

**Боголюбова Е.<sup>1</sup>, Куанышова С.<sup>2</sup>**

к.ф.-м. наук, доцент, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, тел.: +7 705 569 3409  
<sup>2</sup>студентка 4 курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, тел.: +7 747 556 6749

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ СЕЗОННЫХ ОСАДКОВ  
ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА  
С ВЫСОТНЫМИ БАРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ И  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ**

Выявление синхронных и асинхронных корреляционных связей сезонных осадков с различными характеристиками циркуляции атмосферы в теплый период года позволяет разрабатывать физико-статистические модели прогноза этой величины. Основной целью исследования являются оценка и сравнительный анализ синхронных и асинхронных статистических связей средних сезонных сумм осадков на востоке Казахстана с барическими полями в узлах сетки Северного полушария и характеристиками циркуляции. В качестве таких характеристик были взяты: индекс Североатлантического колебания и число дней с типами циркуляции по М.Х. Байдалу. Физико-статистические модели прогноза различных характеристик погоды часто создаются на базе уравнений линейной множественной регрессии, которые содержат определенный набор предикторов. Физический аспект отбора предикторов для уравнения множественной регрессии в задачах прогноза осадков довольно разнообразен. Такие связи часто устанавливаются с помощью расчета коэффициентов корреляции между прогнозируемой величиной и предикторами, входящими в уравнение регрессии, имеющими значимую корреляционную связь. В исследовании проведена оценка корреляционных связей осредненных по территории сезонных осадков на востоке Казахстана с различными характеристиками циркуляции. Проведена классификация осредненных по территории Восточного Казахстана средних сезонных сумм осадков по классам «меньше нормы», «норма» и «выше нормы», определена повторяемость каждого класса и составлен каталог лет с избытком сезонных осадков, превышающим  $1,2 S_x$ .

**Ключевые слова:** сезонные осадки, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс, тренды, коэффициент корреляции, значимость коэффициента корреляции для пятипроцентного уровня значимости.

Bogolyubova E.<sup>1</sup>, Kuanyshova S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>to. f-m of sciences, associate professor, Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, tel.: +7 705 569 3409  
<sup>2</sup>student 4 courses, Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, tel.: +7 747 556 6749

**Statistical communications of seasonal rainfall of East Kazakhstan  
with high-rise baric fields and characteristics of circulation of the atmosphere**

During the warm period of year the physics – statistical forecasting models of this size allows to develop identification of synchronous and asynchronous correlative communications of seasonal rainfall with various characteristics of circulation of the atmosphere. The main goal of the study is to evaluate and compare the synchronous and asynchronous statistical relationships of mean seasonal precipitation in Eastern Kazakhstan with the baric fields at the grid nodes of the Northern Hemisphere and the circulation characteristics. Such characteristics were taken: the index of the North Atlantic Oscillation and the number of days with circulation types according to M.Kh. Baidal, which can be used in physical and

statistical forecast models. Physical and statistical forecast models of different weather characteristics are often created on the basis of linear multiple regression equations that contain a certain set of predictors. The physical aspect of selecting predictors for the multiple regression equation in precipitation prediction problems is quite diverse. Such relationships are often established by calculating the correlation coefficients between the predicted value and the predictors included in the regression equation that have a significant correlation relationship. In the study, the correlation of averaged over the territory of seasonal precipitation in the east of Kazakhstan with different circulation characteristics was evaluated. The average averaged seasonal precipitation amounts averaged over the territory of East Kazakhstan according to the classes «less than the norm», «norm» and «above the norm» were done, the frequency of each class was determined and a catalog of years with an excess of seasonal precipitation exceeding  $1.2 S_x$  was compiled.

**Key words:** seasonal precipitation, mean square deviation, coefficient of variation, asymmetry, kurtosis, trends, correlation coefficient, significance of the correlation coefficient for a 5% level of significance.

Боголюбова Е.<sup>1</sup>, Куанышова С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ф-м. ғ.к., доцент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, тел.: +7 705 569 3409

<sup>2</sup>4 курс студентті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, тел.: +7 747 556 6749

### Шығыс Қазақстанда маусымдық жауын-шашынның биік барикалық алқаптары мен атмосфера циркуляциясы сипаттамалары мен статистикалық байланыстары

Жылдың жылы кезеңінде атмосфералық айналымның түрлі сипаттамаларының маусымдық жауын-шашынның синхронды және асинхронды корреляциясын анықтау осы шаманы болжау үшін физикалық-статистикалық модельдерді жасауға мүмкіндік береді. Зерттеудің негізгі мақсаты Шығыс Қазақстанда орташа маусымдық жауын-шашындардың жиынтығының Солтүстік жарты шардағы торының түйіндерінде барикалық алқаптың және атмосфера айналымы сипаттамаларының синхронды және асинхронды корреляциялық статистикалық байланыстарын бағалау мен салыстырмалы талдау болып табылады. Осындай сипаттамалары ретінде: болжаудың физикалық және статистикалық модельдер қолдануға мүмкін болатын Солтүстік Атлантикалық тербеліс индексі және М.Х. Байдал бойынша айналымның түрлерінің байқалу күндердің саны алынды. Түрлі ауа-райы сипаттамаларының болжамдары физикалық және статистикалық модельдері белгілі бір предиктор жиынтығынан тұратын сызықтық көптік регрессия теңдеулер негізінде құрылады. Осындай байланыстар регрессия теңдеуіне кіретін маңызды корреляциялық байланысы бар предикторлары мен болжанатын шамалар арасындағы корреляция коэффициентін есептеу көмегімен жиі белгіленеді. Зерттеуде айналымның әр түрлі сипаттамалары Шығыс Қазақстан аумағына орташаланған маусымдық жауын-шашынның корреляциялық байланыстары бағаланды. Шығыс Қазақстан аумағының орташа маусымдық жауын-шашындардың жиынтығы «аз нормалары», «норма» мен «нормадан жоғары» класс бойыншы жіктелді, әр класстың қайталанушылығы анықталды және  $1,2 S_x$  жоғары маусымдық жауын-шашындардың каталогы жасалды.

