

ГИДРОЛОГИЯ

Н.В. Мякишева

ОСОБЕННОСТИ УВЛАЖНЕННОСТИ БАССЕЙНОВ БОЛЬШИХ ЕВРОПЕЙСКИХ ОЗЕР В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

N.V. Myakisheva

THE PECULIARITIES OF THE NORTHERN EUROPEAN LARGE LAKES DRAINAGE BASINS HUMIDIFICATION IN THE MODERN CLIMATE CONDITIONS

В работе оценивается увлажненность бассейна Ладожского озера и его составных частей. В качестве показателей увлажненности используются индексы Де-Мартона α^M и коэффициенты стока α . Временные ряды значений α^M с 1884 по 2002 г. рассматриваются как вероятностные полициклические процессы. Используются методы квантильного анализа, линейной и низкочастотной фильтрации.

Ключевые слова: увлажненность, индексы увлажненности, временные ряды, вероятностный анализ.

In this paper, the humidification of Lake Ladoga drainage basin and its subbasins is estimated. The indices of De-Martonna α^M and runoff coefficients α are used as the indicators of the humidification of the basins. The multi-year time series of the α^M values for the investigated period of 1884–2002 are considered as multi-cycle stochastic processes. The methods of quartily and linear and low-frequence filtration analysis are used.

Key words: humidification, indices, time series, probability analysis.

Введение

В практике географических исследований часто вводятся различные интегральные характеристики (индексы). Для оценки климата и степени увлажненности территорий, а также их принадлежности к той или иной ландшафтно-географической (климатической) зоне, разработан ряд индексов: Горчинского, Конрада, Хромова, Ценкера, Торнтвейта, Де-Мартона, Иванова, Будыко, Педя, а также коэффициент стока. Обзор перечисленных индексов содержится, например, в работах [Хромов, 1974; Чеботарев, 1978]. Особый интерес представляют те из них, которые можно рассчитать по доступной информации, например индекс Де-Мартона α^M и коэффициент стока α . Индекс Де-Мартона α^M представляет собой отношение годовой суммы осадков (P в миллиметрах)

к средней годовой температуре воздуха ($T^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$) и позволяет различать два прямо противоположных по степени увлажнения территории типа климата – гумидный ($\alpha^M \geq 0,15$) и аридный ($\alpha^M < 0,15$). Коэффициент стока α показывает, какая часть выпавших осадков расходуется на образование стока $\alpha = Y / P$, где Y – слой стока в миллиметрах. При изменении α от 0,5 до 0,6 фиксируется зона тундры и арктических пустынь, а также зона влажных экваториальных лесов. При изменении α от 0,3 до 0,5 фиксируется лесная зона; при изменении α от 0,05 до 0,3 – зона лесостепей и степей; при изменении α от 0,01 до 0,05 фиксируется зона полупустынь; при $\alpha < 0,01$ – зона пустынь [Мировой водный баланс ..., 1974].

Материалы и методы

При оценивании увлажненности бассейна Ладожского озера оказалось целесообразным разделить его на частные бассейны, как это сделано в работе [Догановский, 2006]. Такими бассейнами являются водосборы озер Сайма (район I), Онежского (район II) и Ильмень (район III), где в качестве замыкающих постов приняты створы действующих ГЭС на Вуоксе, Свири и Волхове.

Для характеристики многолетней изменчивости увлажненности рассчитывались временные ряды индексов Де-Мартона α^M в период с 1884 по 2002 г. с использованием данных, осредненных для перечисленных бассейнов.

Для оценки пространственного распределения увлажненности вычислялись индексы α^M и коэффициенты стока α для 132 озерных бассейнов, расположенных на территории Кольского полуострова, Карелии, северо-западной и нечерноземной частях Российской Федерации, стран Балтии и Беларуси. При этом использовались средние многолетние значения, снятые с карт [Мировой водный баланс ..., 1974] и отнесенные к условным центрам тяжести озерных бассейнов.

Результаты

Расчеты индекса Де-Мартона α^M и коэффициента стока α , выполненные для 132 озерных бассейнов, показали, что климат бассейна Ладожского озера является гумидным ($\alpha^M > 0,15$), а сам бассейн находится в двух зонах: избыточного увлажнения или зоне хвойных и смешанных лесов ($0,4 \leq \alpha < 0,5$), и достаточного увлажнения, или зоне смешанных и лиственных лесов ($0,3 \leq \alpha < 0,4$). При этом бассейны озер Сайма (район I) и Онежского (район II) расположены в зоне избыточного увлажнения, а бассейн озера Ильмень (район III) – в зоне достаточного увлажнения.

