

**РЕЖИМ ОСАДКОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ  
ПРИ РАЗНЫХ ФОРМАХ ЦИРКУЛЯЦИИ  
(ПО КЛАССИФИКАЦИИ Г.Я. ВАНГЕНГЕЙМА)**

*Л.А. Куликова, А.В. Еремина*

Российский государственный гидрометеорологический университет, er-nastya@yandex.ru

Рассмотрены формы циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма при разных режимах осадков в Санкт-Петербурге (СПб). Дефицит осадков в СПб наблюдается при восточной и меридиональной формах циркуляции. Преобладание западной формы циркуляции приводит к избытку увлажнения в СПб. Установлено, что в период глобального потепления произошел резкий переход от восточной и меридиональной форм циркуляции к западной форме, что приводит к росту осадков в СПб. Установленная зависимость режима осадков в СПб от повторяемости форм циркуляции позволяет рекомендовать последние в качестве дополнительных предикторов при долгосрочном прогнозе осадков в СПб.

*Ключевые слова:* режим осадков, Санкт-Петербург, формы циркуляции, классификация Г.Я. Вангенгейма, повторяемость форм циркуляции, тренд, долгосрочный прогноз осадков.

**PRECIPITATION REGIME IN SAINT-PETERSBURG  
IN THE CASE OF DIFFERENT TYPES OF CIRCULATION  
(ACCORDING TO CLASSIFICATION OF G. YA. WANGENHEIM)**

*L.A. Kulikova, A.V. Eremina*

Russian State Hydrometeorological University

Circulation types according to classification of G. Ya. Wangenheim at different precipitation regimes in Saint-Petersburg are considered. The precipitation deficit is observed in the case of the eastern and meridional circulation types. The predominance of the western circulation type leads to excess of moisture in Saint-Petersburg. It was established that during the global warming period the sharp transition occurred from eastern and meridional circulation types to western circulation type. This factor stimulates precipitation growth in Saint-Petersburg. Detected between precipitation regime in Saint-Petersburg and repeatability of circulation types dependency allows to recommend circulation types as additional predictors in long-term precipitation forecast in Saint-Petersburg.

*Keywords:* precipitation regime, Saint-Petersburg, circulation types, classification of G. Ya. Wangenheim, repeatability of circulation types, trend, long-term precipitation forecast.

**Введение**

В период продолжающегося глобального потепления [2, 7, 9], наряду с резкими изменениями температурного режима по всему земному шару, наблюдаются сильные колебания количества осадков. В Санкт-Петербурге эти изменения выразились в обильных снегопадах (зимы 2010/11, 2011/12, 2018/19 гг.) или в длительном отсутствии снежного покрова (зима 2012/2013 гг.), что одинаково неблагоприятно для экологии окружающего региона. Такие экстремальные осадки осложняют планирование бюджета, и впоследствии или неоправданно возрастают

расходы федерального бюджета, или жилищно-коммунальные службы оказываются не подготовленными к устранению последствий экстремальных осадков. В связи с этим был проведен анализ влияния повторяемости форм циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма на режим осадков в Санкт-Петербурге как потенциальных предикторов при долгосрочном прогнозе осадков в СПб.

### Климатический анализ повторяемости форм циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма

Циркуляция атмосферы в первом естественном синоптическом районе (ЕСР) из-за преобладающего западного переноса в умеренных широтах имеет исключительно важное значение в формировании увлажнения на территории Санкт-Петербурга (СПб). Для оценки влияния атмосферной циркуляции на режим осадков в СПб при разработке долгосрочных прогнозов необходимы количественные оценки параметров атмосферной циркуляции. Для этих целей используются различные типы параметризации барических полей. К числу наиболее известных относится типизация элементарных синоптических процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма [1, 3, 6, 8].

Согласно этой типизации, все атмосферные процессы сведены в три формы атмосферной циркуляции по признаку преобладающего направления переноса воздушных масс: западную *W*, восточную *E* и меридиональную *C*. Форма *W* характеризуется аномальным развитием западного переноса в умеренных широтах северо-атлантического и европейского секторов, при котором атмосферная циркуляция, и прежде всего перенос с запада на восток, усилена.

При форме *E* нарушается западный перенос и возникает перенос противоположного направления. Циркуляция в Атлантике и европейском секторе ослаблена.

