

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи
УДК 556.153”450”

Голованова Евгения Юрьевна

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ИЗМЕНЕНИЯ
ВЛАГОЗАПАСОВ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ РОССИИ

Специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук



Санкт-Петербург
2014

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Коваленко Виктор Васильевич

Научный консультант: кандидат технических наук,
Гайдукова Екатерина Владимировна

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
профессор Мазуров Геннадий Иванович

кандидат технических наук,
Горошкова Наталья Ивановна

Ведущая организация: Институт Озероведения РАН

Защита диссертации состоится «30» октября 2014 г. в 15³⁰ часов на заседании специализированного совета Д212.197.02 Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан «30» сентября 2014 г.

Заслуженный работник высшей школы РФ,
Ученый секретарь специализированного совета,
профессор, кандидат географических наук

Воробьев В. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Уравнения водного баланса речных бассейнов служат основой алгебраических и дифференциальных математических моделей формирования многолетнего речного стока. До недавнего времени считалось, что составляющая уравнения баланса, связанная с изменением суммарных влагозапасов, при многолетнем осреднении, равняется нулю. Это допущение позволяло балансово увязывать осадки, сток, испарение и строить географические карты распределения многолетней нормы испарения (подобные карты существуют как для территории России, так и для всего Земного шара). Однако, выполненная в Российском государственном гидрометеорологическом университете фрактальная диагностика многолетних рядов речного стока (2007) показала, что более 30 % рядов имеют дробную размерность между 2 и 3. Это указывает на то, что в расходной части балансового уравнения должны присутствовать три фазовые переменные, активно участвующие в процессах формирования стока. Теоретический анализ уравнений, описывающих формирование многомерной плотности вероятности, учитывающих сток, испарение и изменение влагозапасов, предпринятый на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ, показал, что норма многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов нулевой не является. Эмпирическое подтверждение этого факта потребует корректировку карт нормы испарения, которые широко применяются как в России, так и за рубежом. Поэтому получение вероятностных оценок многолетних изменений влагозапасов, и в первую очередь географического распределения их норм, является актуальным, по крайней мере, для тех регионов, в которых они статистически значимо отличаются от нуля.

Цели и задачи исследования. Целью исследования является получение статистических оценок норм многолетних изменений годовых суммарных влагозапасов речных бассейнов России и их использование для корректировки карт распределения нормы испарения.

Для достижения сформулированной цели решены следующие задачи:

– создана база многолетних данных по приземной температуре и влажности воздуха по 252 пунктам наблюдения на территории России и сгенерированы многолетние ряды испарения с использованием методики А. Р. Константинова;

– с использованием балансового метода получены ряды годовых изменений суммарных влагозапасов для территории России, выполнена их статистическая обработка совместно с рядами осадков, речного стока и испарения, а также сделана визуализация хронологических и статистических распределений;

– проведена оценка надежности вычисленных норм многолетних изменений суммарных влагозапасов по 252 речным бассейнам России с зональным типом формирования многолетнего стока и с использованием современных ГИС-технологий получена карта (с доверительной вероятностью 68,3 %) их распределения по территории;

– выполнено сравнение данной карты с таковой, полученной на основе данных, имеющихся в открытом доступе Интернет-ресурсов;

– с помощью полученных карт выявлены регионы с существенным по модулю отклонением многолетних норм изменения влагозапасов от нулевых значений и проведена корректировка карт норм многолетнего годового испарения.

Методика исследований и исходный материал. Решение поставленных задач основывалось на балансовых моделях многолетних изменений гидрометеорологических элементов, полученных либо прямыми измерениями (осадки и сток), либо полумпирическим методом по измеренным температуре и влажности воздуха (испарение), либо путем выделения статистически значимых остаточных членов (суммарное изменение влагозапасов в речных бассейнах). Расчеты проводились на персональном компьютере на базе среды разработки *Visual Basic 6* и *C++ Builder*. Для построения карт использовались коммерческие программы *ArcView* и *Surfer*.

Исходным материалом для проведения расчетов служили данные метеорологических ежемесячников, справочники по климату и гидрологические ежегодники, а также данные Интернет-ресурсов (режим доступа <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html>).

