

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ИСПАРЕНИЯ

С ростом масштабов водохозяйственного строительства наметился переход от создания локальных систем к системам, охватывающим большие территории со всем разнообразием природных и хозяйственных условий. В свою очередь возникла необходимость более полного и точного учета пространственно-временных колебаний ресурсов и потребления воды [1, 2]. Нами сделана попытка представить испарение на территории Белоруссии в виде непрерывных стохастических полей и исследовать их статистическую структуру.

Характерной особенностью испарения является неупорядоченность, турбулентность, большая зависимость от географических условий, что затрудняет его описание, как непрерывного процесса во времени и по территории. Не представляется возможным такое описание поля испарения, которое позволило бы задать интересующие величины в каждой точке пространства $(x; y; h)$ и в каждый момент времени t . Нами использован аппарат корреляционных функций с установлением связей типа:

$$R(M_0M) = R(x_0; y_0; h_0; t_0; x; y; h; t), \quad (1)$$

где M_0 и M — соответственно исходная и текущая точки; R — параметр корреляционной функции.

Для стационарных полей, введя переменную $\tau = t - t_0$ (сдвиг во времени), представим корреляционную функцию в полярных координатах $\rho = ((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)^{1/2}$ и $\alpha = \text{arctg}((y - y_0)(x - x_0)^{-1})$. При этом для равнинных территорий разностью отметок местности $(h - h_0)$ можно пренебречь. Тогда

$$R(M_0; M) = R(x_0; y_0; \rho; \alpha; \tau), \quad (2)$$

где ρ — расстояние между метеопунктами; α — угол между северным направлением и линией, соединяющей метеостанции.

Пространственные корреляционные функции (ПКФ) однородных и изотропных полей не зависят от координат полюса $(x_0; y_0)$, а также от направле-

ния α и описываются как

$$R(\rho) = f(\rho, \tau). \quad (3)$$

Требования однородности и изотропности диктуют необходимость предварительной оценки статистической структуры исследуемых полей испарения. Зафиксировав τ и получив ПКФ как функцию $R = f(\rho)$, в поле эмпирических точек наводят корреляционную функцию по точкам средневзвешенных значений коэффициентов корреляции и соответствующих средних арифметических значений расстояний для каждой градации.

Полученные линии принимаются за истинные зависимости $R = f(\rho)$, отвечающие природе пространственной корреляционной связности испарения на данной территории, а отклонения эмпирических точек от этой пространственной модели обусловлены случайными флуктуациями выборочных данных. Задача сводится к доказательству нуль-гипотезы и требует статистической проверки. Наиболее детально этот вопрос рассмотрен в работах Г.А. Алексеева [3], А.В. Рождественского, А.И. Чеботарева [4].

Если эмпирические и теоретические вероятности оказываются близкими, то исследуемая ПКФ признается однородной, а соответствующее поле изотропным, т.е. нулевая гипотеза не опровергается. При существенном расхождении между эмпирическими и теоретическими вероятностями нулевая гипотеза отвергается и признается альтернатива о неоднородности эмпирической ПКФ. В этом случае рассматриваемое поле должно быть уменьшено. Проверка повторяется до получения однородного и изотропного полей.

Для исследования структуры временных рядов применены автокорреляционные функции в сочетании с интегральными. Это позволяет выявить менее выраженные циклы в ряду лет с большими периодами колебаний.