Форма *C* (центрально-европейская меридиональная форма) возникает при антициклогенезе на севере Скандинавии и в центре Европы и образовании меридионально расположенных циклонических полей в Атлантике и на юго-востоке Восточной Европы и носит, как правило, промежуточный характер при переходе от формы *E* к *W* и наоборот.

Количественной характеристикой типизации атмосферных процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма служит повторяемость определенной формы циркуляции — число дней за месяц, когда она наблюдалась.

Для климатического анализа повторяемости форм циркуляции в качестве источника информации использовался «Каталог элементарных синоптических процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма 1891—1962 гг.» [5] и данные, предоставленные ААНИИ за период 1963—2015 гг.

Проведенные расчеты средних (средних многолетних) значений повторяемости трех форм циркуляции (*E*, *W*, *C*) за год (рис. 1 *a*) выявили преобладание процессов восточной формы циркуляции (150 дней в году). При этом изменчивость повторяемости формы *E* (рис. 1 *б*), описываемая коэффициентом вариации, минимальна и не превышает 27%. Западная форма циркуляции *W* наблюдается 121 день в году, но эта величина подвержена максимальным колебаниям — до 29%. Реже

других форм отмечается меридиональная форма циркуляции (91 день в году), обладающая наименьшей изменчивостью (25 %).

В течение года преобладание восточной формой циркуляции (рис. 2 *а*) сохраняется почти во все месяцы за исключением осеннего периода (сентябрь — октябрь), когда в момент перестройки атмосферной циркуляции господствует западная форма циркуляции. Повторяемость форм циркуляции изменяется в течение года (рис. 2 *б*): в холодный период наибольшим колебаниям подвержена повторяемость меридиональной формы циркуляции (до 90 %), в теплый — повторяемость западной формы циркуляции.

### **Влияние форм циркуляции $W, E, C$ на режим осадков в СПб**

Для оценки влияния форм циркуляции на режим осадков в СПб для каждого месяца выбраны десять самых сухих (дефицит осадков) и десять самых влажных (избыток увлажнения) лет и рассчитаны значения повторяемости форм циркуляции при разном режиме осадков. Режим осадков в СПб оценивается по месячным суммам осадков за период 1891—2016 гг. по данным архива [12]. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

При преобладании процессов западной формы циркуляции (рис. 3 *а*) (в среднем более 15 дней в месяц) в СПб наблюдается избыток увлажнения, уменьшение повторяемости этой формы циркуляции приводит к дефициту осадков. При колебаниях повторяемости восточной формы циркуляции (рис. 3 *б*) режим осадков в СПб изменяется в противоположном направлении. При увеличении повторяемости формы циркуляции  $E$  отмечается количество осадков ниже нормы, при убывании — выше нормы. Увеличение повторяемости меридиональной формы циркуляции (рис. 3 *в*) чаще приводит к уменьшению количества осадков в СПб, поэтому целесообразно объединить эту форму с восточной формой циркуляции (рис. 4).

При преобладании атмосферных процессов восточной и меридиональной ( $E + C$ ) форм циркуляции в СПб отмечается дефицит осадков, при уменьшении их повторяемости — избыток увлажнения.

### **Временные изменения повторяемости форм циркуляции и режима осадков в СПб**

Интенсивность временных изменений повторяемости форм циркуляции и режима осадков в СПб определяется по коэффициентам линейных трендов, построенных с использованием сглаживания по 12-месячным скользящим средним величинам. Статистическая значимость трендов гарантирована на 5 %-ном уровне значимости. В силу зависимости уровня осадков в СПб от форм циркуляции  $W, C + E$  рассмотрены только тренды этих форм циркуляции (рис. 5). В контексте глобального потепления особое внимание уделяется трендам по двум периодам: до начала глобального потепления (1891—1975 гг.) и в «период продолжающегося глобального потепления» [9].