Научная обоснованность и достоверность. Достоверность выводов работы основывается на результатах математического моделирования формирования вероятностных распределений многолетнего стока и фрактальной диагностики его рядов, выполненных ранее в РГГМУ и показавших, что в речных бассейнах в генезисе стокоформирования статистически значимо участвуют три фазовые переменные (сток, испарение и изменение влагозапасов), а эффект детектирования рядов влагозапасов приводит к ненулевой норме их многолетних изменений.

Представляемые к защите результаты (карты) получены с использованием общепринятых в науке статистических оценок остаточных членов балансовых уравнений. К построению карт привлекались только те значения норм суммарных изменений влагозапасов (интерпретируемых как остаточные члены), которые превосходили среднеквадратическое значение погрешности вычислений. Этим обеспечивалась доверительная вероятность карт 68,3 %.

Научная новизна и практическая значимость. В ходе проведенного в диссертации исследования получены следующие основные результаты:

1. Впервые сгенерировано 252 ряда многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов речных водосборов России на основе стандартных гидрометеорологических наблюдений.

2. Впервые получены совместные распределения (хронологические и статистические) осадков, стока, испарения и суммарных влагозапасов, из которых следует, что нормы многолетних годовых изменений влагозапасов в половине случаев статистически значимо отличаются от нулевых значений, причем как в положительную, так и в отрицательную область значений (примерно поровну).

3. Впервые для России построена географическая карта распределения нормы многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов, причем с использованием только тех значений, которые превосходят среднеквадратическую погрешность своего определения, что обеспечивает высокую надежность построенной карты.

4. Выполнено сравнение двух вариантов карт распределения нормы влагозапасов: полученных по данным фактических наблюдений и помещенных в метеорологические издания (ежемесячники, справочники по климату и т. д.) и по данным, помещенным в открытом доступе Интернет-ресурсов (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html>). Сравнение показало их совпадение (за редким исключением), главное, выявило географическую закономерность распределения отрицательных и положительных норм.

5. Установленная географическая закономерность распределения нормы многолетних изменений влагозапасов позволила выявить регионы их существенных отклонений от нулевых значений. На ее основе впервые построены карты среднего многолетнего испарения, корректирующие таковые, полученные путем увязки многолетних балансов в предположении нулевых изменений норм влагозапасов.

Кроме очевидного мировоззренческого аспекта, связанного с переосмыслением некоторых фундаментальных основ гидрометеорологии, результаты работы имеют практическую значимость, так как позволяют более надежно определять норму испарения в тех регионах России, для которых нормы многолетних годовых изменений влагозапасов статистически значимо отличаются от нуля.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках НИР: «Исследование развития географически нелокального режима формирования вероятностных распределений многолетнего годового стока полизональных рек Сибири и методология их прогноза» (№ госрегистрации 01 2009 52633); «Разработка гидрофизических моделей с непрерывным и дискретным временем для устойчивого прогнозирования долгосрочных гидрологических последствий изменения стокоформирующих факторов» (№ госрегистрации 01 2012 51675); «Географические закономерности распределений на территории России аномальных зон формирования экстремальных видов многолетнего речного стока в перспективе долгосрочных климатических изменений» (№ госрегистрации 01 2012 80083); «Создание диагностических и прогностических моделей развития катастрофического формирования многолетнего речного стока» (№ госрегистрации 01 2009 52622); «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» (№ госрегистрации 01 2014 58678). Финансирование осуществлялось Министерством образования и науки РФ. Результаты внедрены в учебный процесс по специальности «Гидрология» – 07.32.00 в РГГМУ, использованы в ЗАО «ВНИИГ Галургии» для целей обеспечения гидроэкологической безопасности калийного производства Пермского края, а также применены в отделе изысканий ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева при оценке водных балансов техногенно-нагруженных территорий.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Методика формирования многолетних рядов годового изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов, основанная на непосредственно измеренных осадках и расходах воды, полуэмпирическом способе определения испарения по стандартным метеорологическим наблюдениям за влажностью и температурой воздуха, а также оценке влагозапасов, как остаточного члена уравнения водного балан-

са, значение которого превышает среднеквадратическую погрешность его определения.

2. Гидрологическая карта (68 % доверительной вероятности) распределения по территории России нормы многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов, обоснованная как данными непосредственных гидрометеорологических наблюдений, так и данными, взятыми в открытом доступе Интернет-ресурсов.

3. Географическая карта расположения на территории России зон, в которых необходимо вводить поправки к значениям норм испарения, установленных балансовой увязкой стока, осадков и испарения в предположении, что норма многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов равняется нулю.

