

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное учреждение высшего
профессионального образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

УДК 556.153”450”

На правах рукописи

Голованова Евгения Юрьевна

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ИЗМЕНЕНИЯ
ВЛАГОЗАПАСОВ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ РОССИИ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Научные руководитель:
доктор техн. наук, профессор

В.В. Коваленко

Научный консультант:
кандидат техн. наук, доцент

Е.В. Гайдукова

Санкт-Петербург 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сокращения	4
Введение	5
1 Физико-географическая характеристика влагозапасов России и постановка задачи исследования	11
1.1 Физико-географическая характеристика влагозапасов России	11
1.2 Существующие воззрения на изменение влагозапасов среди гидрологов и постановка задачи исследования	15
2 Способы оценки изменения влагозапасов (способы измерения и расчета по данным наблюдений)	21
2.1 Существующие способы оценки (аналоги и прототипы)	21
2.1.1 Метод генетического расчленения гидрографа	21
2.1.2 Прямой метод (измерение влагозапасов почвы)	22
2.1.3 Агрометеорологический метод	23
2.1.4 «Остаточный» метод	24
2.1.5 Метод А. Н. Зелиного	25
2.2 Оценка годового изменения влагозапасов балансовым методом. Погрешности определения составляющих водного баланса	26
2.3 Формирование базы данных для вычисления изменения влагозапасов и выполнение статистических оценок для территории России	39
2.3.1 Осадки	39
2.3.2 Сток	46
2.3.3 Испарение	56
2.3.4 Ряды изменения влагозапасов	80
2.4 Статистическая обработка гидрометеорологических рядов, визуализация хронологических и статистических распределений	80
2.4.1 Оценка расчетных характеристик значений изменения влагоза-	

	пасов и построение для них кривых плотности вероятности	80
3	Картирование нормы многолетних изменений влагозапасов России	101
3.1	Использование ГИС технологий	101
3.2	Карты норм изменений влагозапасов с различной доверительной вероятностью	103
3.3	Физические причины появления ненулевых норм многолетних изменений влагозапасов. Эффект детектирования	117
	Заключение	124
	Список использованных источников	126
	Приложение А – Координаты центров водосборов	132
	Приложение Б – Статистические характеристики рядов осадков, стока, испарения и изменения суммарных влагозапасов	141
	Приложение В – Гистограммы	145
	Приложение Г – Справки о внедрении	149

СОКРАЩЕНИЯ

- ВМО – Всемирная метеорологическая организация
- ЕТР – Европейская территория России
- АТР – Азиатская территория России
- ФПК – уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова
- РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический университет
- ГГИ – Государственный гидрологический институт
- СССР – Союз Советских Социалистических Республик

ВВЕДЕНИЕ

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 кривыми Пирсона III типа или их модификацией (кривые Крицкого–Менкеля). Однако в последнее десятилетие было показано, что оценки моментов статистических распределений всех видов многолетнего стока могут быть неустойчивыми не только из-за коротких рядов наблюдений, но и по причинам физико-географического характера, особенно в южных районах России. Был разработан метод борьбы с подобной неустойчивостью, который заключается в расширении числа фазовых переменных, которыми описывается формирование речного стока. Было показано, что (в большинстве случаев) достаточно использовать эволюционное уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова для трехмерной плотности вероятности от расхода воды, испарения и изменения запасов воды в почвогрунтах речных бассейнов (величина, близкая к суммарным влагозапасам).

Актуальность темы. Уравнения водного баланса речных бассейнов служат основой алгебраических и дифференциальных математических моделей формирования многолетних видов речного стока. До недавнего времени считалось, что составляющая уравнения баланса, связанная с изменением влагозапасов в почвогрунтах при многолетнем осреднении равняется нулю. Это 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 в почвогрунтах речных бассейнов нулевой не является. Эмпирическое подтверждение этого факта потребуют корректировки 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.

Методика исследований и исходный материал. Решение поставленных задач основывалось на балансовых моделях многолетних изменений гидрометеорологических элементов, полученных либо прямыми измерениями (осадки и сток), либо полуэмпирическим 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 на

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, и к построению карт привлекались только те значения норм (интерпретируемых как остаточные члены), которые превосходили среднеквадратическое значение погрешности вычислений, обеспечивая, тем самым, примерно 70 %-ю надежность карт.

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

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

– Впервые получены совместные распределения (хронологические и статистические) осадков, стока, испарения и влагозапасов в почвогрунтах, 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).

– Впервые для России построена географическая карта распределения нормы многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов, причем с использованием только тех значений последних, которые превосходят среднеквадратическую погрешность своего определения, что обеспечивает 70 %-ю надежность построенной карты.

– 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), а главное выявило географическую закономерность распределения отрицательных и положительных норм.

– Полученные карты распределения нормы многолетних изменений влагозапасов позволили выявить регионы их существенных отклонений от нулевых значений и впервые построить карты норм многолетнего испарения, корректирующие существующие карты, полученные путем увязки многолетних балансов в предположении нулевых изменений норм влагозапасов.

Кроме очевидного мировоззренческого аспекта, связанного с переосмыслением некоторых фундаментальных оснований 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.

Работа выполнялась в рамках следующих тем 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» (№ 1413). Темы фи-

нансировались 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:

– Методика формирования многолетних рядов годового изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов, основанная на непосредственно измеренных значениях осадков и расходов воды, полуэмпирическом способе определения испарения по стандартным метеорологическим наблюдениями за влажностью и температурой воздуха и оценке влагозапасов как остаточного члена уравнения водного баланса, значение которого превышает среднеквадратическую погрешность его определения.

– Гидрологическая карта (70 %-ой надежности, точнее 68,3 %) распределения по территории России нормы многолетних годовых изменений суммарных влагозапасов в почвогрунтах речных бассейнов, обоснованная как данными непосредственных гидрометеорологических наблюдений, так и данными, взятыми в открытом доступе Интернет-ресурсов.

– Географическая закономерность распределения многолетних норм испарения на территории России, предоставленная в виде карт с указанием отклонений значений норм испарения от таковых, установленных балансовой увязкой стока, осадков и испарения в предположении, что норма многолетних годовых изменений 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 Всероссий-

ской 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).

1.1 Физико-географическая характеристика влагозапасов России

Данный раздел посвящен особенностям гидрометеорологического режима некоторых речных бассейнов, рассматриваемых в исследовании, и написан по материалам источников [1–5].

В *Архангельской области* густая гидрографическая сеть представлена многочисленными реками, озерами, болотами и подземными водами.

Модуль стока, характеризующий водообеспеченность района, для Архангельской области составляет от 10 до 12 л/с·км². Реки Архангельской области питаются главным образом талыми водами (снеговое питание составляет более 50 %), остальная часть стока формируется за счет дождевого и грунтового питания. Крупнейшие реки бассейна Северного Ледовитого океана – Северная Двина, Онега, Мезень, Печора.

Онега. Площадь бассейна 56 900 км². Питание смешанное, с преобладанием снегового. Сток в верхнем течении реки зарегулирован озерами. Онега замерзает в конце октября – начале декабря, вскрывается в середине апреля – мае. Половодье обычно длится по июнь. Уровень колеблется у истока до 3,4 м, в среднем течении до 9,7 м, в низовьях до 6 м. Расход воды в истоке в среднем достигает 74,1 м³/с, в устье – 505 м³/с.

Крупные притоки Онеги – Кена, Икса и Кожа (левые притоки); Волошка, Моша и Кодина (правые притоки).

Печора – река в Республике Коми и Ненецком автономном округе. Площадь бассейна 322000 км². Питание смешанное, с преобладанием снегового. Замерзает Печора в конце октября. Половодье начинается в конце апреля – начале мая, максимум в среднем течении наблюдается в середине мая и низовьях – в первых числах июня. Летом и зимой на реке – межень. Летняя

межень – с середины июля по август, часто прерывается дождевыми паводками. Средний расход воды в устье 4100 м³/с.

Основные притоки Печоры – Унья, Северная Мылва, Лемъю, Кожва, Лыжа, Ижма, Пижма, Вель, Цильма, Сула (левые притоки); Илыч, Щугор, Уса, Ёрса, Лая, Шапкина (правые притоки).

Мезень – река в республике Коми и Архангельской области. Площадь бассейна 78000 км². Питание смешанное, с преобладанием снегового. Средний расход воды 886 м³/сек, наибольший – 9530 м³/сек. Замерзает река в конце октября – середине ноября, половодье начинается в мае – июне. Летом и осенью наблюдаются дождевые паводки.

Основные притоки Мезени: справа – Мезенская Пижма, Суда, Пеза; слева – Ирва, Пысса, Вашка, Большая Лоптюга.

Северная Двина – река на севере Европейской части России. Площадь бассейна – 360000 км². Питание смешанное, с преобладанием снегового. Средний расход воды у слияния рек Сухона и Юг колеблется возле значения 770 м³/с, в устье расход достигает значения 3490 м³/с. Северная Двина замерзает в конце октября – начале ноября, вскрываться начинает от апреля до мая.

Основные притоки – Вычегда, Пинега, Вага.

Речная система бассейна *Волги* включает 151000 водотоков общей протяженностью 574000 км. Бассейн Волги занимает около 1/3 Европейской территории России и простирается от Валдайской и Среднерусской возвышенностей на западе и до Урала на востоке. Основная, питающая часть водосборной площади Волги, от истока до городов Нижнего Новгорода и Казани, расположена в лесной зоне, средняя часть бассейна до городов Самары и Саратова – в лесостепной зоне, нижняя часть – в степной зоне до Волгограда, а южнее – в полупустынной зоне. Волгу принято делить на три части: верхняя Волга (от истока до устья Оки), средняя Волга (от впадения Оки до устья Камы) и нижняя Волга (от впадения Камы до устья).

Основное питание Волги осуществляется снеговыми (60 % годового стока), грунтовыми (30 %) и дождевыми (10 %) водами. Естественный режим

характеризуется весенним половодьем (апрель – июнь), малой водностью в период летней и зимней межени и осенними дождевыми паводками (октябрь). Волга замерзает в верхнем и среднем течении в конце ноября, в нижнем – в начале декабря.

Кама – самый крупный левый приток реки Волги. Выше впадения в нее реки Белой Кама имеет название Чулман. Площадь бассейна 507000 км². В бассейне реки Кама 73718 рек, из них 94,5 % составляют мелкие реки длиной менее 10 км. Питание преимущественно снеговое, а также подземное и дождевое. За весеннее половодье (март – июнь) проходит более 62,6 % годового стока, летом и осенью – 28,3 %, зимой – 9,1 %.

Основные левые притоки – Южная Кельтма, Вишера с Колвой, Чусовая с Сылвой, Белая с Уфой, Ик, Зай, правые притоки – Коса, Обва, Вятка.

Луга – река в Ленинградской и Новгородской областях России. Площадь бассейна 13200 км². Питание смешанное, с преобладанием снегового. Замерзает в начале декабря, вскрывается в начале апреля. Крупный приток справа – Оредеж.

Ловать – река в Белоруссии и России. Протекает по территории Витебской, Псковской и Новгородской областей. Площадь бассейна 21900 км², средний расход воды в устье 169 м³/с. Река принадлежит к бассейну р. Нева Балтийского моря. Крупные притоки – Насва, Локня, Редья, Полисть (левые притоки), Кунья (правый приток).

В верховьях Ловать проходит через несколько озер (Завесно, Задратье, Межа, Сосно, Чернявское (Чернясто), Сесито, Цаство). В пределах Белоруссии протекает по Городокской возвышенности.

Кунья – река на северо-западе европейской части России, приток реки Ловать. Площадь бассейна равняется 5143 км², средний расход в устье колеблется вблизи значения 44,8 м³/с. Река принадлежит к бассейну Балтийского моря. Крупнейшие притоки – Усвята, Серёжа, Большой Тудор, Малый Тудор. Почти все притоки Куньи – правые, поскольку на западе практически параллельно протекает Ловать. Самый крупный приток – Серёжа [1].

Реки Западной Сибири

Западная Сибирь представляет собой территорию, простирающуюся на 2500 км от Северного Ледовитого океана до сухих степей Казахстана и на 1500 км от гор Урала до Енисея. Около 80 % площади Западной Сибири расположено в пределах Западно-Сибирской равнины, которая состоит из двух плоских чашеобразных сильно заболоченных впадин, разделенных Сибирскими Увалами. На юго-востоке Западно-Сибирская равнина, постепенно повышаясь, сменяется предгорьями Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау и Горной Шории. Общая площадь Западной Сибири составляет 2,4 млн. км² [2].

Западная Сибирь находится почти на одинаковом расстоянии от Атлантического океана и от центра континентальности Евразии, поэтому ее климат носит умеренно континентальный характер. В зимнее и в летнее время, когда циклоническая деятельность, а, следовательно, и поступление атлантического воздуха ослабевают, в Западную Сибирь поступает арктический воздух. Глубокому проникновению арктических воздушных масс способствует равнинность местности и открытость ее с севера. Наибольшей континентальностью отличается северо-восток Западной Сибири, где разности средних температур января и июля достигают 45° [3].

Реки Западной Сибири принадлежат бассейну Карского моря.

Река *Обь* образуется при слиянии рек Бия и Катунь, берущих начало на Алтае, и впадает в Обскую губу Карского моря. Площадь бассейна Оби 2990 тыс. км². Почти 85 % территории бассейна находится на Западно-Сибирской равнине, юго-восточная часть бассейна принадлежит горам Южной Сибири (Алтай, Кузнецкий Алатау, Салаирский кряж и Горная Шория). В лесной зоне, до устья Иртыша, Обь принимает свои основные притоки: справа – реки Томь, Чулым, Кеть, Тым, Вах; слева – реки Парабель, Васюган, Большой Юган и Иртыш. Наиболее крупные реки Западной Сибири – Надым, Пур и Таз – берут свое начало на Сибирских Увалах.

Бассейн Оби отличается разнообразием физико-географических условий: от полупустыни на юге, до тундры на севере. Значительная часть бас-

сейна представляет леса и болота. По характеру речной сети, условиям питания и формирования водного режима река Обь делится на 3 бассейна: верхний (до устья Томи), средний (до устья Иртыша) и нижний (до Обской губы).

Питание преимущественно снеговое. За период весенне-летнего половодья река проносит основную часть годового стока. В верхнем течении половодье начинается с начала апреля, в среднем – со второй половины апреля, а в нижнем – с конца апреля – начала мая. В верхнем течении половодье заканчивается в июле, летняя межень неустойчива, в сентябре – октябре наблюдается дождевой паводок. В среднем и нижнем течении спад половодья с наслаивающимися дождевыми паводками продолжается до ледостава. Средние расходы увеличиваются от 1470 м³/с у г. Барнаула до 12300 м³/с у г. Салехарда, максимальные расходы соответственно достигают 9690 м³/с – 42800 м³/с [4].

1.2 Существующие воззрения на изменение влагозапасов среди гидрологов и постановка задачи исследования

Изменение запасов воды в почвогрунтах определяется по данным наблюдений за влажностью почвогрунтов верхнего метрового слоя на агрометеорологических станциях, на воднобалансовых станциях и пунктах опорной и массовой агроводнобалансовой сети. Запасы влаги в зоне аэрации ниже метрового слоя почвогрунтов обычно не измеряются. Наибольший интерес для расчетов текущих водных балансов представляют наблюдения за влажностью почвогрунтов на участках с естественными видами ландшафта (луг, целина, лес и т. д.), занимающих для большинства речных бассейнов преобладающую часть площади водосбора.

Влажность почвы на агрометеорологических станциях измеряется на участках, которые заняты определенными сельскохозяйственными культурами. Данные измерений из-за неодинаковых водно-физических свойств поч-

вогрунтов для разных полей являются неоднородными и несравнимыми в многолетнем разрезе.

Расчет средних для водосборов значений влагозапасов обычно не производится из-за различия режима влажности для всех типов почв, видов естественных угодий и сельскохозяйственных полей: недостаточно исходной информации.

При составлении текущих водных балансов средневзвешенное значение влагозапасов и их изменений определяется с учетом различия во влажности почвогрунтов только для леса, луга и сельскохозяйственных угодий (как среднее арифметическое из данных для всех полей) [6].

При составлении водного баланса определяют невязку (ΔU), как остаточный член уравнения

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

где X – осадки;

Q – сток;

E – испарение.

Остаточный член уравнения (1) включает такие неучтенные элементы баланса, как «горизонтальные» осадки, изменение запасов воды в биомассе, в понижениях на поверхности водосбора, в почвогрунтах зоны аэрации ниже верхнего метрового слоя и т. д., а также погрешности при определении элементов баланса [6]. Величина $\pm \Delta U$ принимает различные значения для речных бассейнов разных природных зон с неодинаковыми размерами, степенью и надежностью гидрометеорологической и гидрогеологической информации. Кроме того, значения $\pm \Delta U$ для одного и того же речного бассейна различаются по месяцам, сезонам и годам; с увеличением расчетного интервала времени они, как правило, уменьшаются.

Рассмотренное уравнение (1) справедливо для замкнутых бассейнов, гидрографическая сеть которых, полностью дренирует подземные воды,

формирующиеся в пределах бассейна. Для таких бассейнов подземный водообмен с глубокими водоносными слоями, лежащими ниже уровня дренирования, отсутствует или очень мал и не имеет практического значения при расчетах водных балансов.

Значительное число малых рек засушливых районов не дренирует глубоко залегающие подземные воды, в связи с чем измеренный сток Q' формируется, в основном, за счет поверхностного стока и поэтому занижен на величину недренируемой подземной составляющей $Q_{\text{подз}}$, т. е. $Q' = Q_{\text{пов}} = Q - Q_{\text{подз}}$. Для таких речных бассейнов уравнение (1) могут быть использовано лишь в случае включения в них, дополнительно к измеренному стоку Q' , составляющей $Q_{\text{подз}}$. Приблизительно, величина $Q_{\text{подз}}$ может быть рассчитана [6] по разности значений общего речного стока Q соседней, средней по величине реки, полностью дренирующей подземные воды, и стока данной малой реки Q' . Если величина $Q_{\text{подз}}$ не включена в уравнение (1) в явном виде, то она будет входить соответственно в остаточный член $\pm\Delta U$.

Согласно исследованиям О. И. Крестовского [7], невязки среднемноголетних годовых водных балансов восьми замкнутых бассейнов на Валдае имеют положительные или отрицательные знаки и составляют 4–25 мм, или 1–3 % от значения годовых осадков. Небольшие знакопеременные значения невязок водных балансов позволили ему сделать заключение о правомерности принятой методики измерений и расчета годовых значений элементов водного баланса.

Распределение значений невязок водных балансов, рассчитанных за отдельные годы, имеет в основном симметричный вид, что указывает на случайность их значений и знака. В 67 % случаев расчета невязка не превышает 43 мм, а в 85 % случаев – 66 мм или соответственно 5 и 7 % от годовой величины осадков [7].

Среднемноголетние сезонные значения невязок водных балансов значительно больше их среднегодовых значений. Они имеют переменный знак

для различных сезонов года и изменяются от 1 до 52 мм, или от нуля до 26 % среднемноголетних сезонных сумм осадков [7].

Абсолютные значения невязок балансов за отдельные сезоны почти те же, что и при расчетах за отдельные годы, и не превышают в 67 % случаев расчета 37 мм, а в 85 % случаев –55 мм. Это послужило Крестовскому [7] основанием для вывода о том, что ошибки расчета водных балансов речных бассейнов в основном не зависят от продолжительности расчетного интервала времени (год, сезон, месяц). Однако относительные ошибки (в процентах от суммарных осадков) резко возрастают с уменьшением расчетного интервала времени. Так, относительное значение сезонных (за зиму, весну, лето, осень) невязок баланса в 67 % случаев не превышает 16 %, а в 85 % случаев – 24 % соответствующей сезонной суммы осадков.

Распределение значений невязок сезонных водных балансов обладает несимметричностью: весной и летом преобладают отрицательные невязки, а осенью и зимой – положительные. Асимметричность распределения невязок свидетельствует о наличии систематических погрешностей в определении отдельных элементов баланса за конкретные сезоны. Например, для весны, вероятнее всего, – это недоучет снегозапасов, запасов влаги в промерзшем слое почвогрунтов и торфяной залежи, осадков и завышение испарения [7]. Крестовский объясняет это тем, что по ряду речных бассейнов значения отдельных элементов рассчитывались, в основном, по графикам связи и по аналогии с опорными бассейнами.

В настоящее время у большинства гидрологов укрепилась общепринятая точка зрения, что изменения влагозапасов в почвогрунтах речных бассейнов имеет смысл учитывать только для периодов времени год и менее [8].

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 про-

тяжении 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 систем). С одной стороны, фрактальная диагностика рядов многолетнего стока указывала, что многолетние ряды имеют дробную размерность, превышающую топологическую, равную двум, независимо от того удлиняются ряды или нет (это указывает на то, что роль ΔU не ослабивает 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) [9]. 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).

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 будут решены следующие задачи:

– создана база многолетних данных по приземной температуре и влажности воздуха по 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 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.

2 СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАГОЗАПАСОВ (СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ)

2.1 Существующие способы оценки (аналоги и прототипы)

2.1.1 Метод генетического расчленения гидрографа

Метод генетического расчленения гидрографа предполагает наличие материалов многолетних натурных наблюдений за речным стоком или, в противном случае, требует предварительного проведения гидрологических исследований (расчетов) среднего годового стока рек с последующим расчленением его на генетические составляющие [10].

Ярко выраженный паводочный режим рек в летний период позволяет выразить условия формирования стока территории следующим общим уравнением (по В. К. Ситникову [11]):

$$Y = Y_{\text{подз}} + Y_{\text{пав}}, \quad (2)$$

где Y – норма общего речного стока;

$Y_{\text{подз}}$ – норма подземного питания (стока) рек;

$Y_{\text{пав}}$ – норма паводочной составляющей стока рек.

Равенство (2) в общем виде отвечает условиям формирования речного стока, главным образом, в высотных зонах. Подземный сток составляет общий и наиболее устойчивый во времени фон водного режима рек, на который накладывается летне-осенняя волна паводочного стока, требующего, как правило, конкретного анализа и расчленения на составляющие применительно к различным высотным зонам речных бассейнов. Паводочная составляющая стока рек может быть подразделена на поверхностную, или склоновую, и подземную, или, как ее еще называют, подповерхностную, составляющие,

количественное соотношение которых в каждом конкретном случае будет определяться геолого-гидрологическими и морфологическими условиями речных водосборов [10].

Выявление поверхностной составляющей становится возможным только на небольших бассейнах и в ограниченный по времени период весеннего снеготаяния, когда талые воды вместе с атмосферными осадками сбрасываются в реки по еще промерзшей поверхности водосбора.

Выделение основного подземного питания на гидрографах стока рек можно производить по методу Ф.А. Макаренко [12]. По этому методу главный вопрос о репрезентативности родников решается путем построения графических связей между их дебетами и уровнями воды в скважинах, как наиболее объективных показателей режима подземных вод в речных бассейнах.

Как известно, показателем основного грунтового питания рек может служить водообильность рек в первые зимние месяцы (ноябрь и декабрь), сток которых отражает естественный режим истощения запасов подземных вод в бассейне с переходом рек на чисто грунтовое питание.

2.1.2 Прямой метод (измерение влагозапасов почвы)

Возможности использования измеренных влагозапасов почвы весьма ограничены, что связано, прежде всего, с малой численностью пунктов, в которых измеряется влажность почвы.

Влагозапасы почвы, кроме погодных и почвенных условий, а также рельефа местности, зависят от вида растительности и биологических особенностей режима водопотребления сельскохозяйственных культур в течение вегетации [13].

Точность таких измерений также ограничена. Это связано с погрешностями, обусловленными определением влагозапасов в точке, и с погрешностями при экстраполяции полученных данных на прилегающую территорию.

Измерение влагозапасов почвы на отдельных бассейнах (полях) производится, в основном, весовым методом с четырехкратной повторяемостью чаще всего до глубины 1 м. Такая повторность обеспечивает определение влагозапасов почвы отдельного поля или пункта в зависимости от степени его однородности с точностью от 5 до 10 мм, что составляет примерно от 15 до 30 % измеряемой величины [13].

Указанные погрешности возрастают при экстраполяции данных измерений на другие бассейны (поля).

Повышение точности измерения влагозапасов почвы, связанное с увеличением числа повторяемостей измерений в отдельном пункте или увеличением численности пунктов, резко повышает трудоемкость метода, что не всегда приемлемо. Поэтому все большее значение приобретают методы расчета влагозапасов почвы по метеорологическим данным, автоматически усредняющие определяемые влагозапасы по территории [13].

2.1.3 Агрометеорологический метод

Большое внимание методам расчета влагозапасов почвы сельскохозяйственных полей уделяется агрометеорологами. В одних случаях при этом строят локальные эмпирические связи влагозапасов W с температурой воздуха и осадками (с учетом в той или иной мере вида культуры и фазы ее развития), в других эти связи представляются в виде уравнений регрессии, которые иногда, кроме перечисленных факторов, учитывают еще механический состав почвы. Уравнения эти, естественно, локальны, поскольку строятся для заданного вида культуры, фазы ее развития и типа почвы [13].

2.1.4 «Остаточный» метод

К другим методам определения влагозапасов почвы следует отнести расчеты с использованием данных наблюдений на метеостанциях путем определения «взвешенных» осадков с помощью так называемого «остаточного» метода [14].

Расчеты влагозапасов в почве по данным наблюдений на метеостанциях основываются на той же методике, что и расчеты испарения методом А. Р. Константинова. Показано, что с комплексным попарным значением температуры T и влажности воздуха e (с поправкой на инерционность) тесно связаны не только турбулентный теплообмен и испарение, но и радиационный баланс, а, следовательно, и величина испаряемости. Для средних многолетних условий с этими же характеристиками оказались связаны также величины осадков и стока. С этими же величинами оказалось связано и изменение влагозапасов, характеризуемое разностью их начальных и конечных значений за расчетный период времени [15].

Эти связи справедливы для средневзвешенной поверхности окружающей метеостанцию.

Некоторой модификацией этой методики является связь величин T и e непосредственно с влагозапасами метрового слоя почвы W с последующим введением биологической поправки, учитывающей вид сельскохозяйственной культуры и фазу ее развития. Точность графиков этого метода примерно такая же, как и для расчетов W , а отсутствие необходимости знать начальные влагозапасы почвы позволяет делать эту методику более простой и удобной для практического использования [15].

Дальнейшее развитие методов расчета влагозапасов почвы связано с применением «остаточного» метода анализа связей влагозапасов почвы с определяющими факторами. Выявлено, что влагозапасы почвы теснее всего связаны с осадками, временем их выпадения в расчетный период, температурой и влажностью воздуха, биологическими особенностями культур и на-

чальными влагозапасами почвы. Учет этих факторов в виде графических связей, аппроксимируемых разного рода формулами, позволяет вполне надежно рассчитывать средние влагозапасы расчетного слоя.

Учитывая большую изменчивость влагозапасов почвы по площади и разную надежность исходных данных, для получения более достоверных величин влагозапасов почвы целесообразно их рассчитывать двумя–тремя независимыми методами [16].

2.1.5 Метод А. Н. Зелиного

При изучении подземного стока любых территорий большое внимание уделяется вопросу пространственного его распределения. С этой целью проводятся изучения гидрографических характеристик с различными высотными и географическими положениями, с различными площадями. Это позволило выявить зависимость между средней высотой водосборов, мощностью зоны дренирования ($H_{зд}$) в них и средней отметкой русел рек.

Зависимость высотных параметров речных водосборов ($H_{ср}$) и речных русел ($h_{ср}$), которая облегчает методику расчета $H_{зд}$ речных бассейнов, имеет прямое отношение к рассматриваемому вопросу. Пользуясь этой зависимостью можно рассчитать величину $H_{зд} = H_{ср} - h_{ср}$ как среднюю по речному бассейну мощность зоны дренирования (среднюю мощность эрозионного вреза), закономерно изменяющуюся в пределах речных бассейнов.

Особенности пространственного распределения подземного стока (основного грунтового питания рек) хорошо отражаются зависимостью его абсолютных величин (расхода, м³/сек) от объема дренируемых зон в речных бассейнах [17]:

$$V_{зд} = H_{зд}F, \quad (3)$$

где F – площадь речного бассейна, км²;

$V_{зд}$ – объем дренируемой части бассейна, км³.

Зависимость $Q_{п} = f(V_{зд})$ отвечает следующему уравнению:

$$Q_{п} = 0,03556V_{зд}^{0,943} - 0,011, \quad (4)$$

где $Q_{п}$ – норма (средний многолетний расход) основного грунтового питания рек, м³/сек.

Эта зависимость может использоваться для расчета подземного стока неизученных бассейнов в различных высотных зонах и районах и заменить существующие формулы расчета подземного стока, которые применимы только к районам и речным бассейнам, изученным до степени опытных гидрогеологических площадок – полигонов [18].

2.2 Оценка годового изменения влагозапасов балансовым методом. Погрешности определения составляющих водного баланса

Метод водного баланса отражает общий закон сохранения материи и основан на следующем равенстве: для любого объема пространства, ограниченного некоторой произвольной поверхностью, количество воды, вошедшее внутрь этого объема, за вычетом количества воды, вышедшего из него, должно равняться изменению количества воды внутри данного объема. Это равенство справедливо для любого промежутка времени и для любого произвольного взятого пространства, ограниченного замкнутой поверхностью [13].

При рассмотрении водного баланса речного водосбора объемом пространства будет объем, ограниченный вертикальной поверхностью, проходящей по водораздельной линии до первого водоупора, снизу – поверхностью этого водоупора, а сверху – площадью водосбора [13].

При рассмотрении водного баланса речного бассейна с естественным режимом стока для года, в течение которого совершается цикл накопления и расходования влаги на поверхности бассейна, его уравнение записывается в следующем виде:

$$X = Y + E \pm \Delta U, \quad (5)$$

- где X – атмосферные осадки, выпавшие на водосбор, мм;
 Y – слой речного стока в замыкающем створе, мм;
 E – суммарное испарение с водосборного бассейна, мм;
 ΔU – изменение запасов в почвогрунтах, мм.

Уравнение применяется для расчета водного баланса средних и больших бассейнов, имеющих полное грунтовое питание. В малых бассейнах грунтовые воды в зависимости от глубины эрозионного вреза реки могут поступать в русловую сеть лишь частично, а в некоторых случаях вовсе не поступать, выклиниваясь за пределами этого речного бассейна в русловую сеть более крупной реки.

Значения и знак ΔU в уравнениях изменяются в зависимости от степени накопления или расходования запасов подземных вод за год. В засушливые годы запасы подземных вод будут уменьшаться вследствие расходования части их на речной сток и испарение. Во влажные годы, наоборот, часть осадков пойдет на пополнение запасов подземных вод. Поэтому для среднего многолетнего периода, включающего в себя засушливые и влажные годы, абсолютное значение изменения запасов подземных вод (ΔU) равно нулю (излагается общепринятая точка зрения).

Элементы водного баланса

Осадки

Осадки являются одним из основных гидрометеорологических элементов. Точное определение количества осадков, их вида, происхождения, а

также распределения во времени и в пространстве, обуславливает надежность воднобалансовых расчетов.

Для анализа гидрологических процессов и производства расчетов используются все виды измерений осадков, например, осадкомерами, с помощью пювниографов, измерения осадков суммарными осадкомерами (в основном, в горных районах) и т. д. [13].

Погрешности измерения осадков

Исследования показали, что измеренные количества осадков всегда меньше действительно выпавших [19]. Ошибки измерения осадков складываются из трех основных погрешностей.

«До 1965 г. не учитывались потери осадков на смачивание осадкомерного сосуда. Для осадкомеров, применявшихся в СССР, эти потери составляют 0,2 мм при каждом измерении жидких осадков и 0,1 мм при каждом измерении твердых осадков. Второй источник ошибок – это погрешности на ветровой недоучет. Эти потери образуются вследствие искажения поля воздушного потока вокруг прибора и не улавливания части осадков, особенно мелкокапельных и твердых. Третий источник ошибок – потери на испарение из осадкомерного сосуда в промежутках между моментами выпадения и измерения осадков» [13].

Кроме основных, имеются и некоторые другие источники погрешностей измерения осадков. Например, в северных районах и бассейнах с интенсивными метелями в осадкомеры попадает снег, поднимаемый ветром с поверхности снежного покрова. При измерении этот снег невозможно отделить от истинных осадков. На суточных значениях количества осадков может сказаться то, что при сильном ветре крупные капли дождя падают по косым линиям, ударяясь о внутренние стенки, капли разбрызгиваются, и часть их выносятся ветром из прибора.

Введение поправок

Сведения об осадках могут быть получены из таблиц ТМ-1 и ТМ-14, составляемых метеорологическими станциями, метеорологических ежеме-

сячников, метеорологических ежегодников, материалов стоковых станций, изданий «Ливни и ливневые дожди» [5].

До 1951 – 1953 гг. на территории СССР измерение осадков производилось дождемером с защитой Нифера, затем в качестве сетевого прибора был принят осадкомер Третьякова. Различия в показаниях этих приборов для твердых осадков на большей части территории составляют от 10 до 20 % суммы осадков по дождемеру. Суммы жидких осадков, измеренные дождемером и осадкомером, различаются на 2 – 5 %. Вследствие этого ряды наблюдений по дождемеру и осадкомеру для жидких осадков принимаются однородными [19].

Для периодов с твердыми и смешанными осадками данные наблюдений по дождемерам Нифера приводятся к показаниям осадкомеров Третьякова. Приведение осуществляется умножением количества осадков, измеренного дождемером Нифера, на коэффициент K , значения которого определены для каждой станции из параллельных наблюдений по дождемеру и осадкомеру и опубликованы в [5] (приложение к разделу 2). Поправочные коэффициенты зависят от среднемесячной скорости ветра на высоте флюгера и степени защищенности метеорологической площадки от ветра.

Начиная с 1965 г., поправки на смачивание, учитываются при измерении осадков и, начиная с этого года, опубликованные суммы осадков исправлены на смачивание. В количество осадков, измеренных до 1965 года, необходимо вводить поправку.

Используется упрощенный «способ» учета влияния ветра, потерь на смачивание и испарение. По этому способу суммы осадков за конкретные месяцы, измеренные с помощью осадкомера или приведенные к его показаниям, умножаются на сумму трех коэффициентов, рассчитанную по формуле:

$$K_1 = K_2 + K_3 + E, \quad (6)$$

где K_1 – поправка на смачивание;

K_2 – среднее многолетнее месячное значение коэффициента, учитывающего влияние ветра на осадки;

K_3 – поправка на смачивание осадкомерного ведра;

E – поправка на испарение в долях.

Влияние факторов подстилающей поверхности на распределение осадков по территории

Наиболее существенное влияние на неравномерное распределение количества осадков по территории оказывают рельеф, характер растительности, наличие крупных водных объектов и удаленность, открытость района по отношению к океану [13].

Влияние рельефа заключается в том, что с повышением местности количество осадков обычно увеличивается. Даже небольшие возвышенности вызывают увеличение осадков по сравнению с окружающей равнинной территорией. Возвышенности вызывают или усиливают восходящие токи воздуха, который при подъеме охлаждается, водяной пар, имеющийся в воздухе, при этом конденсируется, и создаются благоприятные условия для выпадения осадков. В горных системах наряду с высотой на распределение осадков влияет еще и экспозиция склонов и защищенность территории. Склоны, обращенные к влагоносным ветрам, получают большее количество осадков, чем склоны, противоположной экспозиции.

Характер растительности, например леса, сказывается на количестве осадков в двух направлениях. С одной стороны, лес создает повышенную шероховатость и тормозит движение нижних слоев воздуха. «При этом в верхних слоях, обладающих большей скоростью, возникают восходящие токи, способствующие конденсации водяного пара и выпадению осадков. С другой стороны, значительное количество осадков задерживается кронами деревьев и затем частично испаряется, не достигнув поверхности земли. В результате количество осадков на площадях, занятых лесом, отличается от количества осадков на соседних безлесных участках. Степень влияния этих факторов различная в разных зонах и зависит от вида и густоты насаждений.

Поэтому при определении средних слоев осадков на площадях, частично залесенных, необходимо учитывать степень залесенности» [19].

Что касается водоемов, то выяснено [19], что над крупными водоемами выпадает меньшее количество осадков. Это объясняется тем, что происходит уменьшение турбулентности воздушных потоков над водоемами из-за малой шероховатости поверхности. Из-за ограниченных сведений о слоях осадков на водоемах обычно используются данные прибрежных станций.

Методы вычисления средних по площади слоев осадков

Средний слой осадков может быть определен одним из следующих методов: среднего арифметического, взвешивания по площадям, квадратов, изогьет, взвешивания по корреляции осадков со стоком [13, 19].

а) Метод среднего арифметического. Средний слой осадков x получается как результат деления суммы осадков по всем метеостанциям $\sum x_i$ принятым для расчета, на число этих станций n :

$$x = \sum x_i / n. \quad (7)$$

Этот метод дает хорошие результаты при подсчете средних слоев осадков для равнинного рельефа, равномерных распределений осадков и размещения метеорологической сети. В горных районах метод может давать значительные ошибки.

Основные преимущества метода заключаются в его простоте и малой трудоемкости.

б) Метод взвешивания по площадям. Вычисление среднего по площади слоя осадков производится с учетом площадей. Для выделения полигонов, тяготеющих к метеорологическим станциям, соседние станции на схеме соединяются прямыми линиями, через середины которых проводят перпендикуляры до их пересечения. Сумма осадков, зафиксированная центральной станцией, относится ко всей площади полигона. Площади f_i , относящиеся к

каждой станции, выражаются в долях от общей площади бассейна. Средневзвешенная сумма осадков вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (8)$$

где \bar{x} – средневзвешенная сумма осадков, мм;
 x_1, x_2, \dots, x_n – осадки, относящиеся к каждой станции, мм;
 f_1, f_2, \dots, f_n – площади, относящиеся к каждой станции, км².

Результаты, получаемые способом взвешивания, более точные, чем при арифметическом осреднении, особенно для случаев неравномерного распределения осадков. Но метод имеет недостаток: вес каждой станции (доля общей площади, приходящаяся на данную станцию) должен быть пересчитан при изменении числа станций в бассейне.

в) Метод квадратов. При вычислении среднего слоя осадков этим методом площадь водосбора на схеме разбивается на сеть равновеликих квадратов, размеры которых устанавливаются в зависимости от густоты метеорологической сети. Для каждого квадрата вычисляется средний слой осадков по показаниям всех станций, расположенных в его пределах. Если метеорологическая станция расположена на границе двух квадратов, то сумма осадков относится к обоим квадратам. Если в квадратах отсутствуют метеорологические станции, средние суммы для таких квадратов устанавливаются по интерполяции между соседними станциями или квадратами.

Средняя для площади сумма осадков x получается делением суммы средних значений осадков для всех квадратов $\sum x_i$ на число квадратов m .

г) Метод изогиев. На карте с нанесенными у станции суммами осадков проводятся изогиевы – линии равных количеств осадков. Необходимо, чтобы на карте проходило не менее пяти изогиев.

При построении изогиев производится интерполяция сумм осадков между соседними станциями. В случае равнинного рельефа принимается, что

изменение сумм осадков между соседними станциями происходит равномерно. В горных местностях при построении изогий учитываются региональные зависимости суммы осадков от высоты.

При построении карты изогий для вычисления среднего по площади слоя осадков необходимо предварительно определить площади, заключенные между соседними изогиями.

Способ изогий дает непосредственное распределение осадков по территории, в чем и заключается преимущество метода. Точность его зависит от плотности расположения пунктов наблюдений и равномерности распределения осадков. Хотя это метод относится к наиболее трудоемким методам.

Выбор метода расчета средних слоев осадков производится в каждом конкретном случае и определяется целью использования результатов, техническими возможностями, густотой метеорологической сети и характером распределения осадков по территории [6].

Испарение

Разнообразие природных условий, в которых протекает процесс испарения с поверхности суши, обусловили разработку большого числа различных методов его расчета, основанных на использовании уравнений водного и теплового баланса и закономерностей переноса влаги от испаряющей поверхности в атмосферу [19].

Результаты расчета испарения зависят не только от метода и его точности вычисления, но и от корректности его применения и правильности определения исходных данных. В расчетах используются материалы как непосредственных, так и обобщенных наблюдений гидрометеорологических станций за осадками, стоком, скоростями ветра, температурой и влажностью воздуха, радиационным балансом, влажностью почвы и глубиной залегания подземных вод [6].

Значения испарения могут иметь фоновый или региональный характер. Результаты расчета фоновых значений испарения, как правило, распространяются на половину расстояния между соседними гидрометеорологическими

станциями. Рассчитанные региональные значения испарения на такое же расстояние распространяются в случае определения испарения с поверхности снежного покрова.