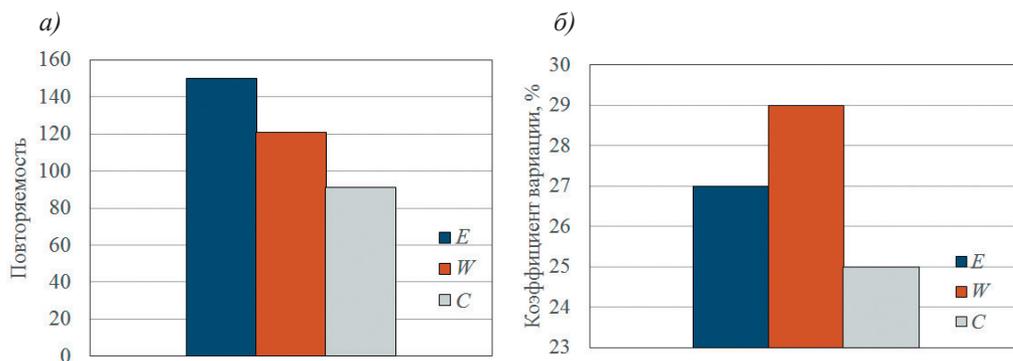


Рис. 1. Средняя годовая повторяемость, число дней (а) и коэффициент вариации (б) форм циркуляции *E*, *W*, *C*.

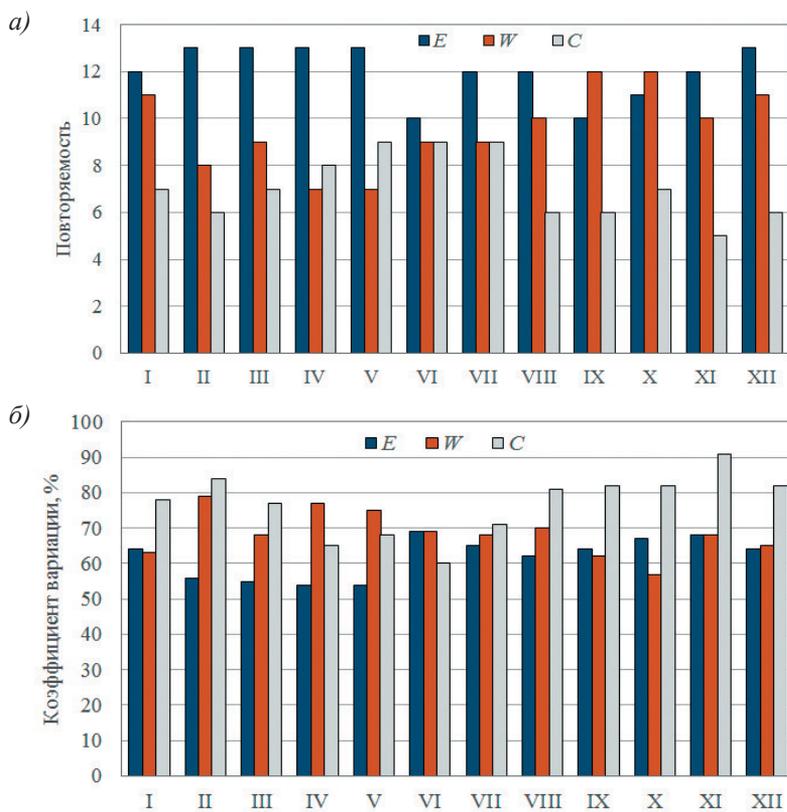


Рис. 2. Годовой ход средней месячной повторяемости, число дней (а) и коэффициента вариации (б) форм циркуляции *E*, *W*, *C*.

