

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт водных проблем

На правах рукописи

ВОЛЧЕК Александр Александрович

УДК 556.512:556.136(476)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА
(на примере Белоруссии)

11.00.07 - гидрология суши, водные ресурсы

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата географических наук

Москва 1988

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Минводхоза СССР

Научный руководитель - кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
В.Н. Плужников

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Д.Я. Раткович
кандидат географических наук,
доцент В.А. Жук

Ведущая организация - Всесоюзный государственный
проектно-изыскательский институт
по проектированию мелиоративных
систем (Совзгипромелиоводхоз)

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 198__ г.
в _____ час. _____ мин. на заседании специализированного Совета
Д.003.37.01 по специальности II.00.07 - гидрология суши,
водные ресурсы при Институте водных проблем АН СССР.

Адрес института: 103064, г. Москва, К-64,
ул. Садовая-Черногрозская, 13/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
водных проблем АН СССР.

Автореферат разослан " _____ " _____ 198__ г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
кандидат геолого-минерало-
гических наук, старший
научный сотрудник

 И.К. Морковкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В принятых XXVII съездом КПСС основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено решение комплекса задач по рациональному использованию, охране водных ресурсов, улучшению состояния малых рек и водохранилищ, повышению эффективности мероприятий, связанных с мелиорацией земель и их сельскохозяйственным освоением, разработкой мер по экономии воды в народном хозяйстве.

Водохозяйственными мероприятиями постепенно охватываются целые регионы и бассейны рек. В этих условиях возникла необходимость перехода от использования разбросанных исходных данных к их пространственно-временному анализу, систематизации и обобщению на всю осваиваемую территорию. В первую очередь это относится к элементам водного баланса (ЭВБ): осадкам, стоку, испарению, балансу естественного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы (БЕУ) и др.

Цель работы. заключается в разработке и использовании для решения прикладных задач гидрологии методики анализа и территориального обобщения данных по ЭВБ в виде непрерывных стохастических полей.

Для достижения поставленной цели предстояло:

- разработать методику и программное обеспечение для инженерных расчетов пространственно-временных характеристик ЭВБ;
- обосновать выбор расчетного метода и оценить величины суммарного испарения исследуемого региона;
- выполнить комплексный анализ исходной гидрометеорологической информации (для территории Белоруссии);
- получить количественные и качественные характеристики пространственно-временных колебаний основных ЭВБ;

- определить способы и наметить пути использования результатов настоящих исследований в практических целях при решении ряда задач инженерной гидрологии и водного хозяйства на территории Белоруссии.

Методика исследований. Стохастическая природа ЭББ предопределила использование для их описания аппарата математической статистики (корреляционный и регрессионный анализы). В качестве основных исходных материалов использованы стандартные данные наблюдений на гидрометеорологической сети.

Научная новизна состоит в следующем:

- разработана и апробирована методика количественной оценки закономерностей формирования элементов водного баланса по территории с помощью пространственных корреляционных функций (ПКФ) и функций пространственной асинхронности (ФПА);

- получены качественные и количественные характеристики статистической структуры полей элементов водного баланса территории Белоруссии;

- разработана и апробирована методика оценки максимально возможного суммарного испарения;

- выявлены зависимости и построена номограмма для практического определения агрогидрологических констант почв (для случая недостаточности опытных данных);

- предложена методика оценки потребности в воде на цели орошения в пределах крупных регионов, учитывающая асинхронность формирования полей элементов водного баланса;

- обоснована методика оценки антропогенно составляющей речного стока путем сопоставления корреляционных функций за различные периоды наблюдений.

Практическая ценность работы состоит в том, что обобщение пространственно-временных колебаний ЭВБ в пределах больших территорий в виде непрерывных стохастических полей позволило вырабатывать эффективные приемы восстановления естественного стока (с дифференциацией до месячных интервалов), получить данные при отсутствии наблюдений, необходимые для оценки влияния хозяйственной деятельности на сток.

Апробация работы. Основные результаты исследований представлены, доложены и одобрены на двенадцати Всесоюзных, республиканских конференциях и семинарах (1964-1987 г.г.).

Реализация работы. Материалы исследований включены в "Рекомендации по восстановлению стока", подготовленные по заданию В/О "Совхозпроект", практические результаты использованы при составлении водохозяйственного баланса Вилейско-Минской водной системы. Комплекс программ для ЭВМ по количественной оценке ЭВБ, гидромелиоративных норм и их изменчивости, восстановлению стоковых характеристик используются в учебном процессе на кафедре сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского инженерно-строительного института.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников (146 наименований), трех приложений и содержит 204 страницы машинописного текста, в том числе 37 рисунков, 22 таблицы.

