

Е.Ю. Голованова

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДОВ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ РОССИИ)

E. Yu. Golovanova

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF LONG-TERM CHANGES IN THE TOTAL SERIES WATERSUPPLIES RIVER BASINS (FOR EXAMPLE, RUSSIA)

Сформированы ряды влагозапасов по данным наблюдений на гидрометеорологической сети с помощью водного баланса. Вычислены основные статистические характеристики рядов изменения влагозапасов и их погрешности, построены гистограммы распределения и автокорреляционные функции. Построена карта распределения величины изменения суммарных влагозапасов по территории России.

Ключевые слова: водный баланс, суммарные влагозапасы, неустойчивость решений модели, фазовые переменные.

Formed ranks watersupplies the observational data on the hydrometeorological network using the water balance. Calculated basic statistical characteristics of the series changes in moisture reserves and their error distribution histograms and autocorrelation functions. A map of the distribution of the total amount of change in moisture reserves in the territory of Russia.

Key words: water balance, total moisture reserves, instability of the model solutions, phase variables.

Проблемная ситуация (тупик)

В настоящее время при гидрологическом обеспечении надежности проектируемых и существующих объектов водозависимых отраслей экономики используются обеспеченные значения расходов воды. Они получаются путем статистической обработки рядов наблюдений за речным стоком и аппроксимации эмпирических распределений кривых Пирсона III типа или их модификации (кривые Крицкого-Менкеля) [12].

Однако в последнее десятилетие было показано (см. [2, 6]), что оценки моментов статистических распределений всех видов многолетнего стока могут быть неустойчивыми не только из-за коротких рядов наблюдений, но по причинам физико-географического характера, особенно в южных районах России. Был разработан метод борьбы с подобной неустойчивостью [1, 2], который заключается в расширении числа фазовых переменных, которыми описывается формирование речного стока. Было показано [3, 4], что достаточно (в большинстве случаев) использовать эволюционное уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова для трехмерной плотности вероятности $p(Q, E, \Delta U)$, где Q — расход воды, E — испарение, ΔU — изменение запасов воды в почвогрунтах речных бассейнов (величина, близкая к суммарным влагозапасам).

Прототип (как сейчас выбираются из тупика) и его недостатки

Борьба с неустойчивостью моментов не обязательно сводиться к привлечению дополнительных фазовых переменных. Самый простой путь — перенести мультипликативные шумы модели формирования стока в аддитивные (см. [2]), однако при этом нарушаются причинно-следственные связи. В режиме квазистационарного приближения это не существенно, но при эволюционном прогнозировании (нестационарные случайные процессы) это недопустимо. Остается привлекать новые фазовые переменные. Это сделано в кандидатской диссертации Ф.Л. Соловьева (руководитель В.В. Коваленко, консультант Е.В. Гайдукова), см. [7]. В этой работе в модель формирования стока было введено испарение, которое генерировалось по методу А.Р. Константинова с использованием данных метеорологических инструментальных наблюдений за температурой и влажностью воздуха. Однако для окончательных рекомендаций использовались не двумерные распределения $p(Q, E)$, а только условные одномерные $p(Q/\bar{E})$. Это, конечно, не является в прямом смысле недостатком прототипа, так как делаются только первые шаги по освоению методики использования многомерных распределений (в настоящее время на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов несколько аспирантов разрабатывают методику использования двумерных распределений $p(Q, E)$). Недостаток состоит в том, что конкурентный тип взаимодействия расхода и испарения действительно повышает устойчивость моделирования, но имеются речные бассейны (особенно в диапазоне многолетних норм температуры воздуха $1,6-7^\circ\text{C}$, см. [4]), в которых существенное влияние на формирование стока оказывает изменение влагозапасов в почвогрунтах. Поэтому, целью исследований, представленных в данной статье, является апробация методики формирования рядов изменения влагозапасов на территории России с использованием только фактических наблюдений на государственной гидрометеорологической сети (без применения Интернет-ресурсов, как это сделано для всего Земного шара в статье, опубликованной в данном номере Ученых Записок [5]).

Предлагаемое решение

В основе использованной методики лежит уравнение водного баланса замкнутого водосбора для годового интервала [10]

$$\dot{X} = Q + E \pm \Delta U, \quad (1)$$

где \dot{X} — атмосферные осадки, выпавшие на водосбор, мм; Q — сток в замыкающем створе, мм; E — суммарное испарение с водосборного бассейна, мм.

