

*В.В. Коваленко, Е.В. Гайдукова*

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НОРМЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ  
К ПОГРЕШНОСТЯМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЯ  
ВОДНОГО БАЛАНСА**

*V.V. Kovalenko, E.V. Gaidukova*

**SENSITIVITY STANDARDS LONG-TERM CHANGES OF TOTAL WATER  
STOCK IN THE RIVER BASINS TO ERRORS IN DETERMINING  
THE COMPONENTS OF THE WATER BALANCE EQUATION**

*С использованием эмпирических гидрометеорологических данных по бассейнам Северного полушария подтвержден факт явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах, что может приводить к погрешностям определения многолетней нормы испарения с использованием существующих карт в тех регионах, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля.*

*Ключевые слова: уравнение водного баланса, суммарные влагозапасы, погрешность.*

*Using empirical data on hydro basins of the Northern Hemisphere land phenomenon confirmed the fact nonzero norm watersupplies total long-term changes in river basins. It can lead to errors in determining the long-term evaporation rate using existing maps in those regions where the rate of change of moisture reserves are statistically significantly different from zero.*

*Key words: water balance equation, the total moisture reserves, error.*

В гидрологии считается, что норма многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов  $\Delta U$  равна нулю. Это позволяет вычислять многолетние нормы испарения  $E$  по уравнению:

$$\bar{E} = \bar{X} + \bar{Q}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$ ,  $\bar{Q}$  — нормы осадков и стока соответственно. Именно с использованием балансового соотношения (1) построены географические карты распределения величины  $E$  по территории России [2] и поверхности суши Земного шара [1].

Однако фрактальная диагностика рядов многолетнего речного стока показала [3, 5, 6, 7], что их размерность лежит, в основном, в интервале 2–3, т. е. в правой части уравнения (1) может присутствовать статистически значимые значения  $\Delta U \neq 0$ . Эмпирическое подтверждение этого обстоятельства можно выполнить по общеизвестной методике [9], позволяющей оценивать статистическую значимость остаточных членов балансовых

уравнений  $\sum_{i=1}^n x_i = 0$ . Если погрешность невязки  $\epsilon_0$  (остаточного члена)  $\delta_0$ , равная  $\sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$

(здесь  $\delta_i$  — погрешность  $i$ -го члена суммы), не превосходит  $\epsilon_0$ , то последняя считается статистически значимой. При нормальном законе распределения погрешностей имеем: если  $|\epsilon_0| > \delta_0$ , то доверять можно на 68,3 %, если  $|\epsilon_0| > 2\delta_0$  — на 95,4 %, если  $|\epsilon_0| > 3\delta_0$  — на 99,7 % (в представленной ниже карте присутствуют зоны статистически значимых значений  $\epsilon_0$ , соответствующих  $\Delta U$ ).

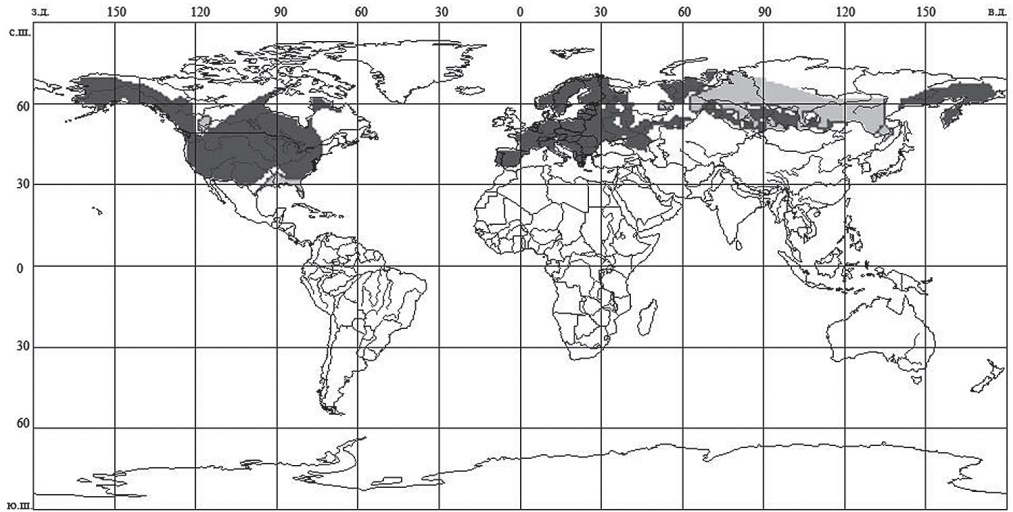
Роль «остаточного» члена играет многолетняя норма величины  $\pm \Delta U = X - Q - E$ . В гидрологии считается, что для годового периода  $\Delta U \neq 0$ . Для многолетних же норм умозрительно допускается  $\Delta U = 0$ . Чтобы убедиться в этом (или опровергнуть) необходимо испарение определять независимым от  $X$  и  $Q$  образом. В общепринятом руководстве по составлению водных балансов [9] дается сравнительная оценка основных методов определения испарения с поверхности суши и указывается, что с точки зрения возможности опереться на массовые метеорологические наблюдения предпочтение имеют полуэмпирические методы расчета, в частности широко распространенный метод А.Р. Константинова. По его рекомендациям [8] можно сгенерировать ряды годовых испарений по температуре  $T$  и влажности воздуха  $e$ , измеряемых на существующей сети гидрометеорологических станций. В основе практического использования этих рекомендаций лежит номограмма, представленная в работе [8] в координатах  $E = f(T, e)$ .