Чем меньше продолжительность расчетного интервала времени, тем меньше площадь, на которую распространяются результаты вычислений. В качестве расчетного интервала времени при расчете испарения чаще всего принимается год, месяц.

Расчетные методы не рекомендуются для горных районов, с отметками высот более 1000 – 1500 м. Особенностью оценки испарения в горах является необходимость учета вертикальной поясности, экспозиции, крутизны склонов, изменения по высоте осадков, радиации, стока, температуры и влажности воздуха [20].

Способы расчета испарения с поверхности суши

а) Расчет по карте испарения. Карта изолиний испарения предназначена для определения нормы годового испарения с зональных площадей, в среднем 6000–7000 км² (от 3300 км² на широте Таймыра до 9900 км² на широте Кушки). Карта испарения построена в ГГИ на основе уравнения водного баланса для суши по разности норм годовых сумм атмосферных осадков и нормы годового стока рек. При построении карты учтен водообмен с подземной составляющей для тех речных бассейнов (территорий), где этой составляющей водного баланса пренебречь нельзя [20].

Погрешность снимаемых с карты значений испарения для большей части равнинной территории РФ составляет 15 %. Для горных и северных районов погрешность возрастает до 20 %, а для некоторых слабоизученных частей этих районов может достигать 40 % [20].

б) Расчет испарения по температуре и влажности воздуха (метод А. Р. Константинова) [14]. Метод может быть использован для расчета годовых значений испарения и нормы годового испарения с площади, прилегающей к метеорологической станции, в несколько квадратных километров, т. е. с той площади, под влиянием которой формируется температура и влажность

воздуха. Расчетная схема разработана Константиновым на основе теории турбулентной диффузии и дана в виде номограммы, с помощью которой по температуре и влажности воздуха определяется значение испарения.

Для расчета этим методом вначале должны быть выбраны опорные метеорологические станции, материалы, наблюдения которых репрезентативны для данной испаряющей поверхности. Под репрезентативностью понимается согласие сезонного хода температуры и влажности воздуха на территории, расположенной в непосредственной близости от метеостанции, со средним ходом этих элементов для большей территории, включающей различные уголья, леса и водоемы.

Метеорологические станции, расположенные вблизи водоемов, являются нерепрезентативными для определения испарения с суши. «Для расчета испарения с поверхности суши должны использоваться данные тех метеорологических станций, которые удалены от водоемов примерно на следующие расстояния: от реки – на расстояние, превышающее ширину реки не менее чем в пять раз; от водоема шириной до 1 км – на расстояние, превышающее его ширину; от водоема шириной в несколько километров – на расстояние более половины его ширины; от больших водоемов – на расстояние около $1/3$ ширины водоема. Влияние Азовского, Каспийского и Черного морей на температуру и влажность воздуха распространяется на прибрежную зону шириной до 150 км» [14].

В зоне избыточного увлажнения, где испарение с суши близко к испарению с водной поверхности, влияние водоема на репрезентативность показаний метеорологических станций уменьшается. В связи с этим размеры зоны, подверженной влиянию водоема, уменьшаются примерно от двух до четырех раз.

Для получения среднего испарения с водосборного бассейна при равномерном распределении метеорологических станций по площади бассейна применяют среднеарифметический метод. При неравномерном – метод средней взвешенной с учетом доли площади бассейна, относящейся к соответ-

вующей метеорологической станции, аналогично определению средних осадков для бассейна [6].

в) Уравнение связи М. И. Будыко. Этот метод может быть использован для расчета нормы годового испарения при условии естественного увлажнения территории. Условия естественного увлажнения учитываются в формуле количеством осадков, а различия в свойствах подстилающей поверхности (леса, кустарники, пастбища, поля и другие угодья) – значением радиационного баланса [15].

По своей сути уравнение связи М. И. Будыко представляет собой среднее геометрическое значение из величин, соответствующих уравнениям Э. М. Ольдекопа и П. Шрейбера, и имеет следующий вид:

$$E_0 = \sqrt{\frac{R_0 x_0}{L} \left(1 - e^{-\frac{R_0}{x_0 L}} \right) \operatorname{th} \frac{X_0 L}{R_0}}, \quad (9)$$

где E_0 – норма годового испарения, мм/год;

R_0 – средний годовой радиационный баланс увлажненной поверхности, ккал/(см² год);

x_0 – норма годовых осадков, мм/год;

L – удельная теплота парообразования (скрытая теплота испарения), ккал/г;

e – основание натурального логарифма.

Расчет нормы годового испарения производится отдельно для каждой метеорологической станции по номограмме, составленной по уравнению.

Необходимые для расчета исходные данные определяются следующим образом: норма годовых осадков устанавливается по данным наблюдений на метеорологических станциях, опубликованным в [5]; средний радиационный баланс увлажненной поверхности R_0 определяется по карте изолиний, составленной в ГГО Н. А. Ефимовой.

Результаты вычислений по одному пункту распространяются на прилегающую территорию, размеры которой определяются радиусом действия принятых в расчет осадков и радиационного баланса. При соблюдении условий репрезентативности пункта наблюдений по виду поверхности и высоте местности над уровнем моря результаты вычислений могут быть распространены на территорию в радиусе от 10 до 30 км, т. е. могут быть распространены на площадь порядка от 1000 до 3000 км² [15].

Погрешность расчета нормы испарения по этому методу составляет около 20 % [15].

Сток

Речной сток – объем воды, прошедшей через определенный створ в единицу времени. Он объединяет поверхностный сток, который образуется в результате осадков и снеготаяния, и подземный сток, который формируется за счет грунтовых вод.

Сток, является, прежде всего, продуктом климата и влияет на формирование рельефа, геохимические процессы в земной коре, развитие почвенного покрова, распределение растительности и т. п. В свою очередь, значения и режим стока зависят от количества и режима осадков, испарения, температурных условий, характера рельефа и геологического строения, почвенного покрова и растительности территории [20].

Образующая сток доля атмосферных осадков, которая не была израсходована на испарение и потребление растениями, находится в обратной зависимости от значения средней температуры приземного воздуха. На равнинах максимум стока наблюдается, как правило, в наиболее увлажненных лесных зонах на западных и восточных побережьях материков. В горах сток возрастает до определенной высоты в основном на склонах хребтов, обращенных к влажным воздушным потокам.

Численные значения стока в течение какого-либо периода времени (года, сезона, месяца и т. п.) выражается высотой слоя стекшей воды (в мм), суммарным объемом, средним расходом, модулем стока, модульным коэф-

фициентом стока, суммарным объемом стока (в м³). Суммарный объем стока обычно определяется графически, путем построения гидрографа – графика изменения во времени t расходов Q за год.

Слой речного стока определяется по ежедневным расходам воды в замыкающем створе.

Определение суммарных влагозапасов речных бассейнов

Все перечисленные выше методы определения влагозапасов являются скорее их индикаторами, и не могут использоваться для определения суммарных многолетних их изменений. Единственным способом, который можно применить для этой цели, является остаточный метод, который использует балансовое уравнение (5). В нем величина $\pm \Delta U$ рассматривается как остаточный член. Однако он принимается во внимание, если его значение превосходит погрешность вычислений, определяемой формулой

$$\delta_{\Delta U} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \delta_i^2}, \quad (10)$$

(здесь δ_i – среднеквадратические погрешности вычисления осадков, стока и испарения). 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 %. Применение подобного метода требует, чтобы испарение, входящее в формулу (5), определялось независимым от Q и X способом. Таковым может служить полуэмпирический метод, предложенный профессором А. Р. Константиновым. Он основан на теории турбулентной диффузии, причем для его реализации необходимы данные стандартных наблюдений за температурой (T) и влажностью воздуха (e) на метеорологической сети станций. Этот метод получил общее признание гидрологов.

Необходимо отметить, что часто под изменением запасов воды в почвогрунтах понимают эти изменения в метровом слое зоны аэрации, который важен в агрометеорологии. В нашем случае это «остаточный член», характеризующий суммарное изменение запасов воды по бассейну (главным образом в почвогрунтах зоны аэрации, хотя и не только в метровом слое [9]).

2.3 Формирование базы данных для вычисления изменения влагозапасов и выполнение статистических оценок для территории России

2.3.1 Осадки

Информация по осадкам была взята из [21]. Данные были пересчитаны для центров водосборов расчетных постов на период с 1951 по 1980/88 года. Хотя базы данных по суммарным годовым осадкам распространяются по 2004 год, используемые ряды были ограничены 1980/88 годом по аналогии с рядами по стоку. Ряды наблюдений для некоторых постов представлены в Приложении Б.

Ряды осадков были статистически обработаны: рассчитаны средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, а также коэффициент автокорреляции, первый, второй, третий начальные (a) и центральные (m) моменты, коэффициент эксцесса, дисперсия, среднеквадратическое отклонение (Приложение Б, в качестве примера представлена таблица 1).

Вычисление статистических характеристик производилось по следующим формулам [22].

– Среднегодовое значение характеристики и ее среднеквадратическое отклонение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}, \quad (11)$$

где \bar{X} – среднее многолетнее значение;

X_i – значение за конкретный год;

σ_X – среднее квадратическое отклонение;

n – число членов ряда (продолжительность ряда).

– Коэффициент вариации:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\bar{X}} - 1 \right)^2}{n}}, \quad (12)$$

где C_v – коэффициент вариации;

– Коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\bar{X}} - 1 \right)^3}{n * C_v^3}, \quad (13)$$

где C_s – коэффициент асимметрии;

– Коэффициент автокорреляции:

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{i+1} - \bar{X}_1)(X_i - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (X_{i+1} - \bar{X}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (X_i - \bar{X}_2)^2}}, \quad (14)$$

где $r(1)$ – коэффициент автокорреляции при годовой сдвиге.

Таблица 1 – Статистические характеристики рядов осадков (р. Колпь – п. Верхний Двор)

№	Река	Пост	Широта	Долгота	F , км ²
39	Колпь	Верхний Двор	59.57	35.73	3160

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	36	36	36	36
Ср.зн.	712	428	25	259
ско	101.3	40.5	74.9	65.3
Дисп.	10271	1642	5612	4263
К-т вар.	0.14	0.09	2.97	0.25
К-т асим.	0.39	0.13	-0.39	0.16
К-т экс.	0.67	-0.95	0.25	-0.15
$a1$	712	428	25	259
$a2$	517085	184938	6091	71088
$a3$	382853413	80563105	262486	20582140
$a4$	289088505411	35390736127	106985068	6244025031
$m2$	10271	1642	5612	4263
$m3$	410519	8866	-165873	44629
$m4$	386904895	5536839	102520139	51740223

Погрешности	E	ΔU	Y
Cs/Cv	1.41	-0.13	0.64
$r(1)$	0.06	-0.35	0.27
ср.зн.	2	50	4
Cv	12	23	13
Cs	308	-325	263

Год	Y , м ³ /с	Y , мм	X , мм	T , град	e , мбар	E , мм	ΔU , мм
1951	24.1	240	579	3.0	7.6	449	-110
1952	32.5	324	848	2.8	7.4	438	86
1953	29.3	292	713	2.7	7.4	437	-17
1954	23.9	238	805	3.0	7.6	447	120
1955	40	399	798	1.7	6.9	395	5
1956	26.4	263	755	1.0	6.6	364	128
1957	31.9	318	898	3.4	7.8	468	112
1958	28.8	287	747	1.6	6.8	389	71
1959	24.4	243	655	2.5	7.3	425	-13
1960	18.4	183	651	2.0	7.1	406	61
1961	32.1	320	798	3.3	7.7	461	17
1962	35	349	716	2.2	7.1	413	-46
1963	21.5	214	628	1.2	6.6	371	43
1964	21	209	702	2.3	7.2	416	77
1965	24.4	243	662	1.4	6.8	381	38
1966	41.5	414	877	1.7	6.9	393	70
1967	27.4	273	716	3.5	7.8	469	-27
1968	24.7	246	691	2.1	7.1	409	36
1969	32.1	320	666	1.1	6.6	370	-24
1970	20.3	202	618	2.4	7.3	423	-8
1971	20.4	203	700	2.3	7.2	418	78
1972	13.2	132	457	3.8	8.0	485	-160
1973	12.2	122	686	3.0	7.6	448	117
1974	18.7	186	644	4.0	8.1	496	-38
1975	19.4	193	678	4.3	8.3	509	-25
1976	28	279	583	0.9	6.5	358	-55
1977	28.1	280	728	2.7	7.4	436	12
1978	29.6	295	747	1.3	6.7	379	73
1979	18.5	184	631	2.6	7.4	431	16
1980	20.4	203	683	2.2	7.1	414	65
1981	29.7	296	837	3.7	7.9	480	61
1982	28.8	287	784	3.1	7.6	451	45
1983	29.6	295	991	4.1	8.2	499	197
1984	30.9	308	629	3.4	7.8	465	-144
1985	23.3	232	665	1.5	6.8	386	48
1986	23.9	238	669	2.6	7.4	433	-2

Начальным моментом k -го порядка $m_k[X]$ дискретной случайной величины X называют сумму вида

$$m_k[X] = \sum_i X_i^k p_i, \quad (15)$$

где X_i^k – все возможные значения случайной величины;

p_i – соответствующие им вероятности.

Первый начальный момент $m_1[X]$ называют математическим ожиданием случайной величины X ; характеризует положение центра распределения.

Наряду с начальными моментами рассчитывались центральные моменты случайного процесса μ_i .

Начальные и центральные моменты связаны следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 0, \\ \mu_2 &= m_2 - m_1^2, \\ \mu_3 &= m_3 - 3m_2m_1 + 2m_1^3, \\ \mu_4 &= m_4 - 4m_3m_1 + 6m_2m_1^2 - 3m_1^4. \end{aligned} \quad (16)$$

Дисперсия случайной величины X представляет собой второй центральный момент, т. е.

$$D_X = \mu_2 = M[(X - m_X)^2]. \quad (17)$$

Дисперсия есть математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от математического ожидания.

Дисперсия случайной величины служит мерой ее рассеяния. Она характеризует разброс значений случайной величины около ее математическо-

го ожидания. Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины. Чтобы получить характеристику рассеяния с размерностью случайной величины, используют среднее квадратическое отклонение, равное корню квадратному из дисперсии.

Для описания рассеяния положительных случайных величин использовалась безразмерная характеристика – коэффициент вариации:

$$C_v = \frac{\sqrt{D_X}}{m_X}. \quad (18)$$

Третий центральный момент служит для характеристики асимметрии распределения. Если кривая распределения симметрична относительно математического ожидания, то все центральные моменты нечетного порядка равны нулю.

Как правило, используют не сам третий момент, а его отношение к кубу среднего квадратического отклонения, называемым коэффициентом асимметрии.

Коэффициент асимметрии является безразмерным параметром, и характеризует степень симметричности рассеяния относительно математического ожидания, и определяется по формуле:

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_X^3} = \frac{M[(X - m_X)^3]}{\sigma_X^3}. \quad (19)$$

Четвертый центральный момент служит для характеристики «крутости», т. е. островершинности или плосковершинности распределения. Это свойство описывается с помощью эксцесса [22].

В Приложении Б так же представлены значения погрешностей, которые рассчитывались по следующим формулам [22].

– Абсолютная погрешность выборочного среднего

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma / \sqrt{n}, \quad (20)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение выборки;

n – объем выборки (длина ряда).

– Относительная погрешность выборочного среднего:

$$\varepsilon_{\bar{X}} = \frac{\sigma_{\bar{X}}}{X} 100 = \frac{\sigma}{X\sqrt{n}} 100 = \frac{C_v}{\sqrt{n}} 100\%, \quad (21)$$

где C_v – выборочный коэффициент вариации.

Для расчета абсолютной и относительной погрешностей коэффициента вариации использовались формулы:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v \sqrt{1 + aC_v^2}}{\sqrt{2n}}; \quad (22)$$

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + aC_v^2}}{\sqrt{2n}} 100\%, \quad (23)$$

где, $a = 2$ для нормального распределения и $a = 1$ для трехпараметрического гамма-распределения.

Для оценки погрешности коэффициента асимметрии использовались следующие формулы С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля [22]:

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{(6/n)(1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)}; \quad (24)$$

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{(6/n)(1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} 100\%. \quad (25)$$

Распределение осадков по территории РФ представлено на рисунке 1.

На рисунке 1 прослеживается географическая закономерность в распределении нормы осадков: происходит увеличение нормы осадков с юга на север примерно от 400 до 600 мм. Из закономерности выпадают локальные зоны, в которых значение слоя осадков достигает 1200 мм, расположенные в верховьях рек Обь и Енисей. На Дальнем Востоке под влиянием муссонного климата значения нормы осадков увеличиваются в сторону прибрежных зон.

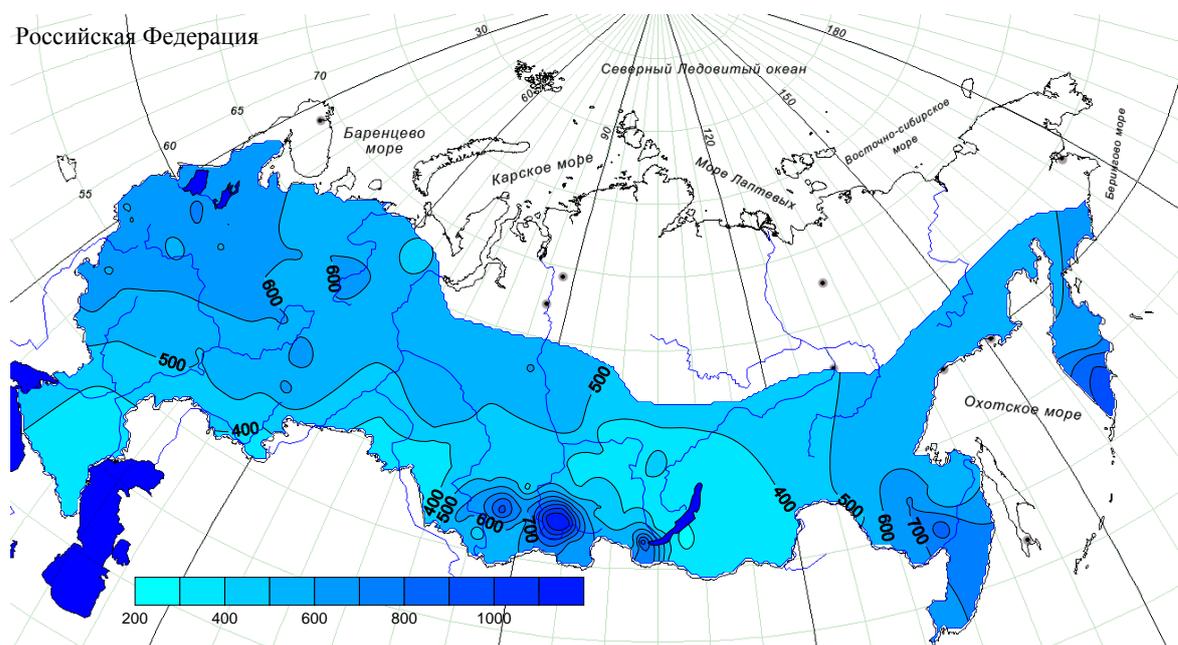


Рисунок 1 – Распределение слоя осадков по территории РФ по Интернет-данным.

Для Европейской части РФ был использован и другой способ получения суммарных годовых осадков. Годовые значения осадков были взяты из метеорологических ежемесячников [23] для нескольких метеостанций на водосборе. Средние слои осадков на водосборе определялись среднеарифметическим методом. Такой метод определения осадков был выбран из-за относительной простоты и нетрудоемкости. Кроме того, он не требует уточнений каждый раз, когда сеть пополняется новой станцией или из нее исключается ранее действовавшая станция. Это весьма актуально, так как ряды слоев

осадков часто имеют пропуски. Кроме того, для метода не нужны площади, к которым тяготеют метеостанции, определение которых весьма затруднительно.

2.3.2 Сток

Информация о среднегодовых расходах воды была взята из [24]. Ряды были при необходимости удлинены и восстановлены методом гидрологической аналогии. В среднем продолжительность рядов варьируется с 1951 по 1980 года для АТР и с 1951 по 1988 года для ЕТР. Некоторые ряды наблюдений представлены в Приложении Б.

Ряды расходов воды были статистически обработаны: рассчитаны средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, а также коэффициент автокорреляции (таблица 2). В Приложении Б для нескольких рядов представлены остальные статистические характеристики: первый, второй, третий начальные и центральные моменты, коэффициент эксцесса, дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

Значение нормы слоя стока изменяется от 2 мм (р. Ишим – д. Викулово) до 920 мм (р. Бухтарма – с. Печи). Средний коэффициент вариации равен 0,29; средний коэффициент асимметрии – 0,44. Среднее значение коэффициента автокорреляции равняется 0,14.

Распределение статистических характеристик рядов слоя стока по территории РФ показано на рисунках 2, 3, 4.

Таблица 2 – Статистические характеристики рядов слоя годового стока

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Паша	Часовенское	354	0,23	0,11	0,00
Ловать	Сельцо	197	0,33	0,70	0,30
Ловать	Холм	217	0,34	0,76	0,29
Кунья	Холм	253	0,33	0,86	0,31
Луга	Толмачево	217	0,28	0,04	0,39

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Луга	Кингисепп	233	0,29	0,36	0,30
Великая	Опочка	266	0,27	0,57	0,33
Великая	Селихново	243	0,26	0,18	0,36
Великая	Гуйтово	213	0,30	0,36	0,35
Сороть	Осинкино	207	0,32	0,30	0,34
Онега	Надпорожный Погост	303	0,34	2,58	-0,26
Свидь	Горки	290	0,24	0,39	-0,02
Волошка	Тороповская	318	0,27	0,38	-0,12
Сухона	Тотьма	272	0,27	0,20	0,15
Сухона	Калкино	276	0,27	0,09	0,20
Юг	Подосиновец	249	0,30	1,19	0,21
Юг	Гаврино	258	0,26	0,60	0,14
Вычегда	Сыктывкар	285	0,15	-0,02	-0,03
Вишера	Лунь	315	0,21	0,90	-0,07
Вымь	Весляна	317	0,21	-1,24	-0,02
Яренга	Тохта	272	0,33	-0,16	0,50
Пинега	Кулогоры	319	0,23	-1,32	-0,11
Мезень	Малонисогорская	353	0,19	-0,73	-0,07
Вашка	Рещельская	312	0,19	0,23	-0,15
Аксай Есау- ловский	Водянский	4	1,13	2,01	-0,08
Валуй	Валуйки	15	0,48	1,10	0,02
Красивая Ме- ча	Сергиевское	293	0,27	-0,42	0,49
Свияга	Ивашевка	78	0,34	0,41	0,11
Сок	Сургут	124	0,29	0,59	0,11
Кондурча	Украинка	83	0,39	0,28	-0,01
Самара	Елшанка	64	0,38	0,87	0,28
Большой Ки- нель	Тимошево	95	0,33	0,11	0,23
Сызранка	Репьевка	97	0,23	0,77	0,11
Тверца	Прутьенька	372	0,37	0,27	0,53
Тверца	.Медное	342	0,32	0,75	0,33
Медведица	Большие Сетки	204	0,29	-0,14	0,27
Молога	Забережье	197	0,29	-0,10	0,37
Молога	Устюжна	225	0,27	-0,36	0,47
Колпь	Верхний Двор	259	0,25	0,16	0,27
Немда	Селище	224	0,30	0,30	0,13
Нея	Буслаево	258	0,31	0,49	0,13
Зуша	Мценск	153	0,25	0,29	0,23

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Угра	Товарково	182	0,25	0,68	0,14
Протва	Загорье	180	0,24	0,25	-0,02
Цна	Княжево	111	0,36	0,97	0,03
Клязма	Павловский Посад	244	0,17	-0,25	0,14
Клязма	Владимир	197	0,25	0,22	0,26
Кама	Волосницкое	82	0,27	0,62	0,32
Сылва	Шамары	265	0,26	0,03	0,18
Белая	Сыртланово	200	0,31	0,37	0,11
Уфа	Красноуфимск	219	0,26	1,05	0,13
Ай	Лаклы	229	0,26	0,33	0,20
Ай	Метели	182	0,27	0,01	0,39
Дема	Бочкарева	113	0,37	0,62	0,43
Сюнь	Миньярово	104	0,36	0,64	0,25
Ик	Нагабайково	121	0,32	0,07	0,34
Чепца	Полом	193	0,26	0,21	0,05
Чепца	Глазов	211	0,22	-0,06	0,01
Быстрица	Шипицино	220	0,26	0,74	0,27
Печора	Якша	504	0,15	0,30	0,03
Печора	Троицко-Печорск	471	0,14	0,37	0,06
Печора	Щугор	493	0,13	0,07	-0,04
Щугор	Мичабичевник	873	0,15	0,24	0,02
Уса	Петрунь	625	–	0,56	-0,02
Уса	Адзьва	546	–	0,85	-0,02
Кожим	Кожим Рудник	737	0,14	0,97	-0,16
Ижма	Усть – Ухта	313	0,15	0,31	-0,03
Ижма	Картайоль	301	0,15	0,30	0,08
Ухта	Ухта	333	0,16	0,31	-0,17
Пижма	Боровая	305	0,15	0,44	0,01
Цильма	Трусово	342	0,17	-0,22	0,16
Днепр	Дорогобуш	219	0,30	0,85	0,25
Днепр	Смоленск	209	0,27	0,98	0,28
Ипуть	Ущерпье	155	0,35	0,80	0,35
Десна	Голубея	188	0,26	0,65	0,23
Десна	Брянск	183	0,26	0,45	0,20
Болва	Псурь	168	0,20	0,03	0,19
Судость	Погар	120	0,32	0,39	0,29
Сейм	Лебяжье	110	0,35	0,22	0,31
Сейм	Рыльск	129	0,28	0,18	0,18
Бия	Бийск	405	0,19	0,80	-0,19
Чуя	Белый Бом	124	0,11	0,75	-0,04
Ануй	Старотыр	170	0,37	0,65	0,14

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Чарыш	Чарышск	291	0,29	0,47	0,13
Иня	Кайлы	83	0,29	-0,24	-0,27
Томь	Междур	342	0,24	2,45	-0,08
Томь	Новокузн	693	0,17	0,48	-0,29
Мрас-Су	Мыски	596	0,23	0,68	-0,16
Кондома	Кузедеево	549	0,23	0,68	-0,34
Шегарка	Бабарыки	52	0,60	0,92	0,17
Чулым	Балахта	219	0,17	-0,01	-0,04
Чулым	Кр,Завод	173	0,19	0,31	0,00
Урюп	Изындае	202	0,21	0,44	0,18
Кия	Мариинск	474	0,18	0,29	-0,16
Чая	Подгорн	93	0,37	0,39	0,53
Парбиг	Веселый	99	0,37	0,25	0,49
Кеть	Макс,Яр	205	0,21	0,44	0,39
Пайдугина	Березовка	247	0,18	0,47	0,51
Кенга	Центральн	100	0,40	0,26	0,47
Васюган	Ср,Вас,	163	0,30	0,50	0,31
Тым	Напас	248	0,21	0,43	0,59
Вах	Лобчинск	295	0,18	0,34	0,54
Тром-Юган	Ермаково	256	0,21	-0,10	0,32
Лямин	ф,Горшк	230	0,18	0,68	0,40
Бол,Юган	Угут	202	0,29	0,48	0,22
Кулунда	Шимолино	153	0,15	0,36	0,38
Чулым	Ярки	15	0,87	1,21	0,23
Каргат	Здвинск	26	0,72	1,06	0,28
Назым	Вершина	125	0,29	0,44	-0,14
Курчум	Вознесен	570	0,29	0,87	0,10
Бухтарма	Печи	932	0,22	0,56	0,07
Бухтарма	Березовки	511	0,22	0,48	0,04
Уба	Шемон	66	0,61	0,56	0,57
Омь	Мартемьян	87	0,66	0,76	0,59
Омь	Куйбышев	101	0,67	0,80	0,46
Омь	Калачинск	6	0,71	0,40	0,48
Тартас	Северное	73	0,56	0,30	0,48
Тартас	Шипицино	56	0,66	1,13	0,45
Тартас	Венгерово	27	0,57	0,28	0,51
Тара	В,Тарка	157	0,52	0,61	0,48
Тара	Мало-Красн	85	0,50	0,67	0,46
Тара	Муромцево	40	0,36	0,83	0,36
Уй	Баженово	276	0,56	0,24	0,20
Ишим	Викулово	2	0,75	1,78	0,39

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	Cv	Cs	$r(1)$
Вагай	Нововыигр	123	0,39	0,65	0,21
Туртас	Нов, Туртас	556	0,35	0,61	0,24
Демьянка	Лымковск	307	0,35	0,94	0,30
Конда	Болчары	44	0,22	0,40	0,22
Сев, сосьва	Няксимволь	305	0,18	0,29	0,11
Сев, сосьва	Сосьва	365	0,18	0,32	0,13
Ляпин	Саранпуль	426	0,15	0,26	-0,05
Лена	Качуг	153	0,21	-0,07	0,33
Лена	Грузновка	141	0,20	-0,25	0,20
Тутура	Грехова	150	0,22	0,05	0,03
Кута	Максим	166	0,20	0,18	0,41
Кута	Ново-Иль	178	0,17	-0,05	0,34
Таюра	Таюра	273	0,31	1,12	0,73
Бол, Тира	Тира	153	0,37	1,02	0,75
Киренга	Шорохово	443	0,13	-0,22	0,05
Пеледуй	Сользав	120	0,20	0,21	0,60
Манзурка	Зуева	92	0,33	0,32	0,63
Заза	Усть-Заза	63	0,71	0,44	-0,11
Конда	Элькисер	28	0,90	0,95	0,04
Юмурчен	Юмурчен	123	0,53	0,34	-0,04
Камчатка	Долиновка	695	0,14	0,10	-0,07
Камчатка	Лазо	588	0,13	0,14	0,01
Камчатка	Козыревск	485	0,12	0,31	0,00
Камчатка	Ключи	559	0,10	0,32	0,01
Тигиль	Тигиль	524	0,09	0,85	0,36
Толбачик	Толбачик	287	0,12	0,50	0,24
Авача	Елизово	904	0,13	-0,11	0,28
Большая	Малки	920	0,17	0,11	0,17
Воровская	Соболево	887	0,22	1,00	0,35
Крутогорова	крутогорова	866	0,17	0,16	0,44
Хайрюзова	Хайрюзова	505	0,19	0,81	0,42
Напана	Седанка	343	0,31	0,56	0,48
Онон	В, Ульхун	95	0,23	0,50	0,08
Онон	Бытэв	85	0,26	0,77	0,04
Кыра	Кыра	154	0,29	0,72	-0,03
Унда	Новоиван	88	0,54	1,40	0,27

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	Cv	Cs	$r(1)$
Ингода	Дешулан	217	0,26	0,52	-0,25
Ингода	Улёты	156	0,26	0,97	-0,06
Ингода	Атаманов	119	0,26	1,03	-0,14
Ингода	Краснояр	90	0,28	1,14	-0,04
Ингода	Нерчинск	98	0,50	0,64	0,15
Чёрная	Сбега	119	0,53	0,97	0,23
Амазар	Амазар	165	0,51	1,38	0,35
Уркан	Заречное	220	0,32	1,13	0,23
Деп	Рычково	274	0,37	0,68	-0,03
Томь	Светилов	180	0,30	0,31	0,15
Бурья	У,-Ниман	474	0,24	0,52	-0,05
Ниман	12км от ус	464	0,30	-0,33	0,03
Тунгуска	Архангел	424	0,33	0,39	0,56
Кур	Новокур	483	0,33	0,24	0,66
Амгунь	Гуга	367	0,28	0,15	0,39
Нимелен	Тимченко	353	0,31	0,18	0,22
Бикин	Звеньевой	378	0,25	0,33	-0,03
Бикин	Тереховка	159	0,41	0,32	-0,27
Ток	Николаевский	474	0,25	-0,14	-0,37
Туюн	3км от уст	422	0,28	0,80	0,25
Ивановка	Ивановка	51	0,72	0,85	0,28
Б,бира	Биракан	370	0,34	0,23	0,31
Б,бира	Биробиджан	427	0,33	0,11	0,30
Сутара	Известковая	307	0,40	0,40	0,51
Манома	Манома	441	0,25	-0,30	0,23
Горин	Бактор	258	0,34	0,27	0,24
Нимелен	Апкороши	442	0,22	0,20	0,15
Бурен	Усть-Бурен	167	0,19	0,56	0,15
Абакан	Абаза	650	0,17	0,72	-0,15
Абакан	Райков	378	0,19	0,28	-0,05
Туба	Бугуртак	805	0,15	0,25	-0,16
Казыр	Пономар	278	0,34	3,64	0,12
Кизир	Имисское	847	0,14	0,17	-0,16
Амыл	Качульск	709	0,18	0,04	-0,07
Мана	Манский	343	0,18	0,06	0,15

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Кан	Ирбейск	354	0,19	0,89	-0,09
Кан	Канск	343	0,20	0,48	-0,05
Кан	Подпорог	255	0,20	0,73	0,00
Агул	Петропав	388	0,18	0,39	-0,16
Бол,Пит	Брянка	292	0,20	0,68	0,05
Кас	Александровский	217	0,25	-1,96	0,26
Сым	факт. Сым	265	0,13	0,01	0,14
Елогуй	пос. Келлог	319	0,14	0,40	0,36
Н,Тунгуска	Подволош	139	0,23	-0,12	0,51
Иркут	Тунка	244	0,14	-0,16	-0,26
Иркут	Тибильти	289	0,16	0,15	-0,08
Иркут	Иркутск	291	0,18	0,45	-0,13
Ия	Тулун	910	0,22	-0,63	-0,43
Илим	Сотникова	144	0,23	-0,98	0,47
Чадобец	Яркино	130	0,21	-0,16	0,13
Мура	Ирба	79	0,31	-0,86	-0,39
Иркинеева	Бедоба	158	0,22	0,57	0,07
Уда	Укар	312	0,17	0,51	-0,29
Бирюса	Биррюсинск	360	0,24	0,98	0,17
Бирюса	Шиткино	286	0,19	0,59	-0,18
Тагул	Геогиевка	413	0,19	0,73	-0,36
Усолка	Троицкое	73	0,26	0,52	-0,02
Турка	Соболиха	270	0,18	0,59	-0,36
Джида	Хамней	133	0,33	0,87	-0,11
Джида	ст. Джида	93	0,47	1,98	-0,03
Чикой	Гремячка	212	0,26	0,51	-0,05
Чикой	Поворот	186	0,24	0,49	-0,23
Хилок	Хилок	83	0,32	0,81	0,06
Хилок	Малета	82	0,33	0,75	0,13
Хилок	Хайластуй	106	0,33	0,83	0,03
Уда	Хоринск	28	0,37	0,40	0,27
Уда	Улан-Удэ	55	0,22	0,50	-0,08
Кудун	Хоринск	270	0,48	1,01	0,69
Курба	Н,Курба	123	0,23	0,57	0,00
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	363	0,29	-0,87	-0,42

Продолжение таблицы 2

Река	Пункт	Характеристика			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Куда	Грановщина	50	0,30	0,18	0,24
Ида	Морозова	41	0,47	0,53	0,15
Зима	Зулумай	391	1,30	4,31	-0,10
Кирей	Уйгат	443	0,11	0,07	0,12
Вихорева	Кобляково	160	0,26	-0,36	0,71
Карабула	Карабула	84	0,24	-0,03	0,02
Уда	Алыгджер	417	0,16	0,10	-0,26
Уда	Широково	251	0,16	0,22	-0,25
Чукша	Савельевка	145	0,23	0,39	0,25
Бирюса	Нерой	371	0,21	0,82	-0,07
Татарка	Татарка	382	0,21	0,47	0,78
Енисей	Тоора-Хем	287	0,22	-1,90	-0,19
Енисей	Сейба	355	0,14	0,28	-0,21
Ус	Усть-Золотая	332	0,18	0,10	-0,08
Оя	Ермаковское	421	0,22	0,17	0,01
Она	М. Анзас	430	0,20	0,06	-0,06
Джебаш	Джебаш	372	0,27	0,30	0,17
Таштып	Таштып	410	0,24	0,73	-0,07
Казыр	Пономарево	866	0,16	0,25	-0,17
Мана	Кой	496	0,15	0,49	-0,02
Кунгус	Ильинка	322	0,23	0,28	-0,02
Б,Пит	Сухой Пит	339	0,19	0,11	-0,05

На рисунке 2 видно, что на территории РФ существуют бассейны, в которых значение слоя стока превышает 900 мм. К таким бассейнам относятся бассейн р. Печоры, бассейн верхнего течения р. Енисея, бассейны рек Сахалинского полуострова.

На рисунке 3 показано распределение коэффициента вариации слоя стока по РФ. На большей территории ряды стока имеют коэффициент вариации от 0,2 до 0,4. На юге ЕТР коэффициент вариации достигает значений 0,8 и больше. Подобные значения коэффициента вариации можно наблюдать в верховьях рек Обь, Енисей.

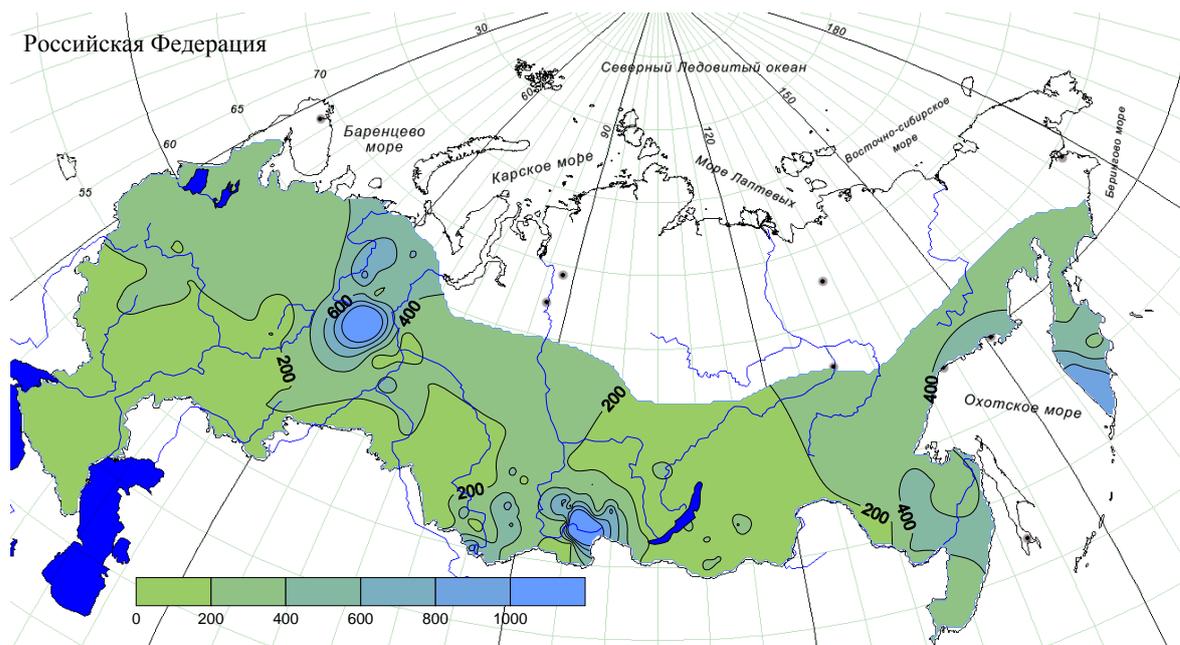


Рисунок 2 – Распределение слоя стока по территории России.