**Түйін сөздер:** маусымдық жауын-шашын, орташа квадраттық ауытқу, вариация коэффициенті, асимметрия, эксцесс, трендтер, корреляция коэффициенті, бес пайыздық маңызды деңгей үшін корреляция коэффициентінің маңыздылығы.

## Введение

Атмосферные процессы, наблюдаемые в отдельных районах земного шара, нельзя рассматривать изолированно от глобальных атмосферных процессов на пространстве большой широтной зоны или всего северного полушария. Особенно остро это ощущается, если речь идет о долгосрочных прогнозах погоды. Обычно такие процессы бывают взаимосвязанными и являются проявлениями колебаний общей циркуляции ат-

мосферы. Такие связи, как правило, устанавливаются с помощью традиционных методов математической статистики. Одни авторы в качестве предикторов для уравнения линейной множественной регрессии предпочитают использовать характеристики атмосферы, другие – данные о подстилающей поверхности, третьи – больше доверяют данным о солнечной активности, а иные предпочитают использование комплекса различных сочетаний вышеуказанных характеристик (Юдин, 1968: 28; Юдин, 1972: 83-94;

Юдин, Блажевич, Репинская, 1972: 16-28; Юдин, Мещерская, 1977: 3-12; Борисенков, Воробьева, Покровская, Полозова, Сазонов, Яковлева, 1977: 40-52 ; Чичасов, 1984, 49). Атмосферные процессы, как в региональном, так и в глобальном масштабе, бывают взаимосвязанными и являются проявлениями общей циркуляции атмосферы.

Основной способ – это расчет коэффициентов корреляции или корреляционных функций между гидрометеорологическими параметрами в разных точках земного шара. Например, так были обнаружены такие явления, как южная осцилляция, Эль-Ниньо и Североатлантическое колебание (Нестеров, 2013:144; Боголюбова, 1991:134-144; Перфилов 1983, 105-108; Wallace Y.M., Gutzler D.S.,1981:4). Выявление таких дальних связей помогает установить физические закономерности, связанные с океаническими и атмосферными процессами (Namias Y.,1978:3; Namias Y.,1979: 41-43; Namias Y.,1981: 13-21). Бьеркнесом было установлено, что на южную осцилляцию определяющее влияние оказывает изменение температуры океанической поверхности в восточной и центральной частях Тихого океана, так как его большая энтальпия обеспечивает более длительную память, чем память атмосферы (Филандер С. Дж., Расмуссон Е.М. 1988: 205-223). В этих работах были приведены следующие очаги «дальних связей» для геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа:

- северо-атлантический, где давление над Исландией отрицательно коррелирует с Азорским максимумом;

- северо-тихоокеанский, где давление над северной частью Тихого океана отрицательно коррелирует с областью Гавайского максимума;

- тихоокеанско-североамериканский, где давление над Алеутским минимумом отрицательно коррелирует с западом США; очаг найден Дж. Немайесом;

- зонально-симметричные «качели», где была отмечена отрицательная корреляция широтной зоны к северу и югу от 50 градусов северной широты.

Североатлантическое колебание является одной из важнейших характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии. Оно выражено во все сезоны года и проявляется в масштабах от нескольких суток до нескольких столетий (Нестеров Е.С. 2013: 144).

Понятие «североатлантическое колебание» подразумевает изменение поля давления, и как следствие, интенсивности зонального переноса над внетропической зоной Северной Атланти-

кой. Его количественное выражение – индекс САК ( $I_{NAO}$ ) – определяется как разность нормированных на стандартное отклонение аномалий приземного давления между Исландией (Рейкьявик или Стиккисхоульмюр) и Азорскими островами (Понта – Дальгада) либо югом Пиренейского полуострова (Гибралтар или Лиссабон). При положительной фазе САК наблюдается отрицательная аномалия приземного давления и геопотенциала в Исландском минимуме и положительная аномалия в Азорском максимуме. Отмечается усиление зонального типа циркуляции. При отрицательной фазе САК наблюдается положительная аномалия приземного давления и геопотенциала в Исландском минимуме и отрицательная аномалия в Азорском максимуме. Происходит усиление меридиональной циркуляции. Сущность САК заключается в перераспределении атмосферных масс между Арктикой и субтропической Атлантикой, при этом переход из одной фазы САК в другую вызывает большие изменения в поле ветра, переносах тепла, влаги и т.п.

