



УДК 551.577(571.53)(1-21)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.3>

## Многолетний режим атмосферных осадков в г. Иркутске

А. В. Аргучинцева, И. В. Латышева, Л. В. Голубева

*Иркутский государственный университет, Иркутск*

**Аннотация.** Исследуются временные ряды месячной и годовой суммы атмосферных осадков в г. Иркутске за 130-летний период (1887–2016 гг.) с помощью рассчитанных коэффициентов асимметрии, эксцесса, наклона линейного тренда, устойчивость которого определялась по коэффициенту детерминации ( $R^2$ ), показывающему вклад тренда в дисперсию осадков. В линейных трендах сумм атмосферных осадков обнаружена устойчивая тенденция положительных отклонений во все месяцы года, однако значимость коэффициентов является низкой. Более выражена цикличность колебаний, установленная на основе спектрального анализа. В многолетней динамике годовых сумм осадков отчетливо проявляются квазидвухлетняя динамика и более длительные циклы продолжительностью около 30 и 60 лет, которые могут отражать вклад крупномасштабных циркуляционных факторов в многолетнем режиме увлажнения территории. Степень корреляционной связи между североатлантическим колебанием, тихоокеанским декадным колебанием, индексом южного колебания и летними суммами атмосферных осадков в г. Иркутске в период 2000–2017 гг. существенно возросла по сравнению с более ранним периодом исследования (1887–1999 гг.). Вклад последних хорошо отражает аномально высокая сумма осадков (319 % нормы), выпавших в г. Иркутске в декабре 2017 г.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, Иркутск, климатические индексы, синоптические условия, циркуляция.

**Для цитирования:** Аргучинцева А. В., Латышева И. В., Голубева Л. В. Многолетний режим атмосферных осадков в г. Иркутске // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 23. С. 3–16. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.3>

### Введение

Многолетний режим атмосферных осадков является важной составляющей природно-климатических особенностей любого региона. Современные тенденции атмосферных осадков, помимо изменений средних величин, выражаются в резком изменении их частоты и интенсивности. Существенное влияние на интенсивность атмосферных осадков оказывает температура окружающей среды, что хорошо согласуется с термодинамическим уравнением Клапейрона – Клаузиуса, описывающим равновесное состояние системы «жидкость – пар»: при увеличении температуры увеличивается и количество пара, возвращающегося в дальнейшем на подстилающую поверхность.

При исследовании атмосферных осадков во внетропических широтах следует также учитывать адвективные переносы тепла и влаги циклонами и связанными с ними атмосферными фронтами. Поскольку эти процессы по-

разному проявляются в условиях неоднородной подстилающей поверхности и рельефа, то пространственно-временные изменения сумм атмосферных осадков и их интенсивности в различных районах характеризуются высокой кластеризацией, что отражается в неоднородности распределения экстремальных и средних значений сумм атмосферных осадков [Trenberth, 2011].

Возможные механизмы формирования аномалий атмосферных осадков в контексте глобальных изменений климата и естественных квазициклических процессов обсуждаются в ряде работ, например [Mokhov, Semenov, 2016]. Проявление высокочастотных колебаний во временных рядах атмосферных осадков тесно связано с влиянием атмосферной циркуляции, которой тоже свойственны периодические колебания. В частности, для североатлантического колебания (NAO – North Atlantic Oscillation) характерна периодичность примерно 2–3 года; южной осцилляции (Эль-Ниньо) – от 3 до 8 лет [North Atlantic Oscillation ... , 2005]. Длительные периоды отсутствия атмосферных осадков в теплый период года чаще всего обусловлены с блокинками, при которых возникают меридиональные барические гребни и устанавливается теплая воздушная масса с большими дефицитами точки росы [Сравнительные исследования засух, 2013]. Отмечено, что межгодовые изменения блокирующих процессов тесно согласуются с вторжениями холодных арктических масс и статистически связаны с вариациями месячных сумм атмосферных осадков в различных районах России [Холопцев, Катунина, Тимошенко, 2017].

Одним из факторов, влияющих на процессы осадкообразования, рассматриваются аэрозоли различного происхождения [Possible influences of ... , 2009]. Предполагается, что поглощающие аэрозоли способны нагревать атмосферу и вызывать восходящие движения, усиливать конвергенцию влаги на нижнем уровне и тем самым увеличивать количество атмосферных осадков. Кроме того, аэрозоли могут повышать концентрацию ядер конденсации облаков; при наличии более влажного и теплого воздуха пониженные скорости слияния и столкновения могут привести к переохлаждению капель на более высоких уровнях, откуда выпадают осадки в виде льда с последующим таянием. Выделение скрытого тепла в процессе замерзания наверху и таяния внизу предполагает более активный перенос тепла и активизирует глубокую конвекцию [Flood or Drought ... , 2008].

В работах [Midweek increase ... , 2008, Detwiller, 1970] отмечены внутринедельные различия количества атмосферных осадков. По данным [Baumer, Vogel, 2007], недельный максимум количества осадков на метеорологических станциях Германии в период 1991–2005 гг. отмечался в субботу, а минимум – в понедельник, причем наибольшие внутринедельные различия показывали осадки интенсивностью  $\geq 10$  мм в сутки. Характерными особенностями обнаруживаемых недельных циклов метеопараметров являются нестационарность, выражающаяся в изменении амплитуд и фаз сигналов во времени, а также их сезонная и региональная зависимости [Simmonds, Keay, 1997]. В качестве наиболее вероятных причин недельной цикличности атмосферных осадков в урбанизированных регионах рассмат-

ривают антропогенные факторы, в частности изменение уровня городского загрязнения от рабочих дней к выходным, которое оказывает влияние на составляющие теплового баланса и, как следствие, температуру городского воздуха [Forster, Solomon, 2003; Weekly cycle of ... , 2007].