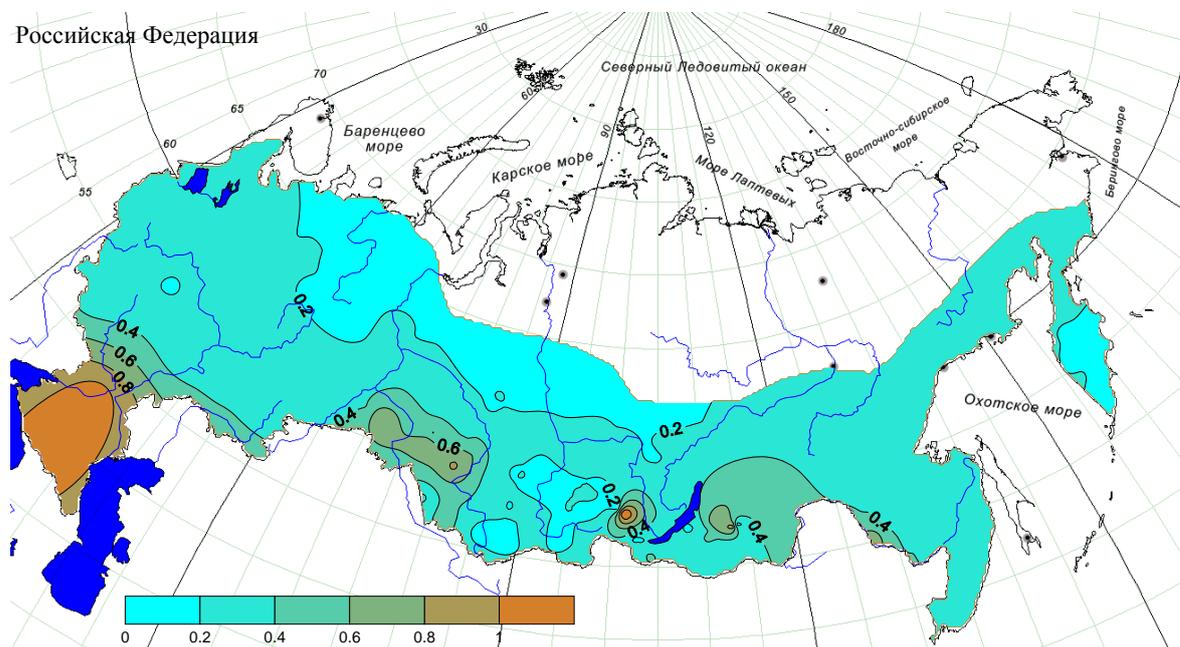
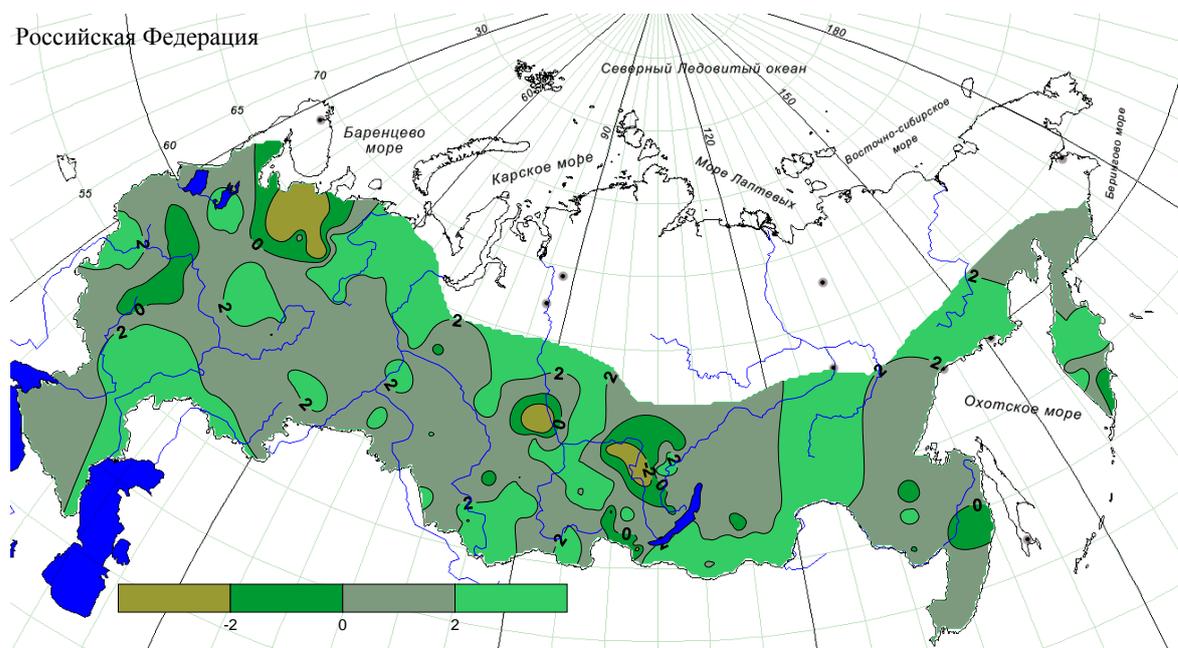


Рисунок 3 – Распределение коэффициента вариации слоя стока по территории РФ.

Карты распределения коэффициента асимметрии не строят из-за больших ошибок определения этого коэффициента. На рисунке 4, *a* представлено

распределение соотношения коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии. При более грубом районировании получается распределение представленное на рисунке 4, б.

а)



б)

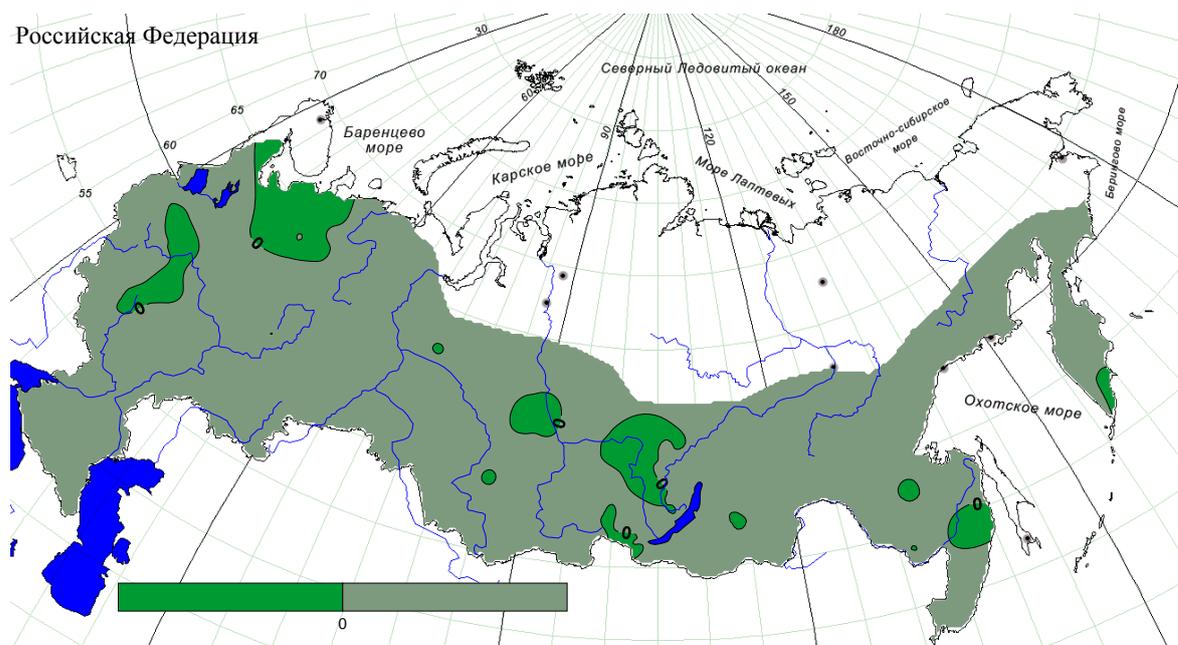


Рисунок 4 – Распределение соотношения коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии (а), районирование соотношения (б) по территории РФ.

2.3.3 Испарение

Для определения изменения суммарных влагозапасов остаточным методом надо испарение, входящее в уравнение водного баланса, определять независимым от Q и X способом. Таковым может служить полуэмпирический метод, предложенный профессором А. Р. Константиновым. В его основе лежит теория турбулентной диффузии. Для реализации этого метода, который получил общее признание гидрологов, необходимы данные стандартных наблюдений за температурой (T) и влажностью воздуха (e) на метеорологической сети станций. Номограмма Константинова показана на рисунке 5.

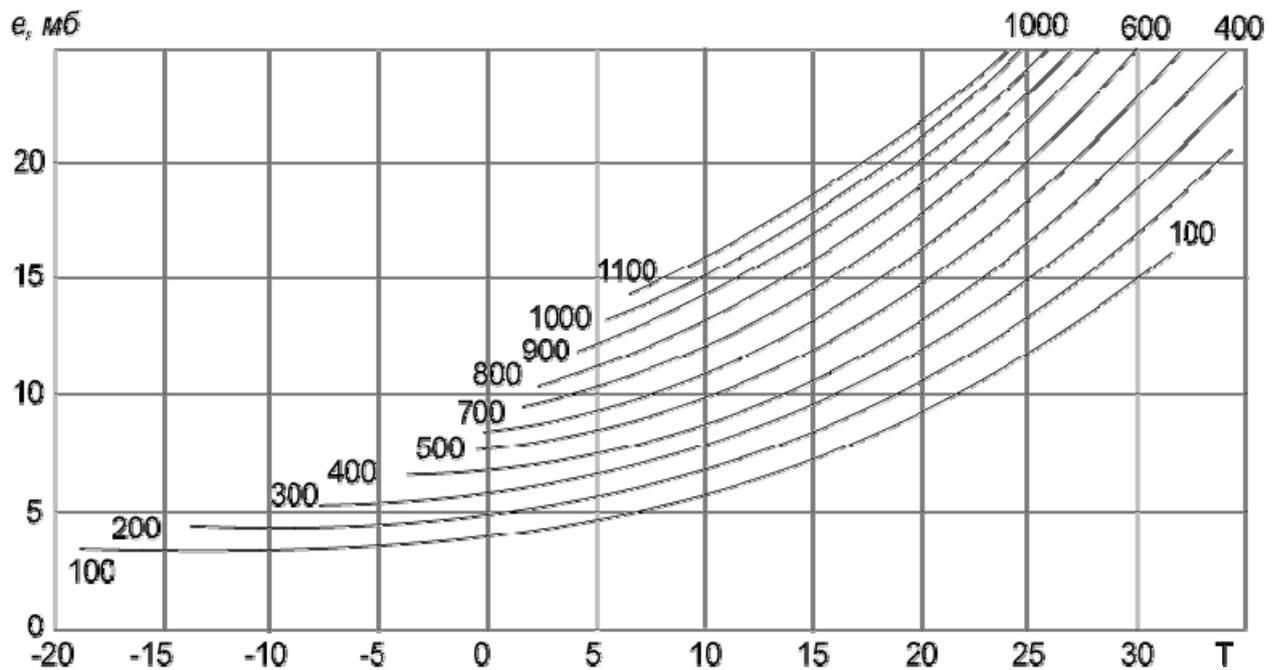
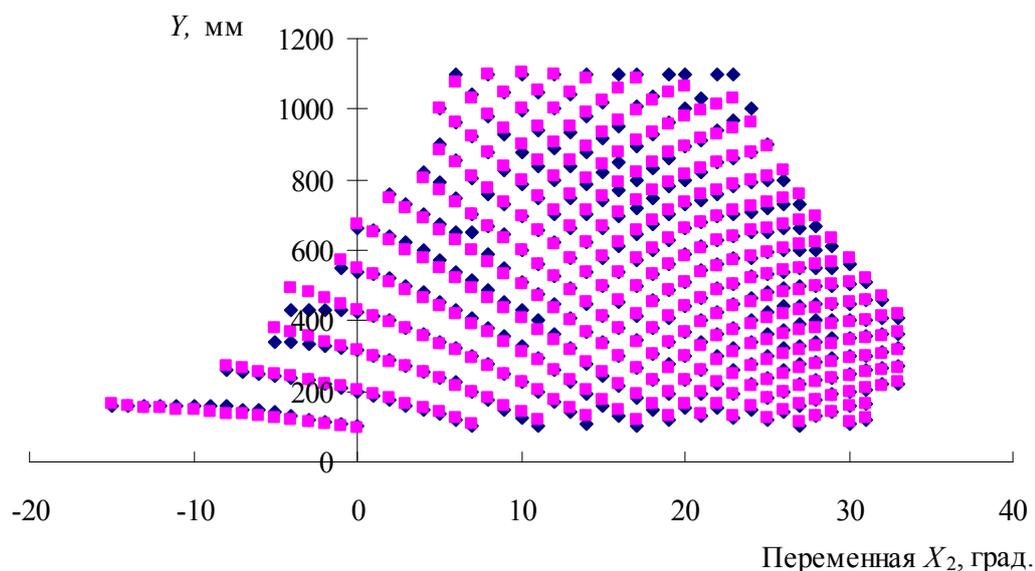
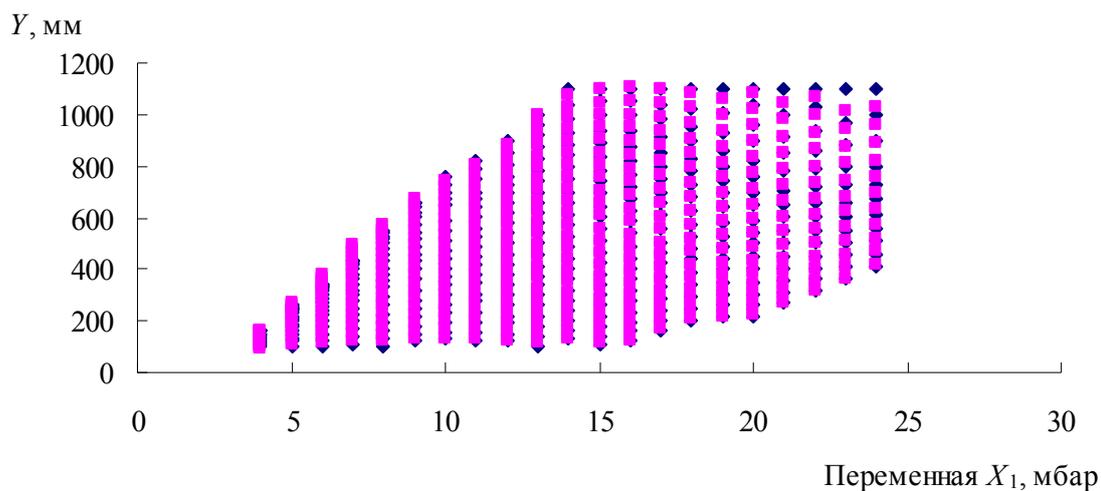


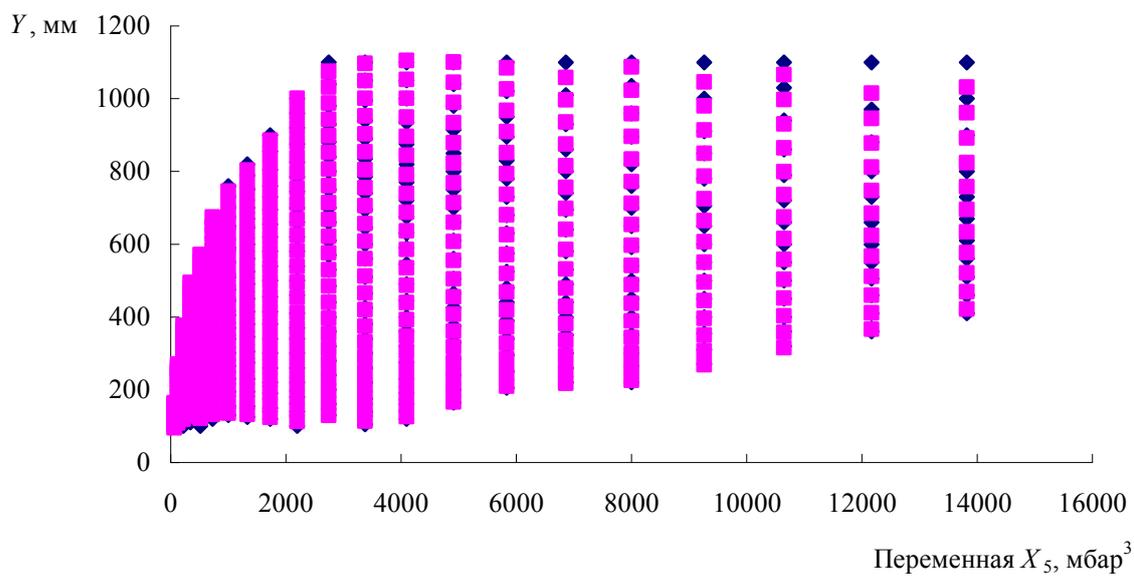
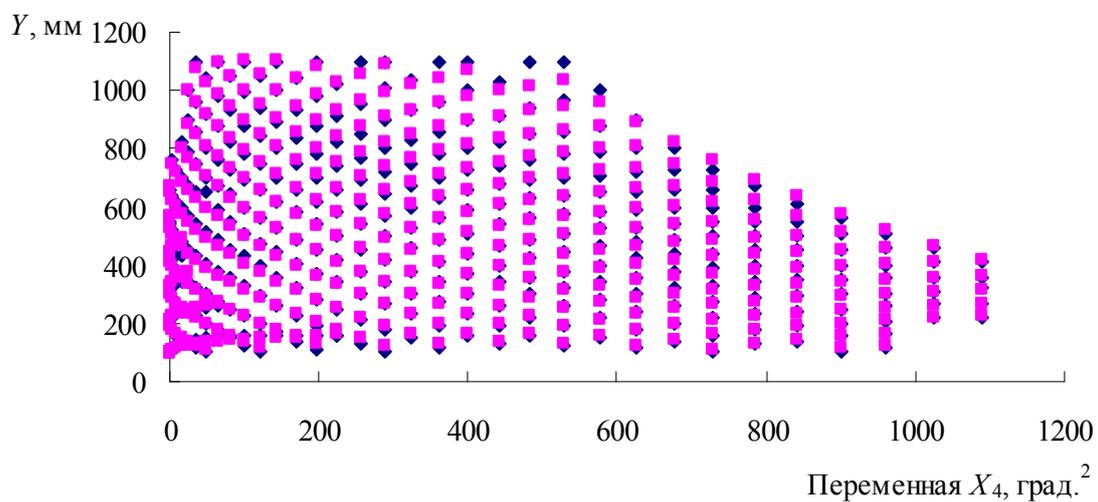
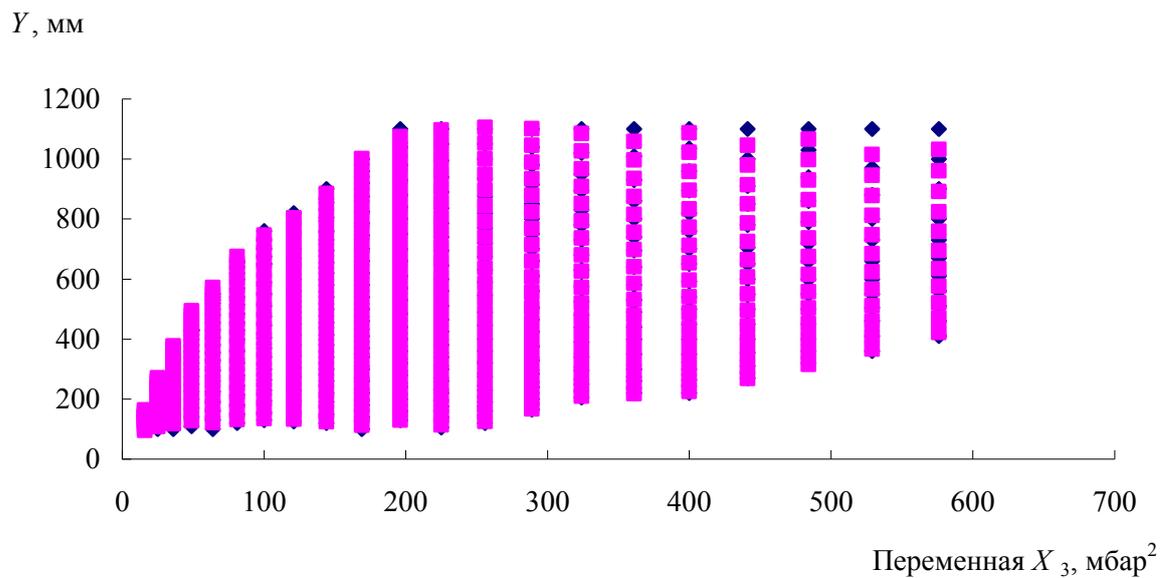
Рисунок 5 – Номограмма для расчета годовых величин испарения (мм/год) с почвы по средним годовым значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на высоте 2 м.

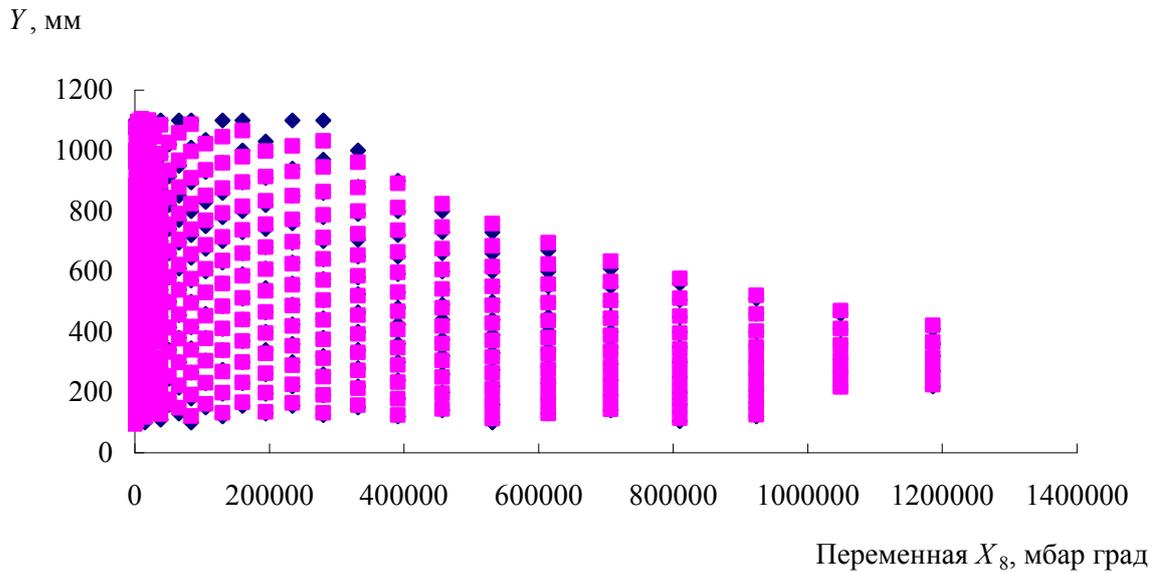
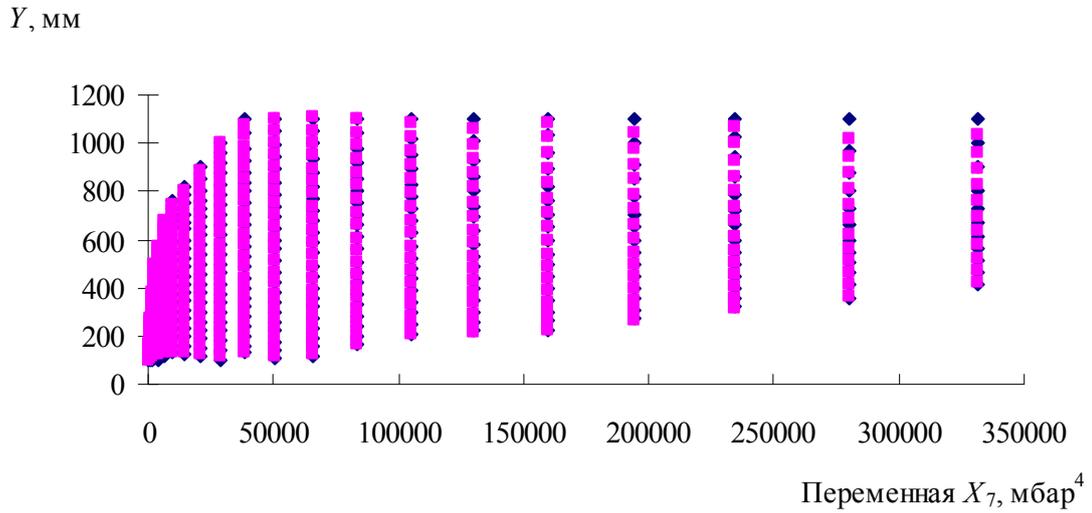
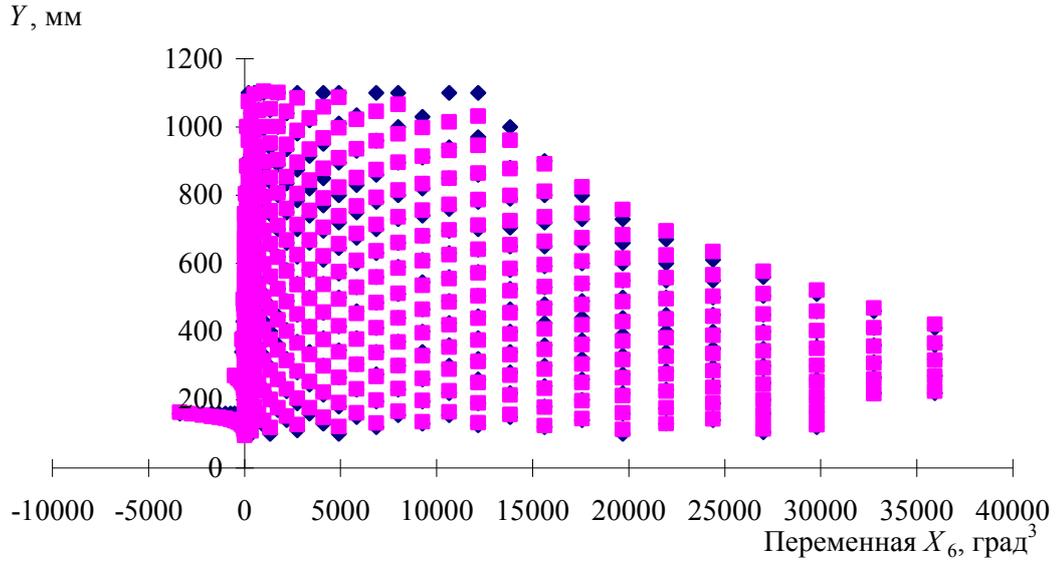
Для его практического применения номограмма была аппроксимирована на аналитической зависимости:

$$E = 73,17e + 4,47T + 5,05e^2 - 0,36T^2 - 0,205e^3 - 0,00317T^3 + 0,0036e^4 + 0,000401T^4 - 3,087eT - 265,49. \quad (26)$$

На рисунке 6 показаны графики подбора по переменным. На рисунке видно, что при использовании аналитической зависимости большие погрешности, достигающие 25 мм/год, при определении испарения будут для упругости водяного пара, превышающей 15 мбар, и температуры воздуха выше 20 градусов по Цельсию. Коэффициент множественной регрессии равняется 0,9986, коэффициент детерминации – 0,9973.







Y , мм

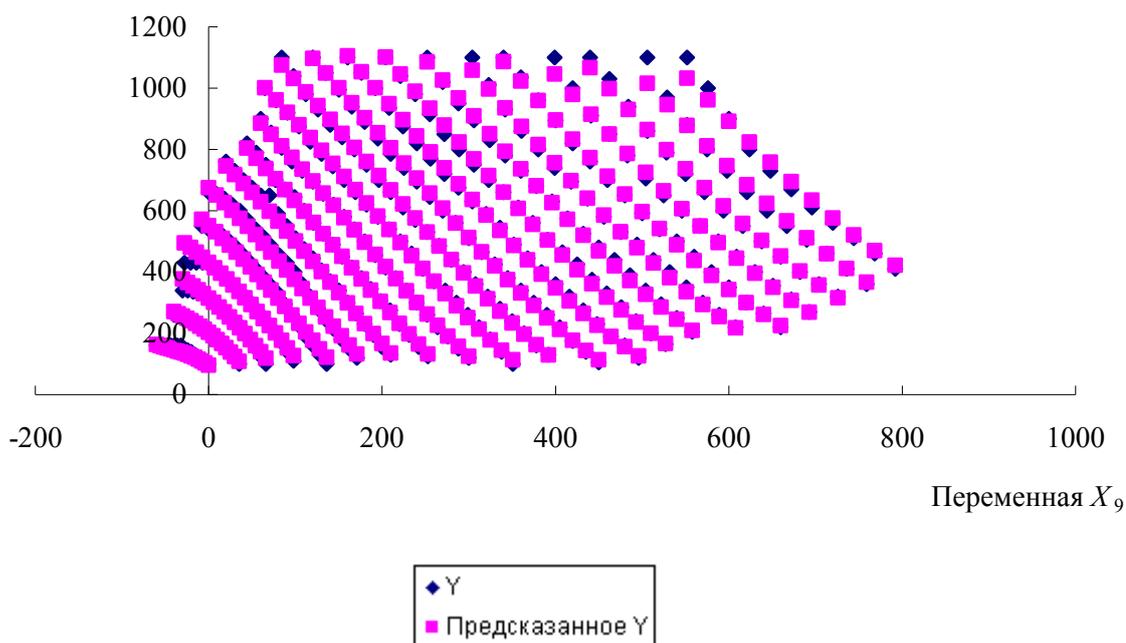


Рисунок 6 – Графики подбора аналитической формулы, аппроксимирующей номограмму Константинова.

Информация по метеоэлементам для расчета испарения была взята из Интернет-ресурсов [21], причем значения среднегодовой упругости водяного пара представлены методом реанализа, в основу которого входит формула Магнуса. Данные были интерполированы между узлами географической сетки и отнесены к центрам водосбора. Координаты центров водосбора представлены в Приложении А.

Кроме того, для ЕТР была собрана база данных по среднегодовой температуре воздуха и упругости водяного пара по метеостанциям, расположенным на речных бассейнах.

Карта распределения нормы приземной температуры воздуха показана на рисунке 7. На карте видна четкая закономерность в распределении температур: уменьшение с юга на север. Выбиваются из закономерности предгорные районы АТР.

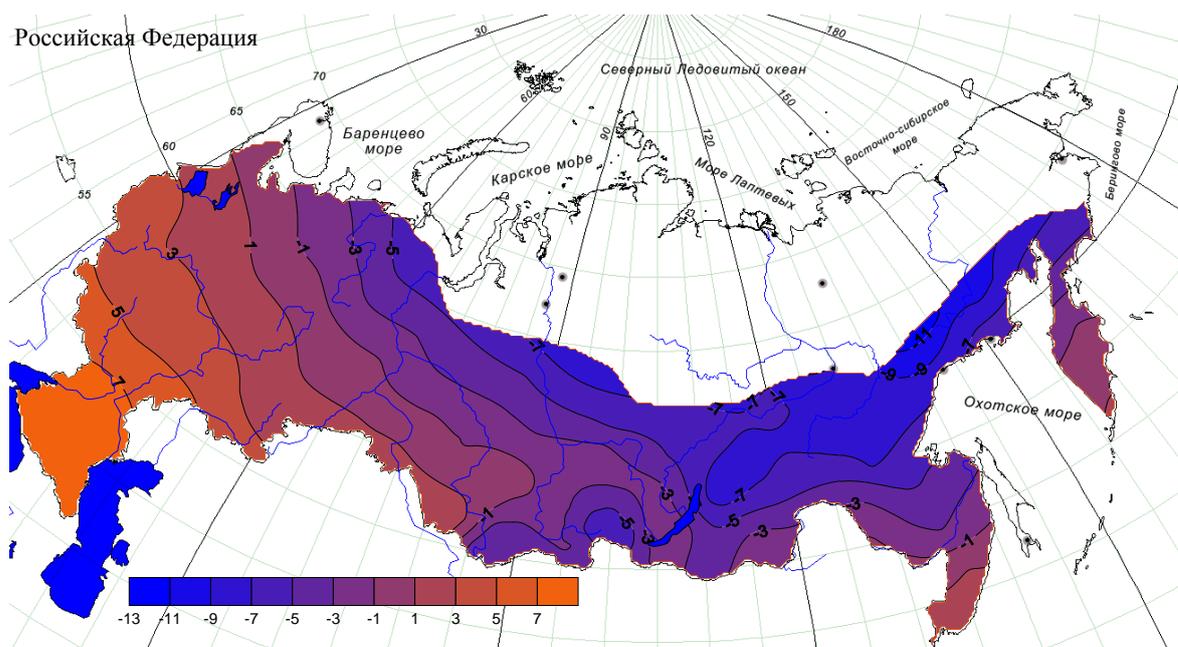


Рисунок 7 – Распределение нормы приземной температуры воздуха.

Сгенерированные ряды испарения были статистически обработаны: рассчитаны средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, а также коэффициент автокорреляции (таблица 3). В Приложении Б представлены остальные статистические характеристики для некоторых рядов: первый, второй, третий начальные и центральный моменты, коэффициент эксцесса, дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

Таблица 3 – Статистические характеристики рядов испарения

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Паша	Часовенское	435	0,10	0,09	-0,003
Ловать	Сельцо	505	0,08	0,23	0,066
Ловать	Холм	501	0,08	0,12	-0,002
Кунья	Холм	496	0,08	0,05	-0,011
Луга	Толмачево	474	0,09	0,13	0,023
Луга	Кингисепп	476	0,09	0,13	0,024
Великая	Опочка	513	0,08	0,35	0,016
Великая	Селихново	515	0,08	0,41	0,020
Великая	Гуйтово	514	0,08	0,38	0,018
Сороть	Осинкино	512	0,08	0,36	0,017
Онега	Надпорожный	394	0,11	0,08	-0,021

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
	Погост				
Свидь	Горки	397	0,10	0,10	-0,002
Волошка	Тороповская	385	0,11	0,07	-0,029
Сухона	Тотьма	401	0,10	0,12	0,036
Сухона	Калкино	391	0,11	0,12	0,039
Юг	Подосиновец	370	0,11	0,06	0,043
Юг	Гаврино	362	0,11	0,03	0,036
Вычегда	Сыктывкар	315	0,12	-0,16	0,024
Вишера	Лунь	297	0,14	-0,15	0,005
Вымь	Весляна	271	0,15	-0,10	-0,036
Яренга	Тохта	300	0,14	-0,17	-0,033
Пинега	Кулогоры	306	0,14	-0,18	-0,095
Мезень	Малонисогорская	273	0,15	-0,17	-0,095
Вашка	Рещельская	286	0,15	-0,19	-0,079
Аксай Есауловский	Водянский	661	0,04	0,30	-0,068
Валуй	Валуйки	561	0,08	0,13	-0,159
Красивая Меча	Сергиевское	528	0,08	-0,11	-0,159
Свияга	Ивашевка	486	0,09	-0,37	0,017
Сок	Сургут	488	0,09	-0,31	0,069
Кондурча	Украинка	491	0,09	-0,36	0,087
Самара	Елшанка	511	0,08	-0,30	0,066
Большой Кинель	Тимошево	495	0,09	-0,31	0,074
Сызранка	Репьевка	515	0,08	-0,38	-0,010
Тверца	Прутенька	457	0,09	0,03	-0,009
Тверца	Медное	455	0,09	0,03	-0,008
Медведица	Большие Сетки	447	0,09	0,07	0,011
Молога	Забережье	440	0,09	0,12	0,022
Молога	Устюжна	439	0,09	0,10	0,021
Колпь	Верхний Двор	428	0,10	0,13	0,056
Немда	Селище	425	0,10	0,02	0,104
Нея	Буслаево	414	0,10	0,03	0,097
Зуша	Мценск	532	0,08	0,00	-0,162
Угра	Товарково	496	0,08	-0,24	-0,079
Протва	Загорье	492	0,08	-0,25	-0,064
Цна	Княжево	518	0,08	-0,31	-0,124
Клязма	Павловский Посад	486	0,09	-0,25	0,015
Клязма	Владимир	465	0,09	-0,12	0,072
Кама	Волосницкое	380	0,10	-0,10	0,075
Сылва	Шамары	363	0,10	-0,09	0,062
Белая	Сыртланово	407	0,09	-0,10	0,070
Уфа	Красноуфимск	372	0,10	-0,12	0,061

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Ай	Лаклы	387	0,10	-0,14	0,058
Ай	Метели	382	0,10	-0,13	0,059
Дема	Бочкарева	450	0,09	-0,15	0,075
Сюнь	Миньярово	433	0,09	-0,11	0,066
Ик	Нагабайково	457	0,09	-0,18	0,074
Чепца	Полом	408	0,09	-0,05	0,064
Чепца	Глазов	407	0,09	-0,06	0,065
Быстрица	Шипицино	404	0,10	-0,06	0,043
Печора	Якша	266	0,15	0,15	0,042
Печора	Троицко-Печорск	260	0,15	0,17	0,032
Печора	Щугор	234	0,16	0,33	-0,006
Щугор	Мичабичевник	215	0,17	0,35	-0,023
Уса	Петрунь	170		0,26	0,190
Уса	Адзьва	170		-0,03	-0,330
Кожим	Кожим Рудник	151	0,14	-1,05	0,200
Ижма	Усть –Ухта	273	0,15	-0,06	-0,010
Ижма	Картайоль	263	0,15	-0,01	-0,022
Ухта	Ухта	272	0,15	-0,06	-0,011
Пижма	Боровая	248	0,16	-0,02	-0,079
Цильма	Трусово	244	0,16	-0,03	-0,097
Днепр	Дорогобуш	489	0,08	-0,16	-0,048
Днепр	Смоленск	491	0,08	-0,13	-0,044
Ипуть	Ущерпье	539	0,07	0,21	-0,076
Десна	Голубея	513	0,08	-0,05	-0,087
Десна	Брянск	516	0,08	-0,06	-0,101
Болва	Псурь	510	0,08	-0,14	-0,103
Судость	Погар	543	0,07	0,15	-0,097
Сейм	Лебяжье	571	0,08	0,10	-0,140
Сейм	Рыльск	559	0,08	0,13	-0,146
Бия	Бийск	182	0,14	0,64	0,25
Чуя	Белый Бом	252	0,14	0,32	0,27
Ануй	Старотыр	340	0,12	-0,03	0,26
Чарыш	Чарышск	370	0,12	-0,02	0,25
Иня	Кайлы	336	0,12	-0,23	0,09
Томь	Междуречье	269	0,13	0,10	0,24
Томь	Новокузнецк	271	0,13	0,09	0,24
Мрас-Су	Мыски	280	0,13	0,00	0,23
Кондома	Куздеево	265	0,13	0,12	0,25
Шегарка	Бабарыки	297	0,13	-0,35	-0,10
Чулым	Балахта	298	0,13	-0,02	0,16
Чулым	Кр.Завод	316	0,12	-0,11	0,12

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Урюп	Изындаево	310	0,12	-0,13	0,08
Кия	Мариинск	318	0,12	-0,17	0,05
Чая	Подгорный	282	0,13	-0,25	-0,23
Парбиг	Веселый	287	0,13	-0,28	-0,20
Кеть	Макс.Яр	229	0,15	-0,07	-0,26
Пайдугина	Березовка	239	0,15	-0,09	-0,30
Кенга	Центральный	287	0,13	-0,28	-0,19
Васюган	Ср.Васюган	281	0,13	-0,34	-0,10
Тым	Напас	208	0,15	-0,14	-0,31
Вах	Лобчинск	195	0,16	-0,03	-0,26
Тром-Юган	Ермаково	205	0,16	0,37	-0,18
Лямин	Горшки	223	0,16	0,34	-0,15
Бол,Юган	Угут	243	0,14	-0,18	-0,11
Кулунда	Шимолино	452	0,11	-0,35	0,16
Чулым	Ярки	297	0,13	-0,36	-0,05
Каргат	Здвинск	294	0,13	-0,36	-0,06
Назым	Вершина	235	0,15	0,26	-0,13
Курчум	Вознесен	378	0,12	-0,06	0,24
Бухтарма	Печи	188	0,14	0,72	0,27
Бухтарма	Березовки	171	0,14	0,95	0,25
Уба	Шемон	414	0,11	-0,07	0,24
Омь	Мартемьян	323	0,12	-0,41	-0,02
Омь	Куйбышев	291	0,13	-0,33	-0,11
Омь	Калачинск	326	0,12	-0,41	-0,01
Тартас	Северное	295	0,13	-0,35	-0,12
Тартас	Шипицино	326	0,11	-0,43	-0,06
Тартас	Венгерово	309	0,12	-0,41	-0,09
Тара	В,Тарка	308	0,12	-0,44	-0,11
Тара	Мало-Красн	309	0,12	-0,42	-0,10
Тара	Муромцево	314	0,12	-0,44	-0,10
Уй	Баженово	346	0,11	-0,50	-0,04
Ишим	Викулово	347	0,11	-0,62	-0,01
Вагай	Нововыигр	352	0,11	-0,63	0,02
Туртас	Нов,Туртас	298	0,12	-0,56	-0,05
Демьянка	Лымковск	268	0,14	-0,32	-0,08
Конда	Болчары	297	0,13	-0,30	-0,06
Сев.Сосьва	Няксимволь	251	0,15	0,22	-0,01
Сев.Сосьва	Сосьва	203	0,17	0,47	-0,05
Ляпин	Саранпуль	180	0,17	0,67	-0,01
Лена	Качуг	235	0,11	-0,23	0,10
Лена	Грузновка	240	0,12	-0,10	0,03