Расчитанные ряды индексов Де-Мартона α^M приведены на рис. 1, а результаты их квантильного анализа содержатся в табл. 1.

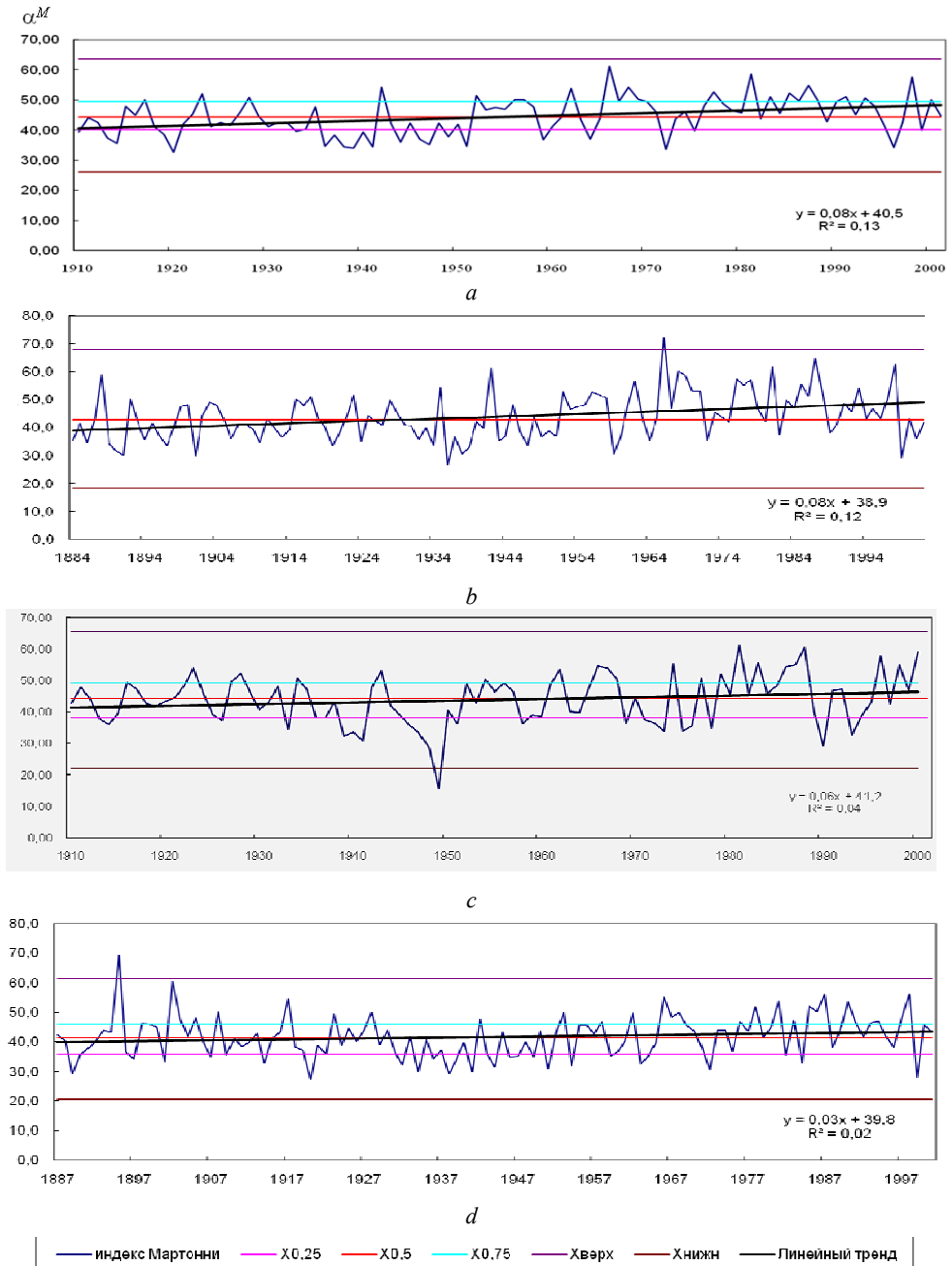


Рис. 1. Индексы Де-Мартона, квантильные диаграммы и результаты линейной фильтрации.
a – бассейн Ладожского озера (1910–2001); *b* – бассейн Онежского озера (1884–2002);
c – бассейн озера Сайма (1910–2000); *d* – бассейн озера Ильмень (1887–2001)
 (то же для рис. 2, 3, 7)