Апробация работы.

Основные положения диссертации докладывались на Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (2010, 2011 гг.), на Международной научно-практической конференции («Институт стратегических исследований», 2012 г.), в Институте водных проблем на конференции «Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока» (2012 г.), на Всероссийской научной экологической конференции, посвященной Всемирным дням Воды и Земли «Вода – источник жизни на Земле» (2012, 2013 гг.), на Всероссийской научно-практической конференции «Стратегия устойчивого развития регионов России» (2013 г.), на VII гидрологическом съезде, а также на Итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ (2013 г.) и на научных семинарах кафедры гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ.

По теме диссертации опубликовано 10 статей (в том числе 3 в изданиях по списку ВАК).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержащего 51 источник, 4 приложения, включая справки о внедрении. Работа изложена на 153 страницах текста, включая 25 рисунков и 24 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и представлена информация общего характера о диссертационном исследовании.

В первой главе дается физико-географическая характеристика основных речных бассейнов России, формулируется цель и ставятся задачи исследований.

В настоящее время среди гидрологов укрепилась общепринятая точка зрения, что изменение суммарных влагозапасов речных бассейнов имеет смысл учитывать только для периодов времени год и менее:

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

где X – атмосферные осадки, выпавшие на водосбор; Q – сток в замыкающем створе; E – суммарное испарение с водосборного бассейна; ΔU – суммарное изменение влагозапасов.

При многолетнем осреднении отрицательные и положительные значения ΔU компенсируют друг друга и норма изменений влагозапасов стремится к нулю ($\overline{\Delta U} \rightarrow 0$). Такое предположение позволило построить карты многолетних норм испарения (как для России, так и для Земного шара), балансово увязывая уравнение (1), опираясь только на нормы осадков и стока. На протяжении многих десятилетий этот подход был общепризнанным и не вызывал сомнений. Впервые, по-видимому, гипотеза $\overline{\Delta U} \rightarrow 0$ была поставлена под сомнение в рамках частично инфинитной гидрологии (научного направления, созданного для моделирования и прогнозирования статистически неустойчивых, развивающихся гидрологических объектов). С одной стороны, фрактальная диагностика рядов многолетнего стока указывала, что последние имеют дробную размерность, превышающую топологическую, равную двум, независимо от того, удлиняются ряды или нет (это указывает на то, что роль ΔU не ослабевает при временном осреднении). С другой стороны, моделирование процессов формирования трехмерной плотности вероятности $p(Q, E, \Delta U)$ в рамках модели Фоккера–Планка–Колмогорова показало наличие репеллера в районе модального значения ΔU (считавшегося в гидрологии нулевым). Было выдвинуто и физическое объяснение того факта, что $\overline{\Delta U} \neq 0$ (эффект детектирования). Если бы это удалось подтвердить на натурных данных (экспериментально), то, кроме чисто познавательного эффекта, можно было бы искать пути практического применения данного явления (самым очевидным его применением является корректировка карт

нормы многолетнего испарения, полученных балансовой увязкой только двух фазовых переменных – стока и испарения с осадками. Именно так была сформулирована цель диссертации и поставлены задачи для ее достижения.

Во второй главе рассмотрены существующие способы оценки изменений влагозапасов, сформированы базы данных и проведена их статистическая обработка. По литературным источникам были изучены практически все известные на данный момент способы, в частности: генетического расчленения гидрографа, прямое измерение влагозапасов в почве, метод А. Н. Зелиного и др. Однако, выяснилось, что все перечисленные методы являются скорее индикаторами почвенных влагозапасов и не могут использоваться для определения суммарных многолетних их изменений. Единственным способом, который можно применить для этой цели, является так называемый остаточный метод. Для его реализации используется балансовое уравнение (1), в котором величина $\pm \Delta U$ рассматривается как остаточный член. Однако он «заслуживает внимания», если его значение превосходит погрешность вычислений, определяемую формулой

$$\delta_{\Delta U} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \delta_i^2} \quad (2)$$

(здесь δ_i – среднеквадратические погрешности вычисления осадков, стока и испарения), т. е. необходимо в первом приближении (при нормальном законе распределения погрешностей) выполнение неравенства $|\Delta U| > \delta_{\Delta U}$.