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Тутура	Грехова	228	0,11	-0,15	0,05
Кута	Максим	175	0,12	0,41	-0,37
Кута	Ново-Иль	189	0,13	0,20	-0,30
Таюра	Таюра	200	0,13	-0,03	-0,22
Бол, Тира	Тира	165	0,11	0,57	-0,42
Киренга	Шорохово	180	0,11	0,34	-0,10
Пеледуй	Сользав	158	0,09	0,95	-0,43
Манзурка	Зуева	258	0,12	-0,10	0,32
Заза	Усть-Заза	164	0,09	0,55	-0,19
Конда	Элькисер	178	0,11	0,37	-0,15
Юмурчен	Юмурчен	162	0,10	0,91	-0,12
Камчатка	Долиновка	311	0,08	0,05	0,16
Камчатка	Лазо	304	0,08	0,07	0,15
Камчатка	Козыревск	296	0,08	0,06	0,07
Камчатка	Ключи	303	0,07	0,02	-0,04
Тигиль	Тигиль	279	0,10	-0,14	-0,03
Толбачик	Толбачик	301	0,08	0,14	0,04
Авача	Елизово	358	0,07	0,28	0,25
Большая	Малки	347	0,07	0,26	0,25
Воровская	Соболево	337	0,07	-0,01	0,18
Крутогорова	крутогорова	319	0,08	-0,26	0,10
Хайрюзова	Хайрюзова	285	0,09	-0,24	-0,07
Напана	Седанка	277	0,10	-0,18	0,01
Онон	В, Ульхун	256	0,09	-0,13	-0,12
Онон	Бытэв	256	0,09	-0,13	-0,12
Кыра	Кыра	198	0,10	-0,39	-0,24
Унда	Новоиван	248	0,10	0,31	-0,16
Ингода	Дешулан	190	0,09	-0,48	-0,10
Ингода	Улёты	191	0,09	-0,36	-0,14
Ингода	Атаманов	187	0,10	-0,11	-0,17
Ингода	Краснояр	241	0,10	0,23	-0,12
Ингода	Нерчинск	220	0,11	0,53	-0,19
Чёрная	Сбега	176	0,12	0,46	-0,22
Амазар	Амазар	198	0,11	0,39	-0,21
Уркан	Заречное	179	0,11	0,01	-0,37
Деп	Рычково	186	0,12	0,07	-0,31
Томь	Светилов	248	0,11	0,08	-0,26
Буряя	У, -Ниман	189	0,12	0,30	-0,23
Ниман	12км от ус	176	0,11	0,71	-0,21
Тунгуска	Архангел	229	0,11	0,17	-0,29
Кур	Новокур	209	0,12	0,20	-0,30

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Амгунь	Гуга	180	0,12	0,63	-0,18
Нимелен	Тимченко	180	0,12	0,55	-0,14
Бикин	Звеньевой	372	0,07	-0,59	-0,40
Бикин	Тереховка	266	0,11	-0,24	-0,31
Ток	Николаевский	278	0,11	0,02	-0,26
Туюн	3км от уст	203	0,12	0,16	-0,26
Ивановка	Ивановка	291	0,09	-0,37	-0,26
Б.Бира	Биракан	279	0,10	-0,09	-0,26
Б.Бира	Биробиджан	268	0,10	0,04	-0,27
Сутара	Известковая	284	0,10	-0,10	-0,23
Манома	Манома	250	0,11	0,06	-0,38
Горин	Бактор	202	0,12	0,22	-0,23
Нимелен	Апкороши	172	0,11	0,92	-0,13
Бурен	Усть-Бурен	222	0,14	0,14	0,44
Абакан	Абаза	201	0,14	0,44	0,30
Абакан	Райков	228	0,13	0,35	0,33
Туба	Бугуртак	229	0,14	0,27	0,29
Казыр	Пономар	219	0,14	0,28	0,28
Кизир	Имисское	230	0,14	0,29	0,23
Амыл	Качульск	236	0,14	0,24	0,34
Мана	Манский	245	0,14	0,27	0,10
Кан	Ирбейск	225	0,14	0,31	0,14
Кан	Канск	221	0,14	0,28	0,12
Кан	Подпорог	248	0,14	0,18	-0,02
Агул	Петропав	223	0,14	0,27	0,11
Бол,Пит	Брянка	184	0,15	0,24	-0,38
Кас	Александровский	204	0,15	-0,09	-0,32
Сым	факт,Сым	178	0,13	0,27	-0,40
Елогуй	пос,Келлог	163	0,11	0,73	-0,32
Н.Тунгуска	Подволош	161	0,10	0,68	-0,44
Иркут	Тунка	162	0,10	1,11	0,41
Иркут	Тибильти	187	0,12	0,32	0,54
Иркут	Иркутск	165	0,10	1,00	0,58
Ия	Тулун	159	0,10	1,30	0,15
Илим	Сотникова	217	0,12	-0,06	0,13
Чадобец	Яркино	175	0,14	0,47	-0,45
Мура	Ирба	228	0,14	-0,03	-0,30
Иркинеева	Бедоба	178	0,14	0,41	-0,43
Уда	Укар	169	0,12	0,90	0,24
Бирюса	Биррюсинск	199	0,13	0,27	0,16
Бирюса	Шиткино	207	0,14	0,12	0,13

Продолжение таблицы 3

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Тагул	Геогиевка	210	0,12	-0,27	0,12
Усолка	Троицкое	255	0,14	0,07	-0,11
Турка	Соболиха	223	0,09	-0,18	-0,18
Джида	Хамней	200	0,12	0,22	0,43
Джида	ст,Джида	216	0,12	0,20	0,44
Чикой	Гремячка	175	0,08	-0,22	-0,03
Чикой	Поворот	243	0,12	-0,23	0,36
Хилок	Хилок	181	0,09	-0,17	-0,18
Хилок	Малета	179	0,09	-0,26	-0,16
Хилок	Хайластуй	251	0,11	-0,03	0,33
Уда	Хоринск	179	0,09	-0,04	-0,19
Уда	Улан-Удэ	243	0,10	-0,23	0,14
Кудун	Хоринск	223	0,09	-0,17	-0,18
Курба	Н,Курба	206	0,10	-0,24	-0,11
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	175	0,12	0,62	0,45
Куда	Грановщина	272	0,12	-0,15	0,42
Ида	Морозова	229	0,11	0,00	0,39
Зима	Зулумай	168	0,11	1,00	0,33
Кирей	Уйгат	160	0,09	0,84	0,51
Вихорева	Кобляково	228	0,12	-0,23	-0,06
Карабула	Карабула	241	0,15	0,08	-0,27
Уда	Алыгджер	159	0,10	1,51	0,09
Уда	Широково	169	0,12	0,90	0,24
Чукша	Савельевка	231	0,13	0,00	-0,03
Бирюса	Нерой	200	0,13	-0,15	0,18
Татарка	Татарка	231	0,15	0,04	-0,21
Енисей	Тоора-Хем	175	0,13	0,75	0,37
Енисей	Сейба	219	0,15	0,19	0,43
Ус	Усть-Золотая	235	0,14	0,20	0,44
Оя	Ермаковское	249	0,14	0,22	0,36
Она	М. Анзас	199	0,13	0,46	0,33
Джебаш	Джебаш	222	0,13	0,38	0,34
Таштып	Таштып	228	0,12	-0,07	0,41
Казыр	Пономарево	211	0,15	0,30	0,29
Мана	Кой	237	0,13	0,11	0,18
Кунгус	Ильинка	211	0,13	-0,06	0,19
Б.Пит	Сухой Пит	180	0,15	0,38	-0,40

Из таблицы 3 видно, что среднее значение испарения изменяется от 151 мм до 661 мм. Средний коэффициент вариации равняется 0,11; средний

коэффициент асимметрии равняется 0,07. Значения норм слоя испарения, коэффициенты вариации испарения и коэффициенты автокорреляции были закартированы: результаты представлены на рисунках 8, 10, 11. На рисунке 9 показаны некоторые гистограммы испарения. Гистограммы для нескольких расчетных постов представлены в Приложении В. Анализ гистограмм показал, что они, как правило, одномодальны. Коэффициенты асимметрии гораздо чаще, чем таковые для расхода, имеют отрицательные значения. Коэффициенты вариации меньше, чем таковые для расходов.

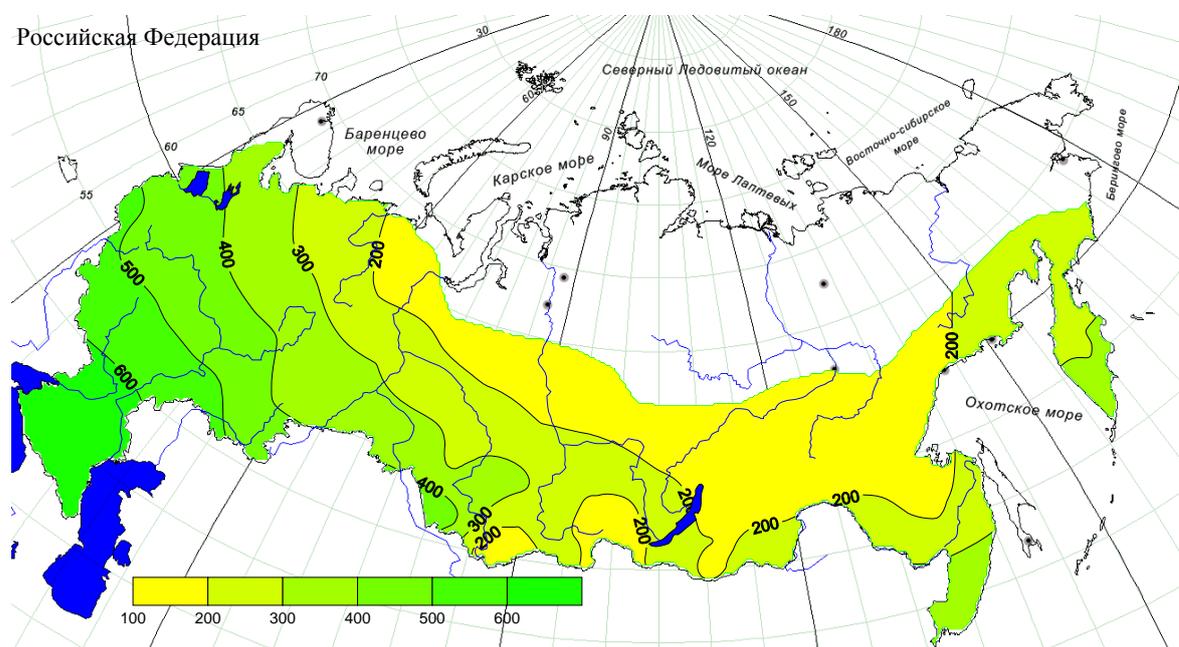
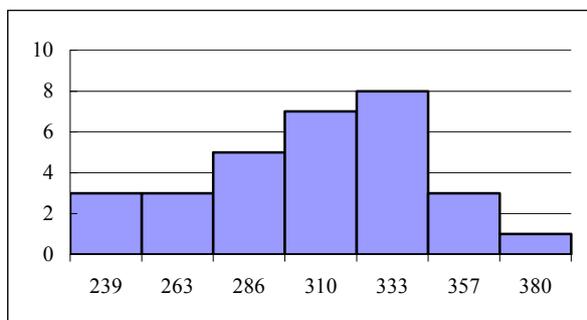


Рисунок 8 – Распределение слоя испарения по территории России.

Рисунок 8 показывает, что испарение на территории ЕТР и Западной Сибири распределяется в соответствии с температурным режимом (см. рисунок 7). С севера на юг испарение возрастает от минимальных 150 мм в Сибири до максимальных 650 мм в южной части ЕТР. В Восточной Сибири и Дальнем Востоке максимальные значения испарения располагаются в южной части Камчатки и Дальнего Востока и достигают 400 мм в год. В центральной полосе же эти значения приближены к 100 мм в год. Такие показатели могут быть обусловлены прибрежным расположением регионов с макси-

мальными испарениями, так как районы вблизи океанов более ветрены. Наблюдается так же географическая закономерность в распределении норм испарения по территории: с юга на север идет уменьшение нормы испарения, исключения составляют возвышенные местности.

а)



б)

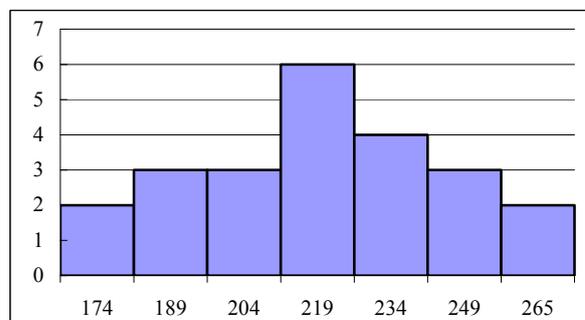


Рисунок 9 – Гистограммы испарения: а – р. Конда – п. Болчары; б – р. Кунгус – п. Ильинка (по оси x – интервал значений, по оси y – частота попаданий в интервал).

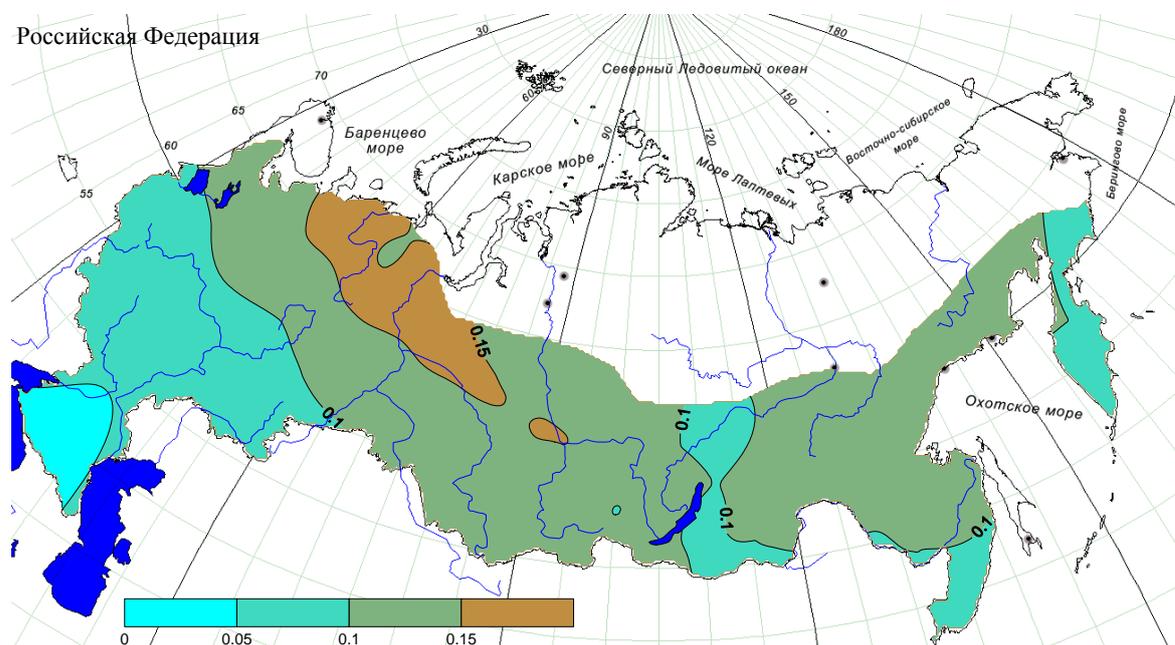


Рисунок 10 – Распределение коэффициента вариации слоя испарения по территории России.

На рисунке 10 видно, что в распределении коэффициента вариации испарения наблюдается зональность. На территории ЕТР коэффициенты увеличиваются с юга на север. Западная Сибирь практически однородна по коэффициенту вариации испарения. Для остальной территории АТР максимум коэффициента вариации слоя испарения приходится на место слияния реки Ангары с рекой Енисей и составляет 0,2. Минимум заметен в четырех районах: Камчатский край, прибрежная часть Дальнего востока, территория Витимского плоскогорья и восточная часть Среднесибирского плоскогорья.

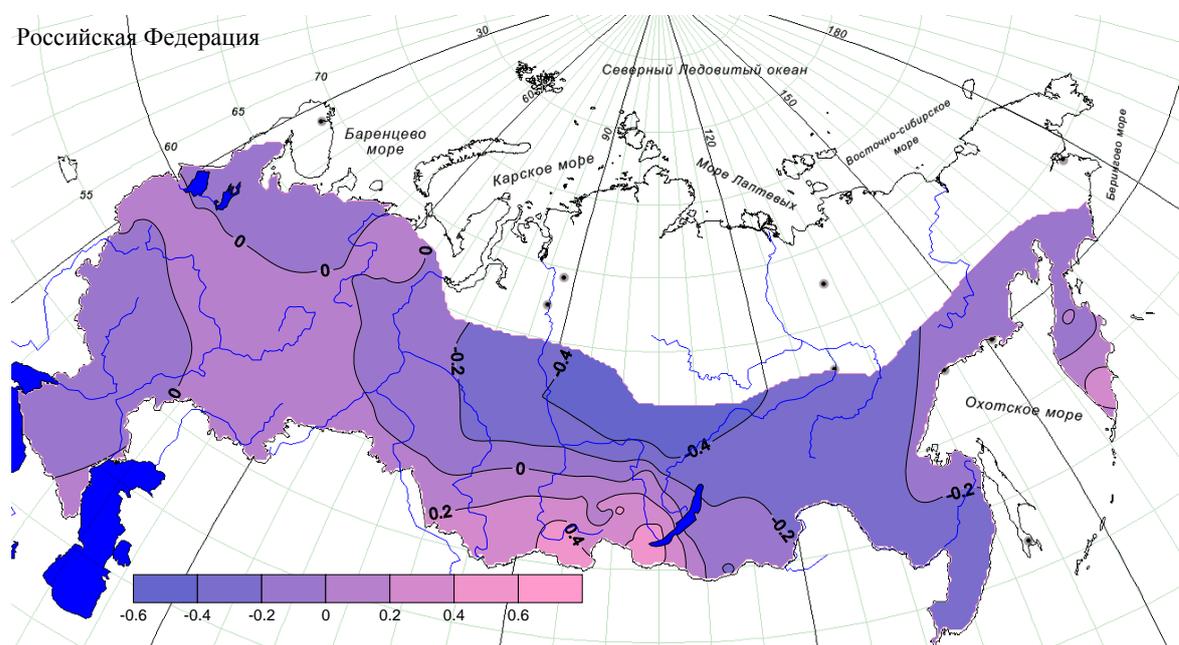


Рисунок 11 – Распределение коэффициента автокорреляции слоя испарения по территории РФ.

На рисунке 11 видно, что минимальные значения коэффициента автокорреляции слоя испарения приходятся на территорию Среднесибирского плоскогорья и составляют от $-0,4$ до $-0,6$. Максимальные значения достигают $0,6$ и встречаются в верховье Енисея. На территории ЕТР значения коэффициента автокорреляции варьируют от $-0,2$ до $0,2$.

Расчет испарения по номограмме Константинова возможен при условии, что среднегодовая температура выше $-5,6$ °С. В процессе расчета испа-

рения были исключен ряд постов расположенных в северной части России, список исключенных постов представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Список постов, исключенных из расчета

Река	Пункт	Координаты центров водосбора		F, км ²
		Широта	Долгота	
Полуй	Полуй	65,13	69,33	15100
Чулышман	Балыкча	50,77	88,43	16600
Витим	Романовка	53,71	111,82	18200
Калакан	Калакан	55,34	117,93	10700
Ципикан	Ципикан	54,79	113,57	5990
Нюя	Курум	60,75	112,70	32600
Бол,Патом	Патома	59,47	114,97	27600
Бирюк	Бирюк	61,02	118,85	9700
Олекма	Ср,Олекма	60,27	120,78	37300
Жуя	Светлый	58,31	115,62	4790
Туолба	Алексеев	59,89	123,34	14400
Синяя	Песчаное	62,08	124,85	30400
Ботома	Бролог	60,53	126,54	12200
Алдан	Томмот	57,60	124,50	49500
Тимптон	Усть-Бар	57,34	125,82	13300
Тимптон	Усть-Тим	57,34	125,82	43700
Юдома	Крун-Тар	60,98	138,10	43600
Аллах-Юнь	Аллах	60,89	137,86	24200
Нотора	Хас-Тохтур	60,94	133,61	6970
Амга	Буяга	59,37	124,75	23900
Чона	Туой-Хая	62,54	111,44	37700
Яна	Верхоянск	67,54	133,40	45300
Сартанг	Бала	67,08	133,83	16700
Дулгалаах	Томтор	63,26	143,21	23900
Чаркы	3,5км от ус	66,46	138,43	8290
Боруулаах	Томтор	67,15	134,15	7570
Батынтай	Асар	68,70	134,22	40000
Индибирка	Юрты	63,90	141,46	51100
Сунтар	Сахарын	63,16	141,17	7680
Нера	Ала-Чубук	64,03	145,54	22300
Каренга	Усть-Каренга	54,08	116,19	9460
Ципа	Баунт	54,91	112,11	3240
Ципа	Ую	55,28	114,42	15600
Амалат	Усть-Антосе	54,00	112,75	2100
Кункудерн	Кункудера	57,16	113,11	4920

Продолжение таблицы 4

Река	Пункт	Координаты центров водосбора		F, км ²
		Широта	Долгота	
Б, Черепаниха	Бом	60,82	120,06	1750
Чара	Чара	56,66	117,98	4150
Намана	Мекимдя	61,71	120,47	16000
Тамма	Батараха	61,29	130,47	4250
Чульман	Чульман	56,85	124,90	3840
Кэнгкэмэ	Второй Станок	62,97	127,81	3550
Эльги	5км выше от уст	64,71	140,13	17600
Ольчан	4,5 км выше уст	64,93	141,89	1830
Аян-Юрях	Эмтегей	62,65	145,89	12300
Кулу	Кулу	61,61	146,42	10300
Детрин	Ус,р,Вахх,	60,98	149,43	5630
Бохапча	5,4км от ус,	61,33	151,06	13600
Сугой	3,2км н, Ус	62,35	156,40	5880
Малый Анюй	Илирней	67,25	167,95	9220
Погынден	ус,р,Инк	68,50	165,18	12000
Гижига	20км от ус	62,64	160,04	11700
Берелех	Переправа	63,45	147,44	4980
Тенке	2,2км выше уст	61,08	148,56	1820
Среднекан	Усть-Среднекан	62,17	152,57	1750
Сеймчан	2,1км выше уст	63,39	151,54	2920
Омчикан	Омсукчан	62,27	155,69	1720
Зея	Бомнак	54,95	130,21	28200
Тембенчи	Тембенчи	66,14	96,22	18900
Таймура	Кербо	62,75	101,18	14800
Норилка	Валёк	69,22	88,33	19800
Ия	Аршан	53,34	99,41	5140
В,Ангара	В,Заимка	55,97	111,93	20600
Баргузин	Могойто	54,83	111,13	9350
Баргузин	Баргузин	54,33	110,77	19800
М,Белая	Тунгусы	52,48	101,95	3990
Тагна	Хор-Тагна	53,14	101,21	1770

Значения упругости водяного пара представляют собой результаты реанализа [21]: упругость водяного пара предположительно связывается с температурой и влажностью воздуха. Была сделана попытка проверки метеоданных двумя способами.

Для первого способа были взяты данные по температуре, влажности и осадкам на трех водосборах (замыкающих гидростях) и по трем метео-

станциям [23], расположенным на выбранных водосборах. Производилось сравнение метеоданных с данными реанализа (таблицы 5 – 10).

Таблица 5 – Среднегодовые значения по метеостанции Тура

мс	Тура	год	$T, ^\circ\text{C}$	$e, \%$	$X, \text{мм}$
гп	Тембенчи	1961	-9,9	73	351
широта	долгота	1962	-8,4	75	372
66,14	96,22	1963	-10,5	79	423
		1964	-9,8	74	313
		1965	-10,1	73	349
		1966	-11,5	75	418
		1967	-6,6	72	263
		1968	-9,8	74	339
		1969	-11,4	71	339
		1970	-9,4	71	395
		1971	-8,5	69	384
		1972	-10,9	69	382
		1973	-8,3	68	277
		1974	-12,3	71	419
		1975	-7,5	72	521
		1976	-10,9	76	359
		1977	-10,4	70	430
		1978	-16	71	303
		1979	-10,7	69	281
		1980	-9,9	71	416
		среднее	-10,1	72	367

Таблица 6 – Данные реанализа для центра водосбора метеостанции Тура

гидропост		год	$T, ^\circ\text{C}$	$e, \%$	$X, \text{мм}$
Тембенчи		1961	-11,9	86	442
широта	66,14	1962	-10,6	87	554
долгота	96,22	1963	-10,7	88	536
		1964	-11,1	87	457
		1965	-11,8	84	438
		1966	-12,9	82	561

Продолжение таблицы 6

		1967	-9,0	85	398
		1968	-11,9	82	518
		1969	-13,1	77	514
		1970	-11,4	81	500
		1971	-10,4	83	453
		1972	-12,4	80	333
		1973	-9,8	85	444
		1974	-13,7	81	401
		1975	-9,7	85	518
		1976	-11,3	81	346
		1977	-11,6	81	449
		1978	-10,4	81	391
		1979	-13,0	75	385
		1980	-11,3	81	383
		среднее	-11,4	82	451

Отклонение Интернет-данных от данных по метеостанциям по температуре составила 12,4 %, по относительной влажности – 14,3 %, по осадкам – 23 %.

Таблица 7 – Среднегодовые значения по метеостанции Усть-Хайрюзово

мс	Усть-	год	T , °C	e , %	X , мм
гп	Хайрюзово	1961	-0,3	85	680
широта	долгота	1962	-0,7	86	659
56,49	157,86	1963	-0,1	84	526
		1964	-2,0	87	702
		1965	-1,0	80	598
		1966	-1,6	84	774
		1967	-3,1	84	511
		1968	-0,7	85	499
		1969	-2,1	85	638
		1970	0,5	86	643
		1971	-1,7	79	479
		1972	-1,1	79	580
		1973	-1,5	85	591

Продолжение таблицы 7

		1974	-0,2	79	434
		1975	-1,5	78	574
		1976	–	–	–
		1977	–	–	–
		1978	-1,5	87	879
		1979	-2,0	85	805
		1980	-1,9	82	531
		среднее	-1,3	83	617

Таблица 8 – Данные реанализа для центра водосбора метеостанция Усть-Хайрюзово

гидропост		год	$T, ^\circ\text{C}$	$e, \%$	$X, \text{мм}$
Хайрюзово		1961	-0,2	93	669
широта	56,49	1962	-0,4	93	668
долгота	157,86	1963	0,1	92	592
		1964	-2,2	91	493
		1965	-0,8	92	683
		1966	-1,2	92	771
		1967	-2,2	91	581
		1968	-0,7	92	613
		1969	-2,0	92	697
		1970	-0,6	90	629
		1971	-1,7	90	465
		1972	-0,8	92	655
		1973	-0,9	91	707
		1974	-0,3	91	498
		1975	-0,3	90	639
		1976	-0,9	91	466
		1977	-1,6	92	792
		1978	-1,3	92	918
		1979	-1,9	90	811
		1980	-0,7	91	610
		среднее	-1,0	91	648

Отклонение Интернет-данных от данных по метеостанциям по температуре составила 17,8 %, по относительной влажности – 9,5 %, по осадкам – 5 %. Отклонение по двум метеорологическим характеристикам не превышает 15 %. В рядах Интернет-данных отсутствуют пропуски – это положительный момент при их использовании.

Таблица 9 – Среднегодовые значения по метеостанции Менза

мс	Менза	год	$T, ^\circ\text{C}$	$e, \%$	$X, \text{мм}$
гп	Чикой	1961	-4,1	69	423
широта	долгота	1962	-3,7	72	405
50,27	110,07	1963	–	–	–
		1964	–	–	–
		1965	-7,5	69	283
		1966	-4,4	72	447
		1967	-3,4	71	401
		1968	-3,3	71	294
		1969	–	–	–
		1970	-4,1	70	397
		1971	-3,8	68	355
		1972	-4,1	67	291
		1973	-3,3	70	577
		1974	-4,5	70	378
		1975	-3,3	72	384
		1976	–	–	–
		1977	-3,5	72	356
		1978	-3,2	73	402
		1979	-3,4	73	431
		1980	-4,0	70	398
		среднее	-4,0	71	389

Таблица 10 – Данные реанализа для центра водосбора метеостанции Менза

гидропост	год	$T, ^\circ\text{C}$	$e, \%$	$X, \text{мм}$
Чикой-Гремячка	1961	-5,0	77	414
широта	50,27	1962	-4,9	79

Продолжение таблицы 10

долгота	110,07	1963	-4,5	83	338
		1964	-4,3	77	451
		1965	-3,9	74	312
		1966	-4,8	74	378
		1967	-4,1	74	452
		1968	-4,5	75	330
		1969	-6,2	74	463
		1970	-4,7	75	461
		1971	-4,3	74	333
		1972	-4,8	72	287
		1973	-4,4	77	458
		1974	-6,0	73	304
		1975	-3,8	77	406
		1976	-4,7	74	334
		1977	-3,7	71	324
		1978	-3,6	73	323
		1979	-3,8	75	358
		1980	-4,6	76	328
		среднее	-4,5	75	376

Отклонение Интернет-данных от данных по метеостанциям по температуре составила 14,0 %, по относительной влажности – 6,7 %, по осадкам – 3,4 %. Отклонение по всем метеовеличинам не превышает 15 %.

Проверка данных реанализа вторым способом проводилась по данным из метеорологических ежегодников. Были взяты данные по 3 метеостанциям: Черемхово, Красный Чикой, Менза (таблицы 11–13), расположенные на одном водосборе. Производился расчет норм температуры, влажности и осадков. Результаты сравнивались с данными Интернет-ресурса по станции Чикой-Гремячка, которая находится на этом же водосборе в непосредственной близости к центру водосбора.

Таблица 11 – Среднегодовые значения по метеостанции Черемхово

метеостанция	год	T , °C	e , %	X , мм
Черемхово	1961	-3,5	72	376

Продолжение таблицы 11

	1962	-3,4	74	453
	1963	–	–	–
	1964	–	–	–
	1965	-2,9	69	314
	1966	-3,9	70	333
	1967	-2,8	72	504
	1968	-3,5	69	285
	1969	–	–	–
	1970	-4,1	70	452
	1971	-3,5	69	341
	1972	-3,8	70	324
	1973	-2,8	72	413
	1974	-4,3	69	327
	1975	-2,8	71	375
	1976	–	–	–
	1977	–	–	–
	1978	-3,5	72	345
	1979	-3,9	74	362
	1980	-4,1	73	299
	среднее	-3,5	71	367

Таблица 12 – Среднегодовые значения по метеостанции Красный Чикой

метеостанция	год	T , °C	e , %	X , мм	
Красный Чикой	1961	-3,2	71	438	
	1962	-2,6	74	372	
	1963	–	–	–	
	1964	–	–	–	
	1965	-2,3	68	432	
	1966	-3,6	72	289	
	1967	-2,3	73	437	
	1968	-2,9	74	281	
	1969	–	–	–	
	1970	-3,5	70	320	
	1971	-3	70	276	
	1972	-3,1	68	232	
		1973	-2,3	70	399
		78			

Продолжение таблицы 12

	1974	-3,8	68	312
	1975	-2,5	71	334
	1976	–	–	–
	1977	–	–	–
	1978	-3,7	74	351
	1979	-3,9	71	308
	1980	-4,5	72	344
	среднее	-3,15	71	342

Средние значения по трем станциям: $T = -3,5$ °С, $e = 71$ %, $X = 366$ мм.

Таблица 13 – Данные реанализа для центра водосбора реки Чикой

река	станция	год	T , °С	e , %	X , мм
Чикой	Гремячка	1961	-5,0	77	414
широта	долгота	1962	-4,9	79	460
50,27	110,07	1963	-4,5	83	338
		1964	-4,3	77	451
		1965	-3,9	74	312
		1966	-4,8	74	378
		1967	-4,1	74	452
		1968	-4,5	75	330
		1969	-6,2	74	463
		1970	-4,7	75	461
		1971	-4,3	74	333
		1972	-4,8	72	287
		1973	-4,4	77	458
		1974	-6,0	73	304
		1975	-3,8	77	406
		1976	-4,7	74	334
		1977	-3,7	71	324
		1978	-3,6	73	323
		1979	-3,8	75	358
		1980	-4,6	76	328
		среднее	-4,5	75	376

Отклонение Интернет-данных от данных по метеостанциям по температуре составила 27,7 %, по относительной влажности – 6 %, по осадкам – 3 %. Большая погрешность получена у температуры, что может сказаться на значениях испарения.

2.3.4 Ряды изменения влагозапасов

С помощью гидрометеорологических рядов по уравнению водного баланса были рассчитаны значения изменения суммарных влагозапасов. Сводные таблицы гидрометеорологических характеристик и рассчитанные значения влагозапасов для примера, для некоторых станций, приведены в Приложении Б.

2.4 Статистическая обработка гидрометеорологических рядов, визуализация хронологических и статистических распределений

Ряды осадков, стока, испарения и изменений суммарных влагозапасов были статистически обработаны: рассчитаны средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, а также коэффициент автокорреляции, первый, второй, третий начальные и центральные моменты, коэффициент эксцесса, дисперсия, среднеквадратическое отклонение (Приложение Б).

2.4.1 Оценка расчетных характеристик значений изменения влагозапасов и построение для них кривых плотности вероятности

Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов при использовании метеостанций рассчитывались для бассейна Онеги, Северной Двины и Мезени, Волги (верхнее течение), Камы, Балтийского моря и Печоры, а также для бассейна р. Обь. В таблицах 14–18 и 21 приведены значения начальных моментов, дисперсии, коэффициента корреляции, коэффициентов вариации и асимметрии. В главе 3 будет произведено сравнение пространственного распределения по ЕТР основных статистических характеристик рядов изменения влагозапасов, сгенерированных с помощью Интернет-данных и данных метеостанций.

Таблица 14 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейнов Онеги, Северной Двины и Мезени

№ пост	Река – пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты				D	$r(1)$	C_v	C_s
			m_1	m_2	m_3	m_4				
1	Онега–д.Надпорожный Погост	12800	-42	20281	-5927310	3006981849	18518	-0,06	-3,24	-1,40
2	Свидь–д.Горки	6450	-28	13190	-1497347	491089487	12382	0,28	-3,91	-0,30
3	Волошка–д.Тороповская	7040	-52	14051	-2030966	482902599	11319	0,42	-2,04	-0,08
4	Сухона–г.Тотьма	34800	-70	9677	-1414120	249887703	4842	0,14	-1,00	-0,20
5	Сухона–д.Калкино	49200	-89	11922	-1852289	329882134	4011	-0,004	-0,71	-0,31
6	Юг–пгт.Подосиновец	15200	-59	9540	-1799497	440905519	6079	0,33	-1,33	-1,10
7	Юг–д.Гаврино	34800	-404	183544	-92693426	52090996738	20634	0,05	-0,36	-0,66
8	Вычегда–г.Сыктывкар	66900	-65	11398	-1319108	236305266	7224	0,06	-1,32	0,57
9	Вишера–д.Лунь	7890	-67	17478	-1528048	963157195	13030	-0,14	-1,71	0,92
10	Вымь–с.Весляна	19100	-10	15358	1728706	761988905	15260	0,02	-12,53	1,16
11	Яренга–с.Тохта	4930	32	15076	2108254	681759925	14070	0,25	3,74	0,44
15	Пинега–с.Кулогоры	36700	-98	16759	-3289547	786822540	7136	0,24	-0,86	-0,41
18	Мезень–д.Малонисогорская	56400	-116	19318	-3471630	676166785	5940	0,61	-0,67	0,30
19	Вашка–д.Рещельская	19000	-97	16643	-3346396	745834373	7290	0,55	-0,88	-0,53

Таблица 15 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Волги (верхнее течение)

№ пост	Река – пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты				D	$r(1)$	C_v	C_s
			m_1	m_2	m_3	m_4				
2	Тверца–д.Прутьенька	4240	–184	41601	–10129218	2555359100	7836	–0,22	–0,48	0,77
3	Тверца–с.Медное	5400	–119	24080	–4641849	992329023	9891	–0,30	–0,83	0,53
4	Медведица–с.Большие Сетки	3900	–46	5948	–358872	46401488	3855	–0,25	–1,36	1,35
6	Молога–с.Спас–Забережье	10200	–44	7931	–406959	96576739	6019	–0,05	–1,77	1,19
7	Молога–г.Устюжна	19100	–83	11371	–1524464	259745449	4452	0,02	–0,80	0,25
12	Колпь–д.Верхний Двор	3160	–28	18634	87755	718164188	17849	0,26	–4,77	0,70
14	Немда–с.Селище	3810	46	10339	1358705	298996501	8185	0,12	1,95	0,15
17	Нея–д.Буслаево	5700	7	6308	287207	129952882	6254	–0,139	11	0,30
18	Зуша–г.Мценск	6000	–3	10321	126183	265985961	10310	–0,012	–31	0,22
20	Угра–пгтТоварково	15300	49	7198	972646	177396458	4810	–0,303	1,42	0,45
21	Протва–с.Спас–Загорье	3640	40	9512	1052621	437141186	7891	–0,383	2,21	0,05
24	Цна–г.Княжево	13600	–6	5657	10928	68598116	5624	–0,054	–13	0,24
25	Клязма–Павловский Посад	4550	–55	8456	–1017974	189070609	5438	–0,294	–1,34	0,11
26	Клязма–г.Владимир	14300	8	9065	1358868	508439654	9005	–0,140	12	1,34

Таблица 16 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Камы

№ пст	Река –пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты				D	$r(1)$	C_v	C_s
			m_1	m_2	m_3	m_4				
12	Ай–с.Лаклы	6440	–1	6534	83893	107081425	6532	0,22	–75	0,20
13	Ай–с.Метели	14200	–50	7209	–865089	134363573	4734	–0,04	–1,38	–0,11
9	Белая–д.Сыртланово	10100	5	7778	137437	137689059	7752	–0,07	17	0,03
23	Быстрица–Шипицино	3540	–21	15851	–2299824	848940190	15399	0,24	–5,84	–0,68
15	Дема–д.Бочкарева	12500	–46	7114	–807369	132317119	5033	–0,02	–1,56	–0,05
18	Ик–с.Нагабайково	12300	–74	10467	–1550627	291715572	5049	–0,12	–0,97	–0,13
1	Кама–с.Волосницкое	9750	66	17643	4592313	1653495590	13271	–0,14	1,74	1,09
6	Сылва–пгт Шамары	3130	32	12070	1538341	441305804	11053	0,16	3,30	0,38
17	Сюнь–с.Миньярово	4140	–40	9753	–664287	229527871	8184	0,03	–2,28	0,50
11	Уфа–г.Красноуфимск	14200	–18	5742	–445577	100057985	5410	0,21	–4,04	–0,36
21	Чепца–с.Полом	5930	–171	39138	–10924225	3432047083	9789	0,16	–0,58	–0,89
22	Чепца–г.Глазов	9750	86	13265	2068593	364112819	5913	0,12	0,90	–0,18

Таблица 17 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Балтийского моря

№ пст	Река –пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты				D	$r(1)$	C_v	C_s
			m_1	m_2	m_3	m_4				
23	р. Великая – г. Опочка	3500	-102	13757	-2463654	488215279	3292	0,65	-0,56	-0,96
24	р. Великая – д. Селихново	6350	-48	2995	-266887	25970557	725	0,50	-0,57	-0,17
25	р. Великая – д. Гуйтово	13400	-71	12669	-2485335	536589118	7689	0,59	-1,24	-0,68
15	р. Кунья – г. Холм	5140	-30	3747	-68319	36162916	2850	-0,81	-1,78	1,45
13	р. Ловать – д. Сельцо	8230	-99	13464	-2207705	399990173	3639	0,43	-0,61	-0,69
14	р. Ловать – г. Холм	14700	-49	4209	-338203	35635296	1846	0,04	-0,88	0,58
19	р. Луга – г. Кингисепп	12800	-12	5344	-107976	70589094	5189	0,19	-5,78	0,24
18	р. Луга – ст. Толмачево	6350	5	5932	48529	70992980	5906	0,33	15	-0,09
4	р. Паша – с. Часовенское	5710	-56	8550	-1085865	205847292	5382	0,03	-1,30	0,003
27	р. Сороть – д. Осинкино	3170	-54	4997	-443973	45012610	2101	0,55	-0,85	0,23

Таблица 18 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Печоры

№ пст	Река –пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты				D	$r(1)$	C_v	C_s
			m_1	m_2	m_3	m_4				
12	Ижма–д.Картайоль	22700	-57	6520	-737537	96508702	3320	-0,17	-1,02	0,04
11	Ижма–с.Усть–Ухта	15000	-73	11550	-2116369	493304960	6206	-0,20	-1,08	-0,75
10	Кожим–п.Кожим Рудник	4980	-306	106097	-40681971	17153549140	12725	-0,23	-0,37	-0,34
2	Печора–с.Трооицко–Печорск	35600	-139	25264	-5099932	1099781922	5990	0,04	-0,56	0,15
3	Печора–с.Усть–Щугор	67500	-102	17491	-2931653	582815527	7094	0,04	-0,83	0,50
1	Печора–д.Якша	9620	-157	31324	-7114204	1755589634	6825	-0,05	-0,53	-0,13
15	Пижда–д.Боровая	4890	-58	7744	-899062	134829149	4373	-0,05	-1,14	0,20
8	Уса–с.Адзьва	54700	-214	52214	-14021767	4090448285	6267	-0,08	-0,37	-0,29
7	Уса–с.Петрунь	27500	-311	104822	-38332291	15196878106	8363	0,04	-0,29	-0,76
13	Ухта–г.Ухта	4290	-78	11221	-1679085	283630901	5088	0,09	-0,91	-0,01
17	Цильма–с.Трусово	20900	-98	16795	-2800727	577499962	7264	0,25	-0,87	0,42
6	Щугор–д.Мичабичевник	9220	-451	218504	-112429406	60648690030	15201	0,17	-0,27	-0,11

Оценка расчетных характеристик влагозапасов, рассчитанная методом «зимней и летне-осенней межени».