С использованием данной методики были определены значения  $\Delta U$  по 418 бассейнам мира (252 — по России), диапазон изменения  $T$  и  $e$  в которых входил в пределы справедливости номограммы Константинова (из рассмотрения выпали зоны с их экстремальными значениями, находящиеся на севере Восточной Сибири, в Африке, Латинской Америке, Юго-Западной Азии и Австралии). Рассматривались бассейны достаточно крупных рек с зональным характером формирования многолетнего речного стока. Информация по гидрометеорологическим элементам бралась из Интернет-ресурсов (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html>).

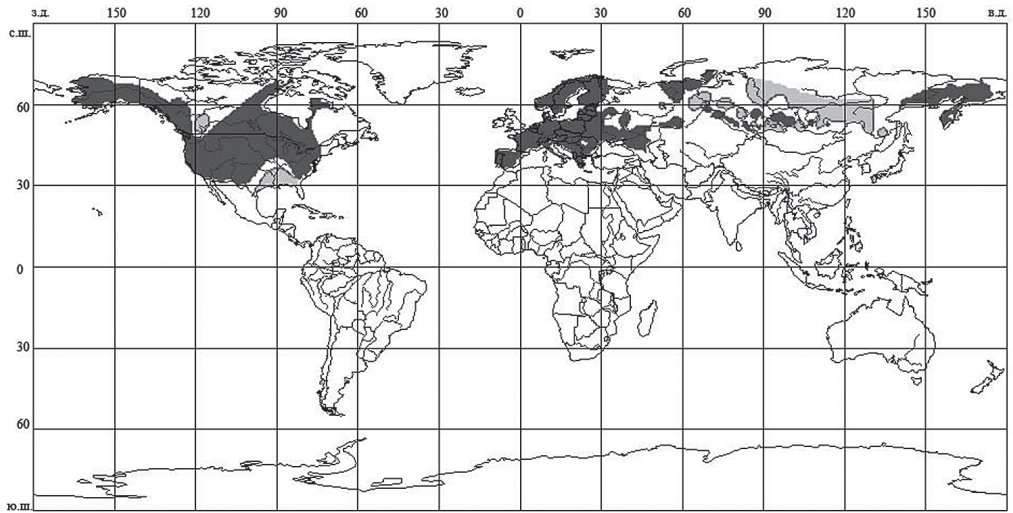
На рис. 1 представлены географические карта распределения величины  $\pm \Delta U$ , соответствующие уровню доверительной вероятности 68,3 %, т. е. когда  $|\Delta U| > \delta_0$  при значениях погрешностей норм составляющих уравнения водного баланса соответствуют общепринятым значениям ( $\delta_X = 5\%$ ,  $\delta_Q = 5\%$ ,  $\delta_E = 15\%$ ) рис. 1а,б — и когда они увеличены в 1,5 раза — рис. 1в,г.