На защиту выносятся:

- методика оценки пространственно-временных колебаний месячных, сезонных и годовых величин ЭВБ с использованием пространственных корреляционных функций и функций пространственной асинхронности;

- методика оценки потребности в воде на цели орошения для регионов в целом при составлении их водохозяйственных балансов, учитывающая закономерности колебаний полей ЭВБ;
- результаты приложения указанных разработок к анализу пространственно-временных колебаний элементов водного баланса на территории Белоруссии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ включает в себя актуальность работы, цель и задачи исследования, его научную новизну и практическую значимость.

ПЕРВЫЙ РАЗДЕЛ посвящен методике оценки пространственно-временных колебаний ЭВБ.

Большой вклад в разработку проблемы внесли советские ученые - Г.А.Алексеев, Г.В.Воропаев, Л.С.Гандин, О.А.Дроздов, В.А.Жук, Р.Л.Каган, Г.П.Калинин, А.В.Рождественский, А.И.Полищук, Д.Я.Раткович, Г.И.Сачок и др.

Традиционным в гидрологии является представление полей ЭВБ с помощью ПКФ, что хотя и отличается наглядностью, но не дает возможности количественной оценки их асинхронности. Тем более, что необходима четкая и однозначная количественная оценка эффекта асинхронности, как для отдельных пар точек, так и для целых областей. Этим требованиям в полной мере отвечает метод Н.В.Сомова (1963). Метод отличается простотой и надежностью и позволяет однозначно определить количественные параметры эффекта асинхронности в любых зонах кривой обеспеченности. Оценка асинхронности между парами точек осуществляется через коэффициент асинхронности, путем сопоставления совмещенных кривых обеспеченности суммарного хронологического и равнообеспеченного рядов значений балансовых элементов.

Для характеристики пространственно-временных колебаний ЭВБ территории, в целом, коэффициент асинхронности использовался нами в следующей интерпретации:

$$K_{ac}(P) = \frac{\sum_{j=1}^k M_{j, xp}}{\sum_{j=1}^k M_{j, p\delta}}, \quad (P=1 \dots 100\%), \quad (1)$$

где $M_{j, xp}, M_{j, p\delta}$ - модульные коэффициенты ЭВБ соответственно хронологического и равнообеспеченного рядов в j -ом пункте;
 P - значение обеспеченности; K - количество пунктов наблюдений.

Применение данного приема для определения эффекта асинхронности на той или иной территории, в ряде случаев, вызывает трудности. В частности, необходима равномерная и достаточно густая гидрометеосеть, большой объем исходной информации и вычислений.

Для устранения указанных трудностей, а также для обеспечения возможности проведения анализа по ограниченному объему исходных данных, использовано положение, что результаты наблюдений в отдельных точках образуют поле, которое может быть описано функцией пространственных координат и времени. Элементы водного баланса в определенный промежуток времени рассматриваются как выборочные значения реализаций случайного поля. В этом случае коэффициент пространственной асинхронности между двумя точками можно представить как функцию от восьми переменных (координат пространства и времени).

Для однородных стационарных полей ФПА, как и ПКФ, не зависит от координат центра и не меняются при параллельных перемещениях, то есть

$$K_{ac}(P) = f(\rho, \alpha, P), \quad (2)$$

где ρ - расстояние между точками; α - индекс направления.

Для однородных и изотропных полей ФПА от ориентации не зависит и, поэтому, принимает одни и те же значения для любой пары точек с одинаковыми расстояниями при фиксированной обеспеченности.

Подобные зависимости устанавливаются в целом для речислов и по ним путем интегрирования выражения (2) по площади оценивается количественный эффект асинхронности ЭВБ рассматриваемой территории. Перед оценкой эффекта асинхронности необходимо проверить, удовлетворяют ли статистической однородности и изотропности поля. Статистически однородные поля можно получить путем представления рядов ЭВБ в виде центрированных или нормированных величин, в противном случае необходимо проводить районирование территорий. Более строго, при анализе полей ЭВБ, является оценка на изотропность, когда ПКФ изменяются только в зависимости от расстояния между станциями и не зависят от их местонахождения.

Для оценки изотропности поля исследуются отклонения эмпирических точек от ПКФ (Г.А.Алексеев, 1971; А.В.Рождественский, А.И.Чеботорев, 1974). Суть проверки заключается в установлении причин рассеивания коэффициентов корреляции (R) в поле координат (R, ρ). Принимается нуль-гипотеза, что отклонения эмпирических точек от зависимости $R=f(\rho)$ обусловлены случайными флуктуациями выборочных данных и выполняется статистическая проверка. Эта проверка осуществляется с использованием преобразования Фишера, причем, имеется в виду, что преобразованные коэффициенты корреляции подчиняются нормальному закону распределения вероятностей практически при любых значениях данных выборки и величины коэффициента корреляции. Если количество точек, попавших в диапазон $\pm 5 \geq 69,3\%$ и $\pm 26 \geq 95,4\%$, то ПКФ считается однородной и соответствующее поле - изотропно, иначе исследуемое поле должно быть уменьшено в размерах.