Таблица 1

Статистические характеристики многолетней изменчивости индексов Де-Мартона α^M за весь рассматриваемый период

Бассейн озера	Кол-во лет	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{0,25}$	$\alpha_{0,5}$	$\alpha_{0,75}$	$\alpha_{\max}$	R	Q	$\alpha_{\text{вер}}$	$\alpha_{\text{ниж}}$	T
Ладожское	92	32,6	40,1	44,1	49,6	61,3	28,7	9,40	63,3	26,1	44,6
Онежское	119	26,5	37,1	43,0	49,4	72,1	45,6	12,4	67,9	18,6	43,1
Ильмень	115	27,4	35,8	41,4	46,0	69,1	41,7	10,2	66,2	20,6	44,5
Сайма	91	15,7	38,2	44,4	49,1	61,2	45,4	10,9	65,5	21,9	44,0

Сопоставление квантилей, рассчитанных для бассейна Ладожского озера за разные интервалы времени, показало, что значения $\alpha^M_{0,25}$, $\alpha^M_{0,5}$, $\alpha^M_{0,75}$, оцененные с 1910 по 1953 г. ниже соответствующих значений за весь расчётный период (табл. 2). Значения квантилей $\alpha^M_{0,25}$, $\alpha^M_{0,5}$, $\alpha^M_{0,75}$, вычисленных на отрезке с 1973–2001 гг., превышают значения за весь анализируемый период (табл. 3). Сопоставление медианы $\alpha^M_{0,5}$, вычисленной на отрезке до 1953 г. (41,7 мм/°С) с медианой $\alpha^M_{0,5}$, рассчитанной за период с 1973 г. (47,9 мм/°С), свидетельствует об увеличении среднего уровня увлаженности с начала 1950-х годов.

Таблица 2

Статистические характеристики многолетней изменчивости индекса

Де-Мартона α^M с начала периода наблюдений до 1953 г.

Бассейн озера	Кол-во лет	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{0,25}$	$\alpha_{0,5}$	$\alpha_{0,75}$	$\alpha_{\max}$	R	Q	$\alpha_{\text{вер}}$	$\alpha_{\text{ниж}}$	T
Ладожское	43	32,6	37,7	41,7	44,6	54,3	27,8	6,84	54,8	27,5	41,4
Онежское	69	26,5	35,9	40,4	44,6	61,2	34,7	8,70	57,7	22,8	40,3
Ильмень	66	27,4	35,6	39,9	43,7	69,1	41,7	8,15	55,9	22,3	39,8
Сайма	43	15,7	38,2	44,4	49,1	61,2	45,4	10,9	65,5	21,9	44,0

Таблица 3

Статистические характеристики многолетней изменчивости индекса

Де-Мартона α^M с 1973 г. до конца рассматриваемого периода

Бассейн озера	Кол-во лет	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{0,25}$	$\alpha_{0,5}$	$\alpha_{0,75}$	$\alpha_{\max}$	R	Q	$\alpha_{\text{вер}}$	$\alpha_{\text{ниж}}$	T
Ладожское	28	34,1	43,7	47,9	50,7	58,6	24,5	6,95	61,1	33,3	47,6
Онежское	28	29,2	42,4	46,9	53,4	64,9	35,6	11,0	69,9	25,8	47,4
Ильмень	28	28,3	41,4	44,9	47,8	56,1	77,8	6,40	57,4	31,8	44,7
Сайма	28	29,3	39,9	46,8	54,8	61,2	31,9	14,9	77,2	15,5	47,1

Сопоставление значений $\alpha_{0,5}^M$, рассчитанных для разных частей водосбора за одинаковый период с 1910 по 2000 г., показало, что гумидность климата и увлажнённость территории закономерно уменьшаются с севера на юг и с запада на восток. Наибольшее значение $\alpha_{0,5}^M$ характерно для бассейна озера Сайма (44,4 мм/°C), наименьшее значение $\alpha_{0,5}^M$ – для бассейна озера Ильмень (41,4 мм/°C). Для бассейна Онежского озера $\alpha_{0,5}^M$ составляет 43,9 мм/°C. Значение медианы $\alpha_{0,5}^M$, вычисленное для бассейна Ладожского озера, в целом составляет 44,1 мм/°C.