Тогда, если $|\Delta U| > \delta_{\Delta U}$, то доверять ΔU можно на 68,3 %, если $|\Delta U| > 2\delta_{\Delta U}$ – на 95,4 %, если $|\Delta U| > 3\delta_{\Delta U}$ – на 99,7 %. Однако, чтобы применить подобный метод, надо испарение, входящее в формулу (1), определять независимым от Q и X способом. Таковым может служить полуэмпирический метод, предложенный профессором А. Р. Константиновым. В его основе лежит теория турбулентной диффузии, причем для реализации этого метода (который получил общее признание гидрологов) необходимы данные стандартных наблюдений за температурой (T) и влажностью воздуха (e) на метеорологической сети станций. Для его практического применения предложена номограмма, которая в диссертации, совместно с доц. Е. В. Гайдуковой, была аппроксимирована аналитической зависимостью:

$$E = 73.17e + 4.47T + 5.05e^2 - 0.36T^2 - 0.205e^3 - 0.00317T^3 + 0.0036e^4 + 0.000401T^4 - 3.087eT - 265.49. \quad (3)$$

Анализ технической литературы показывает, что средние квадратические погрешности определения членов уравнения водного баланса (1), примененного к многолетним нормам, имеют значения (в %): $\delta_{\bar{X}} \approx 5-7$; $\delta_{\bar{E}} \approx 15$; $\delta_{\bar{Q}} \approx 5$. При оценке значимости остаточного члена использовались эти значения, а также таковые, увеличенные в 1,5 раза (в последнем случае карта распределения $\overline{\Delta U}$ оказалась более «пестрой», но в целом ситуация не изменилась).

Вторая глава заканчивается визуализацией для исследованных бассейнов хронологических и статистических распределений всех использованных гидрометеозлементов, входящих в формулу (1). На рис. 1 приведен пример подобных распределений.

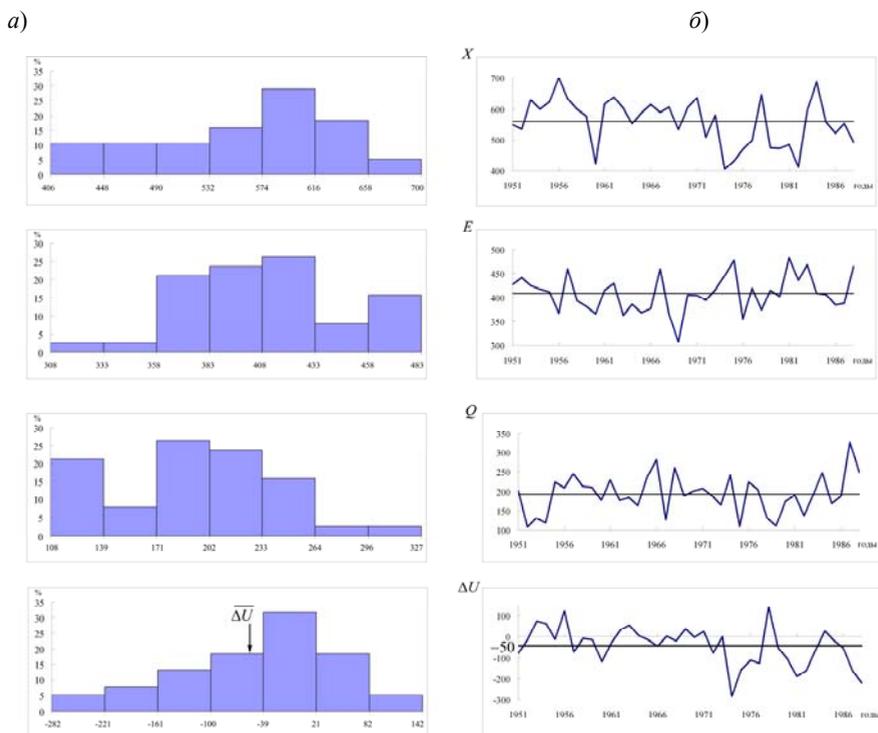


Рис. 1. Пример статистических (а) и хронологических (б) распределений гидрометеозлементов в мм слоя (р. Чепца – с. Полон).

В третьей главе выполнено картирование норм многолетних изменений годовых суммарных влагозапасов и многолетних норм испарения с использованием коммерческих программ ГИС-технологий *ArcView* и *Surfer*. Для интерполяции данных использовался метод Кригинга, который основан на определении веса окружающих известных точек для вычисления искомого значения. Вес точки зависит от модели вариограммы, расстояния до оцениваемой точки и пространственного их распределения. Карта норм изменения влагозапасов представлен на рис. 2.