Величина ΔU (при известных значениях X , Q , E) интерпретируется как остаточный член уравнения (1) и при погрешности его определения меньшей самого значения может считаться статистически значимой (подробнее см. [10], а также статью в данном номере Ученых записок [5]).

Годовые значения осадков были взяты из метеорологических ежемесячников [9] для нескольких метеостанций на водосборе. Средние слои осадков на водосборе

определялись среднеарифметическим методом и выражены в мм. Среднегодовые расходы воды в рассматриваемом створе были взяты из справочника «Основные гидрологические характеристики» [11] и переведены в слой стока, выраженные в мм. Среднегодовое испарение с суши определялось методом Константинова: для этого были сформированы ряды по температуре и влажности воздуха для нескольких метеостанций на водосборе. Испарение, также, выражено в мм. С помощью гидрометеорологических рядов по уравнению водного баланса были рассчитаны среднегодовые значения влагозапасов в почве, выраженные в мм.

Всего было обработано 83 водосбора по Европейской территории России за период с 1951 по 1988 г. Полученные многолетние ряды изменения влагозапасов почвогрунтов были статистически обработаны, в результате чего получены гистограммы (рис. 1), начальные моменты и расчетные гидрологические характеристики (табл. 1), автокорреляционные функции (рис. 2).

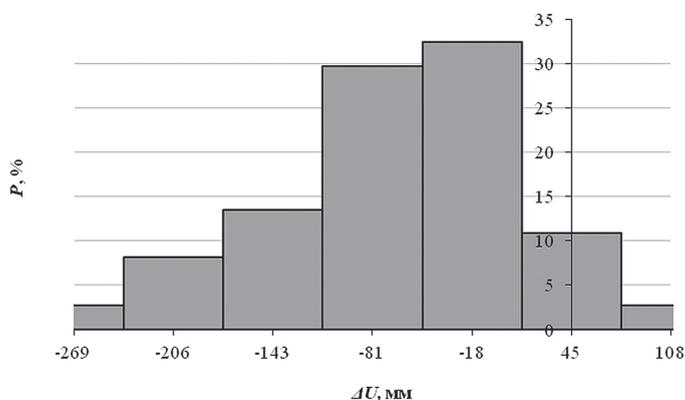


Рис. 1. Гистограмма изменения влагозапасов р. Сюнь — с. Миньярово.

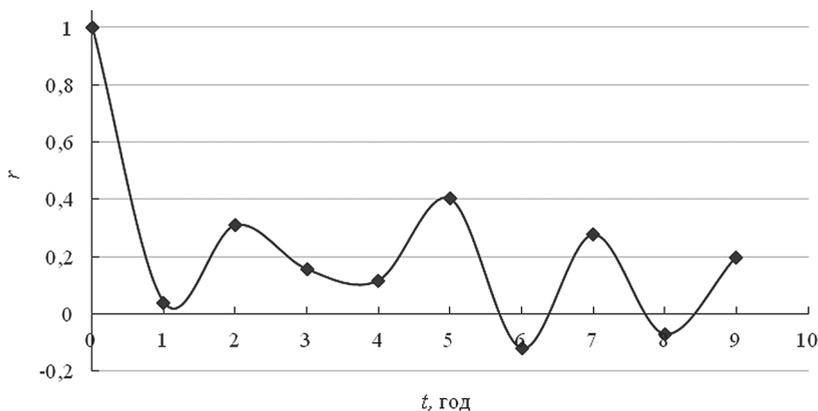


Рис. 2. Автокорреляционная функция изменения влагозапасов.