Для выявления эффекта асинхронности в формировании основных ЭВБ, оценки эффективности предлагаемой методики выполнены исчерпывающие расчеты и исследования на фактическом материале.

С этой целью во ВТОРОМ РАЗДЕЛЕ выполнен анализ исходной информации по ЭВВ на территории Белоруссии.

Основными источниками данных об элементах водного баланса явились опубликованные и фондовые материалы массовых наблюдений на гидрометеорологической сети. Спорные метеостанции и речные бассейны отобраны по принципу равномерного освещения территории данными гидрометеорологических наблюдений (39 метеостанций и 42 гидрологических створа). Кроме того, для оценки полученных результатов использованы контрольные водосборы и метеостанции.

Процессы формирования ЭВВ характеризуются определенной изменчивостью, следовательно, выбор расчетного периода при водно-балансовых исследованиях имеет определяющее значение. Для этого построены нормированные разностные интегральные кривые рядов речного стока с вековыми периодами наблюдений, которые использованы как аналоги при сопоставлении их с ЭВВ за более короткие периоды наблюдений. В результате за расчетный принят период с 1947 по 1981 годы, охватывающий три цикла колебаний солнечной активности. Средние величины ЭВВ получились весьма близкими к вековым, так среднее значение стока за расчетный период составляет 97,8% от нормы.

Вся гидрологическая информация подвергнута анализу на однородность, ряды приведены к расчетному периоду, восстановлены пропущенные и искаженные величины методом множественной корреляции. Полученные данные проверены методом скользящего контроля. Как показал анализ, достигнута хорошая сходимость вычисленных и фактических значений ЭВВ за весь период наблюдений.

Количество пунктов наблюдений за испарением на исследуемой территории недостаточно для качественного представления его про-

странственно-временной структуры. В рядах наблюдений за испарением имеются пропуски, отмечается нестационарность наблюдений во времени и по территории. Величина испарения существенно зависит не только от координат, но и от других факторов (почва, рельеф, растительный покров и др.), что затрудняет их пространственный анализ. Поэтому в настоящей работе пришлось отказаться от наблюдаемых величин, а использовать рассчитанные значения суммарного испарения и БЕУ.

Анализ существующих математических моделей и предложенных на их основе методов расчета испарения позволил сгруппировать их в рамках предложенной нами граф-схемы. В нее вошли методы, разработанные А.М. и С.М.Алпатьевым, В.Г.Андреяновым, А.И.Будаговским, М.И.Будько, А.Р.Константиновым, В.С.Мезенцевым, Э.М.Ольдекопом, Х.Л.Пенманом, К.Тортвейном, Л.Тюрком, С.И.Харченко, В.Ф.Шебеко и др. Методы расчета испарения, основанные на использовании только стандартных метеоданных, проанализированы особо. В качестве одного из критериев оценки точности расчетов использовались годовые нормы суммарного испарения, полученные методом водного баланса. В результате установлено, что комплексный подход и метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) дают наиболее близкие к методу водного баланса результаты. С использованием комплексного метода осуществлялся контроль месячных величин суммарного испарения, полученных по методу ГКР.

Точность расчета суммарного испарения во многом зависит от корректности оценки теплоэнергетических ресурсов процесса испарения, которые определяются из уравнения (В.С.Мезенцев, 1976):

$$LZ_{mi} = R_i^* + P_i^* + \Delta B_i - \Delta Z_{mi}, \quad (3)$$

где Z_{mi} - эквивалент теплоэнергетических ресурсов - максимально возможное испарение; L - скрытая теплота испарения; P_i^* - поло-

жительные составляющие соответственно радиационного баланса и турбулентного теплообмена; ΔB_i - изменение теплосаласов деятельного слоя почвы; ΔZ_{mi} - расход тепла на таяние льда и снега.

При существующей довольно редкой актинометрической сети использовать уравнение (3) в практических целях не представляется возможным. В связи с этим, возникла необходимость поиска связей элементов радиационного баланса с массовыми климатическими характеристиками. По данным наблюдений на актинометрических станциях СССР установлены количественные связи месячных величин R_{mi}^+ с дефицитом влажности воздуха (d_{mi}), которые для всех географических зон оказались по форме едины. Обнаруженный эффект гистерезиса (неоднозначности связи при росте и снижении величин d_{mi}) увеличивается с ростом континентальности, то есть при движении с севера на юг и с запада на восток. Отмеченная особенность связи может использоваться для косвенного отражения степени засушливости климата.

Полученные для месячных интервалов зависимости откорректированы по данным наблюдений на актинометрических станциях Белоруссии и имеют вид:

$$R_{mi}^+ = \begin{cases} 2,26 + 6,77 \lg d_{mi} & \text{при } d_{mi+1} > d_{mi} \\ 1,06 d_{mi} & \text{при } d_{mi+1} < d_{mi} \end{cases} \quad (4)$$

Размерность величин следующая: R_{mi}^+ - ккал/см²; d_{mi} - мб.