В годовом цикле колебаний стока реки различают два периода: половодье и межень.

За периодом половодья следует период малых расходов, называемый меженью. Межень бывает большую часть года и длится от конца половодья до начала следующего половодья, захватывая лето, осень и зиму. Осенью межень обычно прерывается паводками, связанными с выпадением обильных дождей. Вода, выпавшая на поверхность бассейна реки, попадает в нее с поверхностными или подземными стоками в зависимости от топографических, геологических особенностей бассейна и климатических условий.

В бассейнах, сложенных фильтрующими породами, например песчаными отложениями, значительная часть осадков просачивается в грунт и пополняет запасы грунтовых вод, которые являются источниками грунтового питания реки [25].

В период зимней или летне-осенней межени река подпитывается благодаря подземной составляющей. Из утверждения, что межень отражает изменение годовых влагозапасов появилось предположение о том, что коэффициент вариации, характеризующий разброс изменений, будет совпадать со значениями посчитанными по методу водного баланса.

Как известно, показателем основного грунтового питания рек может служить водообильность рек в первые зимние месяцы (ноябрь и декабрь), сток которых отражает естественный режим истощения запасов подземных вод в бассейне с переходом рек на чисто грунтовое питание.

Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов рассчитывались для бассейна реки Оби.

В таблицах 19 и 20 приведены значения трех начальных моментов, дисперсии, коэффициента корреляции, коэффициентов вариации и асимметрии рядов минимального стока зимней и летне-осенней межени.

Таблица 19 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Оби (зимняя межень)

Река –пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты			D	$r(1)$	C_v	C_s
		m_1	m_2	m_3				
р. Тартас –д.Северное	5480	3	1427	21170	1419	-0,26	13,4	0,17
р. Тартас –д.Венгерово	1600	4	2451	54447	2431	-0,09	11,0	0,18
р. Тара –д.Мало –Красное	14200	0	11199	864348	11199	-0,04	-1009	0,73
р. Ляпин – п.Саранпауль	18500	-3	85241	-2282557	85229	-0,66	-83,7	-0,06
р. Бия –г.Бийск	36900	-10	167194	19977127	167093	-0,31	-40,5	0,37
р. Чулышман –д.Балыкча	16600	2	67199	43811	67196	-0,58	144	-0,02
р. Ануй – д.Старотыр	6850	-13	221744	-82609118	221580	0,03	-36,7	-0,71
р. Чарыш – д.Чарышское	27200	22	4332158	-2902862782	4331672	-0,55	94,3	-0,35
р. Иня – д.Кайлы	15700	-4	24794	2302419	24780	-0,56	-41,9	0,66
р. Томь – г. Междуреченск	5880	-50	1024229	-824758159	1021751	-0,32	-20,3	-0,65
р. Томь – г. Новокузнецк	29800	-5	205296	-17357860	205273	-0,16	-93,9	-0,15
р. Кондома – д.Кузедеево	7080	-8	361889	112361283	361829	-0,33	-77,3	0,56
р. Шегарка – д.Бабарыки	8190	5	12654	925976	12633	-0,62	24,10	0,53
р. Чулым – д.Балахта	14700	-17	78964	-13504893	78659	-0,60	-16,0	-0,43
р. Кия – г.Мариинск	9820	-20	173469	-18319656	173081	-0,36	-21,1	-0,11
р. Кеть – д.Максимкин Яр	38400	9	879972	-167922837	879888	-0,60	102	-0,23
р. Васюган – п.Средн. Васюган	31700	-12	18520	19743	18368	-0,42	-10,9	0,28
р. Тым – п.Напас	24500	13	98327	-1582214	98169	-0,47	24,9	-0,17
р. Лямин – факт.Горшково	12800	40	202719	53437567	201094	-0,43	11,1	0,33
р. Бол. Юган – д.Угут	22100	11	25700	-2559675	25579	-0,11	14,5	-0,83

Таблица 20 – Числовые характеристики для случайного процесса изменения влагозапасов бассейна Оби (летне-осенняя межень)

Река –пост	$F, \text{ км}^2$	Начальные моменты			D	$r(1)$	C_v	C_s
		m_1	m_2	m_3				
Омь – г. Куйбышев	12200	-2	373579	10114183	373575	-0,62	-300	0,05
Тартас – с. Северное	5480	-40	417104	-87800428	415539	-0,58	-16,3	-0,14
Тартас – с. Венгерово	16200	-44	80742	-33512909	78789	-0,10	-6,35	-1,04
Тара – с. Малокрасноярское	14200	-79	449816	-209154122	443528	-0,55	-8,40	-0,35
Ляпин – с. Саранпауль	18500	-118	40065439	33210894034	40051520	-0,39	-53,6	0,19
Полуй – ГМС Полуй	15100	55	19632019	-40503763514	19629045	-0,58	81,2	-0,50
Бия – г. Бийск	36900	-298	14749719	-4108826206	14660655	-0,53	-12,8	0,16
Чулышман – с. Балыкча	16600	50	3158451	4285467000	3155990	-0,49	35,8	0,68
Ануй – с. Старо –Тырышкино	6850	-96	2286066	-5701813449	2276929	-0,44	-15,8	-1,47
Чарыш – свх Чарышский	20700	-172	5182376	-9871148130	5152772	-0,60	-13,2	-0,62
Иня (нижняя)–с Кайлы	15700	-27	50785	468144	50041	-0,36	-8,20	0,41
Томь – г. Междуреченск	5880	-390	35593438	-56030730211	35441530	-0,54	-15,3	-0,07
Томь – г. Новокузнецк	29800	-468	16530195	-21431050699	16311403	-0,43	-8,63	0,02
Кондома – пгт Кузедеево	7080	-184	3454859	-1351460398	3420905	-0,37	-10,0	0,09
Шегарка – с. Бабарыкино	8190	-11	256253	-46570159	256137	-0,57	-46,9	-0,30
Чулым – пгт Балахта	14700	-172	2735959	-1824653369	2706225	-0,50	-9,54	-0,09
Кия – г. Мариинск	9820	-338	9688672	-18319709003	9574127	-0,32	-9,14	-0,29
Кеть – п. Максимкин Яр	38400	-244	2326955	-4733913601	2267346	-0,36	-6,17	-0,89
Васюган – с. Ср. Васюган	31700	-290	3658900	-9025118916	3574731	-0,45	-6,52	-0,87
Тым – с. Напас	24500	-6	5489318	-1678867352	5489281	-0,29	-386	-0,12
Лямин – факт. Горшково	12800	-11	11377573	-45378295920	11377456	-0,37	-311	-1,17
Большой Юган – с. Угут	22100	34	3685272	-6603281405	3684138	-0,40	57,0	-0,99

Таблица 21 – Сводная таблица числовых характеристик для случайного процесса изменения влагозапасов для методов водного баланса (ВБ), зимней и летне-осенней межени (ЗМ, ЛМ)

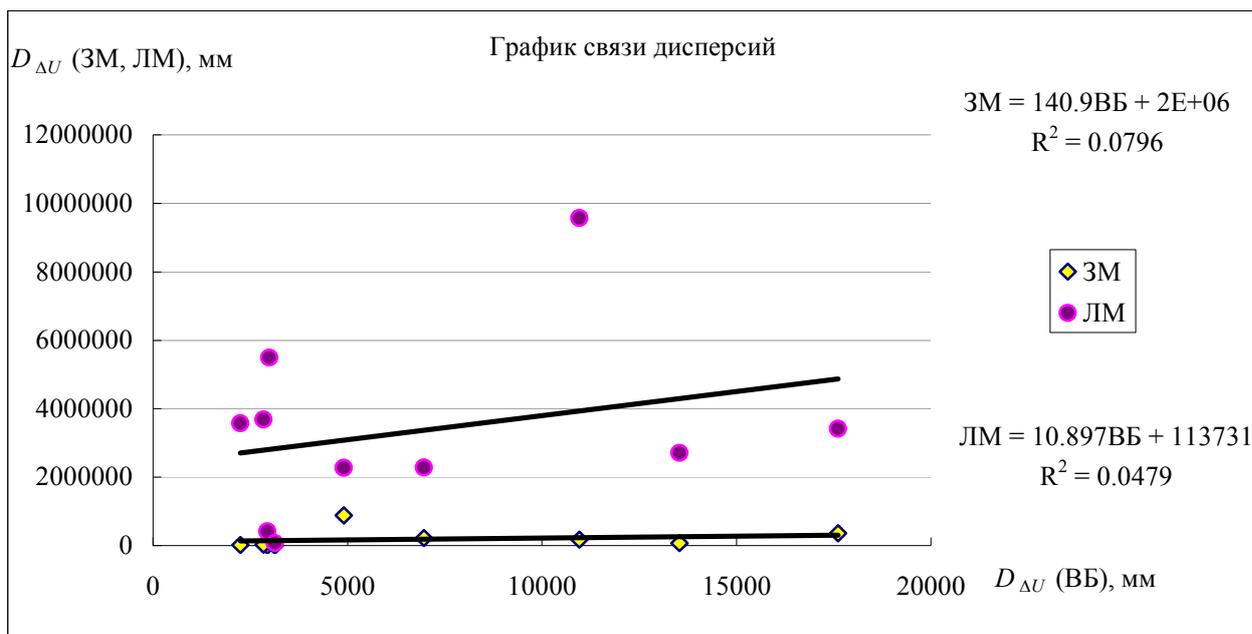
Река –пост	$F, \text{ км}^2$	ВБ	ЗМ	ЛМ	ВБ	ЗМ	ЛМ	ВБ	ЗМ	ЛМ
		m_1	m_1	m_1	m_2	m_2	m_2	D	D	D
Тартас – с. Северное	5480	20	3	-40	3320	1427	417104	2938	1419	415539
Тартас – с. Венгерovo	16200	50	4	-44	5622	2451	80742	3135	2431	78789
Ляпин – с. Саранпауль	18500	-92	-3	-118	22655	85241	40065439	14222	85229	40051520
Ануй – с. Ст.-Тырышкино	6850	45	-13	-96	9019	221744	2286066	6965	221580	2276929
Томь – г. Новокузнецк	29800	-470	-5	-468	239116	205296	16530195	18477	205273	16311403
Кондома – пгт Кузедеево	7080	-97	-8	-184	27002	361889	3454859	17616	361829	3420905
Чулым – пгт Балахта	14700	-256	-17	-172	79305	78964	2735959	13538	78659	2706225
Кия – г. Мариинск	9820	-120	-20	-338	25291	173469	9688672	10957	173081	9574127
Кеть – п. Максимкин Яр	38400	25	9	-244	5507	879972	2326955	4902	879888	2267346
Васюган – с. Ср. Васюган	31700	35	-12	-290	3457	18520	3658900	2247	18368	3574731
Тым – с. Напас	24500	2	15	-6	2991	115679	5489318	2988	115461	5489281
Б. Юган – с. Угут	22100	88	12	34	10610	27053	3685272	2838	26919	3684138

Продолжение таблицы 21

Река –пост	$F, \text{ км}^2$	ВБ	ЗМ	ЛМ	ВБ	ЗМ	ЛМ	ВБ	ЗМ	ЛМ
		$r(1)$	$r(1)$	$r(1)$	Cv	Cv	Cv	Cs	Cs	Cs
Тартас – с. Северное	5480	-0,05	-0,26	-0,58	2,77	13,4	-16,3	0,20	0,17	-0,14
Тартас – с. Венгерovo	16200	-0,07	-0,09	-0,10	1,12	11,0	-6,35	0,61	0,18	-1,04
Ляпин – с. Саранпауль	18500	0,42	-0,66	-0,39	-1,30	-83,8	-53,6	-0,62	-0,06	0,19
Ануй – с. Ст.-Тырышкино	6850	-0,41	0,03	-0,44	1,84	-36,7	-15,8	0,69	-0,71	-1,47
Томь – г. Новокузнецк	29800	0,52	-0,16	-0,43	-0,29	-93,9	-8,63	0,90	-0,15	0,02
Кондома – пгт Кузедеево	7080	0,01	-0,33	-0,37	-1,37	-77,4	-10,0	0,12	0,56	0,09
Чулым – пгт Балахта	14700	-0,10	-0,60	-0,50	-0,45	-16,0	-9,54	-1,72	-0,43	-0,09
Кия – г. Мариинск	9820	0,06	-0,36	-0,32	-0,87	-21,1	-9,14	-0,05	-0,11	-0,29
Кеть – п. Максимкин Яр	38400	-0,16	-0,60	-0,36	2,85	102	-6,17	-1,05	-0,23	-0,89
Васюган – с. Ср. Васюган	31700	-0,34	-0,42	-0,45	1,36	-11	-6,52	-0,44	0,28	-0,87
Тым – с. Напас	24500	-0,53	-0,47	-0,29	33,3	23,0	-385	0,27	-0,18	-0,12
Б. Юган – с. Угут	22100	-0,13	-0,11	-0,40	0,60	14,2	57,0	0,14	-0,82	-0,99

При сравнении данных, представленных в таблице 21, были построены графики связи статистических характеристик. На рисунке 12 представлены графики с наибольшими коэффициентами корреляции: лучше всего коррелируются дисперсия и коэффициенты вариации, причем наибольший коэффициент корреляции получен между изменениями влагозапасов по уравнению водного баланса с изменениями минимального стока зимней межени.

а)



б)

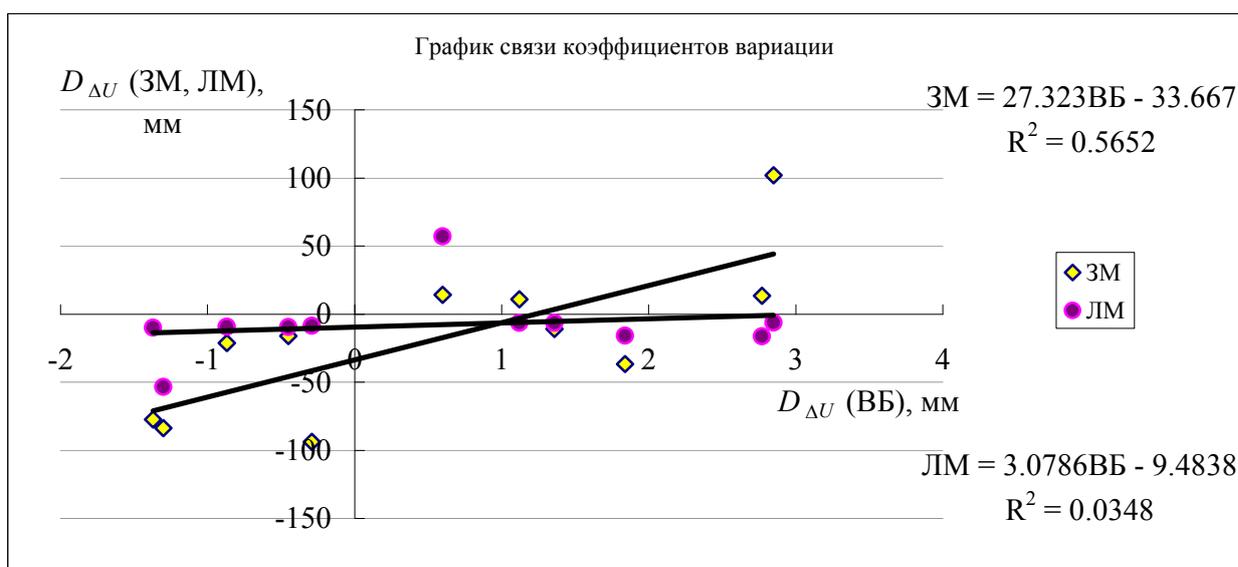


Рисунок 12 – Графики связи.

В таблице 22 представлены статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов, вычисленные с использованием данных Интернет-ресурсов. В таблице 23 показан пример данных, представленных в Приложении Б.

Таблица 22 – Статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Паша	Часовенское	-77	-0,80	-0,35	-0,35
Ловать	Сельцо	-108	-0,75	-0,19	0,01
Ловать	Холм	-120	-0,66	-0,39	0,05
Кунья	Холм	-140	-0,53	-0,64	0,08
Луга	Толмачево	-62	-1,18	-0,14	-0,03
Луга	Кингисепп	-57	-1,17	-0,10	-0,05
Великая	Опочка	-175	-0,45	-0,07	-0,06
Великая	Селихново	-162	-0,49	-0,77	-0,04
Великая	Гуйтово	-130	-0,57	-0,41	-0,03
Сороть	Осинкино	-110	-0,78	-0,40	-0,05
Онега	Надпор.Погост	-99	-1,22	-3,25	-0,19
Свидь	Горки	-83	-0,85	-0,35	-0,44
Волошка	Тороповская	-64	-1,22	-0,75	-0,31
Сухона	Тотьма	-80	-0,78	0,04	-0,23
Сухона	Калкино	-20	-3,77	0,00	0,10
Юг	Подосиновец	-5	-14,28	-0,01	-0,25
Юг	Гаврино	-19	-3,38	0,06	-0,03
Вычегда	Сыктывкар	-50	-1,64	0,35	0,26
Вишера	Лунь	-53	-1,73	-0,02	0,00
Вымь	Весляна	4	25,81	1,62	0,02
Яренга	Тохта	34	2,74	1,01	0,14
Пинега	Кулогоры	-37	-1,41	0,51	-0,33
Мезень	Малонисогорская	-32	-1,75	-0,46	-0,31
Вашка	Рещельская	-15	-3,72	0,09	-0,30
Аксай Есауловский	Водянский	-290	-0,35	0,24	-0,09
Валуй	Валуйки	-69	-1,29	-0,14	-0,15
Красивая Меча	Сергиевское	-263	-0,52	0,86	0,25
Свияга	Ивашевка	-70	-1,36	-0,37	-0,28
Сок	Сургут	-83	-1,25	-0,08	0,13
Кондурча	Украинка	-63	-1,49	-0,37	-0,01
Самара	Елшанка	-125	-0,80	-0,17	0,13

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Большой Кинель	Тимошево	-55	-1,99	-0,11	0,12
Сызранка	Репьевка	-93	-1,03	-0,18	-0,27
Тверца	Прутенька	-218	-0,61	0,60	0,23
Тверца	Медное	-190	-0,60	0,34	0,05
Медведица	Большие Сетки	-64	-0,99	-0,32	-0,39
Молога	Забережье	-69	-0,97	-0,37	-0,25
Молога	Устюжна	-43	-1,43	-0,62	-0,38
Колпь	Верхний Двор	25	2,97	-0,39	-0,35
Немда	Селище	-13	-5,79	0,17	-0,12
Нея	Буслаево	-13	-5,97	0,07	-0,04
Зуша	Мценск	-85	-1,12	-0,12	-0,18
Угра	Товарково	-58	-1,57	-0,09	-0,33
Протва	Загорье	-32	-3,02	0,28	-0,22
Цна	Княжево	-78	-1,40	0,20	-0,19
Клязма	Павловский Посад	-127	-0,78	0,01	-0,21
Клязма	Владимир	-54	-1,88	-0,15	-0,16
Кама	Волосницкое	142	0,52	-0,42	-0,05
Сылва	Шамары	0	–	0,20	0,21
Белая	Сыртланово	-200	-0,49	-0,73	0,06
Уфа	Красноуфимск	-53	-1,65	-0,22	-0,01
Ай	Лаклы	-20	-3,76	0,05	-0,07
Ай	Метели	71	1,24	0,05	-0,01
Дема	Бочкарева	-8	-14,93	0,27	0,19
Сюнь	Миньярово	-1	–	-0,29	0,17
Ик	Нагабайково	-46	-2,19	-0,11	0,14
Чепца	Полом	-42	-2,17	-0,43	0,34
Чепца	Глазов	-54	-1,77	-0,88	0,48
Быстрица	Шипицино	-7	-15,31	0,10	-0,14
Печора	Якша	-184	-0,42	0,23	-0,15
Печора	Троицко-Печорск	-115	-0,60	0,17	-0,38
Печора	Щугор	-110	-0,80	0,23	0,11
Щугор	Мичабичевник	-466	-0,27	0,24	0,18
Уса	Петрунь	-323	–	0,12	0,27
Уса	Адзьва	-221	–	0,00	0,21
Кожим	Кожим Рудник	-400	-0,31	0,02	0,07
Ижма	Усть – Ухта	9	8,27	-0,06	-0,18
Ижма	Картайоль	37	1,98	-0,03	-0,22
Ухта	Ухта	-11	-6,71	-0,24	-0,20
Пижма	Боровая	18	4,39	0,22	-0,23
Цильма	Трусово	-31	-2,47	0,01	-0,22
Днепр	Дорогобуш	-85	-1,05	-0,03	0,00

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Днепр	Смоленск	-73	-1,23	-0,46	-0,03
Ипуть	Ущерпье	-96	-1,02	0,30	-0,22
Десна	Голубея	-89	-1,03	-0,03	-0,23
Десна	Брянск	-110	-0,92	0,09	-0,39
Болва	Псурь	-66	-1,43	-0,22	-0,34
Судость	Погар	-47	-3,40	2,52	0,19
Сейм	Лебяжье	-85	-1,19	-0,14	-0,09
Сейм	Рыльск	-73	-1,35	-0,23	-0,02
Бия	Бийск	-20	-4,16	0,14	-0,47
Чуя	Белый Бом	86	0,95	0,08	0,05
Ануй	Старотыр	42	2,32	0,52	-0,22
Чарыш	Чарышск	-64	-1,66	0,70	-0,12
Иня	Кайлы	69	1,26	-0,01	-0,03
Томь	Междуречье	96	1,55	-0,92	-0,30
Томь	Новокузнецк	-129	-1,30	-0,11	-0,26
Мрас-Су	Мыски	12	15,47	-0,21	-0,25
Кондома	Кузедеево	129	1,38	-0,42	-0,30
Шегарка	Бабарыки	122	0,68	-0,43	-0,32
Чулым	Балахта	-152	-0,49	-0,57	-0,09
Чулым	Кр.Завод	-6	-14,14	0,10	-0,25
Урюп	Изындаево	-61	-1,35	-0,13	-0,07
Кия	Мариинск	-349	-0,27	0,17	-0,02
Чая	Подгорный	107	0,65	-0,30	0,12
Парбиг	Веселый	81	0,81	-0,23	-0,10
Кеть	Макс.Яр	41	1,75	-0,56	-0,41
Пайдугина	Березовка	-2	-43,20	0,32	-0,02
Кенга	Центральный	73	0,86	0,03	-0,23
Васюган	Ср.Васюган	-281	0,61	-0,85	-0,14
Тым	Напас	-208	1,02	0,18	-0,37
Вах	Лобчинск	-195	1,36	-0,12	-0,41
Тром-Юган	Ермаково	-205	1,09	0,16	-0,06
Лямин	Горшки	-223	0,73	-0,06	0,01
Бол,Юган	Угут	-243	0,54	-0,87	-0,22
Кулунда	Шимолино	-452	-0,30	0,01	-0,15
Чулым	Ярки	-297	1,14	0,41	-0,08
Каргат	Здвинск	-294	1,22	0,40	-0,20
Назым	Вершина	-235	0,38	0,40	0,00
Курчум	Вознесен	-378	-0,41	-0,48	0,00
Бухтарма	Печи	-188	-0,27	-0,37	0,09
Бухтарма	Березовки	-171	-0,70	-0,06	0,06
Уба	Шемон	-414	1,34	-0,02	0,13

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	Cv	Cs	$r(1)$
Омь	Мартемьян	-323	-2,04	-0,48	-0,16
Омь	Куйбышев	-291	12,28	-0,37	-0,25
Омь	Калачинск	-326	2,04	0,42	-0,05
Тартас	Северное	-295	3,25	0,15	-0,29
Тартас	Шипицино	-326	4,37	0,07	-0,09
Тартас	Венгерово	-309	1,32	0,55	-0,19
Тара	В,Тарка	41	2,45	-0,68	0,00
Тара	Мало-Красн	21	3,85	-0,08	-0,28
Тара	Муромцево	70	1,09	0,50	-0,05
Уй	Баженово	-193	-0,88	0,53	0,21
Ишим	Викулово	48	1,94	0,73	-0,05
Вагай	Нововыйгр	-48	-1,61	0,98	0,11
Туртас	Нов.Туртас	-386	-0,44	-0,21	0,23
Демьянка	Лымковск	-77	-1,18	-0,26	0,12
Конда	Болчары	161	0,69	0,04	0,10
Сев.Сосьва	Няксимволь		-0,18	-0,24	0,06
Сев.Сосьва	Сосьва	-38	-1,84	-0,20	0,05
Ляпин	Саранпуль	-74	-1,16	-0,26	0,35
Лена	Качуг	-70	-1,18	-0,08	0,18
Лена	Грузновка	-12	-5,33	0,32	-0,23
Тутура	Грехова	-22	-3,00	0,54	-0,35
Кута	Максим	63	1,00	-0,22	0,22
Кута	Ново-Иль	44	1,58	-0,26	0,21
Таюра	Таюра	-62	-1,34	-0,75	0,28
Бол,Тира	Тира	77	0,92	-0,04	0,14
Киренга	Шорохово	-294	-0,28	0,43	0,33
Пеледуй	Сользав	127	0,35	-0,11	-0,11
Манзурка	Зуева	20	3,02	0,22	-0,06
Заза	Усть-Заза	94	0,54	0,30	0,48
Конда	Элькисер	125	0,52	0,68	0,32
Юмурчен	Юмурчен	69	0,68	-0,16	0,20
Камчатка	Долиновка	-127	-0,86	0,77	-0,11
Камчатка	Лазо	-12	-8,75	0,69	-0,04
Камчатка	Козыревск	-44	-1,75	0,74	0,47
Камчатка	Ключи	-217	-0,46	-0,03	0,37
Тигиль	Тигиль	-190	-0,40	0,22	0,27
Толбачик	Толбачик	59	1,65	0,31	0,21
Авача	Елизово	-316	-0,43	-0,27	-0,01
Большая	Малки	-345	-0,38	-0,32	-0,50
Воровская	Соболево	-393	-0,39	-0,35	0,18
Крутогорова	крутогорова	-377	-0,38	-0,35	0,57

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	Cv	Cs	$r(1)$
Хайрюзова	Хайрюзова	-157	-0,47	0,17	-0,13
Напана	Седанка	-11	-7,44	-0,19	0,42
Онон	В,Ульхун	11	5,80	0,05	0,29
Онон	Бытэв	21	2,94	-0,05	0,29
Кыра	Кыра	45	1,52	0,53	-0,29
Унда	Новоиван	15	3,20	-0,01	0,10
Ингода	Дешулан	-50	-1,02	0,31	0,19
Ингода	Улёты	-0,27	–	0,86	0,01
Ингода	Атаманов	36	1,41	0,75	0,20
Ингода	Краснояр	21	2,60	0,11	0,51
Ингода	Нерчинск	35	1,40	-0,56	0,37
Чёрная	Сбега	88	0,54	0,55	-0,23
Амазар	Амазар	11	5,36	0,14	-0,12
Уркан	Заречное	112	0,36	0,06	-0,17
Деп	Рычково	106	0,51	0,09	0,06
Томь	Светилов	191	0,39	0,41	-0,15
Буряя	У,-Ниман	36	1,83	-0,15	-0,23
Ниман	12км от ус	69	1,22	1,72	0,20
Тунгуска	Архангел	160	0,47	0,15	-0,14
Кур	Новокур	177	0,55	0,24	-0,03
Амгунь	Гуга	-27	-2,82	0,18	0,39
Нимелен	Тимченко	-1	-66,76	-0,42	-0,06
Бикин	Звеньевой	-19	-3,71	-0,35	-0,20
Бикин	Тереховка	66	1,82	-0,75	-0,17
Ток	Николаевский	-107	-1,54	-0,20	-0,09
Туюн	3км от уст	71	1,45	-0,20	0,03
Ивановка	Ивановка	215	0,38	0,30	-0,28
Б.Бира	Биракан	-2	-41,69	-0,10	0,01
Б.Бира	Биробиджан	-44	-2,29	0,15	0,08
Сутара	Известковая	45	1,72	-0,17	-0,05
Манома	Манома	70	1,42	0,37	-0,05
Горин	Бактор	48	1,23	-0,34	-0,12
Нимелен	Апкороши	-20	-3,67	0,39	-0,01
Бурен	Усть-Бурен	257	0,68	0,81	0,69
Абакан	Абаза	-235	-0,49	0,04	-0,49
Абакан	Райков	36	2,80	0,27	-0,48
Туба	Бугуртак	-75	-1,85	-0,16	-0,26
Казыр	Пономар	309	0,43	-1,44	-0,42
Кизир	Имисское	-355	-0,36	0,00	-0,22
Амыл	Качульск	157	0,95	0,33	-0,27
Мана	Манский	-85	-1,00	-0,20	-0,23

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Кан	Ирбейск	-165	-0,43	0,31	-0,08
Кан	Канск	-140	-0,47	-0,32	-0,16
Кан	Подпорог	-91	-0,87	-0,19	-0,26
Агул	Петропав	-206	-0,36	-0,10	-0,30
Бол,Пит	Брянка	65	1,01	0,07	-0,23
Кас	Александровский	83	0,79	0,02	-0,37
Сым	факт. Сым	115	0,63	-0,15	-0,04
Елогуй	пос. Келлог	123	0,67	0,18	-0,06
Н.Тунгуска	Подволош	87	0,58	-0,06	0,06
Иркут	Тунка	209	0,41	-0,61	0,32
Иркут	Тибильти	514	0,30	-0,07	0,58
Иркут	Иркутск	169	0,40	-0,79	0,39
Ия	Тулун	-642	-0,24	1,19	-0,44
Илим	Сотникова	65	0,93	-0,02	0,11
Чадобец	Яркино	72	0,76	0,02	-0,01
Мура	Ирба	54	1,40	0,17	-0,24
Иркинеева	Бедоба	42	1,45	0,16	0,08
Уда	Укар	24	2,85	-0,03	-0,34
Бирюса	Биррюсинск	-77	-1,08	-0,88	-0,06
Бирюса	Шиткино	-33	-1,93	0,21	-0,23
Тагул	Геогиевка	-198	-0,41	-0,10	0,22
Усолка	Троицкое	36	2,04	-0,31	-0,22
Турка	Соболиха	-189	-0,27	-0,26	-0,32
Джида	Хамней	457	0,24	0,05	-0,06
Джида	Джида	476	0,22	0,14	-0,27
Чикой	Гремячка	-11	-4,30	0,28	0,40
Чикой	Поворот	-79	-0,74	-0,30	0,22
Хилок	Хилок	96	0,67	0,52	0,15
Хилок	Малета	115	0,64	0,41	0,00
Хилок	Хайластуй	21	2,72	-0,20	0,19
Уда	Хоринск	134	0,44	0,44	0,04
Уда	Улан-Удэ	-46	-1,53	0,40	0,22
Кудун	Хоринск	-189	0,74	0,27	0,19
Курба	Н,Курба	-15	-3,39	0,36	0,04
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	113	0,87	1,13	-0,03
Куда	Грановщина	3	25,19	-0,38	-0,11
Ида	Морозова	165	0,38	-0,21	0,51
Зима	Зулумай	-159	-3,13	-4,33	-0,07
Кирей	Уйгат	-181	-0,44	-0,31	0,62
Вихорева	Кобляково	-35	-1,71	0,38	0,21
Карабула	Карабула	87	0,85	-0,32	-0,20

Продолжение таблицы 22

Река	Пункт	Характеристики			
		Среднее	C_v	C_s	$r(1)$
Уда	Алыгджер	-96	-0,83	0,00	-0,01
Уда	Широково	85	0,91	0,42	-0,30
Чукша	Савельевка	5	12,41	0,40	-0,42
Бирюса	Нерой	-117	-0,74	-0,67	0,22
Татарка	Татарка	-59	-2,70	0,59	0,63
Енисей	Тоора-Хем	–	-0,28	1,99	-0,14
Енисей	Сейба	654	0,26	1,36	-0,07
Ус	Усть-Золотая	624	0,31	0,85	0,27
Оя	Ермаковское	449	0,56	0,60	0,58
Она	М. Анзас	-57	-1,67	0,45	-0,39
Джебаш	Джебаш	-15	-6,84	0,15	0,04
Таштып	Таштып	74	1,92	-0,02	-0,28
Казыр	Пономарево	-331	-0,41	-0,20	-0,12
Мана	Кой	-232	-0,42	-0,11	0,33
Кунгус	Ильинка	-157	-0,66	-0,26	0,47
Б.Пит	Сухой Пит	18	3,81	0,10	-0,33

При решении многих практических задач функция распределения случайной величины не может быть определена теоретическим путем. В таких случаях используются результаты наблюдений за случайной величиной, позволяющие определить вид функции распределения и оценить ее числовые характеристики [22]. Расчеты проводились по следующей методике.

Определяется амплитуда колебаний исследуемой величины как разница между наибольшим и наименьшим значениями. Амплитуда разбивается на равные интервалы, в нашем случае – 7. Определяется длина расчетного интервала. В качестве левой границы первого интервала принимается значение большее или равное максимальному значению. Далее подсчитывается количество значений, попавших в интервал, и вычисляется вероятность попадания в интервал:

$$p = (m_i / n + 1)100\%, \quad (27)$$

где m_i – число случаев попадания в интервал (повторяемость);

n – сумма чисел случаев попадания в интервал.

По полученным данным строятся гистограммы.

Таблица 23 – Статистические характеристики рядов изменения влагозапасов водосбора р. Большой Кинель

№	Река	Пост	Широта	Долгота	$F, \text{км}^2$	Год	$Y, \text{м}^3/\text{с}$	$Y, \text{мм}$	$X, \text{мм}$	$T, \text{град}$	$d, \text{мбар}$	$E, \text{мм}$	$\Delta U, \text{мм}$
32	Большой Кинель	Тимошево	53.53	52.63	12000	1951	38.5	101	354	4.8	8.6	529	-276
						1952	16.6	44	458	5.3	8.9	552	-138
						1953	28.9	76	580	4.6	8.5	521	-17
						1954	30.9	81	463	4.6	8.5	523	-142
						1955	26.2	69	523	4.9	8.7	535	-81
						1956	22.7	60	695	3.6	7.9	474	161
						1957	61.5	161	450	5.5	9.0	559	-270
						1958	44.7	117	636	3.8	8.0	486	33
						1959	37.2	98	546	3.0	7.6	447	1
						1960	40	105	543	3.0	7.6	448	-9
						1961	36.9	97	602	4.1	8.2	501	4
						1962	29.4	77	610	4.4	8.4	514	19
						1963	49.5	130	714	3.3	7.7	463	122
						1964	45.5	119	730	2.9	7.5	443	167
						1965	55	144	562	3.2	7.7	458	-40
						1966	42.8	112	446	3.7	8.0	483	-150
						1967	16.1	42	433	5.0	8.7	536	-145
						1968	37.6	99	528	3.2	7.7	456	-27
						1969	23.5	62	483	1.6	6.9	391	31
						1970	48.6	128	567	3.8	8.0	487	-47
						1971	38.1	100	590	4.3	8.3	508	-18
						1972	30.6	80	433	3.6	7.9	478	-125
						1973	26.5	70	532	4.1	8.2	498	-35
						1974	37.1	97	442	4.2	8.3	505	-161
						1975	17.1	45	366	5.9	9.3	576	-255
						1976	23.6	62	448	2.0	7.0	404	-18
						1977	23.2	61	629	4.1	8.2	499	69
						1978	34.2	90	646	3.3	7.7	461	95
						1979	55.9	147	612	4.3	8.3	507	-42
						1980	37.7	99	533	3.5	7.8	471	-37
						1981	37.3	98	434	5.5	9.0	557	-221
						1982	34.1	90	466	4.7	8.5	526	-150
						1983	27.1	71	646	5.3	8.9	552	23
						1984	17.4	46	484	4.3	8.3	508	-70
						1985	46.1	121	546	4.0	8.1	497	-71
						1986	48.6	128	531	3.7	8.0	483	-79
						1987	50.6	133	570	2.9	7.5	445	-8
						1988	52.5	138	489	4.9	8.7	533	-182

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	38	38	38	38
Ср.зн.	535	495	-55	95
ско	91.7	42.2	109.8	31.4
Дисп.	8409	1781	12046	985
К-т вар.	0.17	0.09	-1.99	0.33
К-т асим.	0.18	-0.31	-0.11	0.11
К-т экс.	-0.66	-0.31	-0.43	-0.92
a1	535	495	-55	95
a2	294202	246963	14757	9913
a3	166240235	123991804	-2254765	1123185
a4	96324691748	62651130754	628507538	135088445
m2	8409	1781	12046	985
m3	142174	-23474	-151996	3555
m4	165376508	8534829	372805569	2024178

Погрешности	E	ΔU	Y
C_s/C_v	-3.66	0.06	0.35
$r(I)$	0.07	0.12	0.23
ср.зн.	1	-32	5
C_v	12	-	13
C_s	-128	-771	364

Проведена визуализация хронологических и статистических распределений всех использованных гидрометеозлементов, входящих в уравнение водного баланса для исследованных бассейнов. На рисунке 13 приведен пример подобных распределений.

В Приложении В представлены гистограммы еще нескольких рядов изменения суммарных влагозапасов. Распределения, как правило, одномодальные, но встречаются и двухмодальные. Асимметрия и норма могут быть как положительными, так и отрицательными.

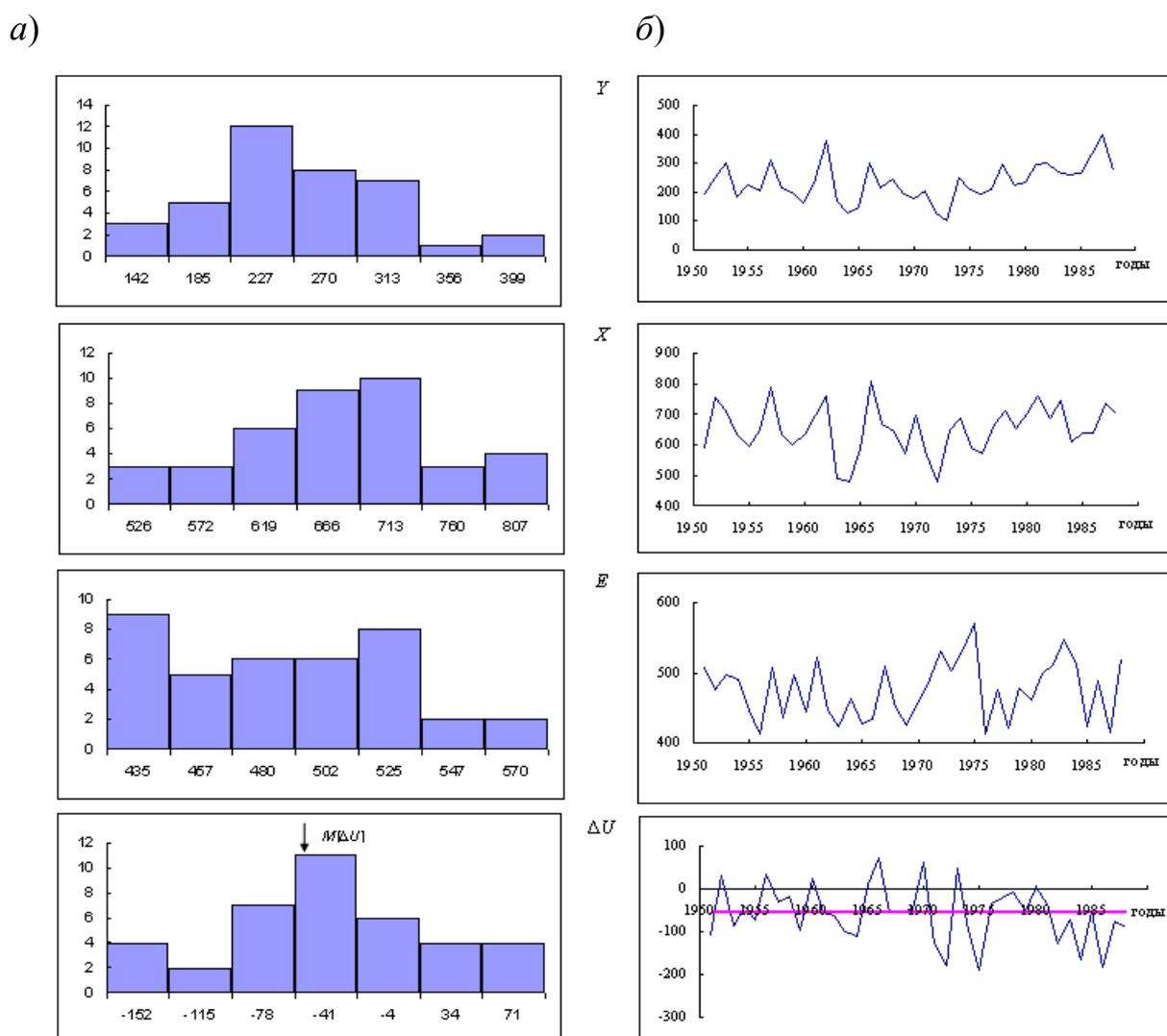


Рисунок 13 – Пример статистических (а) (по оси x – интервал значений, по оси y – частота попаданий в интервал) и хронологических (б) распределений (р. Луга – г. Кингисепп).