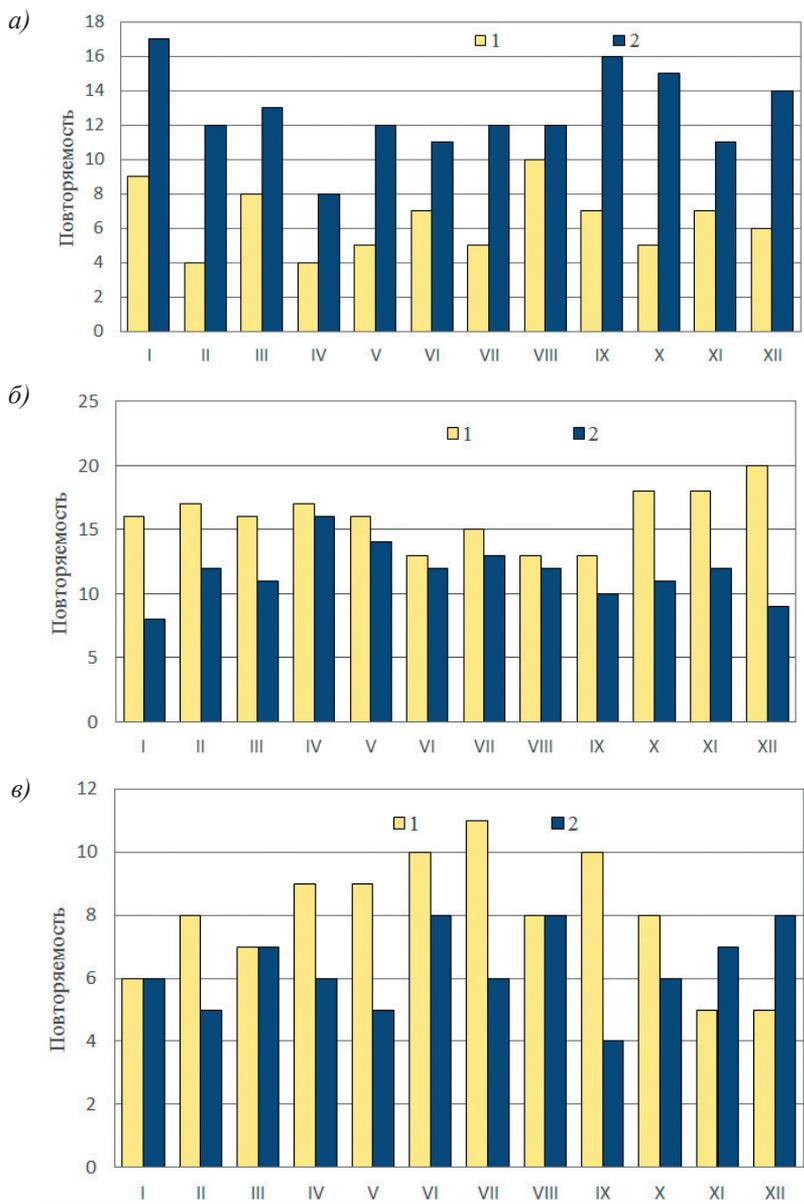


Рис. 3. Годовой ход средней месячной повторяемости (число дней) форм циркуляции  $W$  (а),  $E$  (б) и  $C$  (в) при дефиците (1) и избытке (2) осадков в СПб.

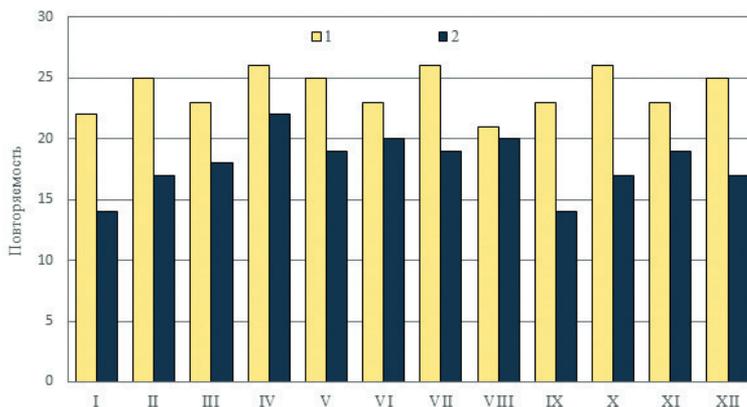


Рис. 4. Годовой ход средней месячной повторяемости (число дней) форм циркуляции *E* и *C* при дефиците (1) и избытке (2) осадков в СПб.

Важным обстоятельством в контексте глобального потепления является изменение знака тренда повторяемости обеих форм циркуляции, что свидетельствует о смене направления воздушного переноса. Количественные оценки изменения трендов повторяемости форм циркуляции приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты линейного тренда повторяемости форм циркуляции

Период	Формы циркуляции	
	<i>W</i>	<i>C + E</i>
1891—1975 гг.	-0,97	0,88
1976—2015 гг.	1,30	-1,27

Как следует из анализа данных табл. 1, значения скорости изменения повторяемости форм циркуляции *W* и *C + E* очень близки, но противоположны по знакам.

Смена направления воздушного переноса неизбежно приводит к резкому изменению режима осадков в СПб (рис. 6).

Количественные оценки изменения режима осадков в СПб приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость изменения месячных сумм осадков СПб (мм/год за 10 лет)

Период	мм/год за 10 лет
1891—1975 гг.	0,78
1976—2016 гг.	2,40

Увеличение количества осадков в СПб отмечается за весь период наблюдения, но в период глобального потепления скорость их увеличения возросла примерно в три раза.