Коэффициенты корреляции в зависимостях (4) соответственно равны 0,97 и 0,95. Для определения R_{mi}^+ используется следующая зависимость:

$$R_{mi}^+ = (6,65 - 0,07 \sum_{i=1}^{12} R_{mi}^+) \cdot K_i, \quad (5)$$

где K_i - коэффициент, зависящий от месяца, и принят согласно рекомендациям Г.В.Белоненко и В.Е.Валуева (1971 год). Величины ΔB_{mi} и ΔZ_{mi} определены соответственно по М.И.Будыко (1971 год) и В.С.Мезенцеву (1982 год).

Помимо теплоэнергетических ресурсов, важную роль при оценке испарения играют свойства испаряющей поверхности, которые, в частности, характеризуются через почвенно-гидрологические константы. В силу различных обстоятельств, сведения о водно-физических свойствах почв являются, как правило, неполными. В ходе анализа почвенно-гидрологических характеристик территории Белоруссии получены устойчивые зависимости между основными их константами.

Для минеральных почв это:

$$W_{KB} \cdot W_{NB}^{-1} = 1 + 4,93 \exp(-0,02 W_{NB}); \quad (6)$$

$$W_{ВРК} \cdot W_{NB}^{-1} = -0,13 + 0,38 \lg W_{NB}, \quad (7)$$

где W_{KB} - капиллярная влагоемкость; W_{NB} - наименьшая влагоемкость; $W_{ВРК}$ - влажность разрыва капилляров (в мм слоя воды для полуметрового слоя почв).

Баланс естественного увлажнения оценивался по уравнению водного баланса корнеобитаемого слоя почвы с использованием зависимости (6-7) и Z_m . Массовые расчеты суммарного испарения и БЕУ выполнены по всем основным метеостанциям в месячном и годовом разрезах.

Проверка полученных результатов показала, что рассчитанные величины суммарного испарения и БЕУ корректны и их можно подвергать анализу и математической обработке.

В ТРЕТЬЕМ РАЗДЕЛЕ приведены результаты количественной оценки и анализа характеристик колебаний ЭВВ по исследуемой территории. Коэффициент вариации (C_v) годовых сумм осадков составляет 0,14...0,25. При этом, область пониженных значений C_v приурочена к северным районам Белоруссии. Для теплого периода $C_v = 0,17...0,27$, вегетационного периода - $C_v = 0,19...0,33$, месячные величины C_v составляют от 0,34 до 0,80. Коэффициенты

вариации годового стока зависят от площади водосбора и изменяются в пределах 0,17...0,88. Изменчивость величин месячного стока рек по территории колеблется в больших пределах. Так, для лимитирующего месяца (июль) - $C_v = 0,30...1,80$, в период весеннего половодья (апрель) - $C_v = 0,35...1,57$, в период зимней межени (февраль) - $C_v = 0,33...1,14$. Годовая величина суммарного испарения на территории Белоруссии изменяется в небольших пределах и составляет 520...590 мм. Увеличиваясь с севера к центру региона и затем убывая к югу, испарение на севере ограничено ресурсами тепла, на юге - ресурсами влаги. Внутригодовое распределение суммарного испарения для всей рассматриваемой территории характеризуется максимумом в июне (100-120 мм) и минимумом - в декабре, что повторяет характер колебаний теплоэнергетических ресурсов.

Изменчивость годовых величин суммарного испарения сравнительно мала (в среднем $C_v = 0,11$). Несколько большие значения C_v характерны для теплого (0,13), вегетационного (0,15) периодов и для месячных интервалов (0,26), максимум отмечен в июле (0,34). К этому времени весенние влагозапасы, как правило, израсходованы, и испарение происходит, в основном, за счет атмосферных осадков. Величины БЕУ закономерно растут с северо-востока на юго-запад исследуемой территории, их изменчивость по территории колеблется в значительных пределах. Например, для вегетационного периода коэффициенты вариации БЕУ в среднем составляют 0,80.

Пространственная изменчивость ЭВБ представлена в виде коэффициентов пространственной вариации для каждого года с последующим осреднением за расчетные периоды (табл. I).

Исследование полей ЭВБ выполнено с помощью ПКФ дифференцировано по территории. При этом, в зависимости от способа груп-

Таблица I.