#### Исходные данные и методы исследования

Физико-статистические модели прогноза погодных характеристик часто базируются на уравнении множественной регрессии. Предикторы, входящие в это уравнение, должны иметь значимые корреляционные связи с предиктантом, будущее значение которого необходимо рассчитать. Физический аспект отбора предикторов для прогностических уравнений довольно разнообразен. Одни исследователи предпочитают использовать характеристики атмосферы, другие – данные о земной поверхности, третьи – больше доверяют данным о солнечной активности, а иные используют комплекс различных сочетаний перечисленных характеристик. В работе для исследования брались ряды месячных сумм осадков за 1970-2015 гг. для метеостанций Аягуз, Бахты, Катон-Карагай, Павлодар, Семипалатинск и Усть-Каменогорск. Были рассчитаны средние сезонные суммы осадков для синоптических сезонов теплой половины года – весны, первой и второй половины лета – на метеостанциях (МС) востока Казахстана. Для анализа выбирались синоптические сезоны, для которых характерно разграничение по сменам характера атмосферных процессов и по их особенностям в ходе метеорологических величин. Осадки весной рассчитывались по средним месячным суммам марта и апреля, в первую половину лета – по

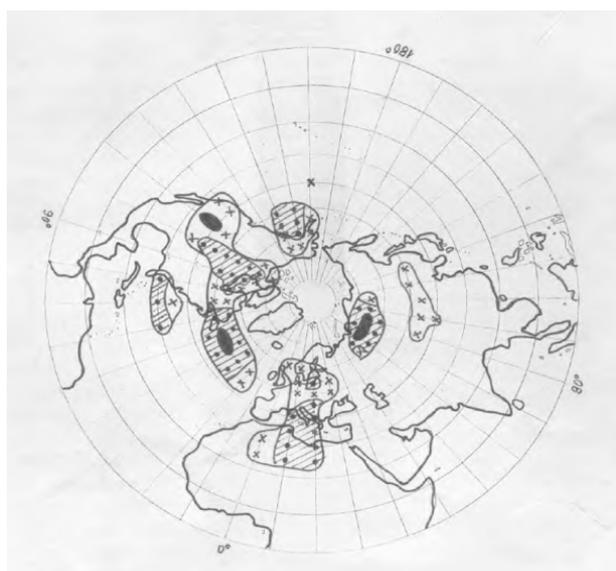
суммам мая и июня, во вторую половину лета – по суммам июля и августа. В исследовании использовались методы сравнительного и статистического анализа.

### Результаты обсуждения

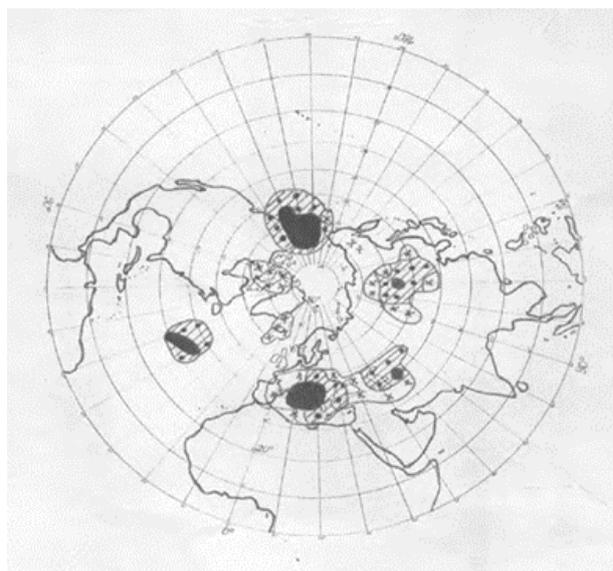
Было определено, что осредненные по территории осадки восточных областей Казахстана в теплый период года (в апреле и июле) имеют высокие синхронные и асинхронные пространственные корреляционные связи с полями  $H_{500}$ ,  $H_{700}$  в узлах регулярной сетки Северного полушария (Боголюбова Е.В. 1991: 134-144). Анализ синхронных корреляционных связей осадков с барическими полями в апреле показал, что наиболее высокие значения коэффициентов корреляции ( $r$  более 0.43), значимые для выбранного уровня значимости, обнаруживались в районе над Западной Сибирью. В этом случае вычисленный коэффициент больше критического для

32-летнего ряда ( $r_{\text{крит.5\%}} = 0,34$ ). Этот факт характерен для всех рассмотренных стандартных поверхностей. Таким образом, на выпадение осадков в определенный момент времени большое влияние оказывают барические поля над Западной Сибирью.

Так как для прогноза наиболее важными являются асинхронные корреляционные связи с различной заблаговременностью, такие связи осредненных по территории сезонных осадков с барическими полями  $H_{500}$ ,  $H_{700}$  в узлах регулярной сетки Северного полушария и были рассчитаны. Апрельские суммы сезонных осадков Восточного Казахстана имеют высокие в пределах выбранной значимости величины коэффициентов корреляции с январскими (при заблаговременности 1 сезон) полями  $H_{500}$ ,  $H_{700}$  в районах над Западной Сибирью, западом США и севером Атлантического океана, т.е. явно выделяется североатлантический очаг связей (рис.1 а).