Для получения надежных статистических характеристик по количеству осадков желательно в качестве основного использовать весь период инструментальных наблюдений. Для выявления экстремальных климатических явлений в режиме атмосферных осадков рекомендуют применять различные индексы: максимальная пентадная сумма осадков, суточный индекс интенсивности осадков, число суток с осадками  $\geq 20$  мм/сут., максимальная продолжительность сухих и влажных периодов и др. [Donat, 2013]. Для выделения самых высоких абсолютных значений сумм атмосферных осадков используются квантильные пороговые значения 0,90; 0,95 и 0,99 [Бардин, Платова, 2013]. В работе [Ковальчук, 2013] на основе закона статистического распределения осадков соответствующего сезона, идентифицированного по всему вековому массиву наблюдений, были отмечены категории ежедневных осадков: экстремально ниже нормы, значительно ниже нормы, ниже нормы, норма, выше нормы, значительно выше нормы и экстремально выше нормы.

Однако вне зависимости от выбранного критерия выделения направленные тенденции сильных и очень сильных осадков являются индикатором изменения регионального климата, что представляет большой интерес в областях изучения региональных проявлений глобальных изменений климата. По данным [Шабанов, Матвеева, Маркина, 2017], на европейской части России за последние 50 лет возросло количество событий очень сильных осадков, причем большая часть таких событий приходится на северные районы, где существенный вклад в их увеличение вносят твердые осадки. В северной части Фенноскандии за период 1914–2013 гг. выявлена тенденция к исключительно высоким суточным суммам осадков к концу периода исследования [Kivinen, Sirpa, Kirsti, 2017]. В австралийских саваннах возросло количество сильных осадков в течение влажного сезона, что согласуется с влиянием Индийско-Австралийского муссона [Rogers, Beringer, 2017]. В то же время в ряде регионов не установлено статистически значимых изменений сумм атмосферных осадков [Сухова, Журавлева, 2017]. В частности, ослабление изменчивости атмосферных осадков наблюдается в Антарктике [Fyke, Lenaerts, Wang, 2013].

В целом основные изменения количества осадков на территории Северного полушария происходят в тропиках и часто объясняются динамикой событий Эль-Ниньо (ENSO). На фоне уменьшения количества выпавших осадков в субтропиках и тропиках в настоящее время выявлены тенденции к их увеличению в более высоких широтах, особенно в Северной Америке, Евразии и Аргентине. Снижение осадков отмечается в районе Средиземного моря, на юге Азии и во всей Африке [Knowles, Dettinger, Cayan, 2006].

В России, согласно данным Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (М., 2014), на большей части территории (по станционным времен-

ным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976–2012 гг.) выявлена тенденция к росту количества атмосферных осадков (5 % за 10 лет), за исключением отдельных областей Сибири и Дальнего Востока.

Согласно ансамблевым прогнозам (2007 г.) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в Северном полушарии на широте около 45° в XXI в. ожидается устойчивая тенденция к увеличению количества осадков в связи с увеличением количества водяного пара в атмосфере и его переносом с более низких широт, где прогнозируется уменьшение количества осадков. Ожидается, что возрастет интенсивность тропических циклонов и сильных штормов категории 4 и 5 в Атлантике, которые будут сопровождаться более сильным ветром и более интенсивными осадками. Кроме того, смещение траекторий циклонов делает некоторые регионы более влажными, а некоторые – более сухими, что приводит к кратковременным изменениям атмосферных осадков [Lau, Sheu, 1988]. Ярким примером влияния тропического циклогенеза на усиление интенсивности атмосферных осадков является выход урагана Харви в период с 25 по 30 августа 2017 г., с которым связано сильное наводнение в Хьюстоне и окружающей области, где количество осадков достигло 1043,4 мм. Наблюдения с 1880 г. по региону показывают положительный тренд в интенсивности экстремальных осадков (среднем 15 %), примерно вдвое за это время повысилась влажность воздуха [Attribution of extreme ... , 2017].

### Исходный материал и методы исследования

Исходным материалом, использованным в работе, являются многолетние данные наблюдений за атмосферными осадками в период 1887–2016 гг., предоставленные Иркутским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. С точки зрения случайных процессов исходные данные можно представить либо как 130 временных реализаций (по годам) с 12 сечениями (с шагом месяц), либо как 12 реализаций (по месяцам) со 130 сечениями (с шагом год). В зависимости от целей решаемой задачи нами рассматривались оба варианта. Статистические оценки временных рядов базировались на расчетах значимых моментов: начальных (характеристиках положения) и центральных (характеристиках разброса).

Для оценки долговременных тенденций временных рядов месячных сумм атмосферных осадков использовался трендовый анализ (линейный), значимость которого определялась по коэффициентам аппроксимации. Для выявления циклических закономерностей временных рядов числа дней с грозой применялись методы Фурье-преобразования (single spectrum):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi ft} dt, \quad (1)$$

где  $t$  – время;  $f$  – частота,  $x$  – сигнал во временной области;  $X$  – сигнал в частотной области.

Анализ синоптических и циркуляционных условий формирования аномалий атмосферных осадков в г. Иркутске проведен по данным Архива NCEP/NCAR.