3 КАРТИРОВАНИЕ НОРМЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЛАГОЗАПАСОВ РОССИИ

3.1 Использование ГИС технологий

Геоинформационные системы (ГИС) являются классом информационных систем, имеющим свои особенности. Они построены с учетом закономерностей геоинформатики и методов, применяемых в этой науке. ГИС как интегрированные информационные системы предназначены для решения различных задач науки и производства на основе использования пространственно – локализованных данных об объектах и явлениях природы и общества. Неразрывно с ГИС связаны геоинформационные технологии.

Геоинформационные технологии можно определить как совокупность программно-технологических средств получения новых видов информации об окружающем мире. Геоинформационные технологии предназначены для повышения эффективности: процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений. ГИС имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при изучении этих систем. Одна из особенностей ГИС и геоинформационных технологий состоит в том, что они являются элементами информатизации общества. Это заключается во внедрении ГИС и геоинформационных технологий в науку, производство, образование и применение в практической деятельности получаемой информации об окружающей реальности. Геоинформационные технологии являются новыми информационными технологиями, направленными на достижение различных целей, включая информатизацию производственно-управленческих процессов. Другой особенностью ГИС является то, что как информационные системы они являются результатом эволюции этих систем и поэтому включают в себя основы построения и функционирования информационных систем. ГИС как система включает множество взаимосвязанных

элементов, каждый из которых связан прямо или косвенно с каждым другим элементом, а два любые подмножества этого множества не могут быть независимыми не нарушая целостность, единство системы. Автоматизированной информационной системой (АИС) называют организационно-техническую систему, использующую автоматизированные информационные технологии в целях обучения, информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и процессов управления. В соответствии с данным определением ГИС попадает в класс автоматизированных информационных систем. Еще одной особенностью ГИС является то, что она является интегрированной информационной системой. Интегрированные системы построены на принципах интеграции технологий различных систем. Они зачастую применяются настолько в разных областях, что их название часто не определяет все их возможности и функции. По этой причине не следует связывать ГИС с решением задач только геодезии или географии. «Гео» в названии геоинформационных систем и технологий определяет объект исследований, а не предметную область использования этих систем. Необходимо рассмотреть место ГИС среди других автоматизированных систем, что требует дать краткую классификацию этих систем. Выбирая различные аспекты рассмотрения автоматизированных информационных систем, можно дать различные их классификации. По принадлежности к конкретной предметной области можно подразделить информационные системы на три класса: технические, экономические, информационно-аналитические [32].

Географическая информационная система (ГИС) *ArcView* разработана исследовательским центром Environment System Research Institute (ESRI, USA) и, наряду с ГИС ARC/INFO той же фирмы, является наиболее широко распространенной ГИС в мире. ArcView версий 3.x (3.1 – 3.3) это полнофункциональные настольные ГИС, позволяющие эффективно работать как с пространственными, так и с атрибутивными данными [33].

Одно из распространенных определений ГИС звучит следующим образом: «Географическая информационная система (ГИС) определяется как про-

граммно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации».

Структура ГИС, как правило, включает четыре обязательные подсистемы [34]:

- Ввода данных, обеспечивающую ввод и/или обработку пространственных данных, полученных с карт, материалов и т. д.

- Хранения и поиска, позволяющую оперативно получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их.

- Обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи.

- Представления (выдачи) данных в различном виде (карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровые модели местности и т. д.).

Подготовка цифровых моделей карт заключается в выполнении ряда операций. Необходимые операции на этом этапе включают подготовку (выбор) математической основы (проекции), базовых слоев (как правило, это элементы топоосновы) и тематических слоев. Обязательным условием получения качественной цифровой модели должно быть наличие процедур автоматической верификации всех слоев (геометрии и атрибутики) [32].

3.2 Карты норм изменений влагозапасов с различной доверительной вероятностью

По полученным данным выполнено картирование норм многолетних изменений годовых суммарных влагозапасов и многолетних норм испарения с использованием коммерческих программ ГИС-технологий.

Карта распределений норм изменения влагозапасов представлена на рисунке 14.

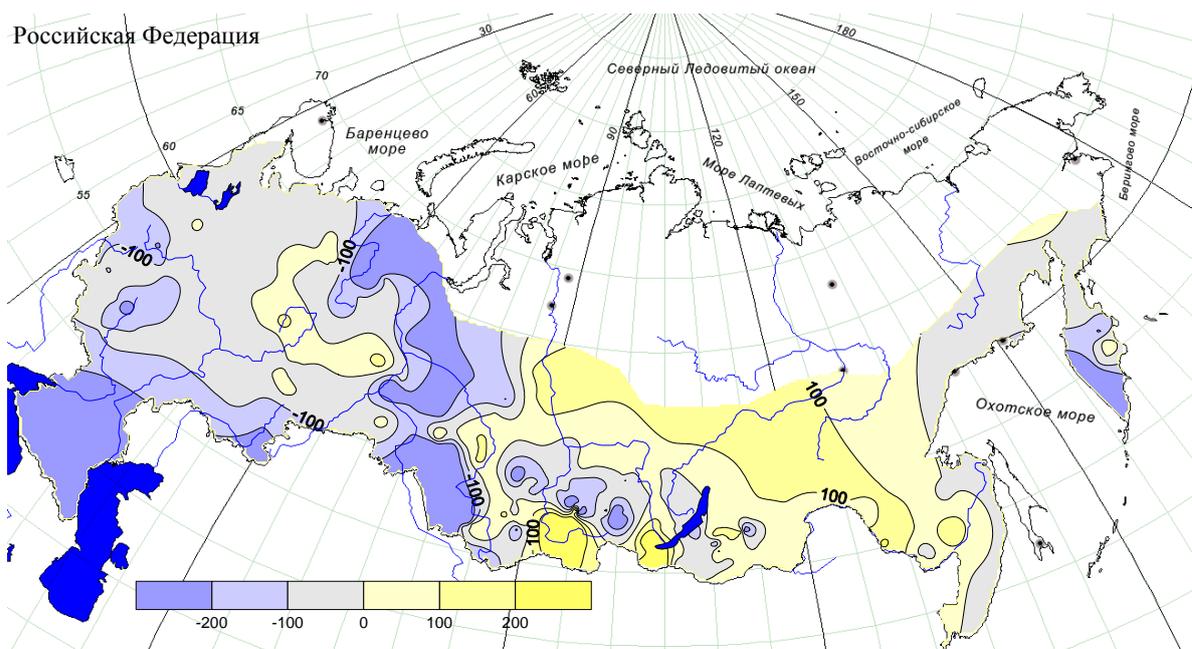


Рисунок 14 – Карта распределений норм изменения влагозапасов.

Рисунок 14 не дает представления о достоверности закартированной характеристики. Для того чтобы доверять значениям нормы изменения влагозапасов необходимо сравнить их с погрешностью определения. Норма «заслуживает внимания», если ее значение превосходит погрешность вычислений, определяемую формулой

$$\delta_{\Delta U} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \delta_i^2}, \quad (28)$$

где δ_i – среднеквадратические погрешности вычисления осадков, стока и испарения.

Необходимо в первом приближении, при нормальном законе распределения погрешностей, выполнение неравенства $|\Delta U| > \delta_{\Delta U}$. 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 %.

Анализ литературы [29, 30] показывает, что средняя квадратичная погрешность членов уравнения водного баланса, примененного к

многолетним нормам, имеет значения (в %): $\delta_{\bar{X}} \approx 5-7$; $\delta_{\bar{E}} \approx 15$; $\delta_Q \approx 5$. При оценке значимости остаточного члена использовались эти значения, а также значения, увеличенные в 1,5 раза. На рисунке 15 представлены карты (доверительная вероятность 68,3 %) распределения норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов. На рисунке 15, б представлена карта, построенная при увеличении погрешности определения членов уравнения водного баланса в 1,5 раза.

На рисунке 15 прослеживается определенная географическая закономерность. В Европейской части России явно преобладает отрицательная норма, а в Сибири – положительная (за исключением территорий Дальнего Востока, где сильно влияние на климат океана). Так как ЕТР также находится под сильным влиянием Западного переноса с Атлантики, можно сделать вывод об определенном влиянии влажности климата на распределения норм влагозапасов (характерны, например, большие отрицательные нормы в прибрежной зоне Печерского бассейна). В Сибири значительная территория имеет практически нулевые (меньше среднеквадратических значений погрешности) значения $\overline{\Delta U}$. Это, в определенной мере, оправдывает длительное господство среди гидрологов мнения о повсеместности нулевой нормы многолетних изменений влагозапасов. Север Сибири был не затронут расчетами. Это связано с эмпирическим характером номограмм, а значит и зависимости Константинова. Она справедлива в определенном диапазоне температур и воздуха, исключаящем регионы с очень холодным климатом, т. е. север Сибири.

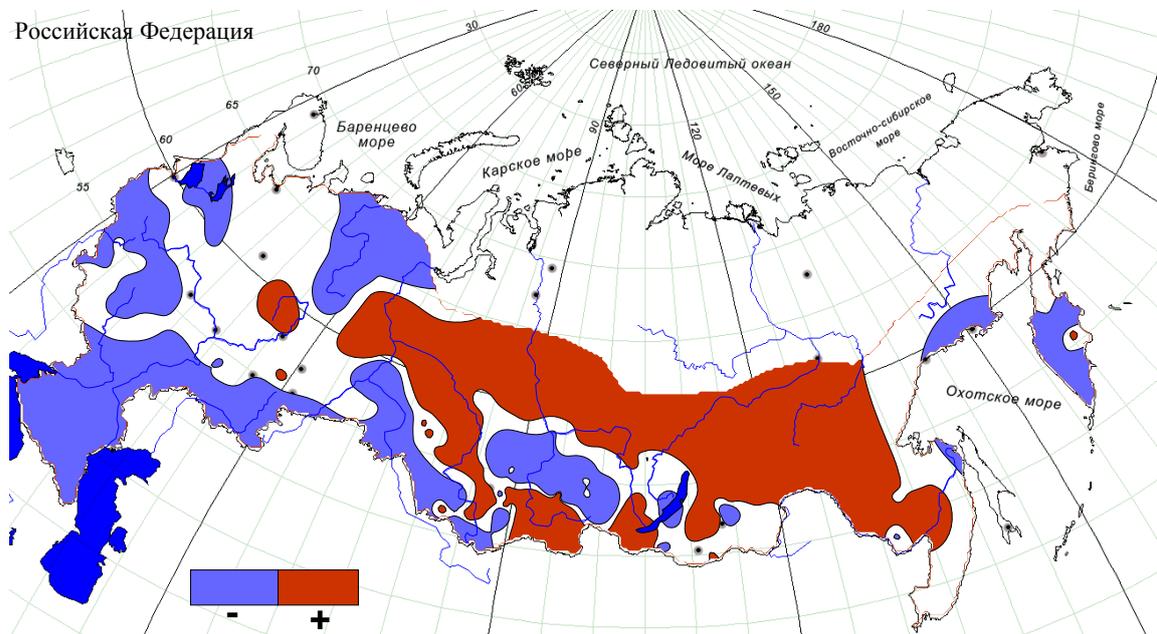
Определение погрешностей было произведено и в среднеарифметическом смысле:

$$\delta_{\Delta U} = \sum_{i=1}^3 \delta_i. \quad (29)$$

На рисунке 16 представлены карты распределения норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов (в среднеарифметиче-

ском смысле). Карты соответствуют доверительной вероятности 68,3 %, на рисунке 16, б погрешности определения членов уравнения водного баланса увеличены в 1,5 раза.

а)



б)

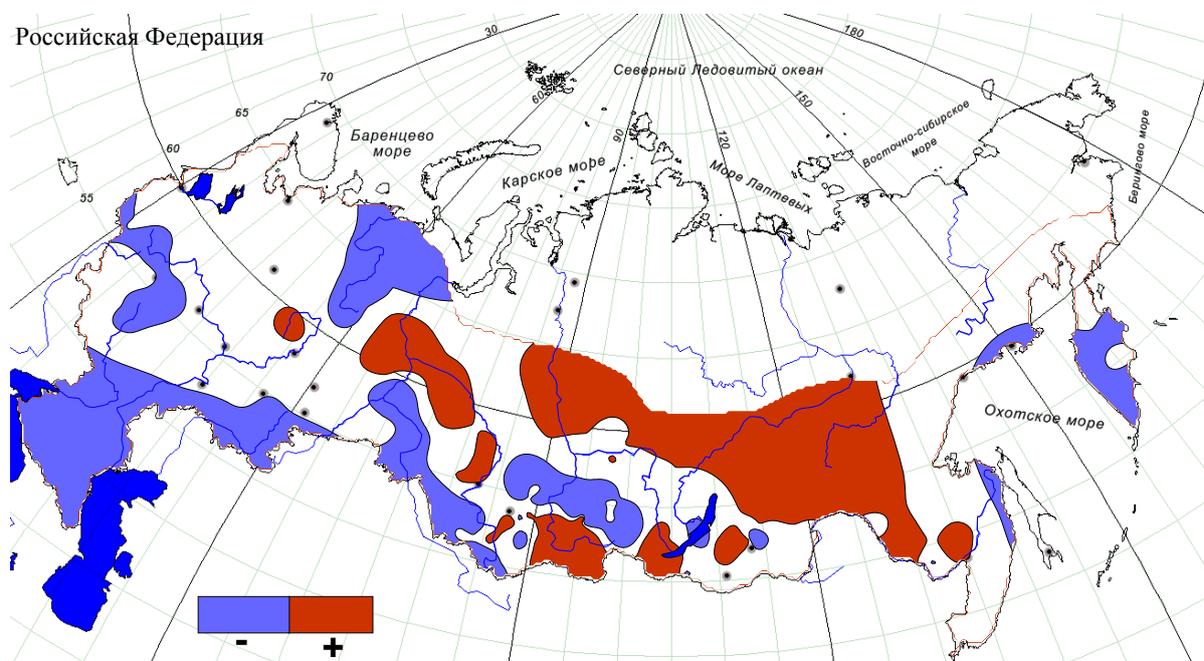
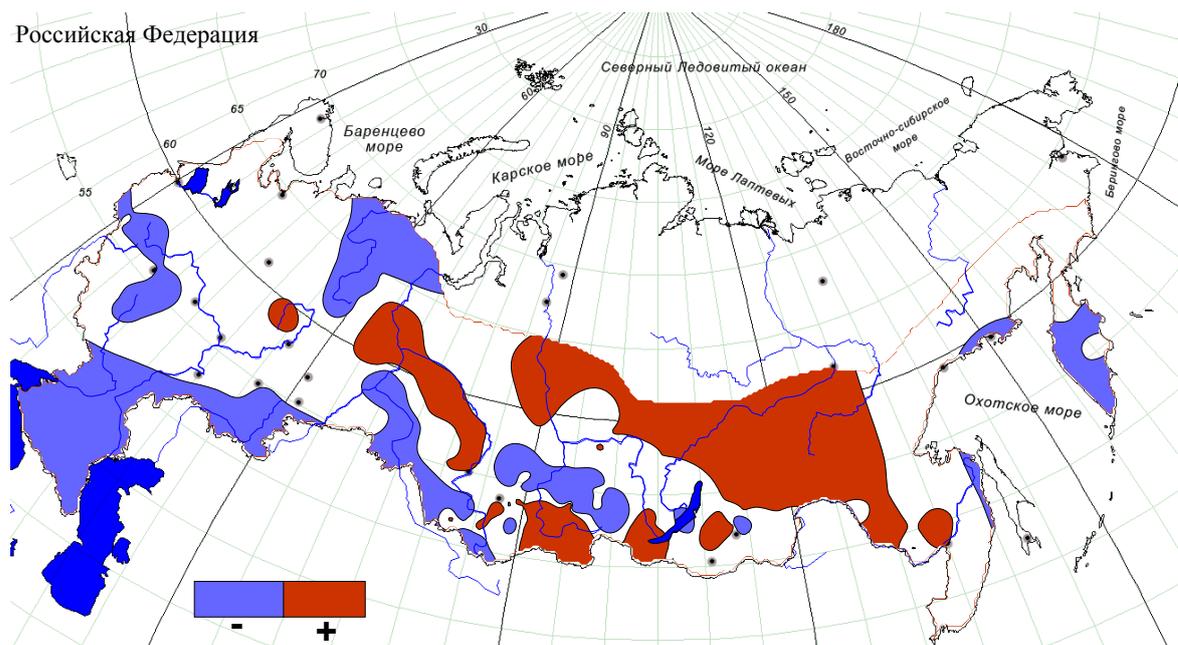


Рисунок 15 – Распределение по территории России многолетних норм изменения влагозапасов в среднеквадратическом смысле (карта имеет уровень доверия 68,3 %).

a)



б)

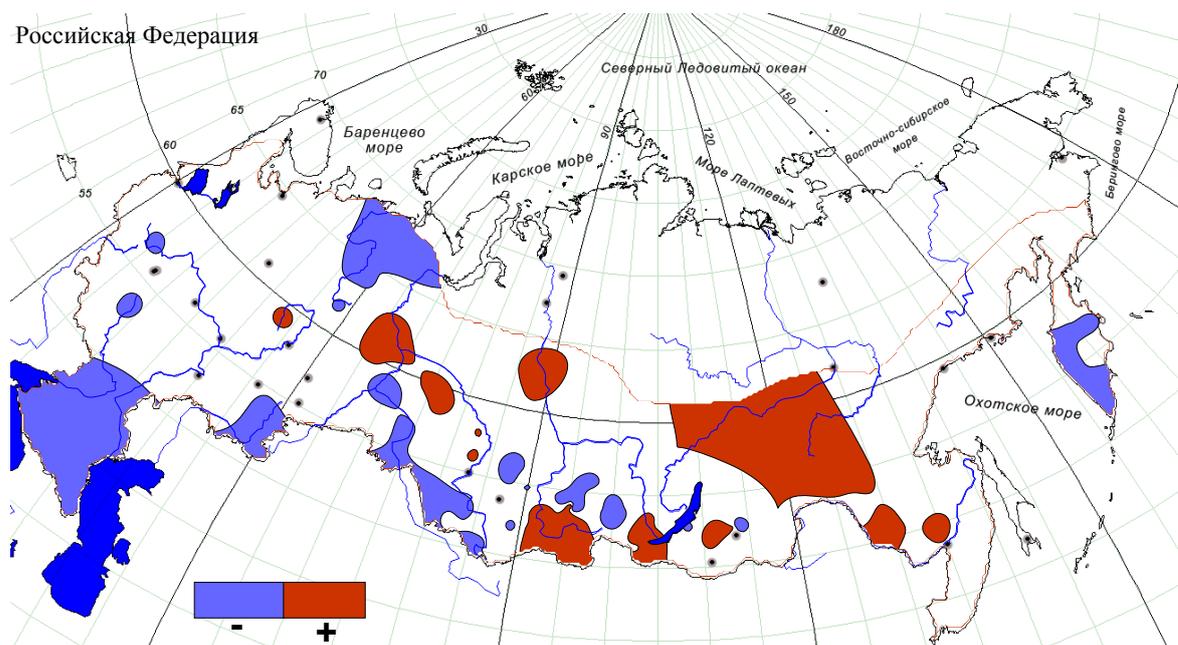


Рисунок 16 – Распределение по территории России многолетних норм изменения влагозапасов в среднеарифметическом смысле (карта имеет уровень доверия 68,3 %).

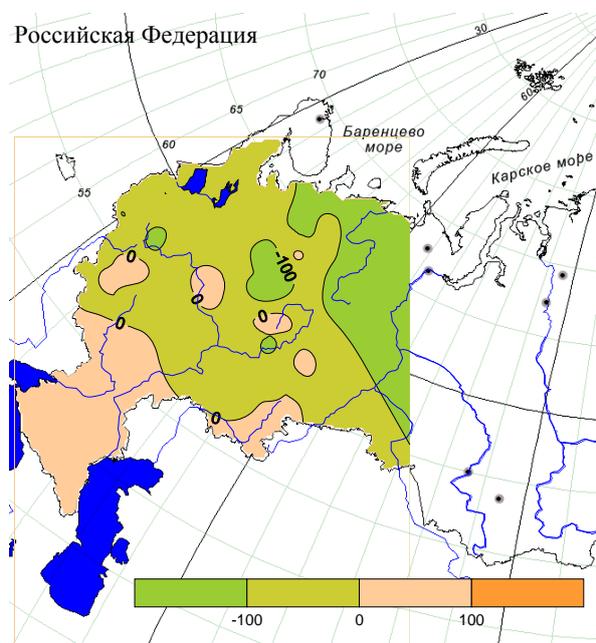
По сравнению с рисунком 15 карта распределения оказалось более «пестрой», но в целом распределения нормы по территории России совпадают.

Даже при самом «жестком» подходе к достоверности нормы изменения влагозапасов (рисунок 16, б) остается бассейны, в которых эта норма значима. К таким бассейнам можно отнести бассейн р. Печора, верхние течения рек Обь, Енисей, Лена, бассейны рек Камчатского полуострова.

На картах можно выявить географическую закономерность распределения норм многолетних изменений влагозапасов: ощутимые преобладающие отрицательные значения на европейской территории России сменяются небольшими положительными значениями в Сибири и снова ощутимые отрицательные значения в зоне океанического влияния на климат на Дальнем Востоке.

На рисунке 17 представлено распределение нормы изменения суммарных влагозапасов, определенные по метеоданным и Интернет-данным. Сравнение карт показало их практическую идентичность. Отличие на южной территории объясняется малым числом используемых постов для расчета.

а)



б)

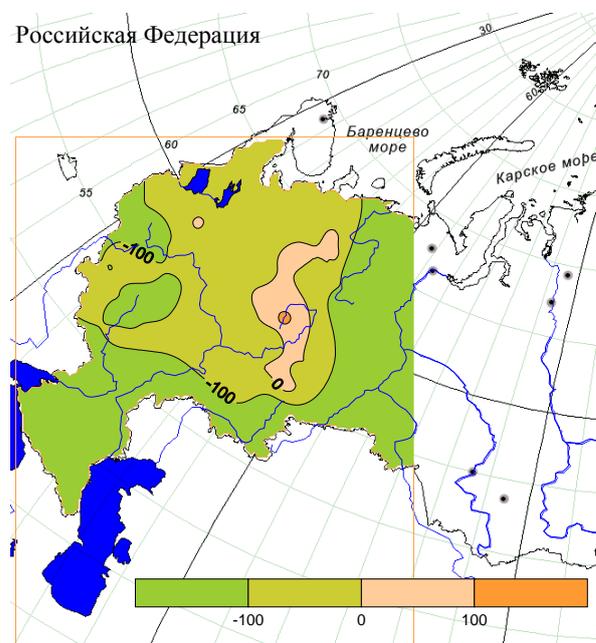


Рисунок 17 – Распределение нормы изменения суммарных влагозапасов, определенные по метеоданным (а) и Интернет-данным (б).

На рисунке 18 показано распределение коэффициента вариации рядов изменения влагозапасов.

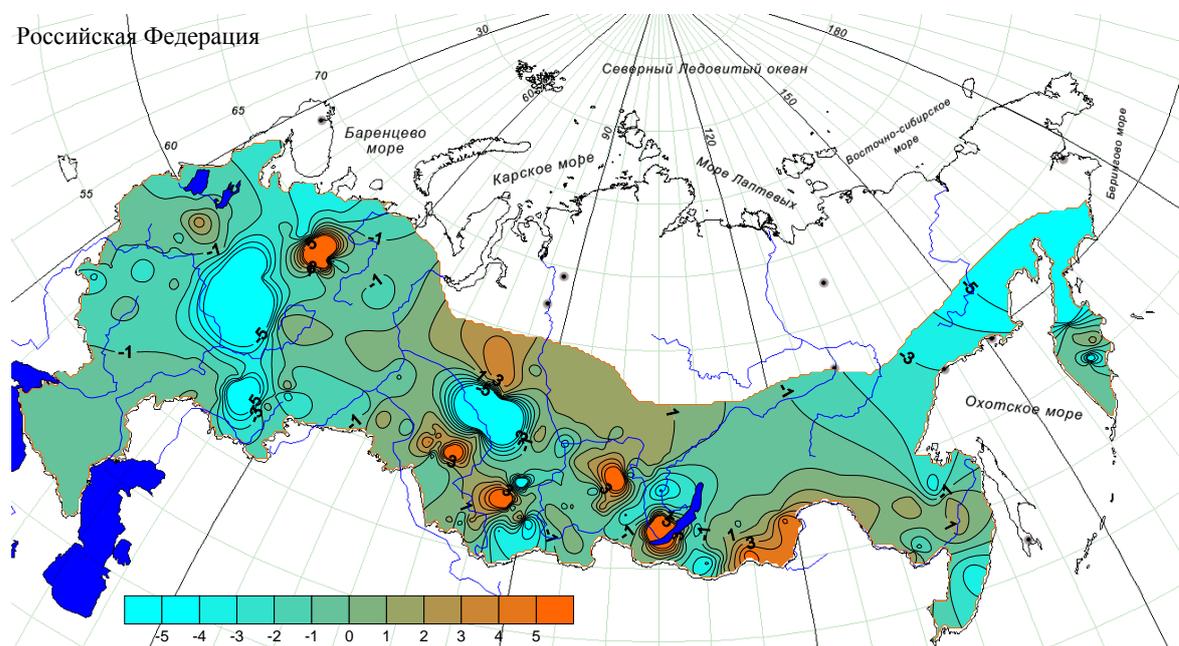


Рисунок 18 – Карта распределений коэффициентов вариации.

На рисунке 18 наблюдаются локальные бассейны, в которых значения коэффициентов вариации превышают четыре и не превышают минус четыре. Расположение большинства таких бассейнов находится в районах с незначительными значениями нормы изменения влагозапасов, стремящихся к нулевым значениям. Подобные результаты закономерны в связи с используемой формулой для расчета коэффициента вариации.

Отрицательные нормы влагозапасов обычно превышают положительные, что естественно сказалось на местоположении тех регионов (рисунок 19), в которых проведена корректировка карт многолетней нормы испарения.

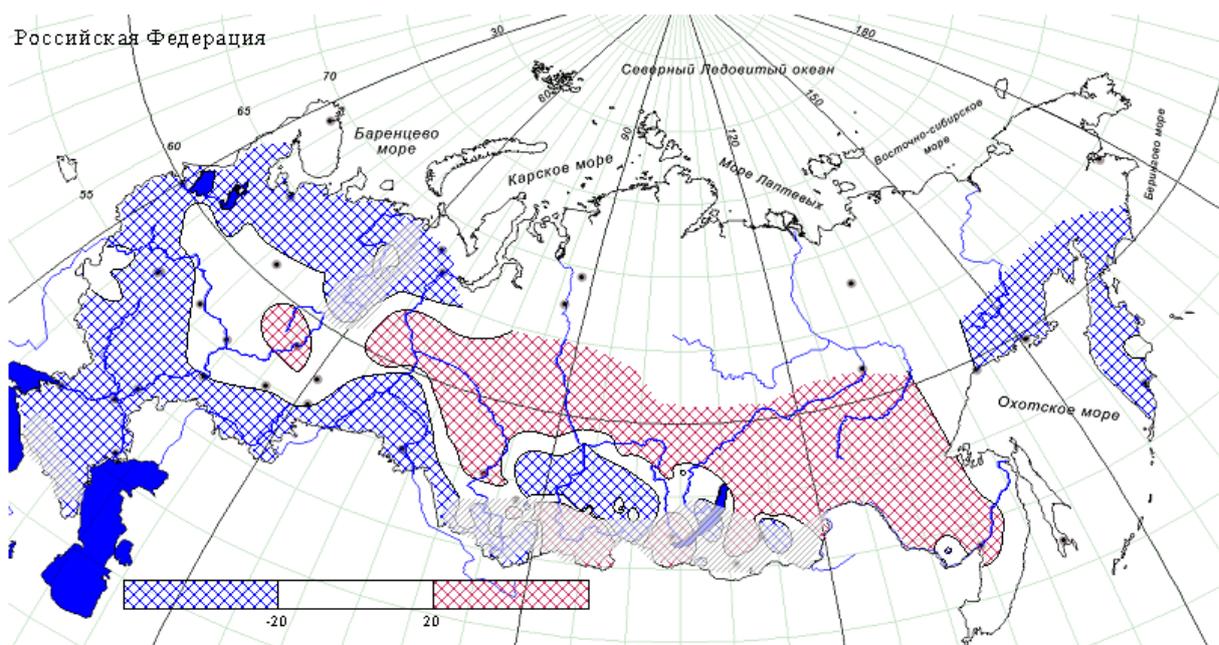


Рисунок 19 – Территория, на которой скорректированы карты норм испарения.

В таблице 24 представлена информация о речных бассейнах, в которых требуется корректировка норм испарения, превышающая по модулю 20 %-ую погрешность его определения.

Таблица 24 – Речные бассейны России, в которых обоснованно корректировка норм испарения

Река	Пункт	F_{2} км ²	Cv (ΔU)	Кор-ка E , %	$r(1)$ (ΔU)
Европейская территория России					
Паша	Часовенское	5710	-0,80	-18	-0,35
Ловать	Сельцо	8230	-0,75	-21	0,01
Ловать	Холм	14700	-0,66	-24	0,05
Кунья	Холм	5140	-0,53	-28	0,08
Великая	Опочка	3500	-0,45	-34	-0,06
Великая	Селихново	6350	-0,49	-31	-0,04
Великая	Гуйтово	13400	-0,57	-25	-0,03
Сорочь	Осинкино	3170	-0,78	-22	-0,05
Онега	Надпорожный Погост	12800	-1,22	-25	-0,19
Свидь	Горки	6450	-0,85	-21	-0,44

Продолжение таблицы 24

Река	Пункт	$F, \text{ км}^2$	$Cv (\Delta U)$	Кор-ка $E, \%$	$r(1) (\Delta U)$
Волошка	Тороповская	7040	-1,22	-17	-0,31
Сухона	Тотьма	34800	-0,78	-20	-0,23
Вычегда	Сыктывкар	66900	-1,64	-16	0,26
Вишера	Лунь	7890	-1,73	-18	0,00
Акса́й Есауловский	Водянский	15300	-0,35	-44	-0,09
Красивая Меча	Сергиевское	3240	-0,52	-50	0,25
Сок	Сургут	4730	-1,25	-17	0,13
Самара	Елшанка	22800	-0,80	-24	0,13
Сызранка	Репьевка	4380	-1,03	-18	-0,27
Тверца	Прутенька	4240	-0,61	-48	0,23
Тверца	Медное	5400	-0,60	-42	0,05
Молога	Забережье	10200	-0,97	-16	-0,25
Зуша	Мценск	6000	-1,12	-16	-0,18
Клязма	Павловский Посад	4550	-0,78	-26	-0,21
Кама	Волосницкое	9750	0,52	37	-0,05
Белая	Сыртланово	10100	-0,49	-49	0,06
Ай	Метели	14200	1,24	19	-0,01
Печора	Якша	9620	-0,42	-69	-0,15
Печора	Троицко-Печорск	35600	-0,60	-44	-0,38
Печора	Щугор	67500	-0,80	-47	0,11
Щугор	Мичабичевник	9220	-0,27	-217	0,18
Кожим	Кожим Рудник	4980	-0,31	-210	0,07
Днепр	Дорогобуш	6390	-1,05	-17	0,00
Ипуть	Ущерпье	8100	-1,02	-18	-0,22
Десна	Голубея	4770	-1,03	-17	-0,23
Десна	Брянск	13700	-0,92	-21	-0,39
Западная Сибирь					
Чуя	Белый Бом	10900	0,95	34	0,05
Чарыш	Чарышск	20700	-1,66	-17	-0,12
Иня	Кайлы	15700	1,26	20	-0,03
Томь	Междуречье	5880	1,55	36	-0,30
Томь	Новокузнецк	29800	-1,30	-48	-0,26
Кондома	Кузедеево	7080	1,38	49	-0,30
Шегарка	Бабарыки	8190	0,68	41	-0,32
Чулым	Балахта	14700	-0,49	-51	-0,09
Урюп	Изындаево	5000	-1,35	-20	-0,07
Кия	Мариинск	9820	-0,27	-110	-0,02
Чая	Подгорный	25000	0,65	38	0,12
Парбиг	Веселый	9070	0,81	28	-0,10
Кеть	Макс.Яр	38400	1,75	18	-0,41

Продолжение таблицы 24

Река	Пункт	$F, \text{ км}^2$	$Cv (\Delta U)$	Кор-ка $E, \%$	$r(1) (\Delta U)$
Кенга	Центральный	7440	0,86	25	-0,23
Васюган	Ср.Васюган	31700	0,61	46	-0,14
Тым	Напас	24500	1,02	31	-0,37
Вах	Лобчинск	56400	1,36	28	-0,41
Тром-Юган	Ермаково	13500	1,09	32	-0,06
Лямин	Горшки	12800	0,73	43	0,01
Бол,Юган	Угут	22100	0,54	47	-0,22
Кулунда	Шимолино	12300	-0,30	-69	-0,15
Чулым	Ярки	8850	1,14	30	-0,08
Каргат	Здвинск	6440	1,22	25	-0,20
Назым	Вершина	15200	0,38	84	0,00
Курчум	Вознесен	5840	-0,41	-81	0,00
Бухтарма	Печи	6860	-0,27	-310	0,09
Бухтарма	Березовки	10700	-0,70	-84	0,06
Уба	Шемон	4950	1,34	25	0,13
Тартас	Венгерово	16200	1,32	20	-0,19
Тара	Муромцево	16400	1,09	22	-0,05
Уй	Баженово	6650	-0,88	-56	0,21
Туртас	Нов, Туртас	8660	-0,44	-130	0,23
Демьянка	Лымковск	30600	-1,18	-29	0,12
Конда	Болчары	65400	0,69	54	0,10
Сев.Сосьва	Няксимволь	9850	-0,18	-674	0,06
Сев.Сосьва	Сосьва	65200	-1,84	-19	0,05
Ляпин	Саранпуль	18500	-1,16	-41	0,35
Восточная Сибирь					
Лена	Качуг	17400	-1,18	-30	0,18
Кута	Максим	6480	1,00	36	0,22
Кута	Ново-Иль	11200	1,58	23	0,21
Таюра	Таюра	5720	-1,34	-31	0,28
Бол, Тира	Тира	5160	0,92	47	0,14
Киренга	Шорохово	46500	-0,28	-164	0,33
Пеледуй	Сользав	13600	0,35	80	-0,11
Заза	Усть-Заза	1880	0,54	57	0,48
Конда	Элькисер	5350	0,52	71	0,32
Юмурчен	Юмурчен	3990	0,68	43	0,20
Камчатка	Долиновка	12000	-0,86	-41	-0,11
Камчатка	Ключи	45600	-0,46	-72	0,37
Тигиль	Тигиль	12000	-0,40	-68	0,27
Толбачик	Толбачик	1480	1,65	19	0,21
Авача	Елизово	4750	-0,43	-88	-0,01

Продолжение таблицы 24

Река	Пункт	$F, \text{ км}^2$	$Cv (\Delta U)$	Кор-ка $E, \%$	$r(1) (\Delta U)$
Большая	Малки	2800	-0,38	-99	-0,50
Воровская	Соболево	3630	-0,39	-117	0,18
Крутогорова	крутогорова	2080	-0,38	-118	0,57
Хайрюзова	Хайрюзова	10800	-0,47	-55	-0,13
Кыра	Кыра	5100	1,52	23	-0,29
Ингода	Дешулан	6130	-1,02	-26	0,19
Ингода	Атаманов	22000	1,41	19	0,20
Чёрная	Сбега	10300	0,54	50	-0,23
Уркан	Заречное	15700	0,36	63	-0,17
Деп	Рычково	8440	0,51	57	0,06
Томь	Светилов	16000	0,39	77	-0,15
Буряя	У,-Ниман	26500	1,83	19	-0,23
Ниман	12км от ус	14500	1,22	39	0,20
Тунгуска	Архангел	29400	0,47	70	-0,14
Кур	Новокур	11400	0,55	84	-0,03
Бикин	Тереховка	15500	1,82	25	-0,17
Ток	Николаевский	3820	-1,54	-39	-0,09
Туюн	3км от уст	3420	1,45	35	0,03
Ивановка	Ивановка	2710	0,38	74	-0,28
Б.Бира	Биробиджан	7560	-2,29	-17	0,08
Сутара	Известковая	1570	1,72	16	-0,05
Манома	Манома	2220	1,42	28	-0,05
Горин	Бактор	18300	1,23	24	-0,12
Бурен	Усть-Бурен	5980	0,68	116	0,69
Абакан	Абаза	14400	-0,49	-117	-0,49
Абакан	Райков	31300	2,80	16	-0,48
Туба	Бугуртак	30400	-1,85	-33	-0,26
Казыр	Пономар	9160	0,43	141	-0,42
Кизир	Имисское	9080	-0,36	-154	-0,22
Амыл	Качульск	9450	0,95	67	-0,27
Мана	Манский	9080	-1,00	-35	-0,23
Кан	Ирбейск	8710	-0,43	-73	-0,08
Кан	Канск	23000	-0,47	-63	-0,16
Кан	Подпорог	36800	-0,87	-37	-0,26
Агул	Петропав	11500	-0,36	-92	-0,30
Бол,Пит	Брянка	15100	1,01	35	-0,23
Кас	Александровский	7640	0,79	41	-0,37
Сым	факт,Сым	22800	0,63	65	-0,04
Елогуй	пос,Келлог	16300	0,67	75	-0,06
Н.Тунгуска	Подволош	8270	0,58	54	0,06

Продолжение таблицы 24

Река	Пункт	$F, \text{ км}^2$	$Cv (\Delta U)$	Кор-ка $E, \%$	$r(1) (\Delta U)$
Иркут	Тунка	6560	0,41	129	0,32
Иркут	Тибильти	11600	0,30	275	0,58
Иркут	Иркутск	14800	0,40	103	0,39
Ия	Тулун	14500	-0,24	-404	-0,44
Илим	Сотникова	29300	0,93	30	0,11
Чадобец	Яркино	13300	0,76	41	-0,01
Мура	Ирба	9320	1,40	24	-0,24
Иркинеева	Бедоба	8950	1,45	24	0,08
Бирюса	Биррюсинск	24700	-1,08	-39	-0,06
Бирюса	Шиткино	31800	-1,93	-16	-0,23
Тагул	Геогиевка	7940	-0,41	-94	0,22
Турка	Соболиха	5150	-0,27	-85	-0,32
Джида	Хамней	8480	0,24	229	-0,06
Джида	ст,Джида	23300	0,22	220	-0,27
Чикой	Поворот	44700	-0,74	-33	0,22
Хилок	Хилок	15400	0,67	53	0,15
Хилок	Малета	25700	0,64	64	0,00
Уда	Хоринск	7850	0,44	75	0,04
Уда	Улан-Удэ	34700	-1,53	-19	0,22
Кудун	Хоринск	7800	0,74	73	0,19
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	4060	0,87	65	-0,03
Ида	Морозова	2490	0,38	72	0,51
Зима	Зулумай	2550	-3,13	-95	-0,07
Кирей	Уйгат	2950	-0,44	-113	0,62
Карабула	Карабула	4190	0,85	36	-0,20
Уда	Алыгджер	4980	-0,83	-60	-0,01
Уда	Широково	23200	0,91	50	-0,30
Бирюса	Нерой	1770	-0,74	-58	0,22
Татарка	Татарка	1880	-2,70	-25	0,63
Енисей	Сейба	44600	0,26	299	-0,07
Ус	Усть-Золотая	6110	0,31	266	0,27
Оя	Ермаковское	2540	0,56	180	0,58
Она	М,Анзас	4410	-1,67	-29	-0,39
Таштып	Таштып	1940	1,92	32	-0,28
Казыр	Пономарево	9160	-0,41	-157	-0,12
Мана	Кой	3520	-0,42	-98	0,33
Кунгус	Ильинка	3600	-0,66	-75	0,47

В таблице 24 встречаются большие значения процентных соотношений испарений рассчитанных по методу водного баланса и испарений, расчи-

танных с учетом изменений влагозапасов в речных бассейнах. Эти значения относятся в основном к предгорным районам в бассейнах верхнего течения р. Оби, Енисея и Лены (рисунок 20). Подобные районы характеризуются особыми условиями формирования гидрометеорологических элементов и для них не рекомендуется использовать номограмму Константинова [14].