При больших доверительных вероятностях (95,4 %, 99,7 %) карты становятся более пестрыми (пятнистыми), так как исчезают (становятся статистически не значимыми) области, в которых  $|\Delta U| < 2\delta_0$  (для 95,4 %) и  $|\Delta U| < 3\delta_0$  (при 99,7 %). На представленных картах белым цветом обозначены области, по которым расчеты либо не проводились (по указанным выше причинам), либо значения  $\Delta U$  можно считать (на определенном уровне статистической значимости) практически нулевыми (примерно 50 % территории).

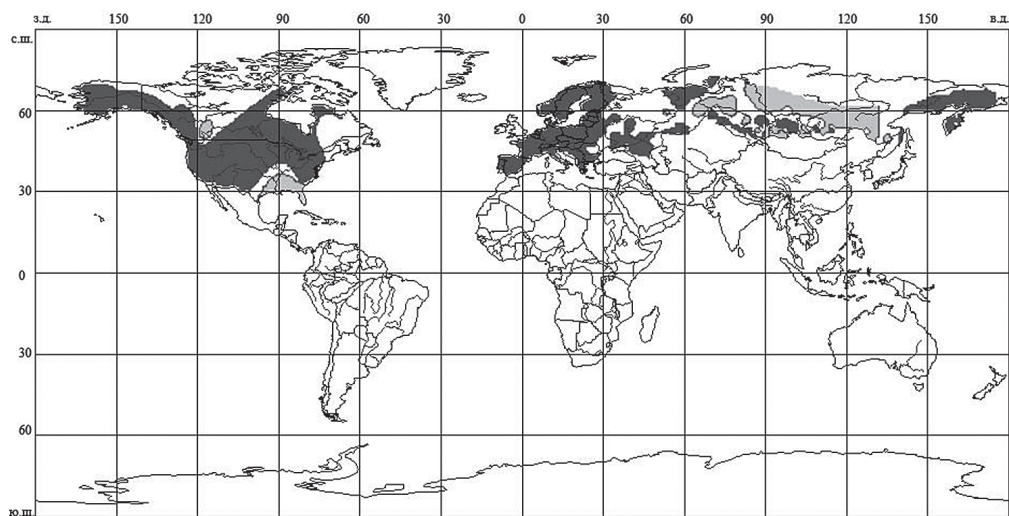
a)



б)



в)



г)

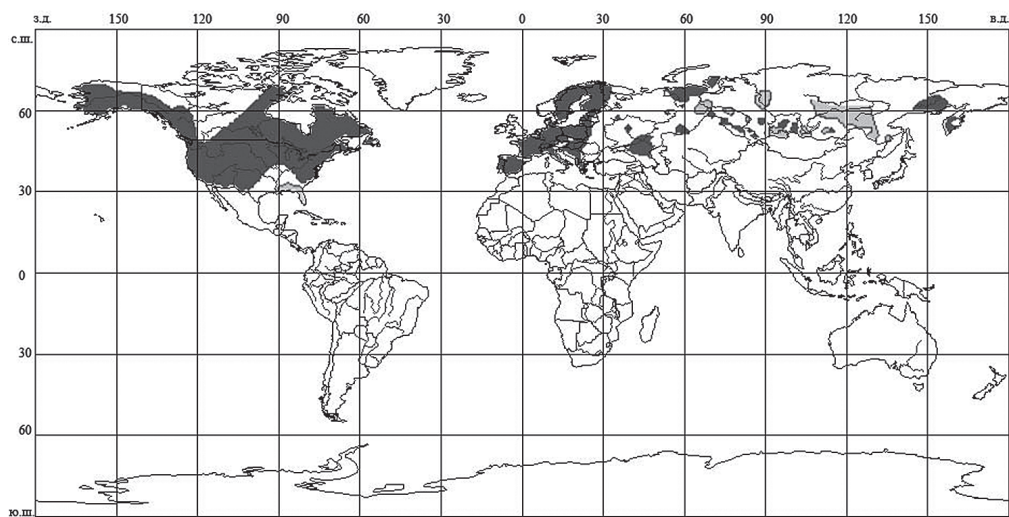


Рис. 1. Распределение норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов при подсчете погрешности определения остаточного члена в среднеквадратическом (а, в) и среднеарифметическом (б, г) смыслах. На рис. в и г погрешности определения членов уравнения водного баланса увеличены в 1,5 раза. Карты соответствуют доверительной вероятности 68,3 %.