Коэффициенты пространственной вариации элементов
водного баланса (территория Белоруссии)

	май	июнь	июль	август	теплый период	год
о с а д к и						
среднее	0,40	0,37	0,41	-	0,17	0,14
максим.	<u>0,79^x</u>	<u>0,55</u>	<u>0,78</u>	-	<u>0,25</u>	<u>0,20</u>
	1937	1972	1951		1951	1951
мин.	<u>0,22</u>	<u>0,27</u>	<u>0,27</u>	-	<u>0,11</u>	<u>0,09</u>
	1962	1974	1949		1956	1980
с т о к						
среднее	0,33	0,40	0,48	0,47	0,28	0,33
максим.	<u>0,54</u>	<u>0,88</u>	<u>0,46</u>	<u>0,93</u>	<u>0,91</u>	<u>0,64</u>
	1951	1979	1976	1953	1971	1956
мин.	<u>0,19</u>	<u>0,23</u>	<u>0,24</u>	<u>0,24</u>	<u>0,18</u>	<u>0,19</u>
	1953	1978	1979	1976	1949	1956
суммарное испарение						
среднее	0,17	0,20	0,21	0,20	0,11	0,10
максим.	<u>0,28</u>	<u>0,24</u>	<u>0,36</u>	<u>0,25</u>	<u>0,19</u>	<u>0,16</u>
	1974	1963	1959	1959	1959	1975
мин.	<u>0,09</u>	<u>0,12</u>	<u>0,14</u>	<u>0,10</u>	<u>0,06</u>	<u>0,06</u>
	1965	1969	1949	1977	1978	1978
баланс естественного увлажнения						
среднее	1,19	1,15	1,40	1,61	0,70	

x В знаменателе проставлен календарный год, для которого характерно значение $C_{\text{в пр}}$, приведенное в числителе.

При анализе данных рассмотрены следующие варианты: территория Белоруссии в целом; отдельно "Черноморский" и "Балтийский" склоны; ориентированные поля: северо-восток - юго-запад, запад-восток, северо-запад - юго-восток.

Для полной оценки ИКФ выполнены расчеты месячных величин ЭВБ (рис.) и их значений для характерных периодов осреднения (май-август; апрель-октябрь; год в целом) в диапазоне расстояний между метеостанциями (центрами тяжести водосборов) до 700 км. Аналитическая аппроксимация ИКФ осуществлена как по всей совокупности точек, так и по средневзвешенным значениям коэффициентов корреляции для градаций расстояний через 50 км.

Поскольку коррелированность поля крупномасштабной составляющей выше, чем мелкомасштабной, ИКФ элементов водного баланса для большинства интервалов временной дискретизации полей вогнуты и хорошо аппроксимируются зависимостями типа:

$$R(\rho) = \exp(-\alpha\rho^\beta), \quad (8)$$

где α и β - эмпирические коэффициенты.

В пространственной коррелированности ЭВБ четко прослеживается годовое ход соответствующих элементов. Для всех интервалов осреднения с увеличением расстояния между метеостанциями (центрами тяжести водосборов) связность затухает и имеет место неравенство типа $R(0) < 1$, которое усиливается в летние месяцы, когда роль локальной неоднородности растет, в основном, за счет конвективных осадков. Наименьший разброс точек относительно эмпирической линии регрессии $R(\rho)$ наблюдается в зимние месяцы.

Проверка полей ЭВБ на однородность показала, что при доверительных интервалах ± 6 и ± 26 , ИКФ для ряда элементов оказались неоднородными, поэтому, их поля уменьшались в размерах. В итоге, выявлена однородность ИКФ и изотропность соответствующих полей ЭВБ для следующих интервалов осреднения:

- осадки Черноморского склона (апрель, октябрь, ноябрь, тепличная период);

- сток Балтийского склона (для всех интервалов осреднения, кроме мая и июля);

- суммарное испарение Черноморского склона (февраль, июнь, июль, сентябрь, ноябрь, вегетационный и теплый периоды и год в целом).

Ряд полей ЭВБ различной ориентации также являются однородными и изотропными.

Различия между ПКФ для отдельных месяцев и ориентаций полей сравнительно велики и превышают возможные различия, обусловленные случайными факторами. Годовой ход коэффициента анизотропности (отношение градиента поля, вычисленного по всем точкам, к градиенту ориентированного поля) указывает на изменчивость анизотропности в течение года. Поля изокоррелят осадков для каждого месяца имеют вид эллипсов, большая ось которых ориентирована в направлении преобладающего переноса воздушных масс. Наименьшая анизотропность полей осадков наблюдается в апреле, августе, ноябре, наибольшая - в мае.

Сопоставлению ПКФ, полученных для разных бассейнов рек исследуемой территории, указывает на их сходство.

Для количественной оценки асинхронности ЭВБ по территории установлена достаточно тесная связь коэффициентов асинхронности с обеспеченностью балансовых элементов вида:

$$K_{ac}(P) = (\alpha P + \beta)^n, \quad (9)$$

где α и β - эмпирические коэффициенты; n - коэффициент редукции.

Асинхронность колебания ЭВБ по месяцам, как правило, больше чем за год (различия с аналогичными годовыми характеристиками в среднем составляют 8...50%), так как на месячных величинах отражаются кратковременные аномалии, взаимное влияние которых компенсируется для года в целом (табл.2).