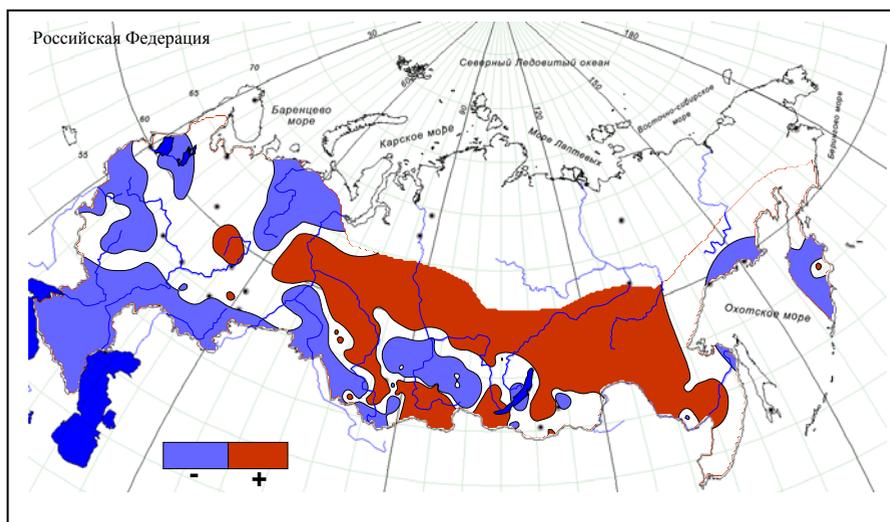


Рис. 2. Распределение по территории России многолетних норм изменения влагозапасов (карта имеет уровень доверия 68,3 %).

Из этого рисунка видна определенная географическая закономерность. В Европейской части России преобладают отрицательные нормы, а в Сибири положительные (за исключением территорий Дальнего Востока с сильным влиянием на климат океана). Учитывая, что ЕТР также находится под сильным влиянием Западного переноса с Атлантики, можно говорить об определенном влиянии влажности климата на распределения норм изменения влагозапасов (см., например, большие отрицательные их значения в прибрежной зоне Печорского бассейна). Следует также обратить внимание, что значительная территория имеет практически нулевые (меньше среднеквадратиче-

ских значений погрешности) значения $\overline{\Delta U}$, что объясняет довольно длительное господство среди гидрологов мнения о повсеместности нулевой нормы многолетних изменений влагозапасов. Север Сибири остается не затронут расчетами, что связано с эмпирическим характером номограммы Константинова, а значит и зависимости (3), которая справедлива в определенном диапазоне температур и влажности, исключаящем регионы с очень холодным и очень жарким климатом.

Обращает на себя внимание также тот факт, что отрицательные нормы изменения влагозапасов обычно превышают положительные. Территория, на которой проведена корректировка карт многолетней нормы испарения, представлена на рис. 3.

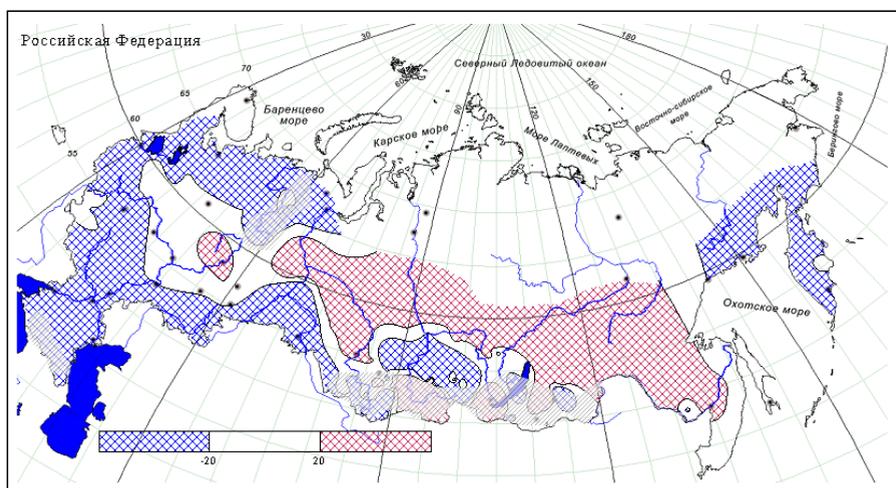


Рис. 3. Территория, на которой скорректированы карты норм испарения.