На картах явно прослеживается географическая закономерность: в Европе и Северной Америке нормы изменения многолетних влагозапасов отрицательные, в Сибири — положительные. Если за такой закономерностью стояли бы погрешности метода Константинова, то они должны быть весьма специфическими: носить систематический характер и «чувствовать» географическое местоположение речного бассейна, что представляется маловероятным. Всю работу по оценке погрешностей своего метода Константинов проделал почти 50 лет назад, к этому вопросу не раз возвращались гидрологи, занимающиеся испарением. Их оценки следующие. Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными часовыми суммами испарения равняется 0,61, а вероятное отклонение — 53 %. Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными суточными суммами испарения — 0,68, а вероятное отклонение — 21 %. Коэффициент корреляции между годовыми испарениями, определенными с помощью номограммы Константинова и балансовым методом равен 0,79, а вероятное отклонение — 16 %. График погрешностей (см. рис. 2) практически симметричный.

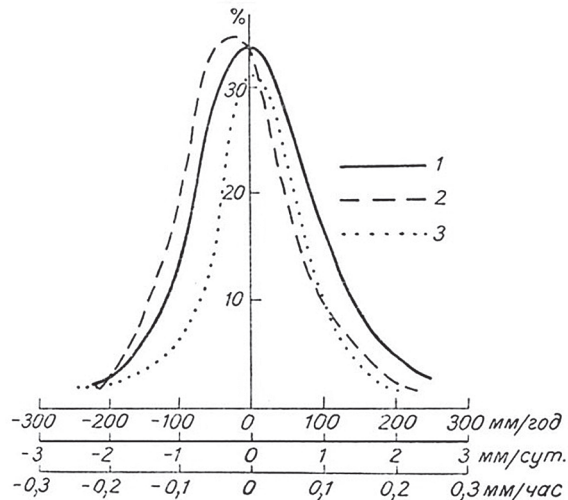


Рис. 2. Кривые распределения разности рассчитанных и измеренных величин испарения с почвы [8]:  
 1 — часовые величины испарения (БГИ и ГПИ); 2 — суточные величины испарения (ГГИ-500);  
 3 — годовые величины испарения.

В данной статье излагается только материал, связанный с установлением самого факта явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах. Физическая причина данного явления и объяснение географической закономерности его распространения требуют отдельного рассмотрения. Однако уже сейчас можно утверждать, что ненулевые нормы  $\Delta U$  не связаны с иссушением или переувлажнением речных бассейнов, так как из дифференциального исчисления известно, что производная от функции с нулевым средним значением (а именно такой производной является величина  $\Delta U$ , имеющая размерность объем/время, для графика

изменения объема влагозапасов во времени при принятии их многолетней нормы за нуль отсчета) не обязана иметь среднее равное нулю. Есть и наиболее вероятное объяснение его физической причины — эффект детектирования (см. [4]).

Таким образом, в статье с использованием эмпирических гидрометеорологических данных по бассейнам Северного полушария подтвержден факт явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах, что может приводить к погрешностям определения многолетней нормы испарения с использованием существующих карт (в тех регионах, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля).

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ при выполнении НИР «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. Атлас мирового водного баланса (приложение к монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли»). — М., Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 46 карт.
2. *Клибашев К. П., Горошков И. Ф.* Гидрологические расчеты. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. — 460 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.* Новые явления и закономерности формирования речного стока. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 172 с.
5. *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.
6. *Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Громова М. Н., Девятков В. С., Хамлили А.* Диагностирование неустойчивости формирования и фрактальной размерности многолетних рядов летне-осенней межени Восточной Сибири методами частично инфинитной гидрологии. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 13, с. 30–39.
7. *Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Куасси А. Б. Г.* Прогнозирование изменений фрактальной размерности многолетнего речного стока. // Естественные и технические науки, 2007, № 6, с. 139–147.
8. *Константинов А. Р.* Испарение в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 532 с.
9. *Вуглинский В. С. и др.* Методы изучения и расчета водного баланса. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 398 с.