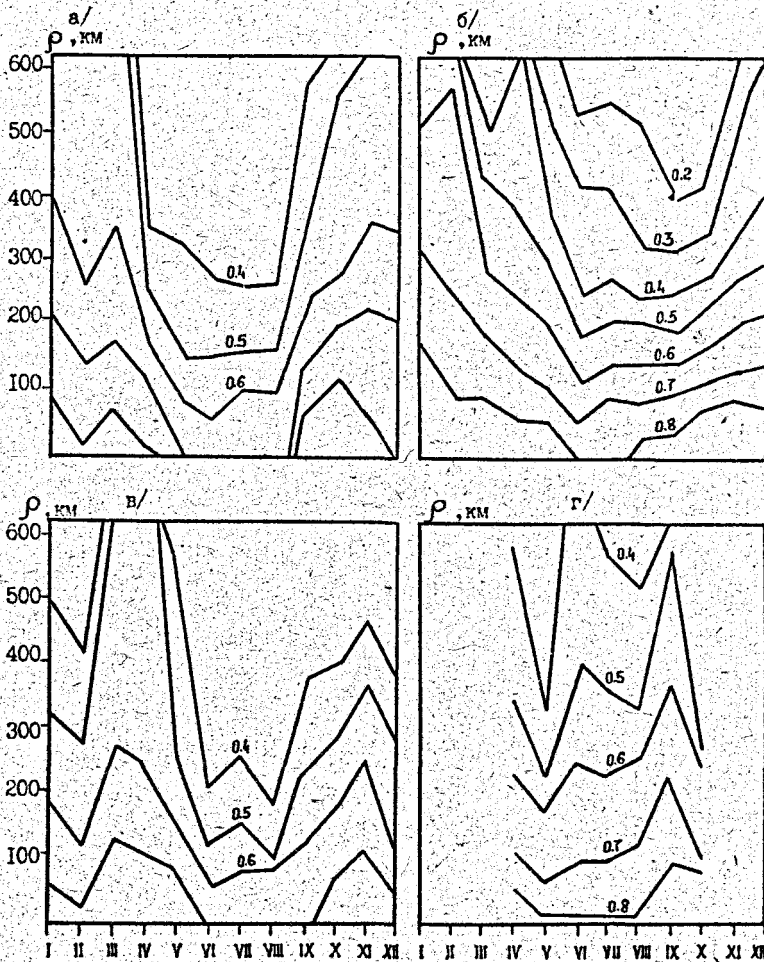


Рис. Годовой цикл пространственных корреляционных функций месячных величин элементов водного баланса (Белоруссия): а/-осадки; б/-сток; в/-суммарное испарение; г/-баланс естественного увлажнения.

Таблица 2.

Коэффициенты асинхронности колебаний
ЭВБ по территории Белоруссии^к

ЭВБ	Интервал осреднения						
	У	VI	VII	VIII	У-VI	У-VIII	год
Осадки	1,32	1,25	1,33	-	-	1,08	1,05
	1,48	1,39	1,50			1,13	1,07
Сток	1,12	1,13	1,15	1,17	-	1,09	1,07
	1,18	1,20	1,22	1,26		1,14	1,12
Суммарное испарение	1,00	1,11	1,12	-	-	1,05	1,04
	1,19	1,18	1,20	1,20		1,09	1,07
БГУ	0,90	0,86	0,89	0,92	0,91	0,90	-
	0,79	0,81	0,79	0,84	0,88	0,88	

к В числителе даны значения коэффициентов асинхронности
P = 75%, в знаменателе - P = 95%.

Связи коэффициентов асинхронности с расстоянием - ρ , площадью - F , обеспеченностью - P аппроксимируются зависимостями:

$$K_{ac}(P) = K_0(P)(\rho + 1)^{\alpha(P)} \quad (10)$$

$$\bar{K}_{ac}(P) = K_0(P)(F + 1)^{0,5\alpha(P)} \quad (11)$$

где $K_0(P)$ - значение коэффициента асинхронности при $\rho = 0$;
 $\alpha(P)$ эмпирический коэффициент, зависящий от интервала осреднения ЭВБ и обеспеченности P .

Результаты исследований указывают на наличие статистически значимой пространственно-временной асинхронности в колебаниях ЭВБ на территории Белоруссии (величина коэффициентов асинхронности колеблется в пределах 4...50%).

В ЧЕТВЕРТОМ РАЗДЕЛЕ рассматриваются пути решения некоторых прикладных задач с использованием результатов оценки статистической структуры полей ЭВБ.