а)



б)

**Рисунок 1** – Информативные районы значимых корреляций осадков Восточного Казахстана в Северном полушарии а) в апреле с полем  $H_{500}$  в январе; б) в июле с полем  $H_{500}$  в апреле

На рисунке 7 черным цветом выделены области значимых корреляций для  $|r| \geq 0.43$ , заштрихованные – для  $|r| \geq 0.32$ , не заштрихованные – для  $|r| \geq 0.25$ . Наиболее значимыми являются области, выделенные черным цветом.

Для восточных областей Казахстана район значимых корреляций осадков в апреле с по-

лем  $H_{500}$  в январе (рис.1 а) захватывает большую часть Атлантического океана между 40 и 60° с. ш., район запада североамериканского континента и район над севером Сибири. Этот факт подтверждает регулирующее влияние Северной Атлантики и ее энергозапасов на формирование и динамику барических полей планетарного

масштаба. Очаги «дальних» связей на восточном побережье материков совпадают с областями максимальных контрастов температур и зонами сгущения изогипс на высотных картах. Они располагаются в зонах больших горизонтальных барических градиентов.

Для июля (рис. 1 б) были выделены тихоокеано-американский, североатлантический и запад-

но-европейский очаги связей осредненных по площади сезонных осадков с барическими полями  $H_{500}$ ,  $H_{700}$  в апреле со значимой корреляцией.

В исследовании были рассчитаны синхронные и асинхронные связи сезонных осадков в теплый период года с индексом САК в единовременные и предыдущие сезоны для станций востока Казахстана (табл. 1).

**Таблица 1** – Синхронные и асинхронные корреляционные связи между сезонными осадками весной, в первой и второй половине лета и индексом Североатлантического колебания (САК) за 1970-2012 гг. на станциях Восточного Казахстана

Станция	Сезон	Коэффициент корреляции $r$			
		САК <sub>зима</sub>	САК <sub>весна</sub>	САК <sub>перв. пол.лета</sub>	САК <sub>вт.пол.лета</sub>
Аягуз	весна	-0,01	-0,11		
	1 пол.лета		0,00	-0,17	
	2 пол.лета			-0,35	0,14
Бахты	весна	-0,28	0,13		
	1 пол.лета		0,09	-0,11	
	2 пол.лета			-0,22	-0,01
Катон-Карагай	весна	-0,06	-0,03		
	1 пол.лета		0,08	-0,29	
	2 пол.лета			-0,31	-0,16
Павлодар	весна	-0,25	0,05		
	1 пол.лета		0,01	-0,01	
	2 пол.лета			-0,21	0,04
Семипалатинск	весна	-0,39	0,10		
	1 пол.лета		0,20	-0,04	
	2 пол.лета			-0,15	-0,08
Усть-Каменогорск	весна	-0,19	-0,02		
	1 пол.лета		0,08	-0,10	
	2 пол.лета			-0,29	-0,16

Была проведена оценка коэффициентов корреляции между сезонными осадками и индексом САК. Критическое значение коэффициента корреляции равно 0,29 для 5 %-ого уровня значимости. Из таблицы 4 видно, что синхронные корреляционные связи сезонных осадков с индексом САК были значимы лишь для станции Катон-Карагай в первой половине лета ( $r = -0,29$ ).

Асинхронные корреляционные связи сезонных осадков были значимы для четырех станций в различные сезоны. Для Аягуза ( $r = -0,35$ ), Катон-Карагай ( $r = -0,31$ ) и Усть-Каменогорска ( $r = -0,29$ ) обнаружена значимая обратная связь между осадками второй половины лета и индексом Североатлантического колебания первой поло-

вины лета. Для станции Семипалатинск асинхронные корреляционные связи между осадками весны и индексом САК для зимы также были значимы для пятипроцентного уровня значимости ( $r = -0,39$ ). В остальные периоды времени корреляционные связи были незначимы.

Следовательно, при разработке физико-статистической модели сезонных осадков для некоторых станций (Аягуз, Катон-Карагай, Усть-Каменогорск) в качестве предиктора для будущих значений сезонных осадков второй половины лета можно выбрать САК первой половины лета.

Однако при исследовании сезонных характеристик логичнее иметь дело с осредненными по территории метеорологическими величинами,

так как такие характеристики циркуляции, как индекс САК, являются характеристиками глобального масштаба. Поэтому были рассчитаны синхронные и асинхронные связи осредненных

по территории Восточного Казахстана сезонных осадков в теплый период года с индексом САК в единовременный и предыдущий сезон (таблица 2).