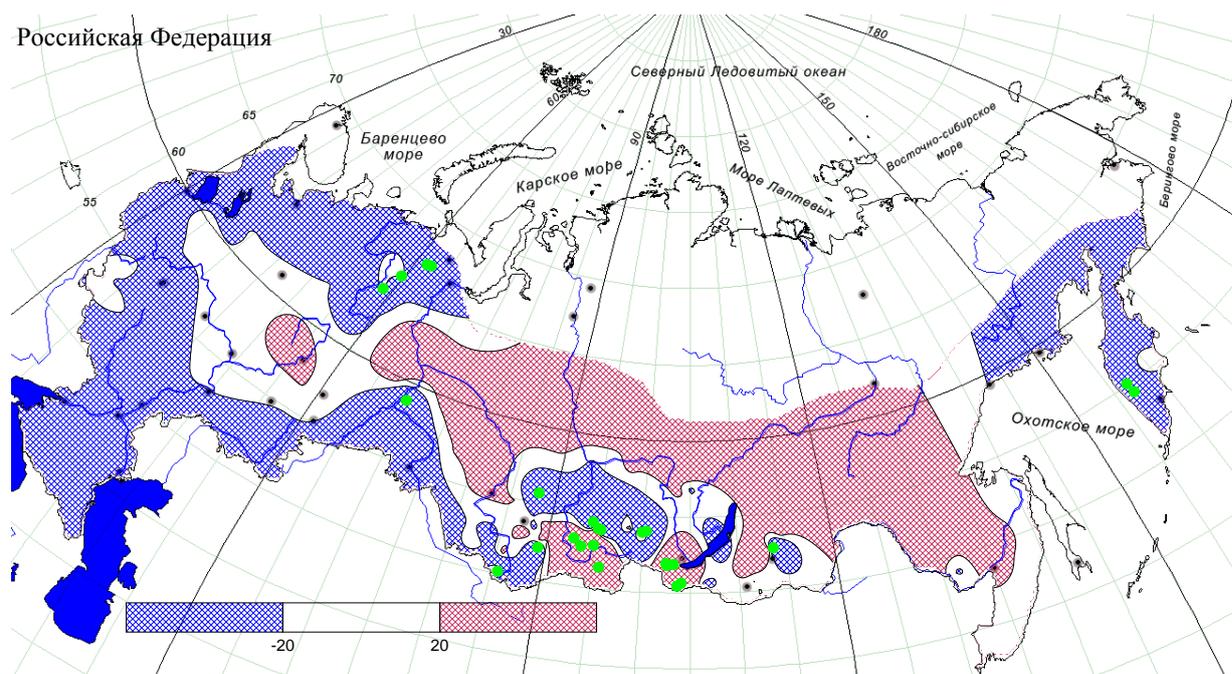
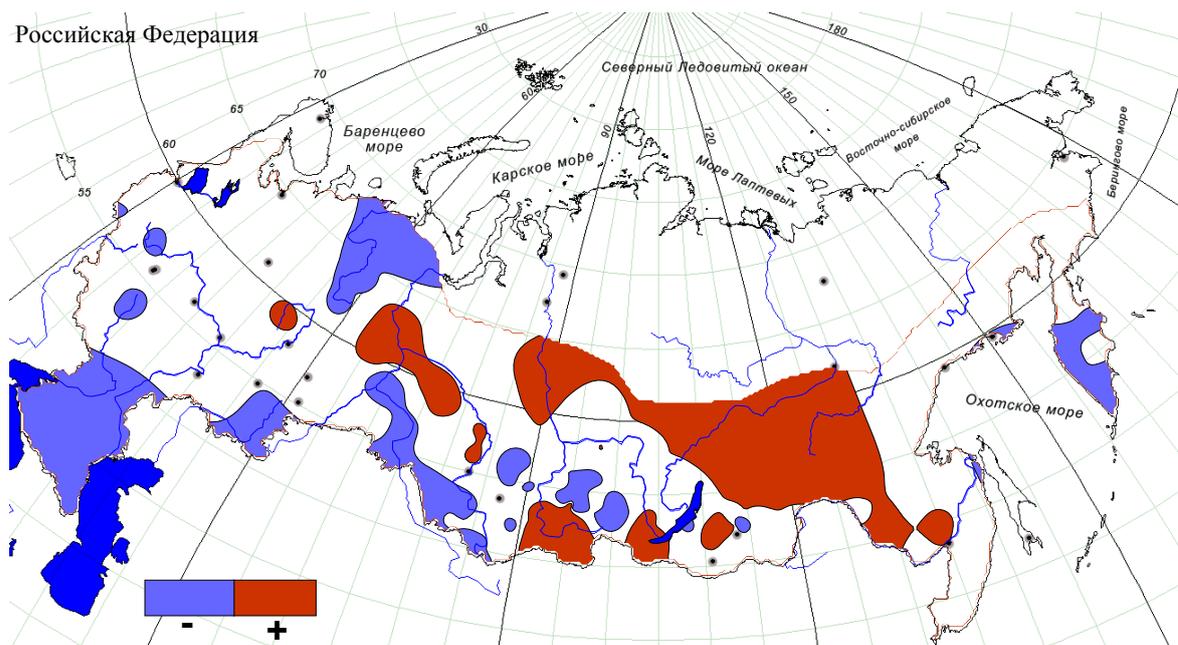


Рисунок 20 – Местоположение водосборов, в которых получены наибольшие отклонения в процентном отношении испарений, рассчитанных по методу водного баланса, и испарений, рассчитанных с учетом изменений влагозапасов в речных бассейнах.

На рисунке 21 представлены карты распределения норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов с доверительными вероятностями 95,4 % и 99,7 %. При увеличении уровня доверия на картах остаются бассейны, в которых изменение суммарных изменений значимы.

а)



б)

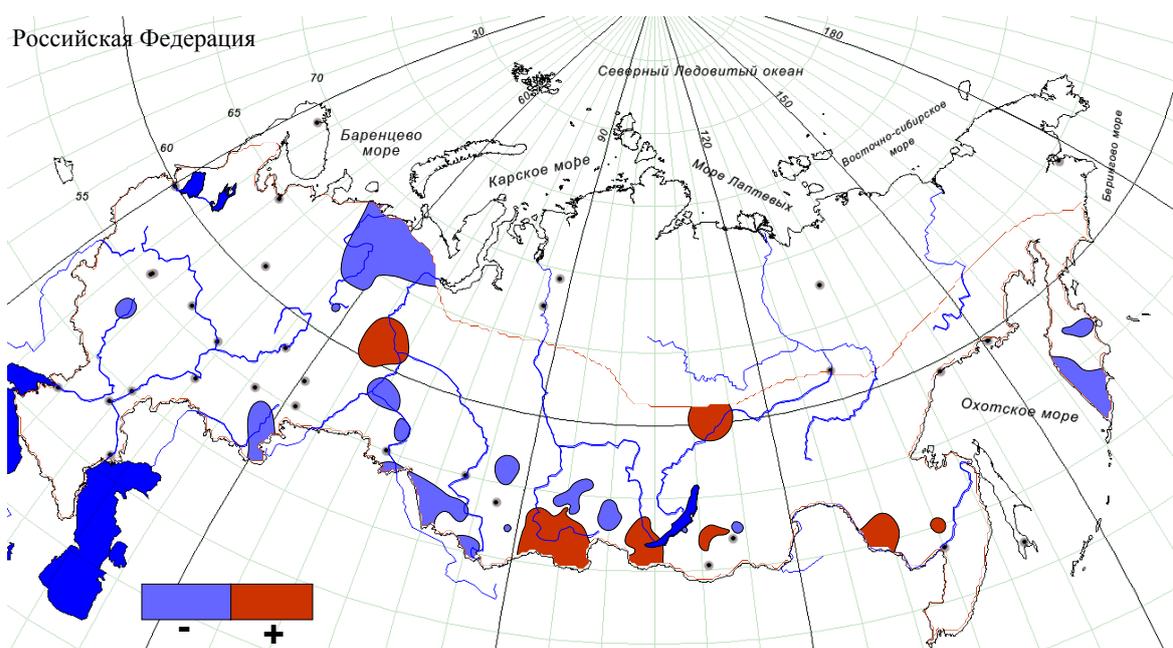


Рисунок 21 – Распределение по территории России многолетних норм изменения влагозапасов в среднеарифметическом смысле: а – уровень доверия 95,4 %; б – уровень доверия 99,7 %.

3.3 Физические причины появления ненулевых норм многолетних изменений влагозапасов. Эффект детектирования

В данном разделе приводится материал, объясняющий физические причины появления ненулевых норм многолетних изменений влагозапасов. Природа этого явления объяснена в ряде монографий проф. В. В. Коваленко [9, 31], а также в его совместной статье с доц. Е. В. Гайдуковой [35]. 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.

Ряды многолетнего годового стока (Q) формируются при участии климатических факторов (осадков \dot{X} и испарения E); также на них оказывают влияние гидрогеологические особенности речных бассейнов, от которых зависит суммарное изменение запасов воды ($\pm\Delta U$): $\dot{X} = Q + E \pm \Delta U$. В связи с этим статистическим описанием реакции бассейна на внешнее воздействие (\dot{X}) является трехмерная плотность вероятности $p(Q, E, \Delta U)$. Но в инженерной гидрологии используют одномерную ее проекцию $p(Q)$. Это связано, во-первых, с проблемами получения рядов E и ΔU , а во-вторых, с востребованностью отраслями экономики именно статистически обеспеченных расходов воды. Эмпирические распределения годовых расходов, как правило, аппроксимируют одномодальными асимметричными распределениями из семейства кривых К. Пирсона (например, кривой III типа или ее модификацией – кривой Крицкого–Менкеля). Путем экстраполяции их в область малых обеспеченностей, находят проектные расходы требуемой повторяемости $Q_{p\%}$. Подобная методика зафиксирована в нормативных документах [36]. При ее использовании могут возникнуть проблемы, связанные с неустойчивостью моментов вероятностных распределений, которые приводят к «толстым хвостам» и полимодальности [37, 38].

Было установлено [37], что природа этой неустойчивости может быть связана с существенной ролью мультипликативных шумов в стохастической модели формирования многолетнего стока (уравнении ФПК), которыми моделируется влияние не учитываемых явным образом фазовых переменных (E и ΔU). Неустойчивость означает выход распределений за рамки семейства кривых Пирсона (стационарных решений уравнения ФПК). Была разработана методология [37, 9], позволяющая бороться с подобной неустойчивостью. Это можно сделать разгрузкой мультипликативной составляющей путем расширения фазового пространства, в котором рассматривается процесс формирования стока. Основным этапом этой методологии является оценка фрактальной (дробной) размерности стокового ряда. Ближайшее превосходящее ее целое число (называется размерностью пространства вложения) указывает на число дифференциальных уравнений первого порядка, которые надо использовать для устойчивого моделирования процесса формирования стока.

Была продиагностирована (с использованием корреляционной фрактальной размерности) территория России [39] и установлено, что размерность пространства вложения имеет преобладающие значения 2 и 3. Выяснилось, что на определенных широтах у зависимости фрактальной размерности (ξ) от климатической нормы приземной температуры воздуха T °С есть максимум. Таким образом существуют области со сложным механизмом формирования многолетнего стока, в которых использование одномерных проекций типа $p(Q)$ менее всего обосновано.

Было обработано почти восемьсот рядов среднегодовых расходов воды на речных бассейнах, расположенных в Северном и Южном полушариях. На рисунке 22 представлена полученная авторами зависимость $\xi = f(T)$. Она построена по осредненным в интервале $\Delta T = 2$ °С значениям фрактальной размерности. Из графика видно, что в пределах среднеквадратического от-

клонения σ существует интервал температур (от 1,6 до 7 ° C), в котором с вероятностью 34 % размерность пространства вложения больше двух.

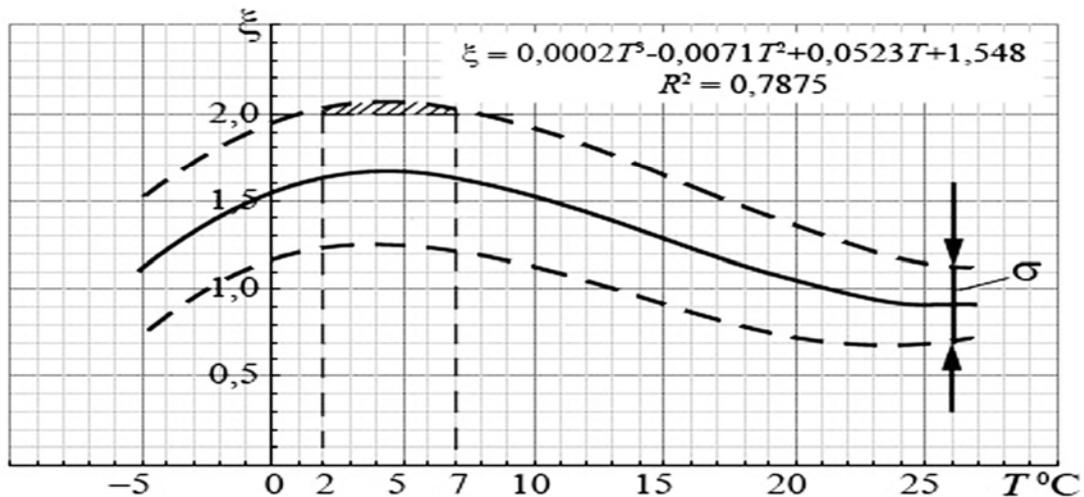


Рисунок 22 – Зависимость фрактальной размерности рядов среднегодового многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха [35].

На рисунке 23 эта полоса представлена в глобальном масштабе. Для Северного полушария полоса охватывает в основном умеренные географические пояса суши Земли, а в Южном полушарии – умеренный пояс Чили.

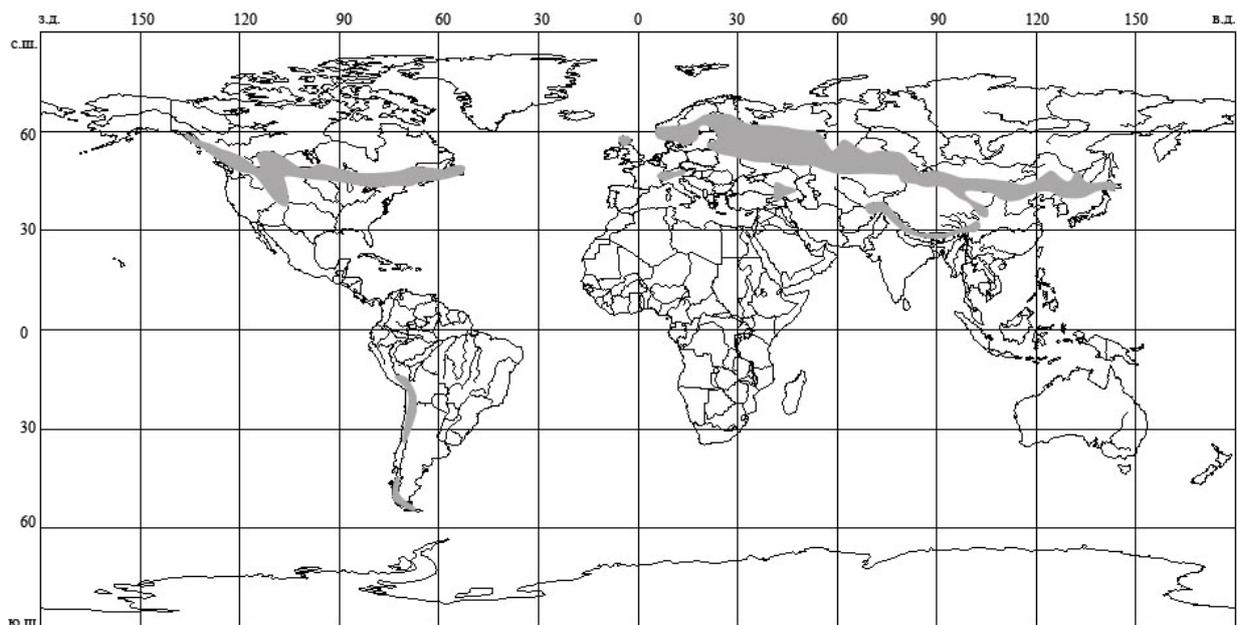


Рисунок 23 – Наиболее вероятные регионы с неустойчивыми моментами одномерных распределений расходов воды [40].

Таким образом, было показано, что в умеренном климатическом поясе фрактальная размерность рядов многолетнего стока часто лежит в интервале 2 – 3, т. е. в его формировании участвует все три фазовые переменные, входящие в правую часть формулы $X = Q + E \pm \Delta U$, а из модели эволюции плотности вероятности $p(Q, E, \Delta U)$ вовсе не следует, что $M[\Delta U] = 0$ [9]. Это было показано на примере стохастического уравнения только для одной фазовой переменной ΔU [9]:

$$d(\Delta U) = \{[-(M[c] + c')\text{sgn}(\Delta U) + M[N] + N']/\tau_{\Delta U}\}dt, \quad (30)$$

где $N = X - Q - E$;

c – параметр, характеризующий скорость насыщения (или водоотдачи) почвогрунтов речного бассейна;

$\tau_{\Delta U}$ – время релаксации почвогрунтовой емкости ($\tau_{\Delta U} = 1$);

$\text{sgn}(\Delta U)$ – знаковая функция;

$M[N]$, $M[c]$ – математические ожидания;

N' и c' – белые шумы с интенсивностями $G_{c'}$, $G_{N'}$ и взаимной интенсивностью $G_{c'N'}$.

Опираясь на результаты работы [41], была показана возможность появления ненулевого осредненного за многолетний период значения ΔU . «Пусть $M[N] = 0$, но интенсивность шумов ненулевая ($G_{N'} \neq 0$, $G_{c'} \neq 0$, $G_{c'N'} \neq 0$). Выполняя стандартную процедуру перехода от стохастического дифференциального уравнения (в нашем случае (2)) к статистически эквивалентному ему уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова, можно получить выражение для стационарной плотности вероятности

$$p(\Delta U) = k \exp \left\{ - \frac{2M[c]|\Delta U|}{G_{c'} - 2G_{c'N'}\text{sgn}\Delta U + G_{N'}} + \frac{G_{c'N'}\text{sgn}\Delta U}{G_{c'} + G_{N'}} \right\}, \quad (31)$$

где k – коэффициент, нормирующий на единицу интеграл от плотности вероятности.

При $G_{c'N'} = 0$ распределение $p(\Delta U)$ симметрично. При $G_{c'N'} \neq 0$ появляется асимметрия, знак которой зависит от того, как коррелированы аддитивные (N') и мультипликативные (c') шумы (положительно или отрицательно). Появление $M[\Delta U]_2 \neq 0$ при нулевом значении математического ожидания входного воздействия $M[N]$ (но при взаимодействии «внешних» N' и «внутренних» c' шумов) называется эффектом детектирования» [9] (рисунок 24).

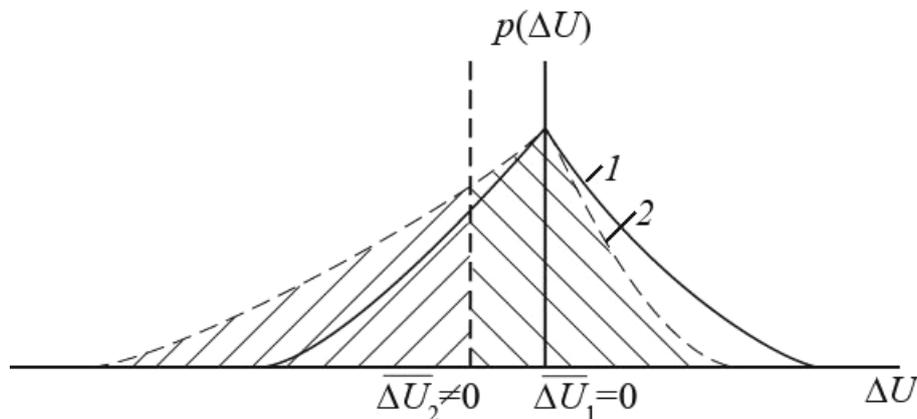


Рисунок 24 – Эффект детектирования при ненулевой корреляции «внешних» (\tilde{N}) и «внутренних» (\tilde{c}) шумов: 1 – при $G_{\tilde{c}\tilde{N}} = 0$; 2 – при $G_{\tilde{c}\tilde{N}} \neq 0$.

Важно, что факт ненулевой нормы ($\overline{\Delta U} \neq 0$) вовсе не означает многолетнего иссушения или увлажнения речных бассейнов. Ведь $\overline{\Delta U}$ это не сами влагозапасы, а производная от них по времени, т. е. скорость их изменения ($\Delta U = dW / dt$). А из дифференциального исчисления известно, что нулевое среднее для функции вовсе не означает, что среднее от ее производной также будет нулевым

Рисунок 25 приводится в [9] как пример, который проясняет ситуацию. Из него видно, что часто возникают существенные отрицательные выбросы процесса $\Delta U(t)$, приводящие к появлению систематического отрицательного

смещения случайного процесса изменения влагозапасов в почвогрунтах $\overline{\Delta U} = -50$ мм.

a)

б)

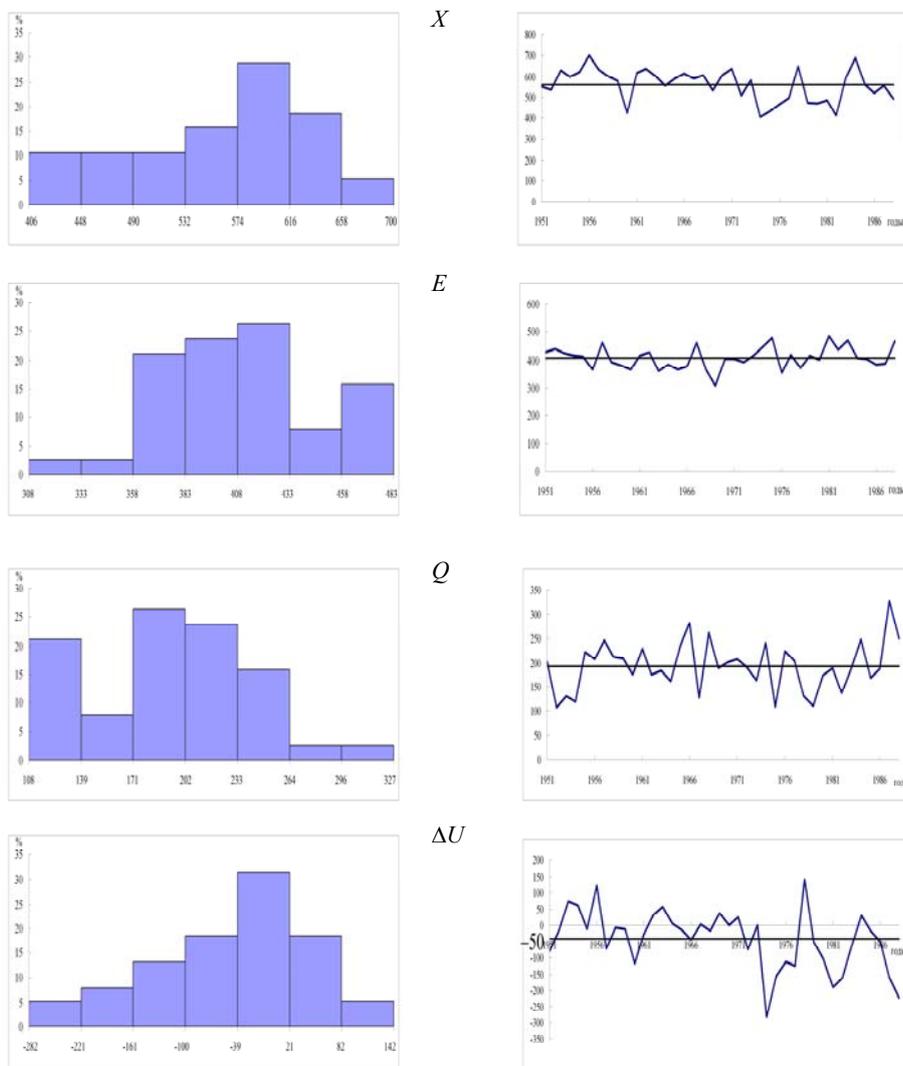


Рисунок 25 – Изменение годовых значений составляющих уравнения водного баланса (*б*) и их гистограммы (*а*), р. Чепца – с. Полон [9].

«Таким образом, дело не в иссушении бассейна, а в том, что реальное значение величины среднего многолетнего испарения в общепринятом среди гидрологов варианте его получения по уравнению водного баланса при $\overline{\Delta U} = 0$ оказывается существенно заниженной (в данном примере). Физиче-

ски это, как следует из изложенного выше, вызвано корреляцией вариации \tilde{c} параметра c (скорость изменения влагозапасов) в уравнении (4.41) и вариации \tilde{N} (внешних воздействий $N = X - Q - E = \bar{N} + \tilde{N}$ в том же уравнении, т. е. появлением взаимной интенсивности внешних (аддитивных) \tilde{N} и внутренних (мультипликативных) \tilde{c} шумов. Это может быть, например, если влагонасыщенность зоны аэрации настолько велика, что положительный выброс \tilde{N} не увеличивает \tilde{c} , а уменьшает (или наоборот)» [9].

Разумеется, эффект детектирования имеет место и в детерминистических системах, если между «входом» и «выходом» имеется нелинейная зависимость. Для ее реализации достаточно, чтобы насыщение и разгрузка почвогрунтов шла с разной скоростью, что и имеет место на речных водосборах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 для речных бассейнов России и выполнена визуализация статистических и хронологических распределений всех гидрометеорологических рядов, показавшая, что на исследуемой территории нормы влагозапасов могут быть как близкими к нулевым значениям (примерно 50 % территории), так и достаточно большими положительными и отрицательными.

3. Приведенная 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 доверительной вероятностью 68,3 %. Сравнение карты с таковой, полученной по данным из Интернет-ресурсов, показало их практическую идентичность. Из карт удалось выявить географическую закономерность распределения норм многолетних изменений влагозапасов: ощутимые преобладающие отрицательные значения на европейской территории России сменяются небольшими положительными значениями в Сибири и снова ощутимые отрицательные значения в зоне океанического влияния на климат на Дальнем Востоке.

4. Используя установленную закономерность изменения влагозапасов, удалось выявить на территории России речные бассейны, в которых много-

летние 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.

Результаты диссертации опубликованы в работах [42–51].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Википедия Свободная энциклопедия.// Wikimedia Foundation, Inc. – 2010–2014. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 05.10.2011).
- 2 Черняева, Ф. А. Гидрология рек Советской Арктики [текст] / Ф. А. Черняева.– Л.: изд., 1965.
- 3 Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И., Реки и озера Советского Союза [текст] / А. П. Доманицкий.– Л.: изд., 1971.
- 4 Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 15, в. 2, Л., 1972;
- 5 Справочники по климату СССР, ч. IV, изданные с 1967 по 1970 гг.
- 6 Соколовский, Д. Л. Речной сток [текст] / Д. Л. Соколовский. – Л.: изд. Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 640 с.
- 7 Водогрецкий В. Е., Крестовский О. И. Водобалансовые экспедиционные исследования [текст] / В.Е. Водогрецкий. – Л.: изд. Гидрометеиздат, 1975. –143 с.
- 8 Коваленко В. В. Нелокальная гидрология. [текст] / В.В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 96 с.
- 9 Коваленко, В. В. Новые явления и закономерности формирования речного стока. [текст] / В.В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 172 с.
- 10 Куделин, Б. И. Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек [текст] /. «Тр. ЛГП АН СССР», 1949, т. V.
- 11 Ситников, В. К. Подземное питание рек Дальнего Востока [текст] /. «Тр. ГГИ», 1964, вып. 114.
- 12 Макаренко, Ф. А. О подземном питании рек [текст] /. «Тр. ЛГП АН СССР », 1948.
- 13 Чеботарев, А.И. Общая гидрология [текст] / А.И.Чеботарев. – Л.: изд. Гидрометеиздат, 1960. –540 с.
- 14 Константинов, А. Р. Испарение в природе [текст] / А. Р. Константинов.– Л.: изд. Гидрометеиздат, 1963.– 590 с.

- 15 Будыко, М. И. Испарение в естественных условиях [текст] / М. И. Будыко.– Л.: изд. Гидрометеиздат, 1948.– 136 с.
- 16 Константинов, А.Р. Методы расчета испарения и водного режима корнеобитаемого слоя почвы. [текст] / А.Р. Константинов // Труды IV всесоюзного гидрологического съезда.–1976.–Том 6.–с.40 – 53.
- 17 Зелиной, А. Н. Об оценке подземного стока горного Мьяо-Чана и смежного с ним нижнего Приамурья [текст] /. Известия ВУЗов. Геология и разведка, №3, 1969г.: 124-129с.
- 18 Бефани, А. Н. Вопросы теории и расчета подземного стока [текст] /. «Труды Всесоюзного гидрологического съезда», т. 9. Гидрометеиздат, 1959.
- 19 Михалев, М. А. Инженерная гидрология [текст] / М. А. Михалев, Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2006. 360 с.
- 20 Догановский, А. М. Гидрология суши (общий курс) [текст] / А. М. Догановский; РГГМУ. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 523 с.
- 21 Сайт ВМО с осадками National centers for environmental prediction – <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.html> NOAA Earth System Research Laboratory // U.S. Department of Commerce // National Oceanic and Atmospheric Administration. – 2013. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.esrl.noaa.gov> (дата обращения 20.02.2013).
- 22 Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст] / А.В. Сикан.– СПб.: изд. РГГМУ. 2007.– 279 с.
- 23 Метеорологические ежемесячники, Выпуски 1, 2, 3, 8, 12, 13, 17 и 25.
- 24 Основные Гидрологические Характеристики, Том1, том 2, том 7, том 10, том 11 выпуски 1 и 2, том 12 выпуск 1, том 15 выпуски 1 и 3.
- 25 Александровский, А.Ю. Гидроэнергетика [текст] / А.Ю. Александровский, М.Н. Клемер, Д.Н. Коробова. –М.: изд. Энергоатомиздат, 1988. – 512 с.

- 26 Коваленко, В.В. Частично инфинитная гидрология [текст] / В.В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 230 с.
- 27 Великанов, М. А. Гидрология суши [текст] / М. А Великанов Л.: изд. Гидрометеиздат, 1964. — 403 с.
- 28 Соколов, А.А Методы расчета водных балансов. [текст] / А.А Соколов, Чепмен Т.Г. Л.: Гидрометеиздат, 1979.– 120 с.
- 29 Рождественский, А.В. Статистические методы в гидрологии. [текст] / А.В. Рождественский, А.И Чеботарев. Л.: изд. Гидрометеиздат, 1974. — 424 с.
- 30 Рождественский, А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. [текст] / А.В. Рождественский, А.В Ежов, А.В. Сахарюк. Л.: изд. Гидрометеиздат, 1990. — 276 с.
- 31 Коваленко, В.В. Новые явления и закономерности формирования речного стока. [текст] / В.В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 170 с.
- 32 Сайт ГИС технологии.// GIS TECH. – 2008–2009. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://gis-tech.ru/> (дата обращения 03.02.2012).
- 33 Геоинформационные системы для бизнеса и общества // ООО "ДАТА+" Геоинформационные системы – 1192–2013. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.dataplus.ru> (дата обращения 24.11.2012).
- 34 Сайт группы компаний Consistent Software. - <http://www.csoft.ru>. –2010. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.csoft.ru/solution/gis/> (дата обращения 14.03.2012).
- 35 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока // Доклады Академии наук, том 439, № 6, 2011. – С. 815–817.
- 36 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.
- 37 Коваленко В. В. Частично инфинитное моделирование: основание,

- примеры, парадоксы. – СПб: Политехника, 2005. – 408 с.
- 38 Найденев В. И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. – М: Наука, 2004. – 318 с.
- 39 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Куасси А. Г. Фрактальная диагностика речного стока для устойчивого описания многолетних колебаний гидрологических характеристик. // Метеорология и гидрология, № 4, 2008.–С. 73–80.
- 40 Коваленко, В.В. Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 100 с.
- 41 Астатов Ю.М., Медведев В.С. Статистическая теория систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
- 42 Девятков В. С., Голованова Е. Ю., Громова М. Н., Гайдукова Е. В. 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.
- 43 Голованова Е. Ю., Судакова Н. В., Гайдукова Е. В., Шевнина Е. В. Долгосрочная оценка климатических изменений максимального стока весеннего половодья Арктической зоны России // Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Математика / Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск, с. 66, 2011.
- 44 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Хаустов В. А., Дехтярев А. А., Голованова Е. Ю., Лесничий Л. И., Шевнина Е. В. 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.
- 45 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Хаустов В. А., Дех-

- тярев А. А., Голованова Е. Ю., Лесничий Л. И., Шевнина Е. В. 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.
- 46 Судакова Н. В., Голованова Е. Ю., Дехтярев А. А., Качалова А. Е., Коваленко Т. В., Манвелова Т. А. 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.
- 47 Гайдукова Е. В., Хаустов В. А., Голованова Е. Ю., Дехтярев А. А., Куасси М. Оценка долгосрочных изменений вероятностных характеристик максимального стока // XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Стратегия устойчивого развития регионов России».
- 48 Голованова Е. Ю., Кабалюк И. К., Пиотрович Е. В., Захаров Н. В. 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.
- 49 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Соловьев Ф. Л., Голованова Е. Ю. Обеспечение гидрологической надежности гидротехнических сооружений в регионах неустойчивого формирования многолетнего речного стока // Гидротехническое строительство, № 2, 2013. – С. 38–43.
- 50 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Соловьев Ф. Л., Голованова Е. Ю. Комментарии к рецензии на статью «Обеспечение гидрологической надежности гидротехнических сооружений в регионах неустойчивого формирования многолетнего речного стока» // Гидротехническое

строительство, № 2, 2013. – С. 45–46.