Результаты анализа рядов α^M дают основание для выделения трендов $M(t)$ – медленно меняющихся, гладких функций, под которыми наиболее часто понимается переменное математическое ожидание случайного процесса $\mu(t)$ [Рожков, 2002].

Для того чтобы сформулировать понятие тренда по отношению к процессу $\mu(t)$, в качестве априорной модели воспользуемся выражением

$$\mu(t) = M(t) + \mu^o(t), \quad (1)$$

где $M(t)$ – тренд; $\mu(t)$ – стационарный случайный процесс – отклонения от тренда. Основанием для записи модели (1) служит проявление на отрезках времени в несколько лет или десятилетий определенных тенденций к увеличению или уменьшению значений процесса, а также возможность определения факторов, формирующих то или иное изменение. В этом случае выделяются периоды локальной по отношению к математическому ожиданию нестационарности процесса $\mu(t)$.

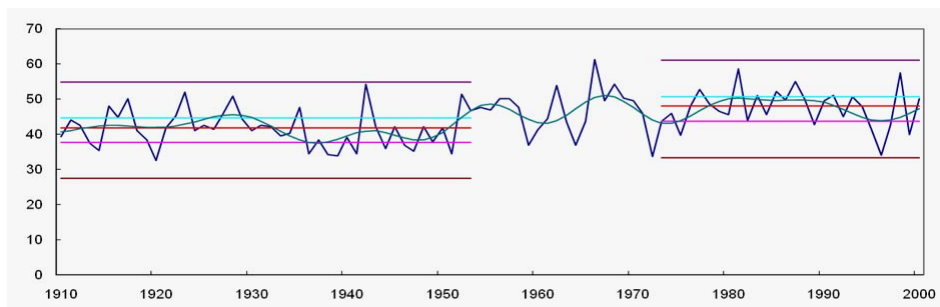
Наиболее четко периоды локальной нестационарности увлажненности прослеживаются по результатам низкочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза $\omega = 0,57$ рад/год (рис. 2). Увеличение среднего уровня увлажненности в 1950-х – 1970-х годах, характерное для всех частей бассейна Ладожского озера, но особенно наглядно выраженное для водосбора Онежского озера, просматривается по результатам низкочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза $\omega = 0,1$ рад/год (рис. 3).

Повышение среднего уровня увлажнённости в бассейне Ладожского озера в 1950-х – 1970-х годах, приводит к формированию линейного тренда для рассматриваемых рядов за весь период наблюдений (см. рис. 1).

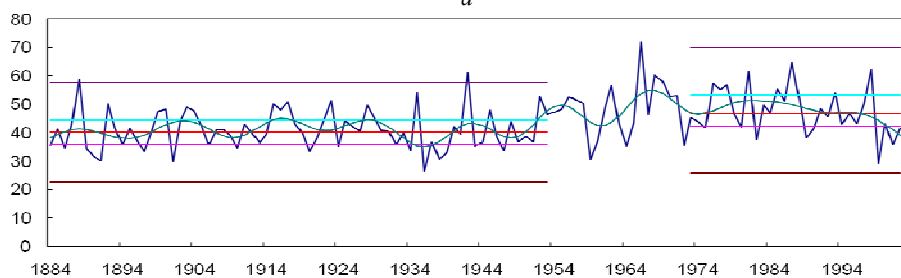
При этом наиболее чётко тренд на повышение увлажнённости выражен для бассейнов озер Ладожского ($R^2 = 0,13$) и Онежского ($R^2 = 0,12$), наименее четко – для бассейнов озера Сайма ($R^2 = 0,04$) и Ильмень ($R^2 = 0,02$).

Для установления факторов, приводящих к увеличению среднего уровня увлажненности бассейна Ладожского озера с начала 1950-х годов, рассмотрим ряды средних годовых сумм осадков и средних годовых значений температуры воздуха. Графики связи временных рядов α^M и P показывают их хорошую согласованность (рис. 4).