В таблице представлена часть репрезентативной информации о речных бассейнах, в которых требуется корректировка норм испарения, превышающая по модулю 20 %-ую погрешность его определения.

При статистической обработке рядов изменений влагозапасов проводились вычисления четырех начальных моментов, коэффициентов вариации, асимметрии, автокорреляции и др. В таблице представлена информация о коэффициенте автокорреляции при годовой сдвиге ($r(1)$) и площадях водосборов (F). Численные значения $r(1)$ напоминают таковые для минимального стока.

Таблица

Речные бассейны России, в которых обоснованна корректировка норм испарения

Река	Пункт	F , км ²	C_v (ΔU)	Кор-ка E , %	$r(1)$ (ΔU)
Европейская территория России					
Ловать	Сельцо	8230	-0,75	-21	0,01
Кунья	Холм	5140	-0,53	-28	0,08
Великая	Селихново	6350	-0,49	-31	-0,04
Сороть	Осинкино	3170	-0,78	-22	-0,05
Свидь	Горки	6450	-0,85	-21	-0,44
Сухона	Тотьма	34800	-0,78	-20	-0,23
Вишера	Лунь	7890	-1,73	-18	0,00
Красивая Меча	Сергиевское	3240	-0,52	-50	0,25
Самара	Елшанка	22800	-0,80	-24	0,13
Тверца	Прутенька	4240	-0,61	-48	0,23
Молога	Забережье	10200	-0,97	-16	-0,25
Клязма	Павловский Посад	4550	-0,78	-26	-0,21
Белая	Сыртланово	10100	-0,49	-49	0,06
Печора	Якша	9620	-0,42	-69	-0,15
Печора	Щугор	67500	-0,80	-47	0,11
Кожим	Кожим Рудник	4980	-0,31	-210	0,07
Ипуть	Ущерпье	8100	-1,02	-18	-0,22
Десна	Брянск	13700	-0,92	-21	-0,39
Западная Сибирь					
Чуя	Белый Бом	10900	0,95	34	0,05
Иня	Кайлы	15700	1,26	20	-0,03
Томь	Новокузнецк	29800	-1,30	-48	-0,26
Шегарка	Бабарыки	8190	0,68	41	-0,32
Урюп	Изындаево	5000	-1,35	-20	-0,07
Кия	Мариинск	9820	-0,27	-110	-0,02
Парбиг	Веселый	9070	0,81	28	-0,10
Кенга	Центральный	7440	0,86	25	-0,23
Тым	Напас	24500	1,02	31	-0,37
Тром-Юган	Ермаково	13500	1,09	32	-0,06

Продолжение табл.

Река	Пункт	F , км ²	C_v (ΔU)	Кор-ка E , %	$r(1)$ (ΔU)
Бол,Юган	Угут	22100	0,54	47	-0,22
Каргат	Здвинск	6440	1,22	25	-0,20
Курчум	Вознесен	5840	-0,41	-81	0,00
Бухтарма	Березовки	10700	-0,70	-84	0,06
Тартас	Венгерово	16200	1,32	20	-0,19
Уй	Баженово	6650	-0,88	-56	0,21
Демьянка	Лымковск	30600	-1,18	-29	0,12
Сев.Сосьва	Сосьва	65200	-1,84	-19	0,05
Ляпин	Саранпуль	18500	-1,16	-41	0,35
Восточная Сибирь					
Кута	Максим	6480	1,00	36	0,22
Таюра	Таюра	5720	-1,34	-31	0,28
Киренга	Шорохово	46500	-0,28	-164	0,33
Заза	Усть-Заза	1880	0,54	57	0,48
Юмурчен	Юмурчен	3990	0,68	43	0,20
Камчатка	Ключи	45600	-0,46	-72	0,37
Толбачик	Толбачик	1480	1,65	19	0,21
Большая	Малки	2800	-0,38	-99	-0,50
Крутогорова	Крутогорова	2080	-0,38	-118	0,57
Кыра	Кыра	5100	1,52	23	-0,29
Ингода	Атаманов	22000	1,41	19	0,20
Уркан	Заречное	15700	0,36	63	-0,17
Буряя	Ниман	26500	1,83	19	-0,23
Ниман	12 км от устья	14500	1,22	39	0,20
Кур	Новокур	11400	0,55	84	-0,03
Ток	Николаевский	3820	-1,54	-39	-0,09
Ивановка	Ивановка	2710	0,38	74	-0,28
Сутара	Известковая	1570	1,72	16	-0,05
Горин	Бактор	18300	1,23	24	-0,12
Абакан	Абаза	14400	-0,49	-117	-0,49
Туба	Бугуртак	30400	-1,85	-33	-0,26

Продолжение табл.