Разработаны практические предложения по учету асинхронности колебаний ресурсов и потребления воды при составлении водохозяйственных балансов крупных регионов. Расчетный объем воды, требуемой для целей орошения при известной обеспеченности стока, с учетом асинхронности оценивается по зависимости:

$$W_p^0 = F_0 (M_{50} \cdot K^c(P)(K'_{ac}(P) \cdot \bar{K}_{ac}^c(P) - 1) + M_p \cdot K'_{ac}(P) \cdot \bar{K}_{ac}^c(P)) \quad (12)$$

где F_0 - суммарная площадь орошения; M_{50}, M_p - средневзвешенные оросительные нормы соответственно 50%-ой и расчетной обеспеченности; $K^c(P)$ - модульный коэффициент стока; $K'_{ac}(P)$ - коэффициент асинхронности ресурсов и водопотребления; $\bar{K}_{ac}^c(P)$ и $\bar{K}_{ac}^c(P)$ - коэффициенты асинхронности соответственно колебаний водных ресурсов и потребления воды на цели орошения в границах рассматриваемой территории.

Количественные характеристики $K'_{ac}(P)$ определяются по зависимостям типа (9), причем, для условий Белоруссии в среднем за теплый период $\alpha_{\Sigma W-X} = -0,005$, $\beta_{\Sigma W-X} = 1,203$, $\mu = -1$, а значения самих коэффициентов асинхронности в зависимости от обеспеченности стока таковы:

P, %	5	10	25	50	75	90	95
$K'_{ac}(P)$	1,18	1,16	1,09	0,95	0,83	0,76	0,73

На основе метода оптимальной пространственной интерполяции (Г.А.Алексеев 1971 г.), нами разработан прием восстановления стоковых характеристик. Используя ПКП (рис.), мы восстановили месячные модули стока для ряда рек Белоруссии за 10 летний период.

Среднеквадратическая ошибка при восстановлении месячных значений стока составила 10...20%, в отдельные месяцы возможны и большие отклонения. Годовые (сезонные) величины гидрологических характеристик восстанавливаются, как правило, с большей точно-

стью (ошибки 5...10%; А.Г.Лобанова, 1971 г.). Поэтому, восстановленные месячные величины суммируются и контролируются по годовым значениям. Невязка меньше допустимая разверстывается помесячно пропорционально абсолютным величинам соответствующих характеристик. При больших невязках выполняется дополнительный анализ исходной информации с целью выбора более репрезентативных аналогов, с использованием которых возможно получение корректных результатов.

Таким образом, разработанный подход обеспечивает качественную характеристику и количественную оценку фазовооднородных стоковых характеристик в случае отсутствия данных наблюдений.

Метод пространственных корреляционных функций применен также для региональной оценки антропогенного влияния на речной сток. Сравнивая ПКФ за периоды до начала активного антропогенного воздействия и собственно активного воздействия и исходя из независимости различных видов погрешностей (дисперсия суммарной погрешности равна сумме этих дисперсий), получаем величину добавочной дисперсии $\sigma(\Delta M_A)$, где ΔM_A - изменения стока антропогенного характера. Значимость $\sigma(\Delta M_A)$ оценивается с помощью известных статистических критериев. Если установлено, что ΔM_A вызвана не случайными ошибками, зависящими от длины ряда, способа расчленения его на периоды и т.д., то сама величина ΔM_A характеризует антропогенную составляющую стока исследуемой территории. Выявление конкретных водосборов, подверженных влиянию хозяйственной деятельности человека, проводится на основе анализа изменений парных коэффициентов корреляции, обозначающих водосборы со статистически различными изменениями этих коэффициентов.

Для иллюстрации возможностей предлагаемого подхода оценки трансформации речного стока проведены экспериментальные расчеты на материалах малых рек Белорусского Полесья. Рассматривался ве-

сенный максимальный, минимальный меженный и годовой сток за период сначала наблюдений до 1966 года (массовое мелиоративное освоение) и с 1966 по 1983 год. Различия между ПДФ до и после мелиоративного освоения больших территорий оказались статистически значимыми для всех рассматриваемых периодов, то есть гидротехнические мелиорации, широко проводимые в данном регионе, вызвали качественные и количественные изменения стока рек региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пространственно-временной анализ элементов водного баланса, их обобщение на этой основе и экстраполяция на всю рассматриваемую территорию позволяют переходить от решения локальных научных задач к обоснованию гидролого-водохозяйственных мероприятий в рамках крупных систем, которые, в последнее время, в связи с интенсивным использованием воды в народном хозяйстве охватывают целые регионы, представляющие единый природно-климатический и хозяйственный комплекс.