**Таблица 2** – Синхронные и асинхронные корреляционные связи между осредненными по территории сезонными осадками весной, в первой и второй половине лета и индексом Североатлантического колебания (САК) за 1970-2012 гг. на востоке Казахстана

Сезон	Коэффициент $r$			
	САК <sub>зима</sub>	САК <sub>весна</sub>	САК <sub>перв. пол.лета</sub>	САК <sub>вт.пол.лета</sub>
весна	-0,26	0,03		
1 пол.лета		0,1	-0,19	
2 пол.лета			-0,38	-0,12

Согласно таблице 2, значимые обратные корреляционные связи на территории Восточного Казахстана были обнаружены между осадками второй половины лета и индексом САК первой половины лета ( $r = -0,38$ ). Результаты оценки связей не противоречат предыдущим выводам для отдельных станций. Синхронные корреляционные связи между осадками других сезонов и индексом САК, как и следовало ожидать, оказались незначимыми. Результаты, полученные при оценке асинхронных корреляционных связей, можно использовать при построении прогностического уравнения множественной регрессии.

Также была проведена оценка корреляционных связей между сезонными осадками с числом дней с типами циркуляции по М.Х. Байдалу для станций Восточного Казахстана для осредненных по территории сезонных осадков (таблица 3, 4).

Широтная форма циркуляции Ш по Байдалу или зональная форма циркуляции, т.е. циркуляция, свойства которой не зависят от долготы, является основной формой атмосферного движения и играет важную роль при изучении закономерностей атмосферных процессов крупного масштаба (Байдал М.Х. 1964: 446). Во все сезоны года при широтной форме циркуляции Ш над большей частью территории Казахстана отмечается осадков «меньше нормы», за исключением крайних северных и юго-восточных предгорных районов, где осадки могут достигать «нормы».

Меридиональная форма С циркуляции обуславливает во все сезоны года осадки «выше нормы» на западе Казахстана и «ниже нормы» – на востоке. Над ЕТР и западом Казахстана в этих

случаях располагается глубокая ложбина, а над остальной частью республики – гребень высокого давления.

При меридиональной форме циркуляции Е во все сезоны года наблюдается дефицит осадков в западных районах Казахстана и избыток их на востоке и в других районах Казахстана. При Е – типе над ЕТР располагается гребень, а на востоке республики – ложбина. А при подтипе Е2 циклоны смещаются через восток Казахстана. На востоке и северо-востоке осадки достигают величины 120-140% «нормы». В те сезоны, в которых нет преимущественного развития какой-либо одной формы циркуляции, распределение аномалий осадков имеет пестрый характер. Были рассчитаны корреляционные связи между сезонными осадками весной, в первую и вторую половину лета и числом дней с широтной (Ш) и меридиональными (С и Е) типами циркуляции.

Результаты расчета коэффициентов корреляции между сезонными осадками и с числом дней с типами циркуляции по М.Х. Байдалу для рассмотренных станций Восточного Казахстана приведены в таблице 3.

В соответствии с таблицей 6, были вычислены значения коэффициента корреляции между сезонными осадками и числом дней с типами циркуляции Ш, С и Е по Байдалу. Критическое значение коэффициента корреляции равно 0,33 для 5 %-ого уровня значимости. Асинхронные корреляционные связи рассчитывались с заблаговременностью в один сезон. Синхронные связи были обнаружены для трех станций Восточного Казахстана.

**Таблица 3** – Синхронные и асинхронные корреляционные связи между сезонными осадками весной, в первой и второй половине лета и числом дней с типами циркуляции по Байдалу за 1970-2004 гг. для станций Восточного Казахстана

Сезон	Число дней с типами циркуляции по Байдалу											
	Ш				С				Е			
	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета
Аягуз												
весна	0,02	-0,13			-0,26	0,34			0,16	-0,21		
1 пол.лета		-0,47	-0,40			0,12	-0,14			0,21	0,48	
2 пол.лета			-0,08	-0,26			0,30	-0,00			-0,24	0,29
Бахты												
весна	-0,22	-0,18			0,11	0,29			0,09	-0,15		
1 пол.лета		-0,24	0,07			0,18	-0,07			-0,10	0,00	
2 пол.лета			-0,14	-0,32			0,39	0,03			-0,28	0,29
Катон-Карагай												
весна	0,08	0,29			-0,03	-0,05			-0,00	-0,27		
1 пол.лета		-0,19	0,05			-0,03	-0,35			0,15	0,30	
2 пол.лета			-0,23	-0,24			0,31	0,23			-0,12	0,01
Павлодар												
весна	0,00	0,08			-0,04	-0,06			0,04	-0,10		
1 пол.лета		0,51	0,36			-0,33	0,02			-0,15	-0,33	
2 пол.лета			-0,12	-0,15			0,41	0,01			-0,32	0,16
Семипалатинск												
весна	-0,34	0,10			0,06	-0,04			0,20	-0,06		
1 пол.лета		0,07	-0,04			-0,32	0,04			0,19	-0,01	
2 пол.лета			-0,16	-0,15			0,43	0,17			-0,30	-0,02
Усть-Каменогорск												
весна	-0,23	0,12			-0,24	-0,25			0,37	0,01		
1 пол.лета		-0,05	-0,15			-0,18	-0,02			0,05	0,15	
2 пол.лета			-0,11	-0,26			0,31	0,24			-0,22	-0,03

В Аягузе значимые положительные синхронные корреляционные связи осадков весной были обнаружены с меридиональной формой циркуляции С ( $r = 0,34$ ). В первой половине лета значимые синхронные корреляционные связи осадков были выявлены с широтной Ш ( $r = -0,40$ ) и меридиональной формами циркуляции Е ( $r = 0,48$ ). В Катон-Карагае значимая синхронная обратная корреляционная связь осадков первой половины лета была обнаружена с меридиональной формой циркуляции С ( $r = -0,35$ ). В Павлодаре значимые синхронные корреляционные связи осадков первой половины лета были обнаруже-

ны с широтной Ш ( $r = 0,36$ ) и меридиональной формами циркуляции Е ( $r = -0,33$ ). В остальных случаях синхронные корреляционные связи сезонных осадков с характеристиками циркуляции на востоке Казахстана были незначимы.