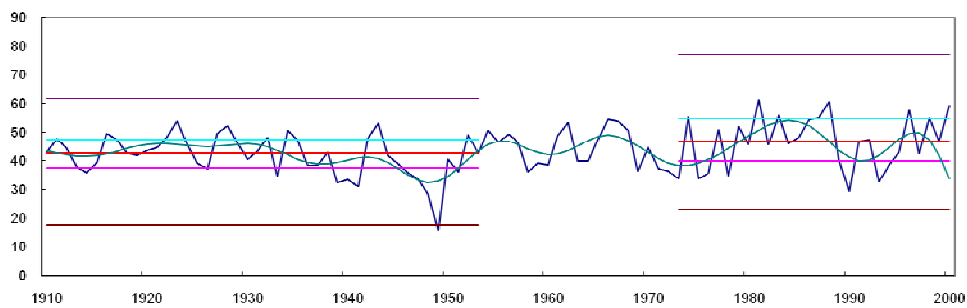
α_M



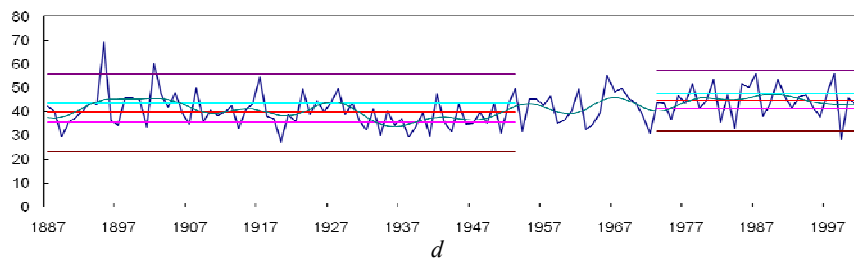
a



b



c



d

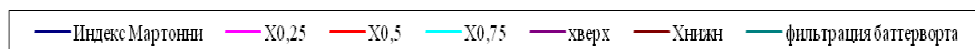


Рис. 2. Индексы Де-Мартона, квантильные диаграммы и результаты фильтрации Баттерворта с частотой среза $\omega = 0,57$ рад/год