### Результаты исследования

Ряд наблюдений за атмосферными осадками (130 лет) был условно разбит на пять равных временных отрезков (26 лет), что почти соответствует климатическим периодам. Для каждого из пяти периодов (I – 1887–1912 гг., II – 1913–1938 гг., III – 1939–1964 гг., IV 1965–1990 гг., V – 1991–2016 гг.) проведены статистические расчеты (табл. 1), которые показывают, что количество осадков от периода к периоду возрастает, но скорость их изменения монотонно уменьшается. Аналогично ведут себя и средние показатели (см. табл. 1). В целом по сравнению с периодом I к настоящему времени количество осадков увеличилось на 26,5 %.

Таблица 1

Многолетняя динамика осадков по климатическим периодам

Период наблюдений	Кол-во осадков за период, мм	Увеличение осадков к предыдущему периоду		Среднее кол-во осадков за период, мм	Изменение среднего кол-ва осадков к предыдущему периоду, мм
		мм	%		
I	9767	–	–	376	–
II	10 770	+1003	10,3	414	+38
III	11 489	+719	6,7	442	+28
IV	12 114	+625	5,4	466	+24
V	12 353	+239	2,0	475	+9
<b>V – I</b>	<b>+2586</b>		<b>+26,5</b>	<b>+99</b>	

Многолетнее годовое среднее количество осадков (осреднение за 130 лет можно считать за норму) в г. Иркутске составило 435 мм, причём распределение осадков по месяцам крайне неравномерно (табл. 2): максимальное количество осадков приходится на июль, минимальное – на февраль (рис.1). В теплый период года (апрель – сентябрь) выпадает в среднем до 80 % годовой суммы, причем более 58 % из них приходится на летние календарные месяцы. Если говорить о размахе многолетних месячных данных, то эти величины между собой несравнимы, так как распределение осадков по месяцам весьма неравномерно. Наиболее показательно сравнить размах, приходящийся на единицу соответствующего среднего (см. табл. 2), показывающего, что наибольшая неустойчивость в выпадении осадков свойственна июню и октябрю.

По поведению моды (по отношению к среднему и медиане) можно сказать, что в архивных записях данных для марта и сентября кроются небольшие ошибки, которые проявляются и в общегодовой информации. Сравнение характеристик положения (среднее, медиана, мода), а также коэффициент асимметрии указывают на правую асимметрию, что и стоило ожидать в связи с увеличением осадков.

Таблица 2

Статистические характеристики многолетнего распределения осадков

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
% от годового кол-ва осадков	2,7	1,9	2,2	3,9	7,5	15,7	22,8	19,8	10,8	4,9	4,1	3,7	100
Max, мм	30	26	34	64	109	303	344	221	140	91	38	49	797
Min, мм	1	1	1	2	5	10	13	20	8	2	4	2	227
Размах, мм	29	25	33	62	104	293	331	201	132	89	34	47	570
Размах на единицу среднего, %	248	306	348	362	317	430	334	233	282	418	191	296	131
Среднее, мм	11,7	8	9,5	17,1	32,8	68,2	99,2	86,3	46,8	21,3	17,8	15,9	435
Медиана, мм	11	7	8	14	29	58	90	80	42	20	17	15	422
Мода, мм	6	5	9	14	27	44	75	61	44	13	12	13	495
Асимметрия	0,8	1,0	1,5	2,0	1,2	2,1	1,3	0,9	1,1	2,0	0,6	1,1	0,7

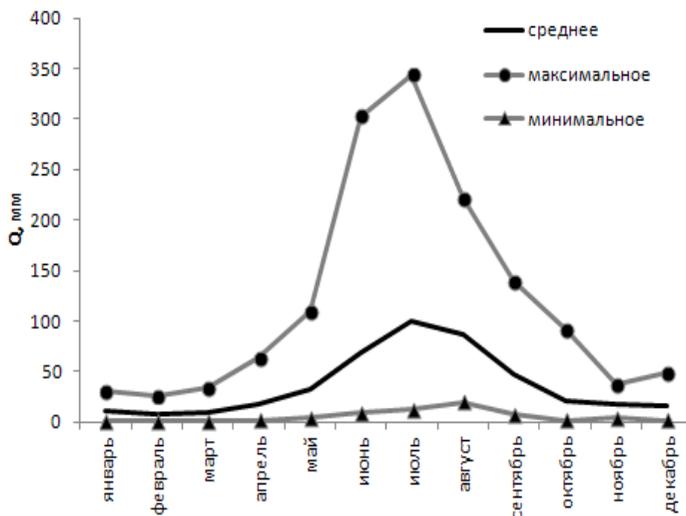


Рис. 1. Годовое распределение средних, максимальных и минимальных значений месячных сумм атмосферных осадков в г. Иркутске в 1887–2016 гг.

Наибольшее значение годовой суммы осадков за период 1887–2016 гг. отмечалось в 1938 г. и составило 797 мм, а наименьшее (227 мм) – в 1888 г. (рис. 2, а, см. табл. 2). Обращает внимание, что в эти годы наиболее существенные различия месячных сумм осадков, по сравнению с соответствующими средними значениями, наблюдались в летние месяцы: так, в июне 1938 г. месячное количество осадков (303 мм) было больше в 4 раза, а в июне 1888 г. (11 мм) – в 6 раз меньше среднего многолетнего значения (68 мм); аналогично в июле при норме 99 мм в 1938 г. было 131 мм, а в 1888 г. – только 26 мм. Хотя коэффициенты линейного тренда во все месяцы положительны (рис. 2, в), но статистически они незначимы. По данным спектрального анализа (рис. 2, б) выделяются периоды 2–4 года, 10, 32 и

65 лет преобладания в межгодовой изменчивости осадков. Квазидвухлетние колебания хорошо известны в метеорологии; 10-летний цикл близок по продолжительности к циклу солнечной активности, а близкие к 30- и 60-летним колебаниям периоды свойственны изменениям крупномасштабных форм атмосферной циркуляции [Jaagus, 2017].