Помимо этого была проведена оценка асинхронных корреляционных связей. В Аягузе значимая корреляционная обратная связь осадков первой половины лета была обнаружена с широтной формой циркуляции Ш весной ( $r = -0,47$ ). На станции Бахты во второй половине лета значимая корреляционная связь сезонных осадков была с меридиональной формой циркуляции С

первой половины лета ( $r = 0,39$ ). В Павлодаре значимые корреляционные связи осадков первой половины лета прослеживались с широтной Ш ( $r = 0,51$ ) и меридиональной формами циркуляции С ( $r = -0,33$ ) для весны. Во второй половине лета значимая корреляционная связь осадков обнаружена с меридиональной формой циркуляции С ( $r = 0,41$ ) первой половины лета. В Семипалатинске значимая корреляционная связь осадков весны была с широтной формой циркуляции Ш зимой ( $r = -0,34$ ). Во второй половине лета значимая корреляционная связь осадков прослеживалась с меридиональной формой

циркуляции С ( $r = 0,43$ ) первой половины лета. В Усть-Каменогорске значимая корреляционная связь осадков весны была обнаружена с меридиональной формой циркуляции Е зимы ( $r = 0,37$ ). В остальных случаях асинхронные корреляционные связи сезонных осадков с характеристиками циркуляции на востоке Казахстана за 1970-2004 гг. были незначимы.

Помимо этого были рассчитаны синхронные и асинхронные связи между осредненными по территории Восточного Казахстана сезонными осадками в теплый период года и числом дней с типами циркуляции по Байдалу (таблица 4).

**Таблица 4** – Синхронные и асинхронные корреляционные связи между осредненными по территории Восточного Казахстана сезонными осадками весной, в первой и второй половине лета и числом дней с типами циркуляции по Байдалу за 1970-2004 гг.

Сезон	Число дней с типом циркуляции Байдала											
	Ш				С				Е			
	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета	зима	весна	1 пол.лета	2 пол.лета
весна	-0,21	0,05			-0,11	0,03			0,27	-0,13		
1 пол.лета		-0,25	-0,14			-0,04	-0,17			0,14	0,28	
2 пол.лета			-0,18	-0,31			0,44	0,17			-0,30	0,12

Согласно таблице 4, значимых корреляционных связей между осредненными сезонными осадками и числом дней с типами циркуляции по Байдалу не обнаружено, за исключением одного случая. Была обнаружена значимая корреляционная связь между сезонными осадками второй половины лета и числом дней с меридиональной циркуляцией (тип С по Байдалу) в первую половину лета ( $r = 0,44$ ). (Критическое значение коэффициента корреляции равно 0,33).

В результате наиболее высокие значения имели коэффициенты корреляции между сезонными осадками во вторую половину лета и числом дней с меридиональной циркуляцией (по типу С) и индексом Североатлантического колебания в первую половину лета.

Так как при оценке корреляционных связей использовались осредненные по площади осадки, то для осредненных по территории Восточного Казахстана сезонных осадков была проведена классификация по классам «меньше нормы», «норма» и «больше нормы» с помощью общепринятого критерия:

$$R = \frac{R_f}{\bar{R}} \cdot 100\%,$$

где:  $R_f$  – фактическое значение,  $\bar{R}$  – среднее значение метеорологической величины.

За «норму» принимаются значения сезонных осадков в диапазоне 80-120 % от среднего многолетнего значения, «меньше нормы» – до 80 %, «больше нормы» – более 120 % от средней многолетней величины.

Была проделана классификация осредненных по территории Восточно-Казахстанской области сезонных осадков (таблица 5).

Настоящая классификация близка к классификации, построенной для месячных сумм осадков теплого периода года с помощью эмпирических функций распределения (Боголюбова Е.В., Кусаинова М.Т. 2003: 35-47). Используя классификацию, представленную в таблице 5, были определены годы, когда на территории Восточного Казахстана отмечались осредненные по площади сезонные осадки для классов «меньше нормы», «норма» и «выше нормы».

**Таблица 6** – Классификация осредненных по площади сезонных осадков весной, в первую и вторую половину лета на востоке Казахстана

Класс	Сезон		
	весна	первая половина лета	вторая половина лета
Меньше нормы	Менее 21,8 мм	Менее 35,0 мм	Менее 37,7 мм
Норма	21,8 – 32,8 мм	35,0 – 52,6 мм	37,7 – 56,5 мм
Больше нормы	Более 32,8 мм	Более 52,6 мм	Более 56,5 мм

**Таблица 6** – Каталог лет с дефицитом, нормой и избытком для осредненных по площади сезонных осадков на востоке Казахстана за 1970 – 2015 гг.

