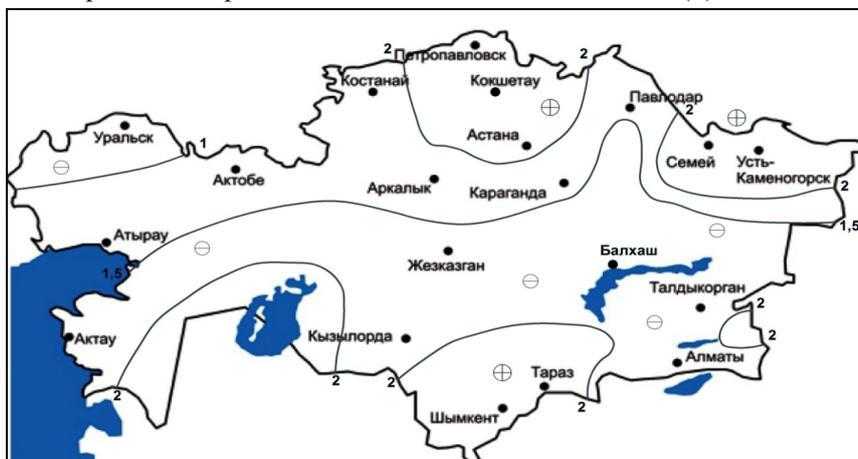


Рис. 4. Доли дисперсии (PV) для 16 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

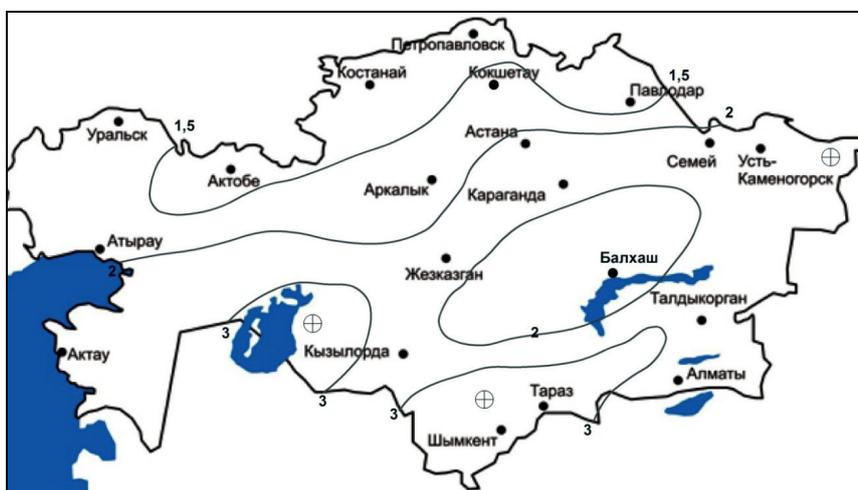


Рис. 5. Доли дисперсии (PV) для 24 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

Хорошо выраженные циклы продолжительностью 36 лет имеют место в районе Чимкента – Кызылорды – 4,5...11,0 PV, Алматы – 4,3 PV и на Алтае, 4,1 PV (рис. 6).

На остальной территории, включающей центральные, северные, северо-западные и северо-восточные районы, циклы продолжительностью в 36 лет в рядах температуры не выражены.

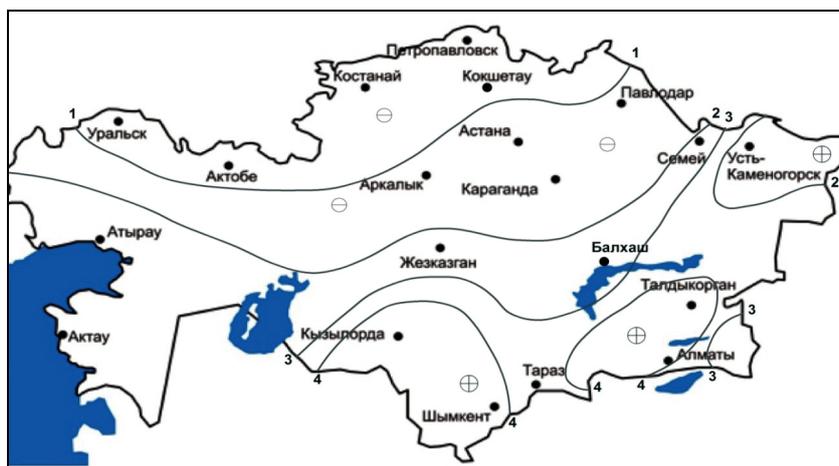


Рис. 6. Доли дисперсии (PV) для 36 летних циклов.

Циклы продолжительностью более 36 лет, т.е. вековые, в виде положительного тренда PV выражены юго-восточнее линии Кызылорда – Жезказган – Семипалатинск (рис. 7).