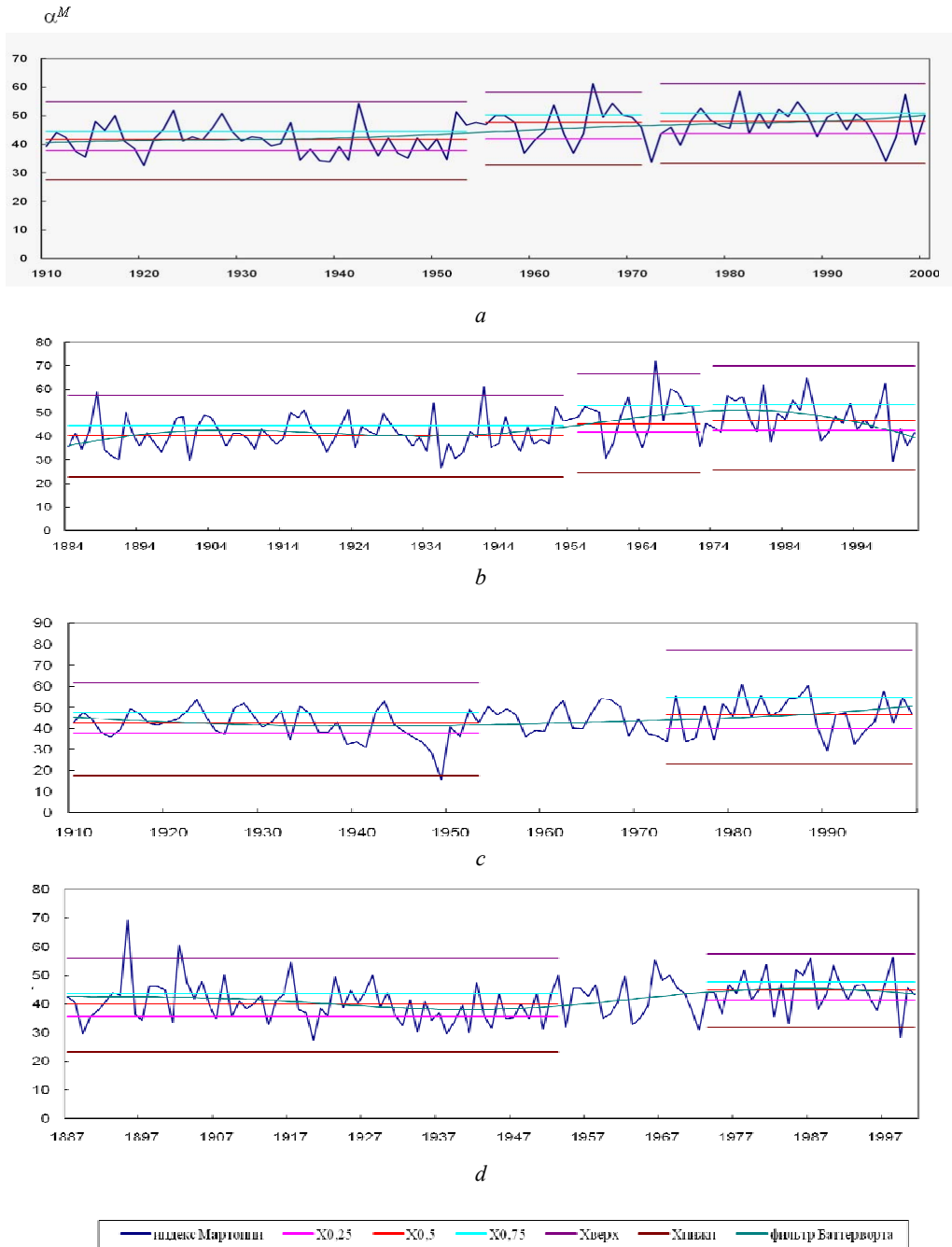


Рис. 3. Индексы Де-Мартона, квантильные диаграммы и результаты фильтрации Баттлерорта с частотой среза $\omega = 0,1$ рад/год

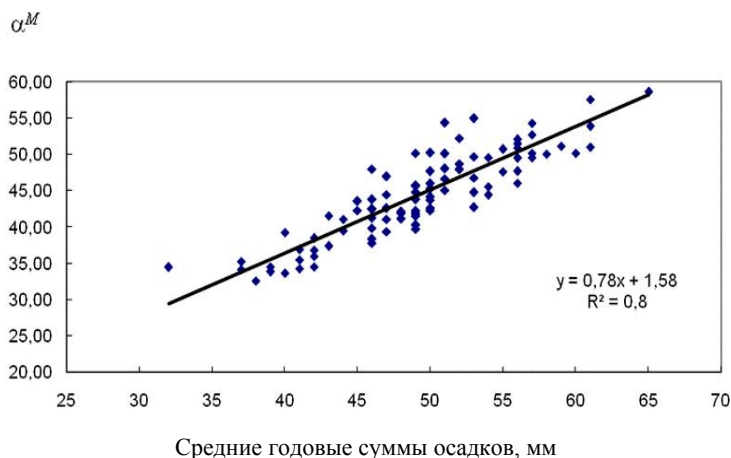


Рис. 4. График связи индекса Де-Мартона и среднегодовых сумм осадков для бассейна Ладожского озера.

Наличие периода локальной нестационарности в рядах средних годовых сумм осадков с 1950-х по 1970-е годы наблюдается для всего бассейна Ладожского озера, но особенно четко прослеживается для бассейна Онежского озера (рис. 5).

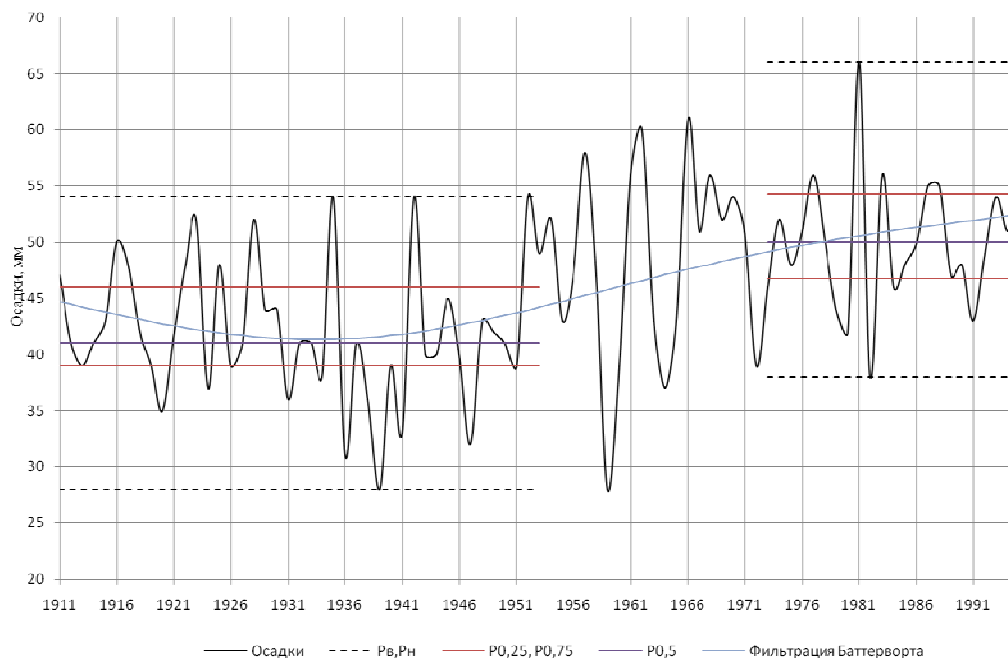


Рис. 5. Средние годовые суммы осадков для бассейна Онежского озера

Увеличение годовых сумм осадков в указанный период в большей степени связано с увеличением зимних осадков, что особенно четко проявляется на графиках ежегодных последовательностей значений для января (рис. 6).