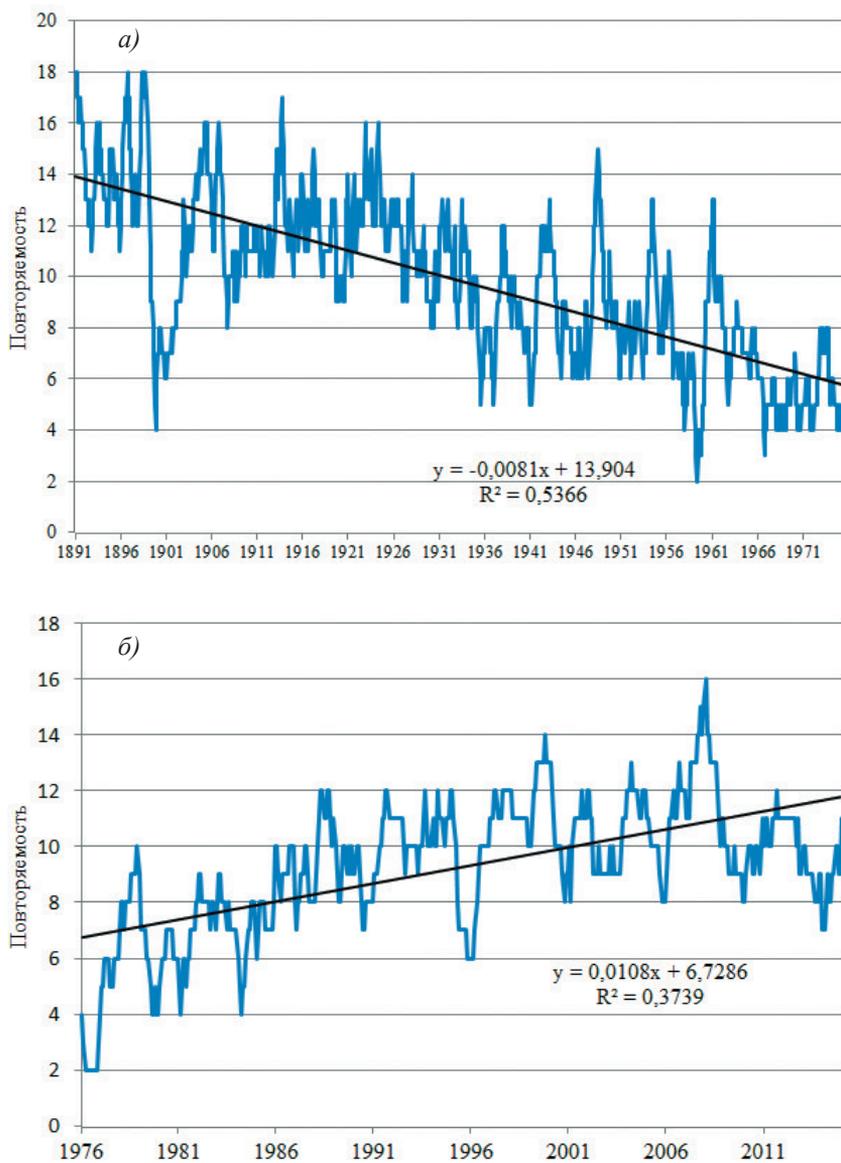


Рис. 5 (начало). Повторяемость форм циркуляции:  
12-летние скользящие средние значения числа дней за месяц.  
Жирная кривая показывает сглаженный ход повторяемости форм циркуляции.  
а — форма циркуляции *W*, 1891—1975 гг.; б — форма циркуляции *W*, 1976—2015 гг.