Для исследования вклада синоптических факторов в изменчивость атмосферных осадков в г. Иркутске были рассчитаны аномалии приземного давления и высот геопотенциальной поверхности АТ-500 ГПа для двух лет июля: 1994 г. (наиболее влажный – среднегодовая сумма осадков существенно больше нормы и составляет 739 мм) и 2013 г. (наиболее сухой – среднегодовая сумма осадков меньше нормы и составляет 330 мм). Существенная разница в количестве осадков отмечается и в июле этих годов (соответственно 161 и 60 мм). Во влажный 1994 г. (рис. 3, а, в) хорошо выражено падение давления над обширной зоной Евразии за счет активизации циклонической деятельности в период углубления исландской депрессии. В Иркутске отрицательные аномалии среднего месячного давления достигали 6 ГПа, в поле геопотенциала – 40 дкм. В засушливый период 2013 г. синоптические условия были противоположными (рис. 3, б, г). Происходило усиление субтропической зоны повышенного давления. Длительное время блокирующие процессы наблюдались на северо-западе Евразии, препятствуя смещению атлантических циклонов вглубь материка. Кроме того, в течение продолжительного периода наблюдались блокирующие антициклоны и над территорией Иркутской области, в результате чего южные циклоны с районов Монголии смещались преимущественно на Забайкалье и Дальний Восток.

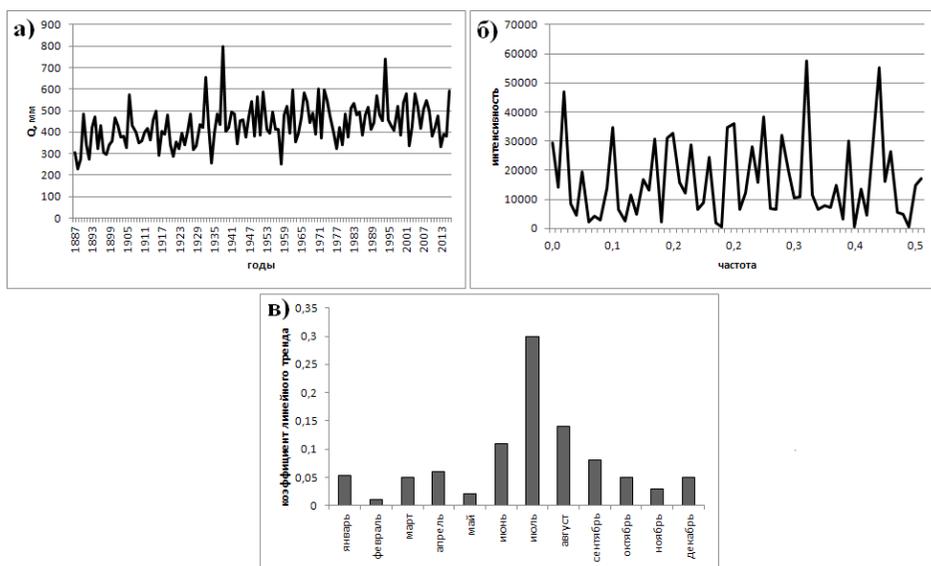


Рис. 2. Изменение годовых сумм атмосферных осадков (а), периодограмма годовых сумм (б) и коэффициенты линейного тренда месячных сумм осадков в г. Иркутске в 1887–2016 гг.

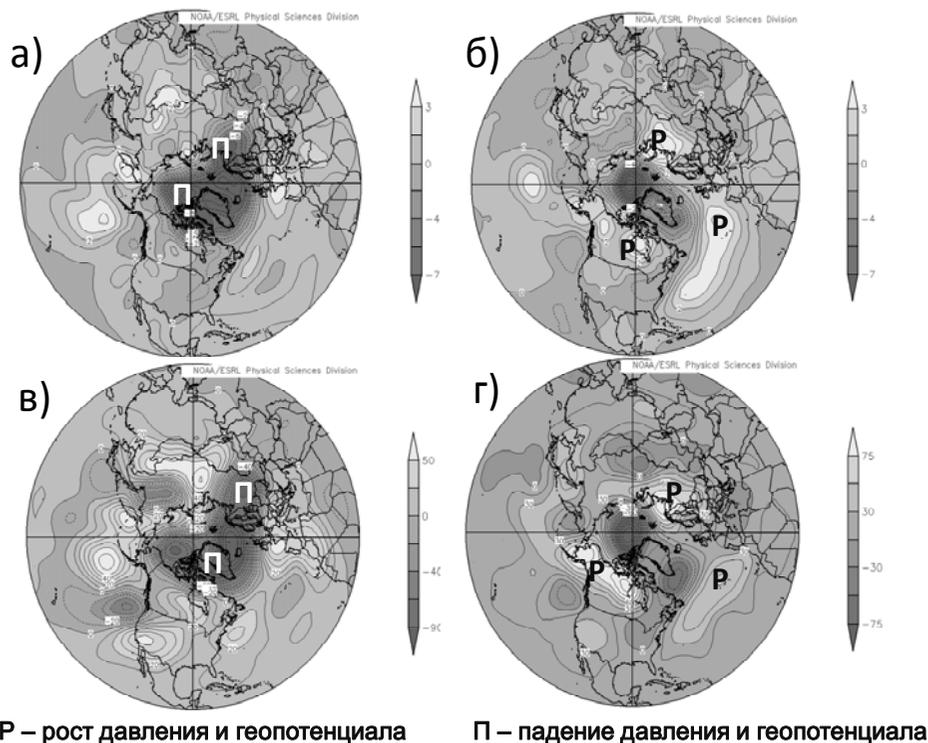


Рис.3. Аномалии приземного давления (ГПа) и АТ-500 ГПа (дкм) для июля 1994 г. (а, в) и июля 2013 г. (б, г), рассчитанные по отношению к периоду 1948–2016 гг.