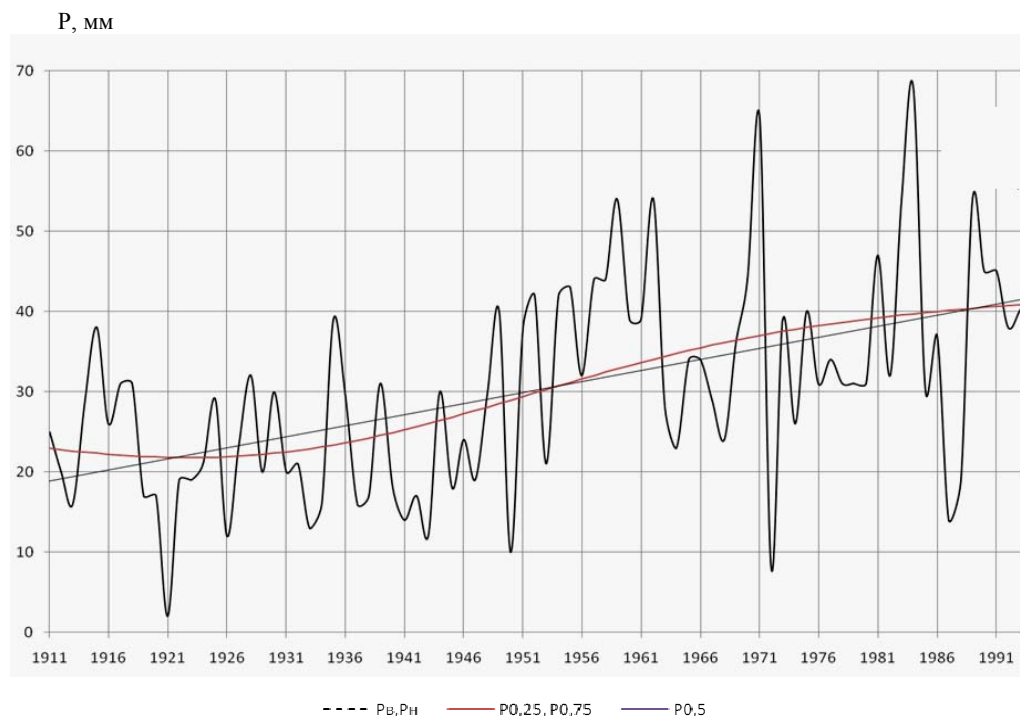
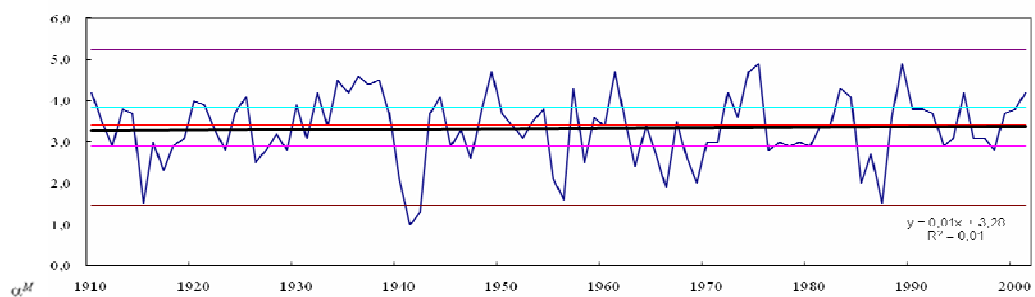