Таблица 1

**Числовые характеристики случайного процесса изменения суммарных влагозапасов
некоторых бассейнов**

Река — пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты			D	$r(1)$	C_v	C_s
		m_1	m_2	m_3				
Онега — д. Надпорожный Погост	12800	-42	20281	-5927310	18518	-0,06	-3,24	-1,40
Свидь — д. Горки	6450	-28	13190	-1497347	12382	0,28	-3,91	-0,30
Волошка — д. Гороповская	7040	-52	14051	-2030966	11319	0,42	-2,04	-0,08
Сухона — г. Тотьма	34800	-70	9677	-1414120	4842	0,14	-1,00	-0,20
Сухона — д. Калкино	49200	-89	11922	-1852289	4011	-0,004	-0,71	-0,31
Юг — пгт. Подосиновец	15200	-59	9540	-1799497	6079	0,33	-1,33	-1,10
Юг — д. Гаврино	34800	-404	183544	-92693426	20634	0,05	-0,36	-0,66
Вычегда — г. Сыктывкар	66900	-65	11398	-1319108	7224	0,06	-1,32	0,57
Вишера — д. Лунь	7890	-67	17478	-1528048	13030	-0,14	-1,71	0,92
Вымь — с. Весляна	19100	-10	15358	1728706	15260	0,02	-12,53	1,16
Яренга — с. Тохта	4930	32	15076	2108254	14070	0,25	3,74	0,44
Пинега — с. Кулогоры	36700	-98	16759	-3289547	7136	0,24	-0,86	-0,41
Мезень — д. Малонисогорская	56400	-116	19318	-3471630	5940	0,61	-0,67	0,30
Вашка — д. Решельская	19000	-97	16643	-3346396	7290	0,55	-0,88	-0,53

Естественно возникает вопрос о достоверности полученных результатов. Что касается чисто формального ответа на этот вопрос, то он решается с использованием обычных формул для определения погрешностей в зависимости от длины ряда. В табл. 2 предоставлены погрешности вычисления для 14 типичных водосборов.

Погрешности параметров распределения суммарных влагозапасов бассейнов Онеги, Северной Двины и Мезени

Река — пост	Абсол. погр. среднего	Отн. погр. среднего, %	m_1	Абсол. погр. C_v	Отн. погр. C_v , %	C_v
Онега — д. Надпорожный Погост	30,4	-72	-42	-1,74	—	-3,24
Свидь — д. Горки	24,9	-89	-28	-2,50	—	-3,91
Волошка — д. Тороповская	23,8	-46	-52	-0,73	—	-2,04
Сухона — г. Тотьма	15,6	-22	-70	-0,22	0	-1,00
Сухона — д. Калкино	14,2	-16	-89	-0,14	9	-0,71
Юг — пгт. Подосиновец	17,4	-30	-59	-0,35	—	-1,33
Юг — д. Гаврино	32,1	-8	-404	-0,06	13	-0,36
Вычегда — г. Сыктывкар	19,0	-29	-65	-0,35	—	-1,32
Вишера — д. Лунь	25,5	-38	-67	-0,54	—	-1,71
Вымь — с. Весляна	27,6	-276	-10	-24,90	—	-12,5
Ярнга — с. Тохта	26,5	83	32	2,29	34	3,74
Пинега — с. Кулогоры	18,9	-19	-98	-0,18	6	-0,86
Мезень — д. Малонисогорская	17,2	-15	-116	-0,13	9	-0,67
Вашка — д. Решельская	19,1	-20	-97	-0,19	5	-0,88

Как видно из табл. 2, значения погрешности лежат в обычных пределах, характерных для обработки рядов расходов. Однако может возникнуть вопрос о том, что наличие ненулевых норм изменение влагозапасов может происходить из-за систематических погрешностей, присущих методу Константинова вычисления испарения. Однако до сих пор никто из гидрологов на это не указывал (см. [10]). Сам Константинов в своей монографии [8] тщательно проанализировал вероятностное распределение погрешностей, которое оказалось симметричным с практически нулевым средним значением.

Кроме чисто научной, познавательной значимости полученных результатов они имеют и практическое значение. На рис 3. представлена географическая карта распределения величины изменения суммарных влагозапасов по территории России.