В диссертации разработан теоретический подход и принципы решения подобных практических задач. Он заключается в разработке методики анализа пространственно-временных колебаний основных элементов водного баланса (осадков, стока, суммарного испарения, баланса естественного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы) с описанием их пространственными корреляционными функциями (зависимостями парных коэффициентов корреляции от расстояния между ними) и функциями пространственной асинхронности (зависимостями коэффициентов асинхронности пары точек от расстояния между ними и обеспеченности элемента). Использование данных функций делает возможной количественную оценку степени несовпадения в реальных гидрометеорологических условиях процессов формирования различных элементов водного баланса по территории. При этом, рассматриваемый прием позволяет

представлять элементы водного баланса в виде непрерывных стохастических полей в пределах больших территорий, отличающихся однородностью и изотропностью. В свою очередь, представляется возможным решение ряда важных научно-технических вопросов:

- получение гидрологических характеристик (при отсутствии данных наблюдений в искомом пункте) методом оптимальной пространственной интерполяции с дискретностью до месячных интервалов;
- установление факта нарушения стока вследствие хозяйственной деятельности и количественная оценка её влияния на сток рек;
- обоснование потребностей в воде на нужды орошения для крупных регионов.

Предлагаемый методический подход к анализу пространственно-временных колебаний элементов водного баланса рассчитан на использование стандартной гидрометеорологической информации. Он апробирован на массовых материалах как территории Белоруссии, в целом, так и при её зонировании по различным признакам. При этом, выполнен комплексный анализ исходной гидрометеорологической информации с проверкой на однородность рядов наблюдений и обоснованием начала гидрологического года, продолжительности расчетных периодов. В контексте этого анализа восстановлены недостающие и искаженные значения всех использованных гидрометеозлементов. Кроме того, изучена статистическая структура полей осадков, стока, суммарного испарения, баланса естественного увлажнения территории Белоруссии за различные интервалы осреднения, выявлены однородные и изотропные участки полей этих элементов в отдельные временные интервалы. Полученные конкретные результаты находят практическое применение при решении гидролого-водохозяйственных задач на исследуемой территории.

Применение предлагаемой методики позволяет улучшить обоснование водохозяйственных проектов, более достоверно оценить водные ресурсы больших территорий, а комплекс разработанных программ на ЭВМ позволяет более интенсивно использовать её на практике.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Учет асинхронности ресурсов и потребления воды при проектировании мелиоративных систем // Вопросы мелиорации и использования водных ресурсов. - Ереван: Агистан, 1985, - С. 82-83. (Соавторы Т.И. Пачкаева, В.Н. Плужников).
2. Исследование пространственно-временных колебаний стока рек северо-запада ЕТС // Проблемы и пути рационального использования природных ресурсов и охраны природы. - Вильнюс, 1986, - С. 100 (Соавтор Т.И. Пачкаева).
3. Определение водно-физических свойств почв при ограниченной информации // ИТИ по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). - 1986. - вып. 9, - С. 15-17. (Соавтор А.А. Макаревич).
4. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) // ИТИ по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). - 1986. - вып. 12, - С. 17-21.
5. Оценка суммарного стока при управлении и планировании крупных водохозяйственных систем // Проблемы рационального водопользования Урала. - Свердловск, 1987. - С. 6-7.
6. Восстановление сточных характеристик методом пространственной интерполяции // ИТИ по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), - 1987. - вып. 3. - С. 15-21.

7. Согласование режимов водосточника и водопотребления при проектировании и управлении мелиоративными системами // Совершенствование системы управления и контроля использованием и охраной вод в СССР на базе объединенных региональных ВЭС. - Свердловск, 1987. - С. 131-132. (Соавтор М.М. Бурлибаев).
8. Обоснование водопотребления крупных оросительных систем // Повышение эффективности мелиорируемых земель и водохозяйственное строительство. - Тбилиси, 1987. - С. 22-23 (Соавтор М.Ж. Бурлибаев).
9. Количественная оценка эффекта асинхронности стока рек Белоруссии // ИТИ по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). - 1987. - вып. 6. - С. 22-25.
10. Определение потребности в воде крупных мелиоративных систем при составлении водохозяйственных балансов // ИТИ по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). - 1987. - вып. 8. - С. 21-25.
11. Методические указания по тепловодбалансовым расчетам в гидромелиоративных целях с применением ЭВМ (для курсового, дипломного проектирования, практических занятий и самостоятельной работы студентов специальности И511 - "Гидромелиорация"). - Брест, 1987. - 40 с (Соавторы В.Е. Валуев, Г.В. Фолитар).
12. Учет колебаний элементов водного баланса на основе использования функций пространственной асинхронности // Повышение эффективности мелиорации и водного хозяйства на Дальнем Востоке. - Владивосток, 1987. - Ч. 2. - С. 34-36. (Соавтор Ю.В. Стефаненко).

A. Baeff

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА
(на примере Белоруссии)

Волчек Александр Александрович

Специальность II.00.07 - гидрология суши, водные ресурсы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук.

На русском языке

Институт водных проблем Академии наук СССР

АБ 21071

Подписано к печати 16.05.88г. Бумага №2. Офсетная печать.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,0. Заказ 344 Тираж 100 экз.

Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте Брестского инженерно-строительного
института.

224017, Брест, ул.Московская, 267