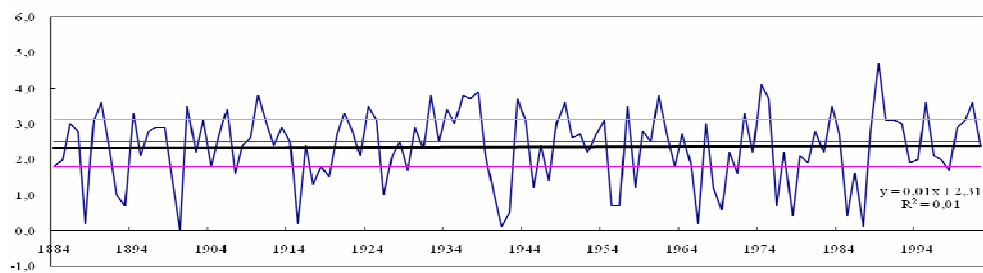
Рис. 6. Ежегодные последовательности январских сумм осадков для бассейна Онежского озера

Значимые тренды в рядах средних годовых значений температуры воздуха, осредненной для рассматриваемых бассейнов, отсутствуют (рис. 7).

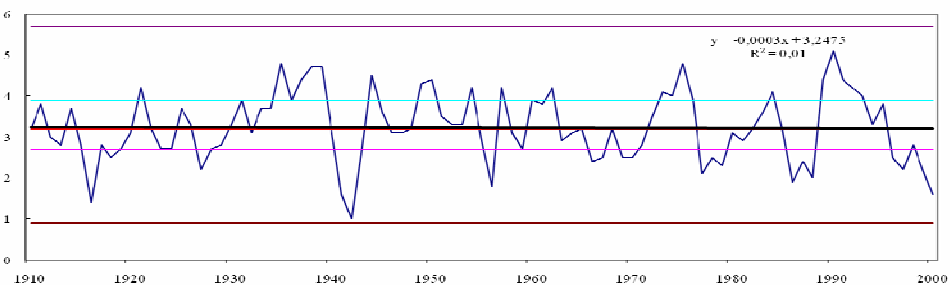
Отмеченное увеличение зимних осадков на водосборе Ладожского озера возможно связано со сменой циркуляционных эпох, которая достаточно хорошо просматривается через изменения индексов Вангенгейма-Гирса, Северо-Атлантического колебания, интенсивности центров действия атмосферы (Исландского минимума и Азорского максимума). Подробно эти вопросы рассмотрены в работе [Лемешко, 2006].



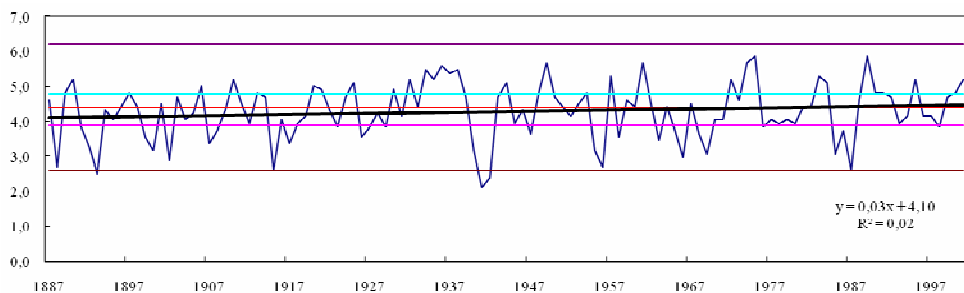
a



б



с



d



Рис. 7. Средняя годовая температура воздуха

Заключение

В распределении увлажненности по территории бассейна Ладожского озера наблюдается определенная географическая закономерность – ее уменьшение с севера на юг и с запада на восток.

За последнее столетие климат и увлажненность бассейна Ладожского озера практически не изменились. Линейные тренды временных рядов индекса Де-Мартона α^M , рассчитанные за весь рассматриваемый период, для бассейнов озер Сайма и Ильмень практически совпадают с медианой, а для бассейнов Онежского и Ладожского озер находятся в пределах интерквартильного расстояния. Период локальной нестационарности в рядах α^M с начала 1950-х до конца 1970-х годов, когда наблюдался тренд на повышение среднего уровня увлажненности, в той или иной мере выражен для бассейнов всех рассмотренных озер. Отмеченные особенности в изменчивости увлажненности связаны в основном с увеличением количества атмосферных осадков в зимний период года.

Литература

1. *Догановский А.М.* Многолетние колебания уровня Ладожского озера // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006, с. 175–183.
2. *Лемешко Н.А., Сперанская Н.А.* Особенности увлажнения Европейской территории России в условиях изменяющегося климата // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: Астерион, 2006, с. 38–54.
3. *Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли.* – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 638 с.
4. *Рожков В.А.* Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. 2. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 780 с.
5. *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
6. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.