Для исследования вклада крупномасштабных циркуляционных факторов в изменчивость атмосферных осадков проводился анализ корреляционной связи между изменениями месячных сумм осадков в г. Иркутске и индексами атмосферной циркуляции: NAO (North Atlantic Oscillation) – североатлантическое колебание, PDO (Pacific Decadal Oscillation) – тихоокеанское декадное колебание и SOI (South Oscillation Index) – индекс южного колебания. Эти индексы являются общепризнанным для анализа климатических изменений, так как отражают планетарные колебания системы «атмосфера – океан». Рассматривались периоды 2000–2017 и 1948–1999 гг. Установлено, что в последние десятилетия на территории Иркутской области существенно возрос уровень корреляционной связи между количеством атмосферных осадков в июле и климатическими индексами. Индекс NAO увеличился от 0,2 до 0,6; степень корреляционной зависимости с индексом SOI изменилась с положительной 0,2 до отрицательной -0,4. Интересно, что ранее в Иркутской области отсутствовала корреляционная связь с вариациями индекса южного колебания, а в последние десятилетия коэффициент корреляционной связи составил 0,6 (рис. 4).

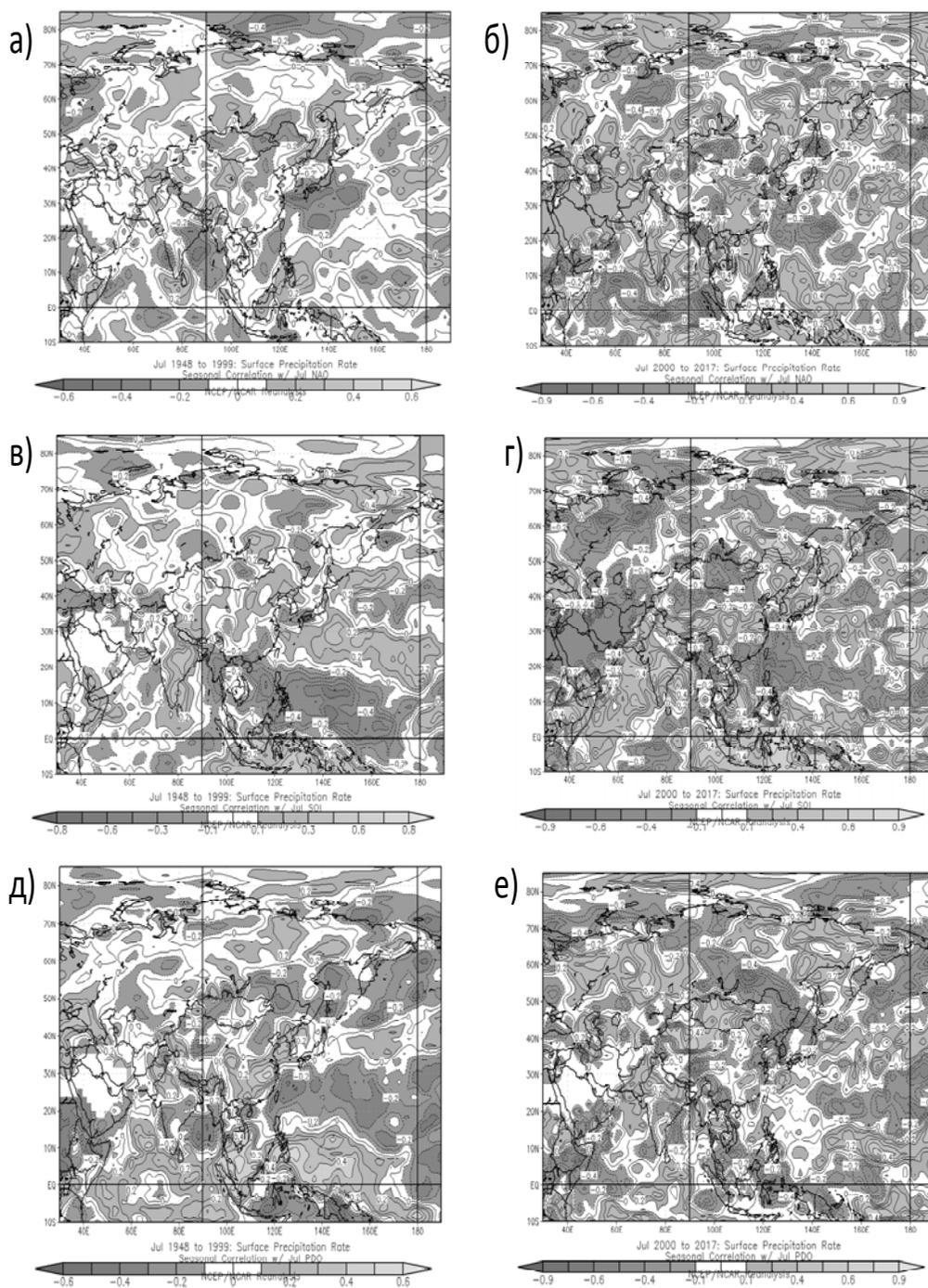


Рис.4. Значения коэффициентов парной корреляции между суточными суммами атмосферных осадков и климатическими индексами в 1948–1999 гг. и 2000–2017 гг.: NAO (а, б), SOI (в, г) и PDO (д, е)