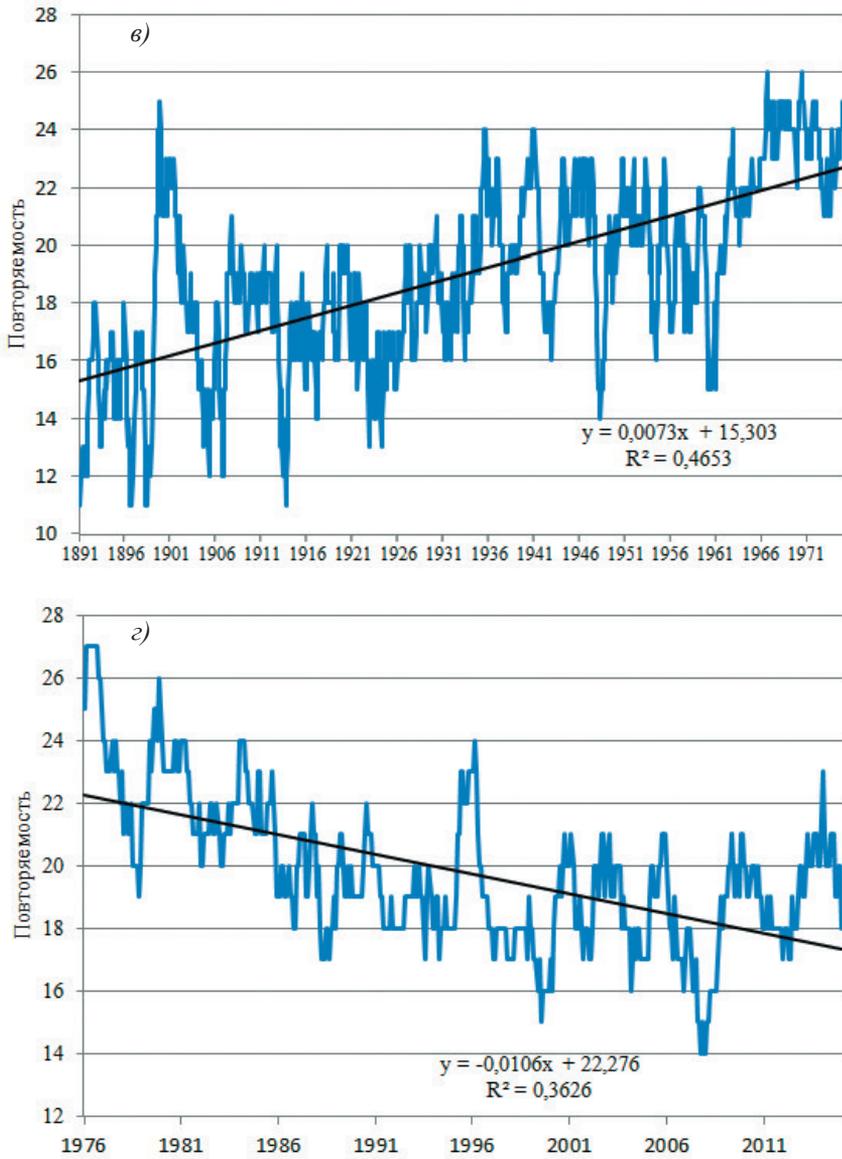


Рис. 5 (окончание). Повторяемость форм циркуляции:  
12-летние скользящие средние значения числа дней за месяц.

Жирная кривая показывает сглаженный ход повторяемости форм циркуляции.  
в — форма циркуляции  $E + C$ , 1891—1975 гг.; з — форма циркуляции  $E + C$ , 1976—2015 гг.

