

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по оперативному планированию режимов дождевания сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белорусской ССР. — 1986. — 44 с.
2. Сиротенко О.Д. Получение и использование данных о статистической структуре полей осадков в агрометеорологических расчетах // Тр. ИЭМ. — М., 1969. — Вып. 8. — С. 92–97.
3. Сачок Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов. — Мн., 1980. — 222 с.
4. Голценко М.Г., Вихров В.И. Пространственная корреляция оросительных норм многолетних трав на территории Белоруссии // НТИ по мелиорации и водному хозяйству / Минводхоз БССР, 1984. — № 9. — С. 18–20.

УДК 626/556.810(476)

А.А. ВОЛЧЕК

### 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:

$$R(M_0 M) = R(x_0; y_0; h_0; t_0; x; y; h; t), \quad (1)$$

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  $\alpha = \arctg((y - y_0)(x - x_0)^{-1})$ . 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  $\rho$  — расстояние между метеопунктами;  $\alpha$  — 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  $\alpha$  и описываются как

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

Требования однородности и изотропности диктуют необходимость предварительной оценки статистической структуры исследуемых полей испарения. Зафиксировав  $\tau$  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 представляют 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, не просто 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  $\rho$  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  $\beta$  – 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

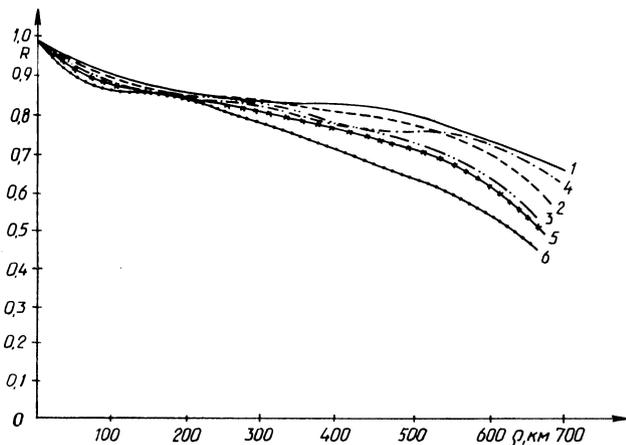


Рис. 1. Пространственные корреляционные функции максимально возможного испарения (территория Белоруссии):

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

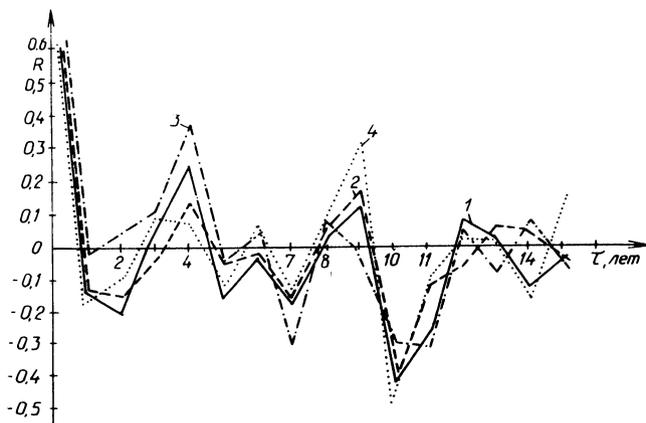


Рис. 2. Автокорреляционные функции максимально возможного испарения:

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  $0,2 \dots 0,3$ , ряды  $Z_m$  отличаются от бессвязных рядов дальними внутрирядными связями, цикличностью и слабой корреляционностью смежных членов. Всплеск автокорреляционных функций ( $R(3) \dots R(5)$ ) равны  $0,40 \pm 0,11$  и  $R(9) \dots R$

(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. В о р о п а е в Г.В., М е с т е ч к и н В.Б. Физико-географические основы формирования водохозяйственных балансов. – М., 1981. – 135 с. 3. А л е к с е е в Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализация корреляционных связей. – Л., 1971. – 363 с. 4. Р о ж д е с т в е н с к и й А.В., Ч е б о т а р е в А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л., 1974. – 424 с. 5. В о л ч е к А.А., М а р ч у к В.Н. О методах определения суммарного испарения. – Брест, 1987. – 31 с. Деп. в ЦБНТИ Минводхоза СССР, 2.12.87, № 459. 6. М е з е н ц е в В.С., К а р н а ц е в и ч И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л., 1969. – 158 с. 7. В о л ч е к 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.

УДК 551.577.36(476)628.212.2

П.Д. ГАТИЛЛО, А.Н. ОДИНЕЦ

### ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА, НЕОБХОДИМЫЕ ПРИ РАСЧЕТАХ ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ГОРОДОВ

Имеющиеся нормативные руководства по проектированию дождевой канализации касаются прежде всего определения расчетной интенсивности атмосферных осадков и производных от нее расчетных максимальных расходов поверхностного стока методом предельных интенсивностей при соответствующих периодах однократного превышения. Поскольку поверхностный сток с застроенных территорий загрязнен, основную его часть (не менее 70 % годового объема) рекомендуется направлять на очистку [1...5]. Речь идет о расходах, соответствующих интенсивности предельных дождей с периодами однократного превышения  $p = 0,05-0,10$  года. Так как пропускная способность коллекторов, отводящих стоки на очистку, значительно меньше пропускной способности подводящих коллекторов, часть стоков во время ливней будет попадать в приемники без очистки. Временная инструкция [3] допускала лишь один вариант предельного расхода (в условиях БССР  $p \approx 0,045$  года), т.е. игнорировала вопросы сочетания величин канализуемых территорий с водоносностью приемников.

Однако еще до признания целесообразности направлять на очистку часть стоков дождевой канализации селитебной территории [2] с территорий про-