Наглядным подтверждением вклада указанных индексов явился пример аномально высокой месячной суммы атмосферных осадков (319 % нормы), которые выпали в г. Иркутске в декабре 2017 г. Анализ высотного барического поля и ветровых потоков показал, что в декабре 2017 г. осуществлялись не только частые выходы ныряющих циклонов на территорию Иркутской области, но и активный фронтогенез. Причиной фронтогенеза явилось взаимодействие не только теплой атлантической воздушной массы, которая с большими скоростями смещалась на юг Иркутской области и Забайкалье, сохраняя высокое влагосодержание, но и тихоокеанского влажного воздуха, вовлекаемого в регион вдоль тыловой части обширной высотной ложбины (рис. 5). Кроме того, усилению температурных контрастов в зоне атмосферных фронтов способствовало сближение арктической, полярной и субтропической высотных фронтальных зон.

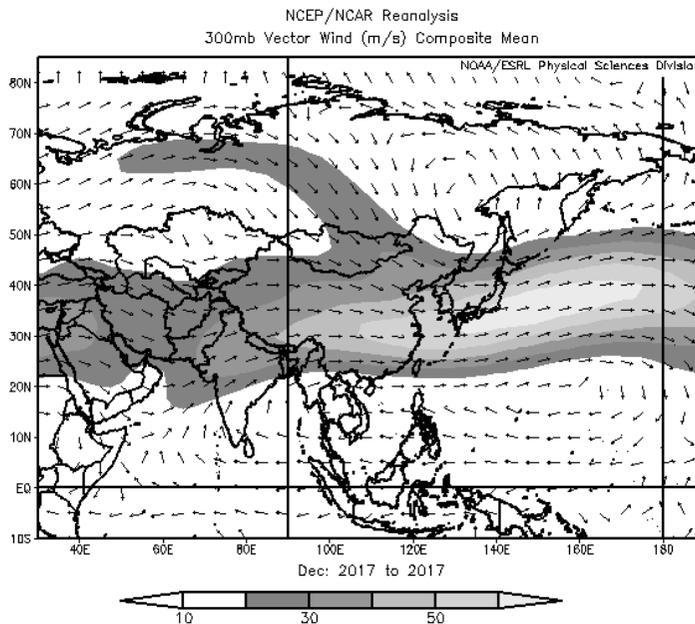


Рис. 5. Карта ветровых потоков на уровне АТ-300 ГПа (9 км) в декабре 2017 г.

### Заключение

Анализ многолетних данных наблюдений (1887–2016 гг.) за атмосферными осадками в Иркутске позволил сделать следующие выводы:

- количество осадков по климатическим периодам, выделенным за рассматриваемый отрезок времени, возрастает, но скорость их возрастания монотонно падает от периода к периоду;
- по данным спектрального анализа выделены периоды межгодовых колебаний изменчивости осадков, которые хорошо согласуются с циклами солнечной активности и крупномасштабных форм атмосферной циркуляции;

- установлено, что в последние десятилетия значительно усилилась корреляционная связь между количеством осадков в дождливом июле и различными климатическими индексами;
- наблюдается тенденция к большей частоте выходов на территорию области так называемых ныряющих циклонов.

### Список литературы

*Бардин М. Ю., Платова Т. В.* Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления // Проблемы экол. мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 71–93.

*Ковальчук Л. А.* Стохастическое оценивание вековой динамики сезонных распределений ежедневных атмосферных осадков на примере наблюдений в Киеве // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2014. N 1. С. 111–116.

Сравнительные исследования засух 2010 и 2012 г. на европейской территории России по метеорологическим MODIS данным / А. Н. Золотокрылин, Т. Б. Титкова, Е. А. Черенкова, В. В. Виноградова // Соврем. проблемы дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 1. С. 245–253.

*Сухова М. Г., Журавлева О. В.* Динамика изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Чуйской котловине // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Естеств. науки. 2017. № 1. С. 124–129.

*Холощев А. В., Катунина Е. В., Тимошенко Т. Ю.* Продолжительные арктические вторжения в Атлантическом секторе и атмосферные осадки в Крыму // Учен. зап. Крым. федер. ун-та им. В. И. Вернадского. География Геология. 2017. Т. 3 (69), № 2. С. 255–271.

*Шабанов П. А., Матвеева Т. А., Маркина М. Ю.* Межгодовые изменения события очень сильных осадков на Европейской части России // Фундам. и прикл. климатология. 2017. Т. 4. С. 106–123.

*Baumer D., Vogel B.* An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany // Geophys. Res. Lett. 2007. Vol. 34. L03819. DOI: 10.1029/2006GL028559.

Midweek increase in U.S. summer rain and storm heights suggests air pollution invigorates rainstorm / T. L. Bell [et al.] // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. D02209. DOI: 10.1029/2007JD008623.

*Detwiller J.* Incidence possible de l'activite industrielle sur les precipitation a Paris // WMO Tech. Note. 1970. Vol. 108. P. 361–362.

*Donat M. G.* Updated analysis of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset // J. Geophys. Res. 2013. Vol. 118. P. 2098–2118.