Методика оценки статических характеристик пространственной структуры полей испарения не отличается от оценки полей других элементов, не представляя сложности и сами расчеты. Однако требуется учесть ряд специфических особенностей. Во-первых, данные отдельных почвенных испарителей или лизиметров, с помощью которых определяются величины испарения, являются репрезентативными лишь для однородной по условиям формирования испарения территории, в то время как для решения поставленной задачи необходимо определить не структуру испарения в окрестностях отдельных метеостанций, а поле испарения как стохастического формирования в целом. Во-вторых, малый объем исходной выборки в пунктах наблюдений неизбежно ведет к искажению статистических модельных представлений испарения в точке, а количество пунктов наблюдений недостаточно для качественного представления его пространственно-временной структуры. В рядах наблюдений имеются пропуски, отмечается нестационарность наблюдений во времени и неоднородность рядов. Создается ситуация, при которой, имея четкую методику исследования поля испарения, непросто ее реализовать на практике. Увеличение потенциала информативности исходных выборок (одна реализация в год) также не приводит к желаемому результату. Успешное решение поставленной задачи в значительной степени зависит от корректного модельного представления исследуемого поля. Поэтому в ряде случаев целесообразнее отказаться от наблюдаемых величин, а использовать рассчитанные, что и сделано в настоящей работе. Нами выполнен анализ существующих математических

моделей и предложенных на их основе методов [5]. Наиболее приемлемыми в условиях Белоруссии являются методы гидролого-климатических расчетов (ГКР) и комплексный. Для массовых расчетов нами использован метод ГКР [6], откорректированный для условий Белоруссии [7], а для контроля месячных величин суммарного испарения, рассчитанных за период 1947–1981 гг. для 39 опорных метеопунктов Белоруссии, – комплексный. Проверка результатов показала, что рассчитанные величины максимально возможного Z_m и суммарного Z испарений корректны и образуют методически однородные поля. Последние можно подвергать специальному анализу и математической обработке.

В связи с большим объемом вычислений данная методика реализована нами комплексом прикладных программ в системе ЕС ФОРТРАН. Для оценки реальных возможностей выполнен численный эксперимент на примере описания полей Z_m и Z . Изменчивость Z_m во времени невелика. Коэффициенты вариации колеблются: для годовых значений – 0,04... 0,06; для теплого периода – 0,05...0,07; для летних месяцев – 0,15...0,22. Изменчивость Z несколько большая. Так, коэффициенты вариации испарения для годовых значений в среднем составляют 0,11, для теплого периода – 0,13, вегетационного – 0,15, для летних месяцев – 0,26. Максимальная изменчивость Z – в июле – 0,34. К этому времени весенние влагозапасы израсходованы и испарение определяется в основном конвективными атмосферными осадками. Пространственная изменчивость величин Z_m и Z рассматриваемой территории сопоставима с временной изменчивостью. Коэффициенты пространственной вариации Z_m по территории для принятых промежутков времени (год, теплый период, летние месяцы) соответственно составляют 0,03...0,04; 0,03...0,05; 0,05...0,16, а Z – 0,05... 0,16; 0,06...0,19; 0,10...0,36. Анализ ПКФ позволил оценить асинхронность величин Z_m и Z . Установлено, что коэффициенты парной корреляции R с увеличением ρ в среднем закономерно убывают, хотя и наблюдается значительный разброс для отдельных точек. Подобное рассеивание, очевидно, связано со случайными колебаниями парных коэффициентов корреляции, обусловленными ограниченностью используемых в расчетах выборок [4].

Корреляционные функции аппроксимируются зависимостями вида

$$R(\rho) = \exp(-a\rho^\beta), \quad (4)$$

где a и β – структурные параметры.

Пространственные корреляционные функции Z_m для различных интервалов осреднения в диапазоне расстояний 0...700 км представлены на рис. 1. Различия между ПКФ для отдельных интервалов времени в диапазоне расстояний 0...300 км находятся в пределах точности расчетов. Чем меньше интервал осреднения, тем быстрее с увеличением расстояния затухают корреляционные связи.

Поля испарения менее однородны, чем поля максимально возможного испарения, так как, помимо теплоэнергетических ресурсов, существенное влияние на испарение оказывают свойства испаряющей поверхности, поэтому поля Z проверялись на однородность и изотропность.