Параметр	Меньше нормы	Норма	Больше нормы
1	2	3	4
Сезон	Годы		
весна	1970, 1982, 1983, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1991, 1995, 1996, 1997, 2000, 2003	1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1984, 1987, 1992, 1993, 1994, 1998, 1999, 2014	1972, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015
Повторяемость (%)	30	40	30
первая половина лета	1974, 1976	1977, 1981, 1982, 1989, 1990, 1991, 1994, 1996, 1997, 1999, 2001, 2003, 2008	1971, 1972, 1973, 1975, 1978, 1979, 1980, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1992, 1993, 1995, 1998, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Повторяемость (%)	5	29	66
вторая половина лета	1974, 1975, 1980, 1986, 2000	1973, 1976, 1978, 1981, 1983, 1984, 1987, 1989, 1996, 1997, 1998, 1999, 2002	1970, 1971, 1972, 1977, 1979, 1982, 1985, 1988, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Повторяемость (%)	11	28	61

Этот каталог был составлен для тех случаев, когда для исследования используются осредненные по площади Восточного Казахстана сезонные осадки и анализируются их связи с характеристиками общей циркуляции атмосферы. При анализе сезонных осадков для отдельных станций может получиться несколько иная картина, так как осадки по территории распределяются неравномерно. В соответствии с таблицей 6, для осредненных по территории осадков чаще повторяющимся классом в рассмотренном периоде является класс «больше нормы». Его повторяемость является наибольшей в первую половину (66 %) и во вторую (61 %) половину лета. Наименьшая повторяемость характерна для класса «меньше нормы». Она изменяется в пределах от 5% в первой половине лета до 30% весной. Повторяемость градации «норма» изменяется в

пределах от 28 % во вторую половину лета до 40 % весной.

Помимо вышеуказанного, был составлен каталог лет с избытком, превышающим  $1,2 S_x$ , для осредненных по площади сезонных осадков на востоке Казахстана, где  $S_x$  – среднее квадратическое отклонение (таблица 7).

**Таблица 7** – Каталог лет с избытком, превышающим  $1,2 S_x$ , для осредненных по площади сезонных осадков на востоке Казахстана

Сезон		
весна	первая половина лета	вторая половина лета
1972, 2001, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2013	2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013	2010, 2012, 2013

В соответствии с таблицей, наибольшее количество осредненных по территории сезонных осадков во все сезоны теплого периода года характерно для 2010 и 2013 годов.

### Выводы

Таким образом, из проведенного анализа были получены следующие выводы:

- значимые дальние корреляционные связи осредненных по площади осадков в апреле были обнаружены с высотными барическими полями в январе в районах над Западной Сибирью, западом США и севером Атлантического океана; для осадков в июле были выявлены тихоокеано-американская, североатлантическая и западно-европейская области значимых дальних связей с высотными барическими полями  $H_{500}$  и  $H_{700}$  в узлах сетки Северного полушария, т.е. явно выделяется североатлантический очаг связей;

- значимые обратные корреляционные связи на территории Восточного Казахстана обнаруживаются между осадками второй половины лета и индексом САК первой половины лета ( $r = -0,38$ ), что не противоречит выводам, полученным при анализе корреляционных связей для отдельных станций;

- весной значимые корреляционные связи сезонных осадков были характерны для Семей (с широтной формой Ш зимой) и Усть-Каменогорска (с меридиональной формой циркуляции Е зимой ( $r = 0,37$ ); в первую половину лета – для Аягуза (с широтной Ш формой циркуляции весной) и для Павлодара (с широтной Ш и меридиональной формами циркуляции С весной); во вторую половину лета – для Бахты, Павлодара и Семей (с меридиональной формой циркуляции С первой половины лета);

- наиболее высокие значения имели коэффициенты корреляции осредненных по территории осадков во вторую половину лета с числом дней с меридиональной циркуляцией (типа С по Байдалу);

- для осредненных по территории осадков наиболее высокую повторяемость в рассмотренном периоде имеет класс «больше нормы»; его повторяемость является наибольшей в первую и во вторую половину лета (соответственно 66 % и 61 %); наименьшая повторяемость характерна для класса «меньше нормы»;

- наибольшее количество осредненных по территории сезонных осадков с избытком, превышающим  $1,2 S_x$ , выпадающих одновременно во все рассмотренные сезоны года теплого периода характерно для 2010 и 2013 годов.