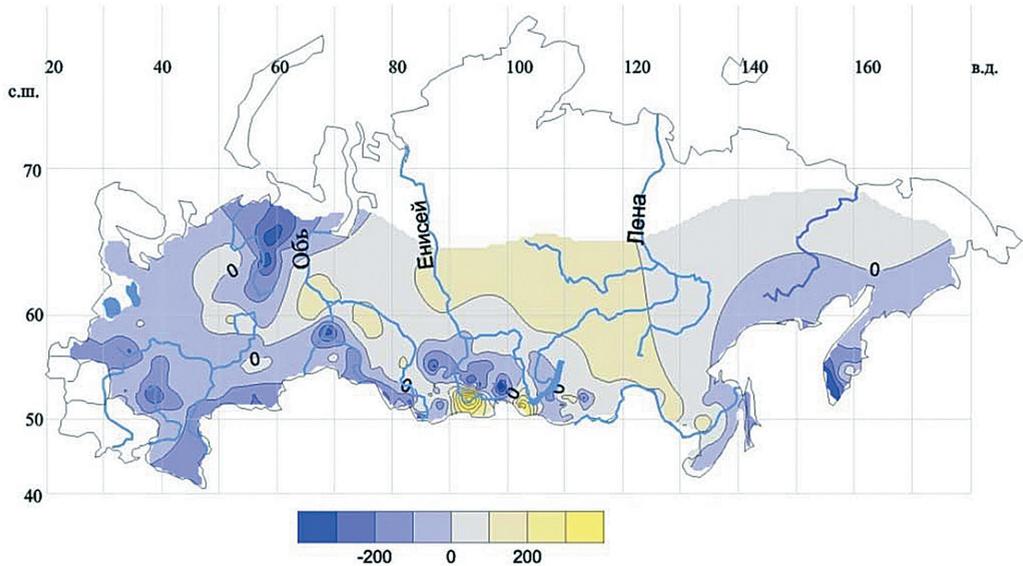


Рис. 3. Норма многолетних изменений суммарных влагозапасов и районы, в которых норма статистически значительно отличается от нуля.

Из рис. 3 видна определенная географическая закономерность: на ЕТР изменение влагозапасов в почвогрунтах меньше нуля, в Сибири — больше нуля. Конечно, имеются значения (примерно 50 %) территории, где величины изменения влагозапасов в почвогрунтах статистически не значимы. Последнее в определенной степени оправдывает традиционное представление о том, что норма изменения влагозапасов равна нулю. Это можно допустить только в первом приближении. В тех же районах, где норма изменения влагозапасов не равна нулю и значительно превосходит погрешность вычисления надо, видимо, корректировать значения норм испарения, которые предоставлены в существующих картах их распределения. К таким районам, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля, относятся бассейн реки Печора, верхнее и среднее течение рек Обь и Енисей, верхнее течение рек Лена и Индигирка (см. рис. 3). В будущем полученные данные по распределениям $p(\Delta U)$ найдут, по-видимому, применение при гидрологическом обеспечении надежности объектов водозависимых отраслей экономики путем применения моделей формирования речного стока в квазистационарном приближении для $p(Q, E, \Delta U)$, однако перед этим надо завершить разработку соответствующей технологии для двумерных распределений $p(Q, E)$.

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ при выполнении темы «Адаптация математических моделей формирования вероятностных характеристик многолетних видов речного стока к физико-географическим условиям России для целей обеспечения устойчивости их решений при моделировании и прогнозировании».

Литература

1. Коваленко В.В. Оценка гидрологической надежности гидротехнических сооружений при неустановившемся климате. // Гидротехническое строительство, 2010, № 4, с. 41–44.
2. Коваленко В.В. Обеспечение устойчивости моделирования и прогнозирования речного стока методами частично инфинитной гидрологии. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 107 с.
3. Коваленко В.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование зависимости фрактальной размерности рядов многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха. // Доклады Академии наук, 2012, т. 444, № 6, с. 666–670.
4. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока. // Доклады Академии наук, 2011, т. 439, № 6, с. 815–817.
5. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В. Чувствительность нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах к погрешностям определения составляющих уравнения водного баланса. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 33, с. 45–50.
6. Коваленко В.В., Хаустов В.А. Критерий устойчивого развития гидрологических процессов и картирование зон ожидаемых аномалий параметров годового стока рек СНГ при антропогенном изменении климата. // Метеорология и гидрология, 1998, № 12, с. 92–102.
7. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Соловьев Ф.Л., Чистяков Д.В. Частично инфинитное расширение фазового пространства модели формирования многолетнего речного стока для статистически устойчивого прогнозирования катастроф. // Естественные и технические науки, 2009, № 2, с. 192–193.
8. Константинов А.Р. Испарения в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 532 с.
9. Метеорологические ежемесячники. Вып. 1, 2, 3, 8, 12, 13, 17, 25. — Л.: Гидрометеиздат, 1961–1980.
10. Вуглинский В.С. и др. Методы изучения и расчета водного баланса. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 398 с.
11. Основные гидрологические характеристики. Т. 1, 2, 7, 10, 11, 12, 15. — Л.: Гидрометеиздат, 1975–1980.
12. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик. Госстрой России. — М.: ФГУП ЦПП, 2004. — 73 с.