Река	Пункт	F , км ²	C_v (ΔU)	Кор-ка E , %	$r(1)$ (ΔU)
Амыл	Качульск	9450	0,95	67	-0,27
Мана	Манский	9080	-1,00	-35	-0,23
Кан	Канск	23000	-0,47	-63	-0,16
Агул	Петропав	11500	-0,36	-92	-0,30
Кас	Александровский	7640	0,79	41	-0,37
Елогуй	пос.Келлог	16300	0,67	75	-0,06
Иркут	Тунка	6560	0,41	129	0,32
Чадобец	Яркино	13300	0,76	41	-0,01
Илим	Сотникова	29300	0,93	30	0,11
Мура	Ирба	9320	1,40	24	-0,24
Бирюса	Бирюсинск	24700	-1,08	-39	-0,06
Тагул	Геогиевка	7940	-0,41	-94	0,22
Она	М.Анзас	4410	-1,67	-29	-0,39
Чикой	Поворот	44700	-0,74	-33	0,22
Хилок	Малета	25700	0,64	64	0,00
Уда	Улан-Удэ	34700	-1,53	-19	0,22
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	4060	0,87	65	-0,03
Зима	Зулуй	2550	-3,13	-95	-0,07
Карабула	Карабула	4190	0,85	36	-0,20
Уда	Широково	23200	0,91	50	-0,30
Татарка	Татарка	1880	-2,70	-25	0,63
Таштып	Таштып	1940	1,92	32	-0,28
Она	М.Анзас	4410	-1,67	-29	-0,39
Кунгус	Ильинка	3600	-0,66	-75	0,47

Примечание: Из 252 бассейнов статистически значимые значения $\overline{\Delta U}$ были в 165 случаях, т. е. в 61 % (положительных и отрицательных значений было практически поровну). Серым цветом выделены водосборы, находящиеся в предгорных областях, для которых номограмма Константинова не правомерна (15 % от бассейнов, значения $\overline{\Delta U}$ которых статистически значимы).

В этой же третьей главе имеется параграф, объясняющий физические причины появления ненулевых норм многолетних изменений влагозапасов. Природа этого явления (еще до фактического его обна-

ружения) объяснена в ряде монографий проф. В. В. Коваленко, а также в его совместной статье с доц. Е. В. Гайдуковой. Поэтому данный параграф представлен в виде краткого изложения этих работ, и написан для того, чтобы у читателя данной диссертации сложилась целостная картина как географических аспектов самого явления, так и закономерности его наступления, которая связана с эффектом детектирования. Факт ненулевых норм $\overline{\Delta U}$ может ошибочно ассоциироваться с многолетним иссушением или увлажнением речных бассейнов. Однако, это не так. Средние многолетние влагозапасы могут оставаться неизменными, а производная по времени от их отклонений (W), т. е. величина $\Delta U = dW / dt$ быть не нулевой (это следствие одного из математических свойств дифференцируемых функций).

В заключении сформулированы основные результаты исследований:

1. В результате обработки многолетних рядов гидрометеорологических элементов на территории России удалось создать информационную базу, достаточную для оценки членов, входящих в уравнение годового баланса замкнутых речных водосборов, включая испарение, вычисленное независимо от осадков и стока способом.

2. С использованием балансового метода сгенерированы многолетние ряды годовых изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов России и выполнена оценка статистических и хронологических распределений всех гидрометеорологических рядов, показавшая что на исследуемой территории нормы изменения влагозапасов могут быть как близкими к нулевым значениям (примерно 50 % территории), так и достаточно большими положительными и отрицательными.