При доверительных интервалах $\pm\sigma$ и $\pm 2\sigma$ поля испарения неоднородны, поэтому они уменьшались в размерах. В итоге выявлена однородность ПКФ и

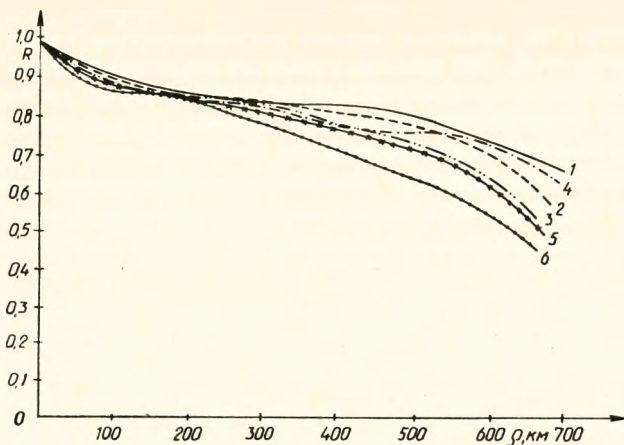


Рис. 1. Пространственные корреляционные функции максимально возможного испарения (территория Белоруссии):

1 - год; 2 - теплый период; 3 - май; 4 - июнь; 5 - июль; 6 - август.

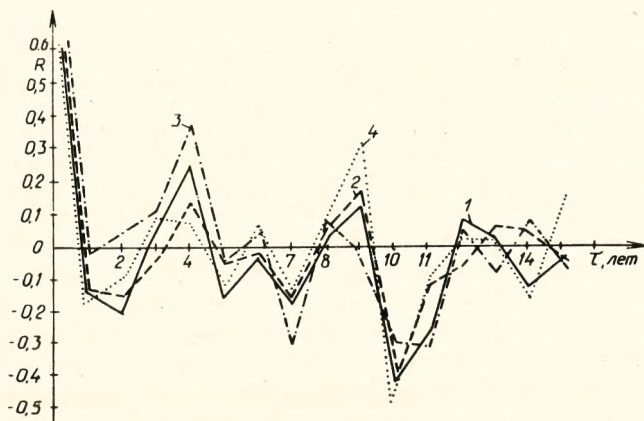


Рис. 2. Автокорреляционные функции максимально возможного испарения:

1 - Минск; 2 - Верхнедвинск; 3 - Брест; 4 - Василевичи.

изотропность соответствующих полей испарения Черноморского склона (в пределах Белоруссии) за февраль, июнь, июль, октябрь, ноябрь, вегетационный и теплый периоды, год, а также полей испарения различной ориентации.

Анализ автокорреляционных функций выполнен для годовых значений величины Z_m по всей территории. Эти колебания в общем случае опериодичены, так как фазы и амплитуды циклов в процессе теплообмена меняются. Коэффициенты автокорреляции R (1) величин Z_m обычно не превышают 0,2...0,3, ряды Z_m отличаются от бессвязных рядов дальними внутрирядными связями, цикличностью и слабой корреляционностью смежных членов. Всплеск автокорреляционных функций (R (3)... R (5) равны $0,40 \pm 0,11$ и R (9)... R

(11) $-0,50 \pm 0,12$) вызван не присутствием "белого шума", а свидетельствует о наличии 3...5 и 9...11-летних циклов в динамике изменения рассматриваемых метеоэлементов (рис. 2).

Учет асинхронности процессов формирования максимально возможного испарения и суммарного испарения поверхности суши в ходе исследования пространственно-временных колебаний их полей дает возможность уточнить водные ресурсы и расходные статьи водного баланса на территории Белоруссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. — Л., 1968. — 377 с.
2. Воропаев Г.В., Местечкин В.Б. Физико-географические основы формирования водохозяйственных балансов. — М., 1981. — 135 с.
3. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализация корреляционных связей. — Л., 1971. — 363 с.
4. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. — Л., 1974. — 424 с.
5. Волчек А.А., Марчук В.Н. О методах определения суммарного испарения. — Брест, 1987. — 31 с. Деп. в ЦБНТИ Минводхоза СССР, 2.12.87, № 459.
6. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. — Л., 1969. — 158 с.
7. Волчек А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии): Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству / Минводхоз БССР. — Мн., 1986. — № 12. — С. 17–21.