*Forster P. M., Solomon S.* Observation of a “weekend effect” in diurnal temperature range // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. Vol. 100 (20). P. 11225–11230.

*Fyke J., Lenaerts J., T. M., Wang H.* Basin-scale heterogeneity in Antarctic precipitation and its impact on surface mass variability // The Cryosphere. 2017. Vol. 11. P. 2595–2609.

North Atlantic Oscillation (NAO) and precipitation in Galicia (Spain) / N. O. Garcia [et al.] // Atmosfera. 2005. Vol. 18. P. 25–32.

Weekly cycle of aerosol-meteorology interaction over China / D. Y. Gong [et al.] // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. D022202. DOI:10.1029/2007JD008888.

*Jaagus J.* Trends and regime shifts in climatic conditions and river runoff // Earth Syst. Dynam. 2017. Vol. 8. P. 963–976.

*Kivinen S., Sirpa R., Kirsti J.* Long-term climate trends and extreme events in Northern Fennoscandia (1914–2013) // Climate. 2017. Vol. 5, N 1. DOI: 10.3390/cli5010016.

*Knowles N., Dettinger M., Cayan D.* Trends in snowfall versus rainfall for the eastern United States // J. Clim. 2006. Vol. 19. P. 4545–4559.

*Lau K. M., Sheu P. J.* Annual cycle, quasi-biennial oscillation, and southern oscillation in global precipitation // J. Geophys. Res. Atmos. 1988. Vol. 93. P. 10975–10988.

Possible influences of air pollution, dust- and sandstorms on the Indian monsoon / W. K. M. Lau, K.-M. Kim, C. N. Hsu, B. N. Holben // WMO Bulletin. 2009. Vol. 58, N 1. P. 22–30.

*Mokhov I. I., Semenov V. A.* Weather and Climate Anomalies in Russian Regions Related to Global Climate Change // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2016. Vol. 41, N 2. P. 84–92.

Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey / G. J. Oldenborg [et al.] // *Environ. Res. Lett.* 2017. Vol. 12. doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ef2.

*Rogers C. D. W., Beringer J.* Describing rainfall in northern Australia using multiple climate indices // *Biogeosciences*. 2017. Vol. 14. P. 597–615.

Flood or Drought: How do aerosols affect precipitation? / D. Rosenfeld [et al.] // *Science*. 2008. Vol. 321. P. 1309–1313.

*Simmonds I., Keay K.* Weekly cycle of meteorological variations in Melbourne and the role of pollution and anthropogenic heat release // *Atmos. Environ.* 1997. Vol. 31, N 11. P. 1589–1603.

*Trenberth K. E.* Changes in precipitation with climate change // *Climate Res.* 2011. Vol. 47. P. 123–138.

## The Long-Term Regime of Atmospheric Precipitation in Irkutsk

A. V. Arguchintseva, I. V. Latysheva, L. V. Golubeva

*Irkutsk State University, Irkutsk*

**Abstract.** The paper studies the time series of monthly and annual amounts of atmosphere precipitation in Irkutsk for the 130-year period (1887–2016 years) with the help of calculated coefficients of asymmetry, process, the slope of the linear trend, the stability of which was determined by the coefficient of determination ( $R^2$ ), which shows the contribution of the trend to precipitation variance. The linear trends of precipitation amounts showed a steady trend of positive deviations in all months of the year, but the significance of the coefficients is low. More pronounced cyclical fluctuations, identified on the basis of spectral analysis. In the long-term dynamics of annual precipitation amounts, the quasi-annual dynamics and longer cycles, lasting about 30 and 60 years, which can reflect the contribution of large-scale circulation factors in the multiple-holographic regime of humidification of the territory. The degree of correlation between the North Atlantic Oscillation (NAO), the Pacific Decadal Oscillation (PDO), the SOI South Oscillation Index and the summer precipitation in Irkutsk in the period 2000–2017 years significantly increased compared with the earlier period of the study (1887–1999 years). The contribution of the latter reflects well the abnormally high amount of precipitation (319% of the norm), which was released in Irkutsk in December 2017 year.

**Keywords:** atmospheric precipitation, Irkutsk, climatic indices, synoptic conditions, circulation.

**For citation:** Arguchintseva A.V., Latysheva I.V., Golubeva L.V. The Long-Term Regime of Atmospheric Precipitation in Irkutsk. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 23, pp. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.3>. (in Russian)

### References

Bardin M.Yu., Platova T.V. Izmeneniya porogov ekstremalnykh znachenii temperatur i osadkov na territorii Rossii v period globalnogo potepneniya [Changes in the Thresholds for Extreme Temperatures and Precipitation on the Territory of Russia during the Period of Global Warming]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling], 2013, vol. XXV, pp. 71-93. (in Russian)

Kovalchuk L.A. Stokhasticheskoe otsenivanie vekovoi dinamiki sezonnykh raspredelenii ezhdnevnykh atmosferynykh osadkov na primere nablyudenii v Kieve [Stochastic estimation of the secular dynamics of seasonal distributions of daily atmospheric precipitation by the example of observations in Kiev SSN 1025-6415]. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2014, no. 1, pp. 111-116. (in Ukraine)

Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova Ye.A., Vinogradova V.V. Sravnitelnye issledovaniya zasukh 2010 i 2012 g. na evropeiskoi territorii Rossii po meteorologicheskim MODIS

dannym [Comparative studies of droughts of 2010 and 2012 on the European Territory of Russia on meteorological MODIS data]. *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space], 2013, vol. 10, no. 1, pp. 245-253. (in Russian)