3. Проведенная оценка статистической надежности вычисленных норм многолетних изменений суммарных влагозапасов по 252 речным бассейнам России с зональным типом формирования многолетнего стока позволила построить карту (с использованием современных ГИС-технологий) их распределения по территории с достоверной вероятностью 68,3 %. Сравнение карты с таковой, полученной по данным из Интернет-ресурсов, показало их практическую идентичность. Анализ карт дает основания сделать вывод, что существует географическая закономерность распределения норм многолетних изменений влагозапасов: ощутимые преобладающие отрицательные значения на европейской территории России сменяются небольшими положительными значениями в Сибири и снова ощутимы-

ми отрицательными значениями в зоне океанического влияния на климат на Дальнем Востоке.

4. Используя установленную закономерность изменения влагозапасов, удалось выявить на территории России речные бассейны, в которых многолетние нормы испарения существенно отличаются от таковых, полученных ранее балансовой увязкой стока, осадков и испарения в предположении, что многолетние нормы изменений годовых влагозапасов имеют нулевые значения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Устойчивость формирования летне-осенней межени и фрактальная диагностика ее многолетних рядов для Сибири и Европейской территории России // XLIX Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс», 2010. – С. 44–45 (в соавторстве с Девятовым В. С., Громовой М. Н., Гайдуковой Е. В.).

2. Долгосрочная оценка климатических изменений максимального стока весеннего половодья Арктической зоны России // Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Математика / Новосибир. гос. ун-т, Новосибирск, с. 66, 2011 (в соавторстве с Судаковой Н. В., Гайдуковой Е. В., Шевниной Е. В.).

3. Сценарная оценка максимального стока весеннего половодья в Арктическом регионе России // IV международная научно-практическая конференция, г. Москва, «Институт стратегических исследований», 3–4 июля 2012 г. – С. 250–255 (в соавторстве с Коваленко В. В., Гайдуковой Е. В., Викторовой Н. В., Хаустовым В. А., Дехтяревым А. А., Лесничим Л. И., Шевниной Е. В.).

4. Сценарная оценка долгосрочных изменений максимального стока весеннего половодья в Арктическом регионе России на основе стохастической модели формирования многолетнего стока // «Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока», Институт водных проблем, 10–12 апреля, 2012 г. – С. 100–106 (в соавторстве с Коваленко В. В., Гайдуковой Е. В., Викторовой Н. В., Хаустовым В. А., Дехтяревым А. А., Лесничим Л. И., Шевниной Е. В.).

5. Оценка долгосрочных изменений многолетнего речного стока (на примере Северного края) // V-й Всероссийская научная экологическая конференция, посвященная Всемирным дням Воды и Земли «Вода – источник жизни на Земле», 24–26 марта, 2012 г. – С. 74–75 (в со-

авторстве с Судаковой Н. В., Дехтяревым А. А., Качаловой А. Е., Коваленко Т. В., Манвеловой Т. А.).

6. Оценка долгосрочных изменений вероятностных характеристик максимального стока // XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Стратегия устойчивого развития регионов России» (в соавторстве Гайдуковой Е. В., Хаустовым В. А., Дехтяревым А. А., Куасси М.).

7. Многолетняя норма изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов северо-Западного региона России // материалы VII Всероссийской научной экологической конференции, посвященной Всемирным дням Воды и Земли «Вода – источник жизни на Земле», 26–28 марта, 2013 г. – С. 224–225 (в соавторстве с Кабалюк И. К., Пятрович Е. В., Захаровым Н. В.).

В рецензируемых источниках по списку ВАК:

8. Обеспечение гидрологической надежности гидротехнических сооружений в регионах неустойчивого формирования многолетнего речного стока // Гидротехническое строительство, № 2, 2013. – С. 38–43 (в соавторстве с Коваленко В. В., Гайдуковой Е. В., Соловьевым Ф. Л.).

9. Комментарии к рецензии на статью «Обеспечение гидрологической надежности гидротехнических сооружений в регионах неустойчивого формирования многолетнего речного стока» // Гидротехническое строительство, № 2, 2013. – С. 45–46 (в соавторстве с Коваленко В. В., Гайдуковой Е. В., Соловьевым Ф. Л.).

10. Статистические характеристики рядов многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов (на примере России) // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, № 33, 2014. – С. 24–30.

Отпечатано с готового оригинал-макета

Лицензия ЛР № 0203090 от 30.12.96

Подписано в печать с оригинал-макета

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Уч.-изд. л. 1,0. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №

РГГМУ, 195196, СПб, Малоохтинский пр. 98