### Литература

- 1 Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат. 1964. – 446 с.
- 2 Боголюбова Е.В. Дальние корреляционные связи месячных сумм осадков в Казахстане с высотными барическими полями северного полушария. // Труды КазНИГМИ. – 1991. – Вып. 110. – С. 134–144.
- 3 Борисенков Е.П., Воробьева Е.В., Покровская Т.В., Полозова Л.Г., Сазонов Б.И. Яковлева Н.И. Долгопериодные колебания погоды и климата и их прогнозирование // Совр. фонд. и прикл. иссл. ГГО. – 1977 – С. 40 – 52.
- 4 Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.: Триада. 2013-144с.
- 5 Namias Y. Long-range weather and climate predictions. – Wash. D. S., 1978, 3p.
- 6 Namias Y. The enigma of drought – a challenge for terrestrial and extra terrestrial research. – Solar Terrestrial in fluencies weather and Clim. Dordrecht, 1979, p.41- 43.
- 7 Namias Y. Snow covers in climate and long-range forecasting. – Glaciol. Date, 1981, pp.13-21.
- 8 Перфилов В.И. О существовании дальних корреляций в поле геопотенциала Северного полушария. // Метеорология и гидрология. – 1983. – №2 – С.105 –
- 9 Филандер С.Дж., Расмуссон Е.М. Южная осцилляция и Эль-Ниньо. Динамика климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С.205 – 223.
- 10 Юдин М.И. Физико – статистический метод долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 28 с.
- 11 Юдин М.И. Результаты применения физико – статистического метода прогноза осадков и температуры большой заблаговременности. // Труды 5 Всесоюз. Метеорол. съезда. – 1972. – т.11. – С.83 – 94.
- 12 Юдин. М.И., Блажевич В.Г., Репинская Р.П. Некоторые вопросы отбора значимых предикторов. // Тр.ГГО. – 1972 – Вып. 273 – С. 16 – 28.
- 13 Юдин. М.И., Мещерская А.И. Комплексный физико – статистический метод прогноза погоды большой заблаговременности. // Метеорология и гидрология. – 1977. – №1 – С.3 – 12.
- 14 Чичасов Г.Н. Месячные прогнозы погоды, их состояние и перспективы. – Обнинск: 1984.- 49 с.
- 15 Wallace Y.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. – Mon. Weather Rev., 1981, V.109, N.4.

### References

- 1 Bajdal M.H.(1964) Dolgosrochnye prognozy pogody i kolebanij klimata Kazahstana. [Long-term weather forecasts and fluctuations of climate of Kazakhstan]. L.: Gidrometeoizdat, 446 p.
- 2 Bogoljubova E.V. (1991) Dal'nie korreljacionnye svjazi mesjachnyh summ osadkov v Kazahstane s vysotnymi baricheskimy poljami severnogo polusharija. [Distant correlative communications of the monthly sums of rainfall in Kazakhstan with high-rise baric fields of the northern hemisphere]. Works of KAZNIGMI, vol. 110, pp. 134–144.
- 3 Borisenkov E.P., Vorob'eva E.V., Pokrovskaja T.V., Polozova L.G., Sazonov B.I. Jakovleva N.I. (1977) Dolgoperiodnye kolebanija pogody i klimata i ih prognozirovanie.[Long-period fluctuations of weather and climate and their prediction]. The modern basic and applied researches. GGO, pp. 40 – 52.
- 4 Nesterov E.S. Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean. (2013) [North Atlantic fluctuation: atmosphere and ocean].M.: Triada, pp.144
- 5 Namias Y. Long-range weather and climate predictions. Wash. D. S., 1978, 3 p.
- 6 Namias Y. The enigma of drought – a challenge for terrestrial and extra terrestrial research. Solar Terrestrial in fluencies weather and Clim. Dordrecht, 1979, pp.41- 43.
- 7 Namias Y. Snow covers in climate and long-range forecasting. Glaciol. Date, 1981, pp.13-21.
- 8 Perfilov V.I. (1983). O sushhestvovanii dal'nih korreljacij v pole geopotenciala Severnogo polusharija. // Meteorologija i gidrologija. [About existence of distant correlations in the field of a geopotential of the Northern hemisphere]. Meteorology and hydrology, No.2, P.105
- 9 Filander S.Dzh., Rasmusson E.M.(1988) Juzhnaja oscilljacija i Jel'-Nin'o. Dinamika klimata. [Southern oscillation and El Niño. Dynamics of climate]. L.: Gidrometeoizdat, pp. 205 – 223.
- 10 Judin M.I. (1968). Fiziko – statisticheskij metod dolgosrochnyh prognozov pogody. [Physics – a statistical method of long-term weather forecasts]. L.: Gidrometeoizdat, 28 p.
- 11 Judin M.I. (1972) Rezul'taty primenenija fiziko – statisticheskogo metoda prognoza osadkov i temperatury bol'shoj zablavremennosti. [Results of application of the physicist – a statistical method of the forecast of rainfall and temperature of big advance time]. Works 5 of the All-Union Meteorologicheskij congress, pp.83 – 94.
- 12 Judin. M.I., Blazhevich V.G., Repinskaja R.P. (1972) Nekotorye voprosy otbora znachimyh prediktorov. [Some questions of selection of significant predictors]// Tr.GGO, vol. 273, pp. 16 – 28.
- 13 Judin. M.I., Meshherskaja A.I. (1977) Kompleksnyj fiziko – statisticheskij metod prognoza pogody bol'shoj zablavremennosti. [Kompleksny of the physicist – a statistical method of a weather forecast of big advance time]. Meteorology and hydrology, No 1, pp.3 – 12.
- 14 Chichasov G.N. (1984) Mesjachnye prognozy pogody, ih sostojanie i perspektivy. [Monthly weather forecasts, their state and prospects]. Obninsk, 49 p.
- 15 Wallace Y.M., Gutzler D.S. (1981)Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Mon. Weather Rev., vol.109, N.4.