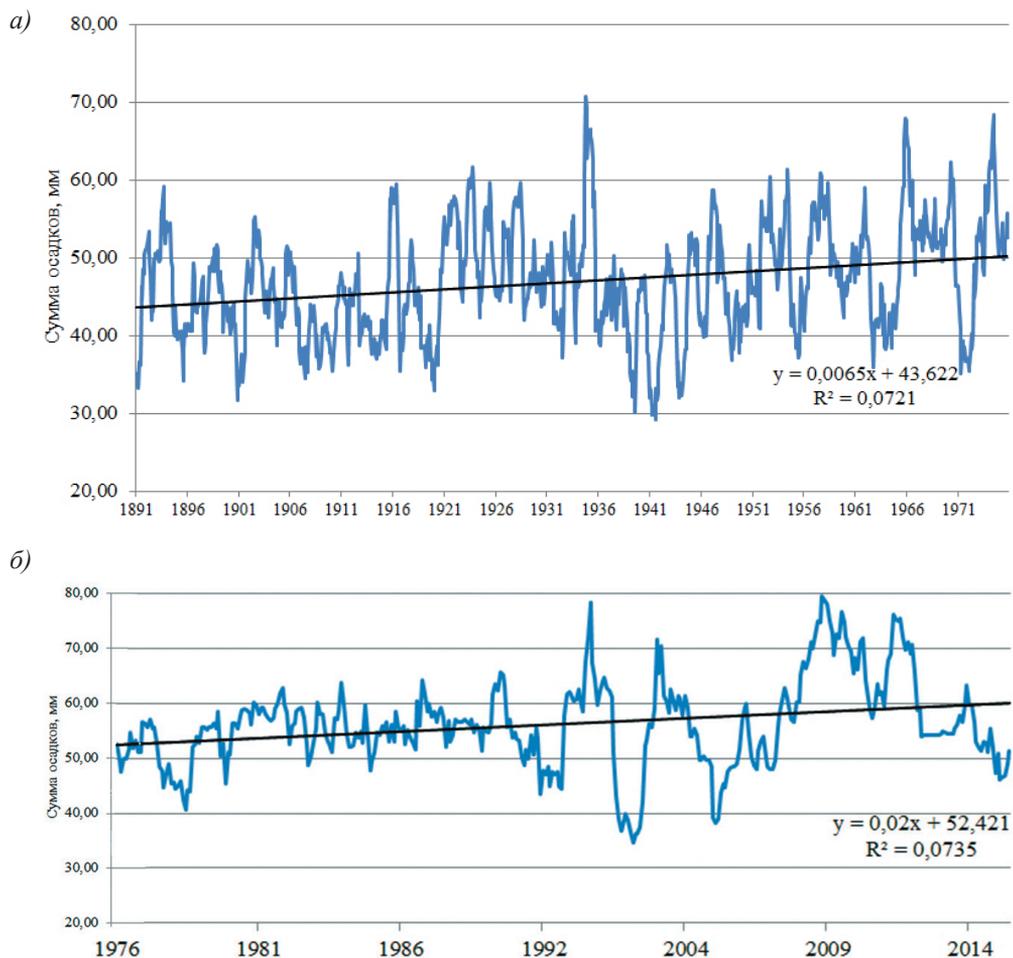


Рис. 6. Изменения месячных сумм осадков в СПб.

а) 1891—1975 гг., б) 1976—2016 гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход месячных сумм осадков в СПб по 12-летним скользящим средним.

### Выводы

Рассмотрены связи изменения режима осадков в СПб при колебаниях повторяемости форм циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма. При увеличении повторяемости западной формы циркуляции количество осадков в СПб возрастает, а при преобладании восточной и меридиональной форм циркуляции отмечается дефицит осадков. Это позволяет рекомендовать повторяемость форм атмосферной циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма в качестве дополнительного предиктора при долгосрочном прогнозе количества осадков в СПб.

Прогностическую оценку повторяемости форм циркуляции можно определить по гомологам (типам однородной циркуляции), разрабатываемым в ААНИИ и ГМЦ СПб и успешно применяемым при решении ряда практических задач [4, 10—11].

### *Список литературы*

1. *Вангенгейм Г.Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды АНИИ. 1952. Т. 34. 314 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: изд-во Росгидромета, 2014. 1003 с.
3. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
4. *Ефимова Ю.В.* Условия возникновения сильных невских наводнений / Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30. СПб: изд-во РГГМУ, 2003. 136 с. <http://www.dissercat.com/content/usloviya-vozniknoveniya-silnykh-nevskikh-navodnenii>
5. Каталог макросиноптических процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма 1891—1962 гг. Л.: ААНИИ, 1964. 158 с.
6. *Кондратович К.В.* Долгосрочные метеорологические прогнозы в Северной Атлантике. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 184 с.
7. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* О современных изменениях глобальной температуры воздуха // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 2. С. 215—221.
8. *Малинин В.Н., Радикович В.Н., Гордеева С.М., Куликова Л.А.* Изменчивость вихревой активности над Северной Атлантикой. СПб: Гидрометеиздат, 2003. 172 с.
9. Оценочный доклад об особенностях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: изд-во Росгидромета, 2008. Т. 1. 227 с.
10. *Савичев А.И., Цепелев В.Ю.* Прогноз погоды на месяц по методу типовых макропроцессов // Ученые записки РГГМУ. 2008. № 8. С. 62—81.
11. *Цепелев В.Ю., Хан В.М.* Вероятностное представление долгосрочных метеорологических прогнозов, разработанных синоптическими методами // Метеорология и гидрология. 2015. № 4. С. 17—31.
12. Global Historical Climatology Network [Электронный ресурс] URL: <http://www.scd.ucar.edu/dss/catalogs/free.html> (Дата обращения: 28.02.2019).