Sukhova M.G., Zhuravleva O.V. Dinamika izmeneniya temperatury vozdukh i atmosferykh osadkov v Chuy-skoy kotlovina [Dynamics of Changes in Air Temperature and Precipitation in the Chuy Basin]. *Izvestiya Vuzov. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki* [University News North-Caucasian Region. Natural Sciences Series], 2017, no. 1, pp. 124-129. (in Russian)

Kholoptsev A.V., Katunina Ye.V., Timoshenko T.Yu. Prodolzhitelnye arkticheskie vtorzheniya v Atlanticheskoy sektore i atmosferye osadki v Krymu [Long-lasting Arctic invasions in the Atlantic sector and atmospheric precipitation in the Crimea]. *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya* [Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 2017, vol. 3(69), no. 2, pp. 255-271. (in Russian)

Shabanov P.A., Matveyeva T.A., Markina M.Yu. Mezhdogovyye izmeneniya sobytiya ochen silnykh osadkov na Yevropeyskoy chasti Rossii [Interannual changes in the event of very heavy precipitation in the European part of Russia]. *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and Applied Climatology], 2017, vol. 4, pp. 106-123. (in Russian)

Baumer D., Vogel B. An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany. *Geophys. Res. Lett.*, 2007, vol. 34, L03819, DOI: 10.1029/2006GL028559.

Bell T.L., Rosenfeld D., Kim K.M. et al. Midweek increase in U.S. summer rain and storm heights suggests air pollution invigorates rainstorm. *J. Geophys. Res.*, 2008, vol. 113, D02209, DOI: 10.1029/2007JD008623.

Detwiller J. Incidence possible de l'activite industrielle sur les precipitation a Paris. *WMO Tech. Note*, 1970, vol. 108, pp. 361-362.

Donat M. G. Updated analysis of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *J. Geophys. Res.*, 2013, vol. 118, pp. 2098-2118.

Forster P.M., Solomon S. Observation of a "weekend effect" in diurnal temperature range. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2003, vol. 100(20), pp. 11225-11230.

Fyke J., Lenaerts J.T.M., Wang H. Basin-scale heterogeneity in Antarctic precipitation and its impact on surface mass variability. *Cryosphere*, 2017, vol. 11, pp. 2595-2609.

Garcia N.O., Gimeno L. et al. North Atlantic Oscillation (NAO) and precipitation in Galicia (Spain). *Atmosfera*, 2005, vol. 18, pp. 25-32.

Gong D.Y., Ho C.H., Chen D. et al. Weekly cycle of aerosol meteorology interaction over China. *J. Geophys. Res.*, 2007, vol. 112, D022202, DOI: 10.1029/2007JD008888.

Jaagus J. Trends and regime shifts in climatic conditions and river runoff. *Earth Syst. Dynam.*, 2017, vol. 8, pp. 963-976.

Kivinen S., Sirpa R., Kirsti J. Long-term climate trends and extreme events in Northern Fennoscandia (1914–2013). *Climate*, 2017, vol. 5(1). DOI: 10.3390/cli5010016.

Knowles N., Dettinger M., Cayan D. Trends in snow fall versus rainfall for the eastern United States. *J. Clim.*, 2006, vol. 19, pp. 4545-4559.

Lau K.M., Sheu P.J. Annual cycle, quasi-biennial oscillation, and southern oscillation in global precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 1988, vol. 93, pp. 10975-10988.

Lau K.M., Kim K.M., Hsu C.N., Holben B.N. Possible influences of air pollution, dust- and sandstorms on the Indian monsoon. *WMO Bulletin*, 2009, vol. 58, no. 1, pp. 22-30.

Mokhov I.I., Semenov V.A. Weather and Climate Anomalies in Russian Regions Related to Global Climate Change. *Meteorology and Hydrology*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 84-92. (in Russian).

Oldenborgh G. J., Wiel K. et al. Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey. *Environ. Res. Lett.*, 2017, vol. 12, doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ef2.

Rogers C.D.W., Beringer J. Describing rainfall in northern Australia using multiple climate indices. *Biogeosciences*, 2017, vol. 14, pp. 597-615.

Rosenfeld D., Lohmann U., Raga G.B. et al. Flood or Drought: How do aerosols affect precipitation? *Science*, 2008, vol. 321, pp.1309-1313.

Simmonds I., Keay K. Weekly cycle of meteorological variations in Melbourne and the role of pollution and anthropogenic heat release. *Atmos. Environ.*, 1997, vol. 31 (11), pp. 1589-1603.

Trenberth K.E. Changes in precipitation with climate change. *Climate Res.*, 2011, vol. 47, pp. 123-138.

*Аргучинцева Алла Вячеславовна*  
доктор технических наук, профессор  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-88  
e-mail: arg@math.isu.ru

*Arguchintseva Alla Vyacheslavovna*  
Doctor of Sciences (Technical), Professor Ir-  
kutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian  
Federation  
tel.: (3952) 52-10-88  
e-mail: arg@math.isu.ru

*Латышева Инна Валентиновна*  
кандидат географических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-94  
e-mail: ababab1967@mail.ru

*Latysheva Inna Valentinovna*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian  
Federation  
tel.: (3952) 52-10-94  
e-mail: ababab1967@mail.ru

*Голубева Людмила Валерьевна*  
аспирант  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-72  
e-mail: tatun0203@yandex.ru

*Golubeva Ludmila Valeryevna*  
Postgraduate  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian  
Federation  
tel.: (3952) 52-10-72  
e-mail: tatun0203@yandex.ru

**Дата поступления:** 28.02.2018

**Received:** February, 28, 2018