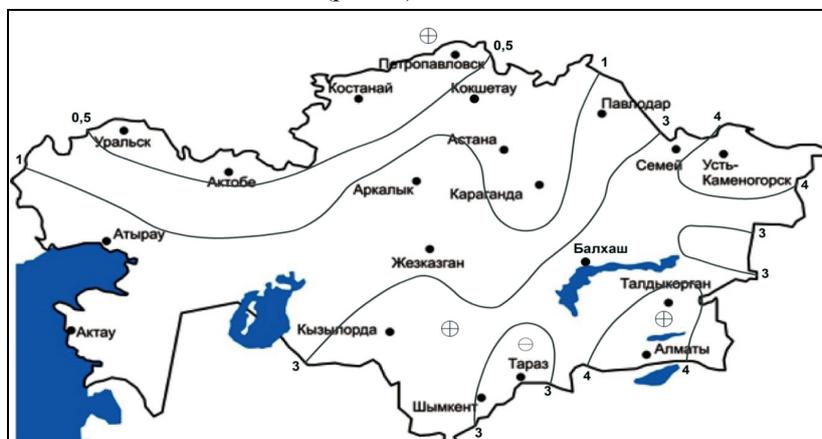


Рис. 7. Доли дисперсии (PV) для 72 летних циклов во временных рядах годовой температуры.

Северо-западнее от этой линии тренд таких циклов отрицательный, хотя и это лишь указывает на то, что их доля в дисперсии меньше, чем на юго-восток Республики.

Выполненный пространственный анализ циклов температуры показывает, что он в общих чертах отражает климатические и циркуляционные особенности над рассматриваемой территорией. Так, изолинии PV для всех циклов проходят с северо-востока на юго-запад, что согласуется с основным направлением вторжений – с северо-запада.

Циклы продолжительностью 2...3, 4 и 8 лет имеют тенденцию ослабевать к юго-востоку. Циклы в 24 и 36 лет слабо выражены по северу территории и хорошо по югу, что может указывать на пульсации с такой периодичностью пояса высокого давления.

Другие особенности, имеющие место (например, цикл в 16 лет), могут быть объяснены в ходе дальнейших исследований.

Таким образом, в рядах средней годовой температуры имеют место вековые, брикнеровские, а также кое-где 19 и 13-летние, и более короткие циклы. Циклы продолжительностью 11 лет во временных рядах средних годовых температур отражения не нашли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воейков А.И. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири. // Метеорологический вестник. – 1901. – №3. – С. 16-27.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. – М.: Мысль, 1988. – 522 с.
3. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 495 с.
4. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 316 с.
5. Кинд Н.В. Палеоклиматы и природная среда голоцена – История биогеоценозов СССР в голоцене. – М.: Наука, 1976. – С. 5-14.
6. Ладьюри Э. Ле Руа. История климата с 1000 года. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 270 с.
7. Монин А.С. Прогноз погоды, как задача физики. – М.: Наука, 1969. – 184 с.
8. Монин А.С., Вулис И.Л. О спектре долгопериодных колебаний метеорологических полей. – М.: Наука, 1971. – 22 с.
9. Оль А.И. Проявление 22-летнего цикла солнечной активности в климате Земли. // Труды ААНИИ. – 1969. – Вып. 289. – С. 116-129.
10. Питток А.Б. Связь солнечных циклов и погоды – не результат ли удачных опытов самовнушения [Электрон. ресурс]. – 1978. – URL: <http://meteocenter.net/meteolib/sun.htm> (Дата обращения 20.04.2013)
11. Рубашев Б.М. Проблемы солнечной активности. – М.: Наука, 1964. – 362 с.
12. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 268 с.

13. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря.: Автореф. дис. ... доктора геогр. наук. / Московский государственный университет им. Ломоносова. – М., 1977. – 62 с.
14. Хромов С.П. Солнечные циклы и климат //Метеорология и гидрология. – 1973. – №9. – С.
15. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 300 с.
16. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Наука, 1969. – 244 с.
17. Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Тр. Лаб. озероведения АН СССР. – 1950. – Т.1. –129 с.
18. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. – Зап. Геогр. общество СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – Т.16. – 261 с.
19. Bruckner ed. Klimaschwankungen seit 1700 nebst bemerkungen uber die klimaschwankungen der diluvialzeit. // georg. Abhandl. Von a.penck. – 1890. – bd. 4, hf.2. – S. 43-58.

Поступила 20.06.2013

Геогр. ғылымд. докторы	А.В. Чередниченко
Геогр. ғылымд. канд.	Алексей В. Чередниченко
Геогр. ғылымд. докторы	В.С. Чередниченко
Геогр. ғылымд. канд.	Э.П. Кожаметова
	А.Ю. Смирнова

#### **ТЕМПЕРАТУРА ҚАТАРЛАРЫНДАҒЫ ЦИКЛДІҢ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫ БОЙЫНША ТАРАЛУЫ**

*Елу метеорологиялық станция бойынша температура қатарларының спектральдік талдауы жасалды. Негізгі циклдері анықталып талдандау жүргізілді. Аумақ бойынша циклдер тұрақтылығының айтарлықтай өзгеретіні көрсетілді. Бұл жағдай климаттың өзгеру сценарилерін жасап қолдануда қиындық туындатуы мүмкін.*