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

Приложение А – Координаты центров водосборов

Таблица А.1 – Координаты центров водосборов ЕТР

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Паша	Часовенское	60.02	34.06
Ловать	Сельцо	56.40	30.29
Ловать	Холм	56.55	30.68
Кунья	Холм	56.40	31.20
Луга	Толмачево	59.03	30.19
Луга	Кингисепп	59.06	29.81
Великая	Опочка	56.47	29.19
Великая	Селихново	56.80	28.90
Великая	Гуйтово	56.79	29.04
Сороть	Осинкино	57.10	29.20
Онега	Надпор. Погост	60.95	38.72
Свидь	Горки	60.52	39.05
Волошка	Тороповская	61.36	39.88
Сухона	Тотьма	59.71	40.68
Сухона	Калкино	59.91	41.81
Юг	Подосиновец	59.98	46.22
Юг	Гаврино	60.17	47.35
Вычегда	Сыктывкар	61.60	53.05
Вишера	Лунь	62.46	52.48
Вымь	Весляна	63.71	51.28
Яренга	Тохта	62.60	49.14
Пинега	Кулогоры	63.38	45.30
Мезень	Малонисогорская	64.00	48.40
Вашка	Рещельская	63.54	47.33
Акса́й Есауловский	Водянский	47.98	43.90
Валуй	Валуйки	51.60	40.40
Красивая Меча	Сергиевское	53.17	38.18
Свияга	Ивашевка	54.27	47.97
Сок	Сургут	54.05	51.76
Кондурча	Украинка	54.15	50.77
Самара	Елшанка	52.47	53.26
Большой Кинель	Тимошево	53.53	52.63
Сызранка	Репьевка	53.28	47.49
Тверца	Прутенька	57.00	35.00
Тверца	.Медное	57.00	35.40
Медведица	Большие Сетки	57.32	36.12
Молога	Забережье	57.89	36.04

Продолжение таблицы А.1

Река	Пост	Координаты центров водосбо- ров, °	
		широта	долгота
Молога	Устюжна	58.21	35.86
Колпь	Верхний Двор	59.57	35.73
Немда	Селище	58.12	43.07
Нея	Буслаево	58.43	43.66
Зуша	Мценск	53.08	37.00
Угра	Товарково	54.77	34.74
Протва	Загорье	55.31	36.09
Цна	Княжево	52.95	41.74
Клязма	Павловский Посад	56.10	40.30
Клязма	Владимир	56.80	41.20
Кама	Волосницкое	58.88	53.19
Сылва	Шамары	57.40	58.63
Белая	Сыртланово	53.80	58.00
Уфа	Красноуфимск	56.39	59.14
Ай	Лаклы	55.20	59.29
Ай	Метели	55.53	58.89
Дема	Бочкарева	53.77	54.67
Сюнь	Миньярово	55.15	53.90
Ик	Нагабайково	54.33	53.55
Чепца	Полом	57.64	53.55
Чепца	Глазов	57.76	53.36
Быстрица	Шипицино	58.11	49.69
Печора	Якша	61.90	58.21
Печора	Троицко-Печорск	62.45	57.61
Печора	Щугор	63.20	58.90
Щугор	Мичабичевник	64.15	58.98
Уса	Петрунь	66.87	63.32
Уса	Адзьва	66.80	62.60
Кожим	Кожим Рудник	65.39	60.23
Ижма	Усть –Ухта	63.48	53.06
Ижма	Картайоль	63.94	53.04
Ухта	Ухта	63.50	53.06
Пижма	Боровая	64.82	51.18
Цильма	Трусово	65.83	50.29
Днепр	Дорогобуш	55.26	33.68
Днепр	Смоленск	55.16	33.15
Ипать	Ущерпье	53.22	32.68
Десна	Голубея	54.12	33.50
Десна	Брянск	53.93	33.94

Продолжение таблицы А.1

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Болва	Псурь	54.12	34.41
Судость	Погар	52.91	33.38
Сейм	Лебяжье	51.46	36.76
Сейм	Рыльск	51.79	35.94

Таблица А.2 – Координаты центров водосборов АТР (бассейн Оби)

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Бия	Бийск	51,51	87,67
Чулышман	Балыкча	50,77	88,43
Чуя	Белый Бом	51,23	85,62
Ануй	Старотыр	51,74	84,38
Чарыш	Чарышск	51,41	83,41
Иня	Кайлы	54,78	85,47
Томь	Междур	53,56	89,03
Томь	Новокузн	53,31	88,28
Мрас-Су	Мыски	53,43	87,9
Кондома	Кузедеево	52,86	87,56
Шегарка	Бабарыки	56,03	82,72
Чулым	Балахта	54,73	89,80
Чулым	Кр.Завод	55,1	88,98
Урюп	Изындае	55,38	88,89
Кия	Мариинск	55,54	87,95
Чая	Подгорн	57,64	82,38
Парбиг	Веселый	57,21	81,44
Кеть	Макс.Яр	58,26	89,53
Пайдугина	Березовка	59,47	83,21
Кенга	Центральн	57,18	80,47
Васюган	Ср.Вас.	58,39	76,48
Тым	Напас	60,45	83,88
Вах	Лобчинск	61,22	81,34
Тром-Юган	Ермаково	62,27	73,19
Лямин	ф.Горшк	62,44	70,06
Бол.Юган	Угут	59,60	74,10
Кулунда	Шимолино	52,4	78,9
Чулым	Ярки	55,02	80,86
Каргат	Здвинск	55,18	80,16

Продолжение таблицы А.2

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Назым	Вершина	62,07	68,71
Курчум	Вознесен	51,98	83,71
Бухтарма	Печи	49,96	85,7
Бухтарма	Березовки	49,89	86,15
Уба	Шемон	51,46	82,52
Омь	Мартемьян	55,4	77,85
Омь	Куйбышев	55,87	80,05
Омь	Калачинск	55,43	77,67
Тартас	Северное	56,42	79,48
Тартас	Шипицино	56,18	76,95
Тартас	Венгерово	56,26	78,28
Тара	В.Тарка	57,26	77,15
Тара	Мало-Красн	56,75	77,75
Тара	Муромцево	56,8	77,23
Уй	Баженово	56,52	74,15
Ишим	Викулово	56,56	70,6
Вагай	Нововыигр	56,77	68,36
Туртас	Нов. Туртас	58,77	69,42
Демьянка	Лымковск	59,51	70,33
Конда	Болчары	59,92	66,84
Сев.сосьва	Няксимволь	61,68	62,71
Сев.сосьва	Сосьва	63,5	61,9
Ляпин	Саранпуль	64,75	61,23
Полуй	Полуй	65,13	69,33

Таблица А.3 – Координаты центров водосборов АТР (Восточная Сибирь и Дальний Восток)

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Лена	Качуг	53,73	106,65
Лена	Грузновка	55,22	105,21
Тугура	Грехова	54,72	106,01
Кута	Максим	57,50	105,50
Кута	Ново-Иль	57,20	104,89
Таюра	Таюра	56,68	105,02
Бол,Тира	Тира	57,77	106,46
Киренга	Шорохово	52,59	113,66
Витим	Романовка	53,71	111,82

Продолжение таблицы А.3

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Калакан	Калакан	55,34	117,93
Ципикан	Ципикан	54,79	113,58
Пеледуй	Сользав	59,59	110,98
Нюя	Комака	60,33	110,71
Нюя	Курум	60,75	112,70
Бол,Патом	Патома	59,47	114,97
Бирюк	Бирюк	61,02	118,85
Олекма	Ср,Олекма	60,27	120,78
Жуя	Светлый	58,31	115,62
Туолба	Алексеев	59,89	123,34
Синяя	Песчаное	62,08	124,85
Ботома	Бролог	60,53	126,54
Алдан	Томмот	57,60	124,50
Тимптон	Усть-Бар	57,34	125,82
Тимптон	Усть-Тим	57,34	125,82
Юдома	Крун-Тар	60,98	138,10
Аллах-Юнь	Аллах	60,89	137,86
Нотора	Хас-Тохтур	60,94	133,61
Амга	Буяга	59,37	124,75
Чона	Туой-Хая	62,54	111,44
Яна	Верхоянск	67,54	133,40
Сартанг	Бала	67,08	133,83
Дулгалаах	Томтор	63,26	143,21
Чаркы	3,5км от ус	66,46	138,43
Боруулаах	Томтор	67,15	134,15
Батынтай	Асар	68,70	134,22
Индибирка	Юрты	63,90	141,46
Сунтар	Сахарын	63,16	141,17
Нера	Ала-Чубук	64,03	145,54
Манзурка	Зуева	53,24	105,90
Заза	Усть-Заза	52,94	111,03
Конда	Элькисер	52,47	113,12
Юмурчен	Юмурчен	53,46	114,60
Каренга	Усть-Каренга	54,08	116,19
Ципа	Баунт	54,91	112,11
Ципа	Ую	55,28	114,42
Амалат	Усть-Антосе	54,00	112,75
Кункудерн	Кункудера	57,16	113,11
Б,Черепаниха	Бом	60,82	120,06
Чара	Чара	56,66	117,98

Продолжение таблицы А.3

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Намана	Мекимдя	61,71	120,47
Тамма	Ыатараха	61,29	130,47
Чульман	Чульман	56,85	124,90
Кэнгкэмэ	Второй Станок	62,97	127,81
Эльги	5км выше от уст	64,71	140,13
Ольчан	4,5 км выше уст	64,93	141,89
Аян-Юрях	Эмтегей	62,65	145,89
Кулу	Кулу	61,61	146,42
Детрин	Ус,р,Вахх,	60,98	149,43
Бохапча	5,4км от ус,	61,33	151,06
Сугой	3,2км н, Ус	62,35	156,40
Малый Анюй	Илирней	67,25	167,95
Погынден	ус,р,Инк	68,50	165,18
Гижига	20км от ус	62,64	160,04
Берелех	Переправа	63,45	147,44
Тенке	2,2км выше уст	61,08	148,56
Среднекан	Усть-Среднекан	62,17	152,57
Сеймчан	2,1км выше уст	63,39	151,54
Омчикан	Омсукчан	62,27	155,69
Камчатка	Долиновка	54,68	158,38
Камчатка	Лазо	54,86	158,75
Камчатка	Козыревск	55,23	159,01
Камчатка	Ключи	56,32	160,83
Тигиль	Тигиль	57,15	159,28
Толбачик	Толбачик	55,59	160,41
Авача	Елизово	53,52	158,21
Большая	Малки	53,71	157,59
Воровская	Соболево	54,29	156,78
Крутогорова	крутогорова	54,91	156,66
Хайрюзова	Хайрюзова	56,49	157,87
Напана	Седанка	57,50	159,66
Онон	В,Ульхун	50,63	114,32
Онон	Бытэв	50,63	114,32
Кыра	Кыра	49,97	111,82
Унда	Новоиван	51,46	117,29
Ингода	Дешулан	50,49	111,42
Ингода	Улэты	50,72	111,78
Ингода	Атаманов	51,28	112,48
Ингода	Краснояр	51,55	115,30
Ингода	Нерчинск	52,15	116,32

Продолжение таблицы А.3

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Чёрная	Сбега	53,35	118,43
Амазар	Амазар	52,65	118,70
Гиллой	у Перев	55,10	125,25
Уркан	Заречное	54,05	125,51
Деп	Рычково	53,58	128,52
Томь	Светилов	50,99	129,91
Буря	У,-Ниман	51,40	132,72
Ниман	12км от ус	52,10	132,81
Тунгуска	Архангел	49,54	134,13
Кур	Новокур	49,84	134,86
Амгунь	Гуга	51,97	135,62
Нимелен	Тимченко	52,85	136,32
Бикин	Звеньевой	46,66	135,96
Бикин	Тереховка	51,79	127,11
Зея	Бомнак	54,95	130,21
Ток	Николаевский	48,88	131,33
Туюн	3км от уст	51,28	131,96
Ивановка	Ивановка	50,22	127,74
Б,бира	Биракан	48,88	131,33
Б,бира	Биробиджан	49,00	131,93
Сутара	Известковая	48,74	131,18
Манома	Манома	49,17	136,36
Горин	Бактор	51,29	136,55
Нимелен	Апкороши	52,44	135,50
Бурен	Усть-Бурен	51,27	95,59
Абакан	Абаза	52,01	89,09
Абакан	Райков	52,56	89,84
Туба	Бугуртак	53,77	94,34
Казыр	Пономар	53,80	95,07
Кизир	Имисское	54,19	94,42
Амыл	Качульск	53,31	93,71
Мана	Манский	55,11	93,73
Кан	Ирбейск	54,92	95,14
Кан	Канск	55,06	95,71
Кан	Подпорог	56,20	94,11
Агул	Петропав	55,19	95,77
Бол,Пит	Брянка	59,61	94,19
Кас	Александровский	59,12	89,63
Сым	факт,Сым	61,06	88,15
Елогуй	пос,Келлог	62,71	86,91

Продолжение таблицы А.3

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Н,Тунгуска	Подволош	58,11	107,23
Тембенчи	Тембенчи	66,14	96,22
Таймура	Кербо	62,75	101,18
Норилка	Валёк	69,22	88,33
Иркут	Тунка	51,79	102,44
Иркут	Тибильти	51,75	103,23
Иркут	Иркутск	51,67	102,55
Ия	Аршан	53,34	99,41
Ия	Тулун	53,79	99,81
Илим	Сотникова	56,40	103,84
Чадобец	Яркино	59,13	99,40
Мура	Ирба	57,99	98,68
Иркинеева	Бедоба	59,33	97,83
Уда	Укар	53,96	98,49
Бирюса	Биррюсинск	54,82	97,50
Бирюса	Шиткино	55,03	97,69
Тагул	Геогиевка	55,40	97,38
Усолка	Троицкое	56,91	95,18
В,Ангара	В,Заимка	55,97	111,93
Баргузин	Могойто	54,83	111,13
Баргузин	Баргузин	54,33	110,77
Турка	Соболиха	52,62	108,44
Джида	Хамней	50,34	103,60
Джида	ст,Джида	50,54	104,02
Чикой	Гремячка	50,27	110,07
Чикой	Поворот	50,52	106,27
Хилок	Хилок	51,51	111,43
Хилок	Малета	51,35	110,59
Хилок	Хайластуй	51,13	106,55
Уда	Хоринск	52,32	110,32
Уда	Улан-Удэ	51,89	107,83
Кудун	Хоринск	51,81	110,34
Курба	Н,Курба	52,54	109,11
Зун-Мурин	улус Зун-Мурин	51,34	102,73
Куда	Грановщина	52,85	104,94
М,Белая	Тунгусы	52,48	101,95
Ида	Морозова	53,17	104,07
Тагна	Хор-Тагна	53,14	101,21
Зима	Зулумай	53,55	101,17
Кирей	Уйгат	53,86	100,25

Продолжение таблицы А.3

Река	Пост	Координаты центров водосборов, °	
		широта	долгота
Вихорева	Кобляково	56,22	101,16
Карабула	Карабула	57,94	98,04
Уда	Алыгджер	53,48	97,94
Уда	Широково	53,96	98,49
Чукша	Савельевка	56,01	100,34
Бирюса	Нерой	55,03	97,69
Татарка	Татарка	58,09	93,29
Енисей	Тоора-Хем	52,45	96,16
Енисей	Сейба	52,66	94,78
Ус	Усть-Золотая	52,52	93,49
Оя	Ермаковское	52,99	92,63
Она	М,Анзас	52,05	89,63
Джебаш	Джебаш	52,41	90,34
Таштып	Таштып	52,50	89,21
Казыр	Пономарево	53,73	95,37
Мана	Кой	55,11	93,73
Кунгус	Ильинка	54,97	95,87
Б,Пит	Сухой Пит	59,61	94,19

Приложение Б – Статистические характеристики рядов осадков, стока, испарения и изменения суммарных влагозапасов

Таблица Б.1 – Река Молога – пост Устюжна

№	Река	Пост	Ширина	Долгота	$F, \text{км}^2$	Год	$Y, \text{м}^3/\text{с}$	$Y, \text{мм}$	$X, \text{мм}$	$T, \text{град}$	$d, \text{мбар}$	$E, \text{мм}$	$\Delta U, \text{мм}$
38	Молога	Устюжна	58.21	35.86	19100	1951	129	213	528	3.2	7.7	460	-145
						1952	163	269	762	3.1	7.6	455	39
						1953	184	303	706	2.8	7.5	442	-39
						1954	114	188	607	3.1	7.6	453	-33
						1955	213	351	697	2.1	7.1	411	-65
						1956	145	239	682	1.3	6.7	375	67
						1957	178	294	752	3.7	8.0	482	-24
						1958	171	282	688	2.1	7.1	409	-2
						1959	140	231	554	2.6	7.3	430	-107
						1960	103	170	625	2.3	7.2	420	35
						1961	164	270	663	3.5	7.8	470	-78
						1962	159	262	627	2.4	7.3	424	-59
						1963	80.5	133	497	1.4	6.7	380	-16
						1964	89.2	147	582	2.5	7.3	428	8
						1965	122	201	602	1.5	6.8	387	14
						1966	179	295	723	2.4	7.3	423	5
						1967	124	205	631	3.6	7.9	478	-51
						1968	130	214	584	2.2	7.2	415	-46
						1969	121	200	562	1.3	6.7	377	-14
						1970	112	185	551	2.8	7.5	439	-73
						1971	77	127	568	2.6	7.4	433	8
						1972	59.4	98	398	3.9	8.1	492	-192
						1973	58.9	97	593	3.3	7.7	461	35
						1974	96.6	159	542	4.1	8.2	499	-117
						1975	79.9	132	543	4.6	8.5	522	-111
						1976	124	205	595	1.2	6.7	374	17
						1977	154	254	683	2.9	7.5	446	-17
						1978	172	284	672	1.7	6.9	393	-5
						1979	130	214	562	2.9	7.5	443	-96
						1980	143	236	663	2.3	7.2	419	8
						1981	163	269	727	4.0	8.2	497	-39
						1982	140	231	634	3.3	7.8	464	-60
						1983	163	269	776	4.4	8.4	513	-6
						1984	165	272	553	3.5	7.9	472	-192
						1985	149	246	633	2.0	7.0	405	-17
						1986	171	282	630	2.9	7.5	445	-97
						1987	183	302	626	1.4	6.7	379	-55
						1988	143	236	616	3.7	8.0	481	-101

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	38	38	38	38
Ср.зн.ско	622	439	-43	225
Дисп.	78.8	40.4	60.8	61.3
К-т вар.	6208	1633	3701	3754
К-т асим.	0.13	0.09	-1.43	0.27
К-т экс.	-0.22	0.10	-0.62	-0.36
a1	0.17	-0.91	-0.08	-0.62
a2	622	439	-43	225
a3	393031	194636	5422	54441
a4	251911250	86920762	-678983	13832488
m2	163649761766	39125339754	106521206	3651024027
m3	6208	1633	3701	3754
m4	-107116	6364	-140418	-83789
m4	122253264	5575936	39943678	33478655

Погрешности	E	ΔU	Y
C_s/C_v	1.05	0.44	-1.34
$r(I)$	0.02	-0.38	0.47
ср.зн.	1	-23	4
C_v	12	-	13
C_s	414	-111	-113

Таблица Б.2 – Река Уфа – пост Красноуфимск

№	Река	Пост	Широта	Долгота	F_2 , км ²	Год	Y , м ³ /с	Y , мм	X , мм	T , град	d , мбар	E , мм	ΔU , мм
51	Уфа	Красноуфимск	56.39	59.14	14200	1951	90.9	202	444	1.9	7.0	402	-159
						1952	70.7	157	480	2.0	7.1	408	-85
						1953	68.3	152	563	1.7	6.9	392	19
						1954	84.8	188	468	1.3	6.7	379	-99
						1955	65.6	146	538	1.3	6.7	378	14
						1956	110	244	603	0.6	6.4	348	11
						1957	121	268	529	2.4	7.3	423	-163
						1958	74.3	165	401	1.1	6.6	369	-132
						1959	99.8	221	632	0.5	6.3	346	65
						1960	108	240	547	-0.1	6.1	324	-16
						1961	105	233	590	1.4	6.8	382	-25
						1962	99	220	502	1.9	7.0	401	-119
						1963	107	237	541	0.6	6.4	350	-46
						1964	109	242	592	0.4	6.3	340	10
						1965	108	240	475	0.7	6.4	351	-116
						1966	103	228	634	0.1	6.2	331	74
						1967	56	124	475	2.3	7.2	419	-68
						1968	94.2	209	595	0.2	6.2	334	52
						1969	123	273	546	-1.4	5.5	270	3
						1970	109	242	642	1.2	6.6	371	29
						1971	126	280	565	1.3	6.7	377	-91
						1972	83	184	503	0.2	6.2	332	-13
						1973	103	228	565	1.1	6.6	369	-32
						1974	92.9	206	364	1.7	6.9	394	-236
						1975	50.8	113	372	2.7	7.4	435	-176
						1976	102	226	479	0.0	6.1	326	-73
						1977	98.4	218	506	1.4	6.7	381	-93
						1978	76.4	169	627	0.9	6.5	358	99
						1979	102	226	519	1.1	6.6	369	-76
						1980	92.4	205	553	0.8	6.5	356	-8
						1981	103	228	526	2.7	7.4	437	-139
						1982	70.2	156	564	1.8	7.0	398	10
						1983	102	226	617	2.7	7.4	435	-44
						1984	145	322	597	0.8	6.5	357	-82
						1985	85.7	190	558	0.9	6.5	359	8
						1986	86.1	191	637	0.5	6.3	344	101
						1987	192	426	612	0.9	6.5	359	-172
						1988	133	295	492	2.5	7.3	429	-232

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	38	38	38	38
Ср.зн.	538	372	-53	219
ско	71.6	36.6	86.7	56.9
Дисп.	5120	1343	7524	3234
К-т вар.	0.13	0.10	-1.65	0.26
К-т асим.	-0.60	-0.12	-0.22	1.05
К-т экс.	-0.23	-0.04	-0.74	2.83
a1	538	372	-53	219
a2	294690	139622	10093	51084
a3	163760615	52892911	-1446456	12755723
a4	92192814139	20212591262	287544107	3432892749
m2	5120	1343	7524	3234
m3	-219919	-5826	-144749	192341
m4	72603558	5342252	127790476	60953955

Погрешности	E	ΔU	Y
C_s/C_v	-1.20	0.13	4.03
$r(I)$	0.06	-0.01	0.13
ср.зн.	2	-27	4
C_v	12	-	13
C_s	-337	-345	39

Таблица Б.3 – Река Печора – пост Якша

№	Река	Пост	Широта	Долгота	$F, \text{км}^2$	Год	$Y, \text{м}^3/\text{с}$	$Y, \text{мм}$	$X, \text{мм}$	$T, \text{град}$	$d, \text{мбар}$	$E, \text{мм}$	$\Delta U, \text{мм}$
60	Печора	Якша	61.90	58.21	9620	1951	132	432	544	-0.6	5.8	306	-195
						1952	163	534	524	-1.1	5.6	284	-293
						1953	147	481	534	-1.1	5.6	283	-231
						1954	136	445	498	-0.9	5.7	296	-243
						1955	152	498	572	-2.1	5.2	247	-173
						1956	155	508	695	-2.3	5.1	238	-50
						1957	144	472	660	-0.8	5.7	297	-108
						1958	165	540	584	-2.4	5.1	235	-191
						1959	148	485	555	-1.6	5.4	264	-194
						1960	114	373	425	-3.1	4.9	215	-164
						1961	162	530	552	-0.9	5.7	294	-273
						1962	172	563	650	-0.3	6.0	315	-228
						1963	158	517	533	-2.9	4.9	222	-206
						1964	167	547	610	-2.3	5.2	240	-177
						1965	211	691	662	-2.2	5.2	243	-271
						1966	166	544	633	-3.1	4.8	213	-124
						1967	158	517	586	0.4	6.3	340	-271
						1968	150	491	570	-3.3	4.8	209	-130
						1969	160	524	574	-4.2	4.5	183	-133
						1970	136	445	552	-1.6	5.4	266	-159
						1971	166	544	700	-2.3	5.1	238	-81
						1972	146	478	556	-2.5	5.1	233	-156
						1973	142	465	549	-1.3	5.5	276	-191
						1974	168	550	538	-0.3	6.0	317	-328
						1975	158	517	573	-0.4	5.9	313	-257
						1976	161	527	517	-1.7	5.4	261	-271
						1977	142	465	596	-1.2	5.6	278	-146
						1978	185	606	780	-2.9	4.9	221	-47
						1979	212	694	658	-2.2	5.2	242	-278
						1980	110	360	584	-1.5	5.5	269	-46
						1981	141	462	500	0.5	6.3	345	-307
						1982	126	413	669	-1.2	5.6	278	-22
						1983	186	609	708	-0.3	6.0	317	-217
						1984	150	491	526	-1.6	5.4	265	-230
						1985	164	537	680	-2.0	5.3	251	-108
						1986	168	550	617	-2.2	5.2	243	-176
						1987	125	409	478	-1.9	5.3	253	-184
						1988	108	354	542	0.1	6.1	328	-139

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	38	38	38	38
Ср.зн.	586	266	-184	504
ско	73.6	39.2	77.7	75.0
Дисп.	5412	1536	6035	5628
К-т вар.	0.13	0.15	-0.42	0.15
К-т асим.	0.42	0.15	0.23	0.30
К-т экс.	-0.13	-0.79	-0.74	0.51
a1	586	266	-184	504
a2	349242	72395	39811	259934
a3	211177306	20082505	-9392301	136775725
a4	129671936363	5678104248	2351934971	73481769527
m2	5412	1536	6035	5628
m3	168452	9272	106334	127554
m4	83938886	5210161	82288395	111167691

Погрешности	E	ΔU	Y
Cs/Cv	1.05	-0.54	2.03
$r(l)$	0.04	-0.15	0.03
ср.зн.	2	-7	2
Cv	12	9	12
Cs	261	190	133

Таблица Б.4 – Река Болва– пост Псурь

№	Река	Пост	Широта	Долгота	F , км ²	Год	Y , м ³ /с	Y , мм	X , мм	T , град	d , мбар	E , мм	ΔU , мм
77	Болва	Псурь	54.12	34.41	3210	1951	14.7	144	532	5.3	8.9	550	-163
						1952	18.9	185	801	5.0	8.7	539	77
						1953	23	226	639	4.4	8.4	512	-99
						1954	13.9	136	541	4.4	8.4	514	-109
						1955	17.4	171	597	4.6	8.5	523	-97
						1956	18.7	184	645	3.0	7.6	449	13
						1957	18.7	184	584	5.5	9.0	558	-157
						1958	21.3	209	654	4.3	8.3	507	-62
						1959	15.2	149	470	4.0	8.1	495	-175
						1960	14.1	138	712	4.3	8.3	509	65
						1961	16.5	162	579	4.9	8.7	536	-119
						1962	24	236	819	4.3	8.3	510	73
						1963	17.5	172	453	3.1	7.6	451	-170
						1964	13.5	132	523	4.0	8.2	498	-107
						1965	9.34	92	554	2.8	7.5	441	21
						1966	18.3	180	658	4.8	8.6	529	-51
						1967	18	177	640	4.9	8.6	533	-69
						1968	13.5	132	488	3.8	8.0	485	-129
						1969	14.2	139	656	2.8	7.5	439	78
						1970	22.5	221	701	4.6	8.5	523	-43
						1971	21.5	211	652	4.5	8.4	516	-74
						1972	14.4	141	456	5.2	8.8	546	-231
						1973	14.5	142	758	4.6	8.5	522	94
						1974	14.8	145	543	4.9	8.7	534	-137
						1975	13.2	130	415	6.4	9.6	605	-319
						1976	11.1	109	558	3.0	7.6	449	0
						1977	16.2	159	621	4.6	8.5	520	-58
						1978	18.8	184	577	3.4	7.8	469	-76
						1979	17.5	172	696	4.6	8.5	519	5
						1980	21.7	213	640	3.4	7.8	467	-40
						1981	20.4	200	701	5.7	9.1	565	-64
						1982	20.2	198	603	5.0	8.7	539	-134
						1983	16.9	166	601	5.8	9.2	572	-137
						1984	13	128	616	4.5	8.4	515	-27
						1985	18.9	185	732	3.4	7.8	468	79
						1986	20.6	202	627	4.5	8.4	518	-93
						1987	14.7	144	591	2.7	7.4	437	9

Статистика	X	E	ΔU	Y
N	37	37	37	37
Ср.зн.	612	510	-66	168
ско	93.8	40.1	93.6	34.2
Дисп.	8792	1606	8755	1169
К-т вар.	0.15	0.08	-1.43	0.20
К-т асим.	0.05	-0.14	-0.22	0.03
К-т экс.	-0.34	-0.47	-0.13	-0.78
a1	612	510	-66	168
a2	382703	261400	12821	29201
a3	244596800	134830475	-2137586	5274260
a4	159497192905	69939102288	505622084	982979211
m2	8792	1606	8755	1169
m3	41265	-9213	-179235	1216
m4	205571756	6515877	220213649	3034445

Погрешности	E	ΔU	Y
C_s/C_v	-1.82	0.15	0.15
$r(l)$	-0.10	-0.34	0.19
ср.зн.	1	-23	3
C_v	12	-	13
C_s	-282	-321	1351

Приложение В – Гистограммы

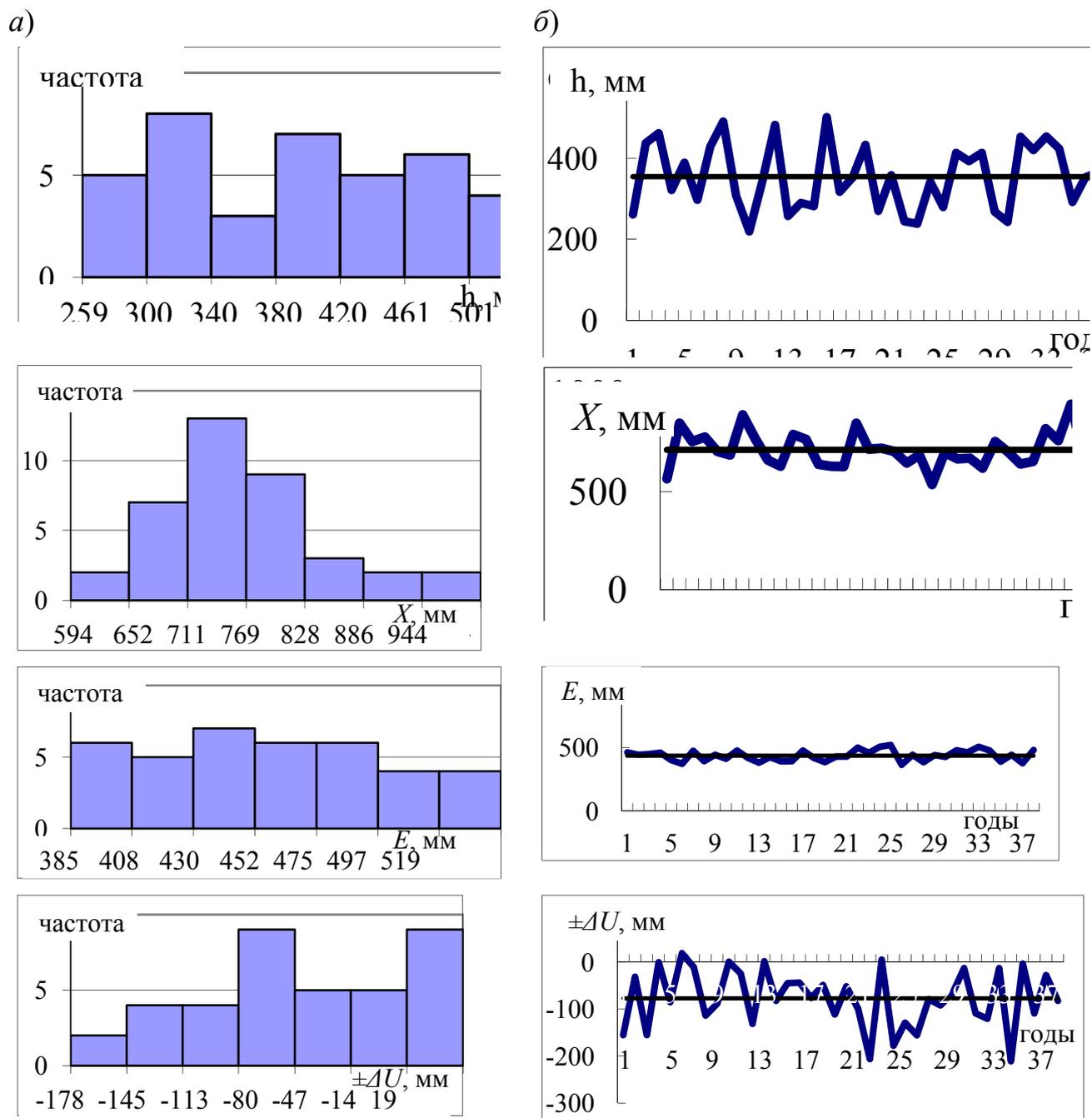
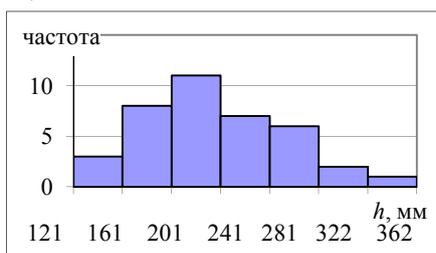


Рисунок В.1 – Гистограммы (а) и хронологические графики (б) р. Паша – с. Часовенское.

a)



б)

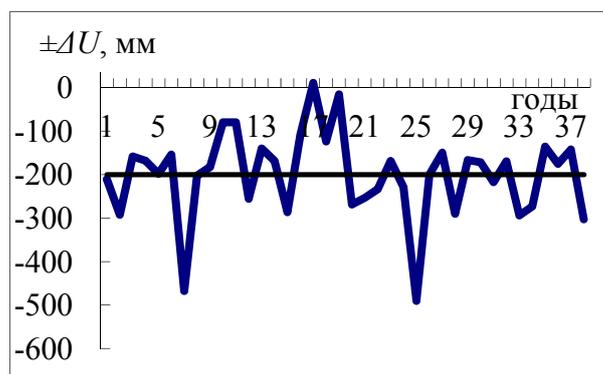
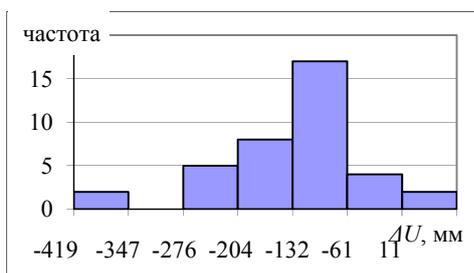
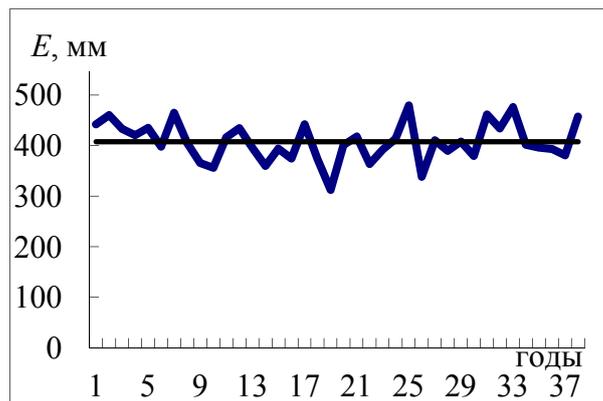
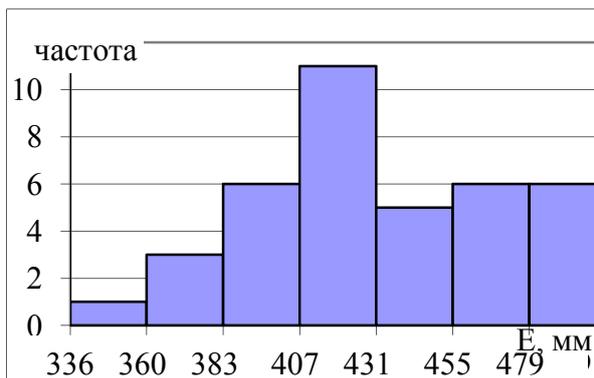
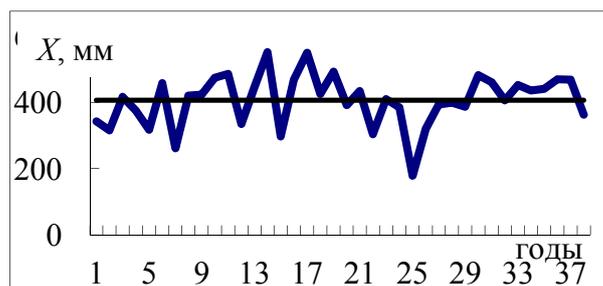
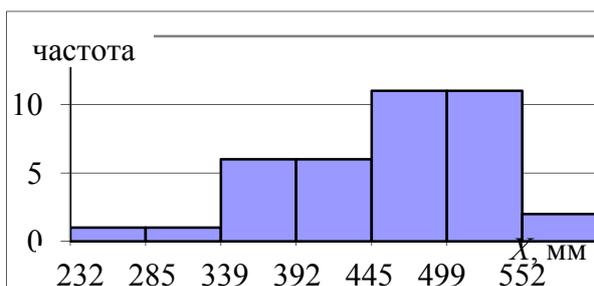
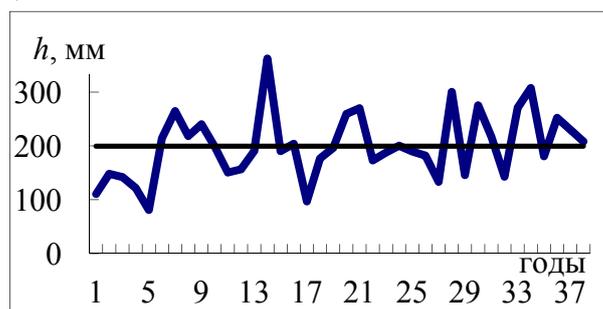
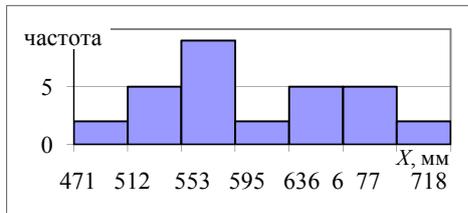
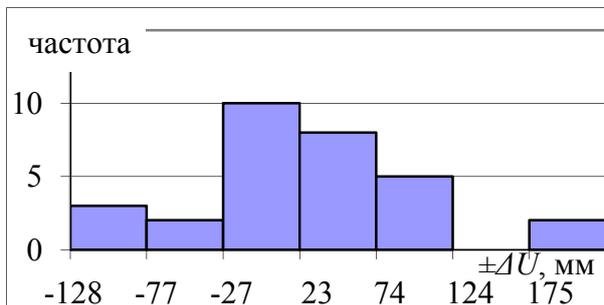
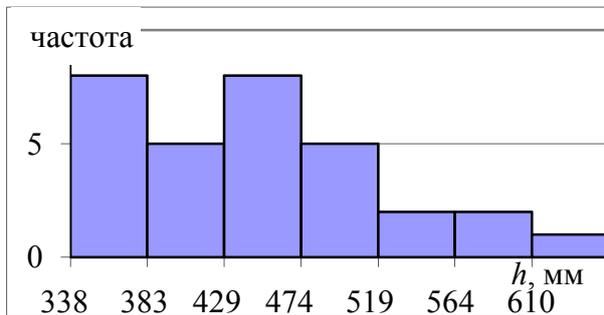
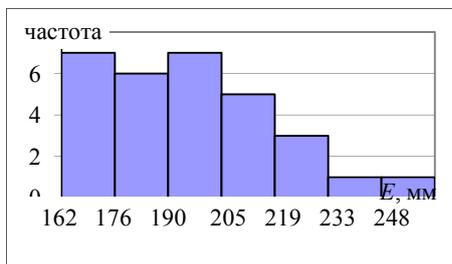


Рисунок В.2 – Гистограммы (а) и хронологические графики (б) р. Белая – д. Сыртланово.

a)



471 512 553 595 636 677 718



б)

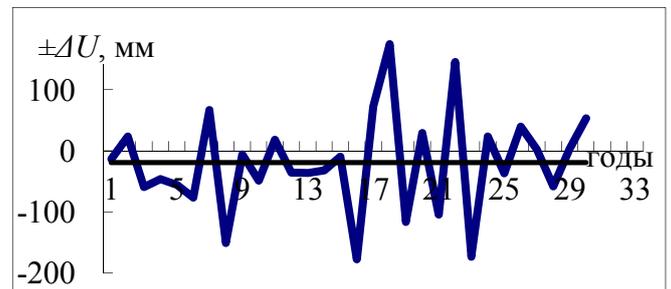
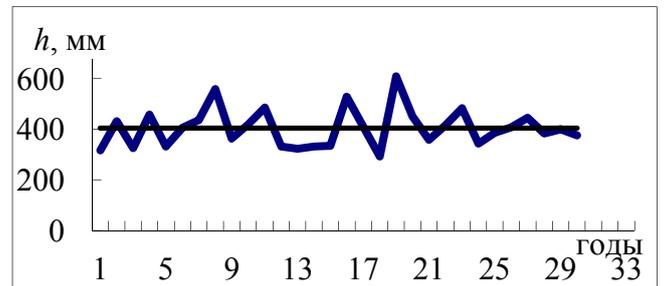
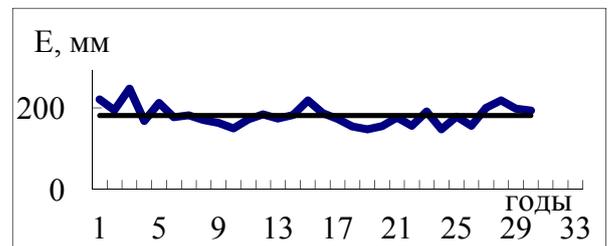
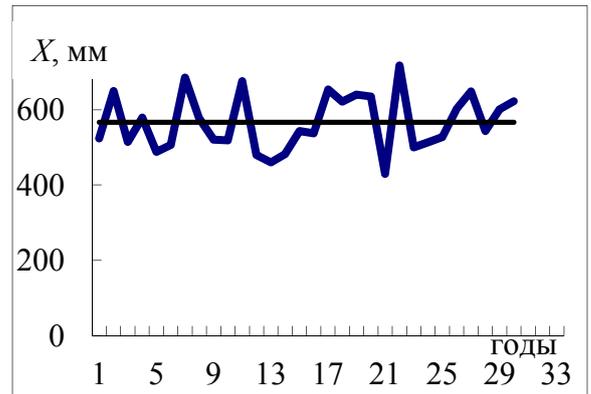
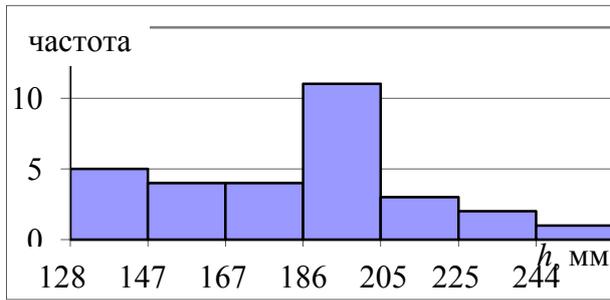


Рисунок В.3 – Гистограммы (а) и хронологические графики (б) р. Бия – г. Бийск.

a)



б)

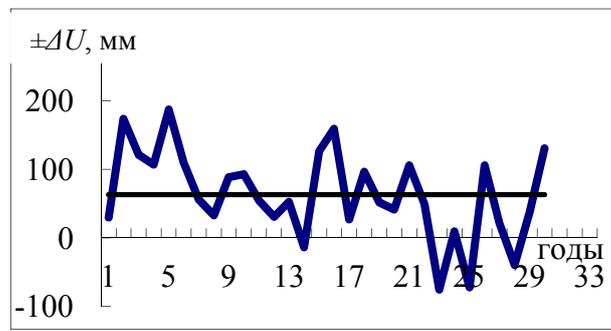
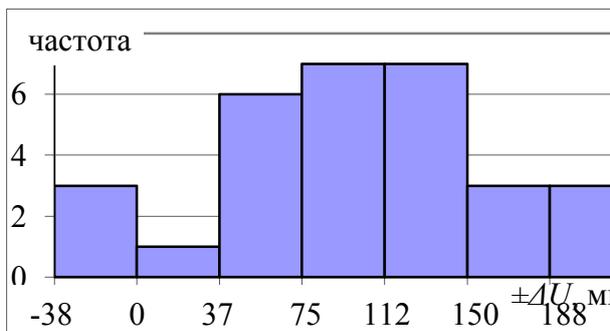
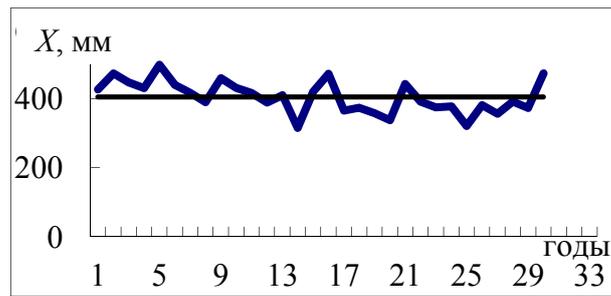
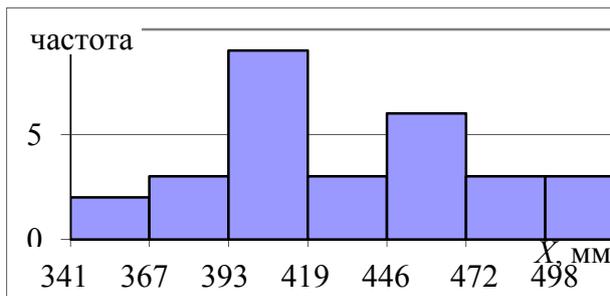
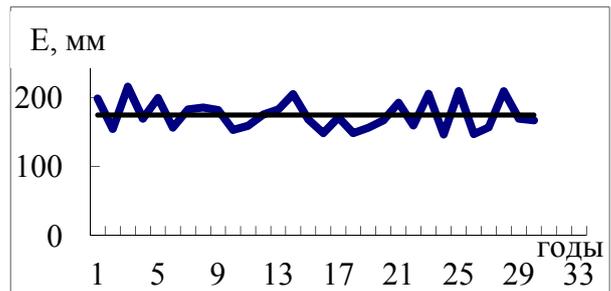
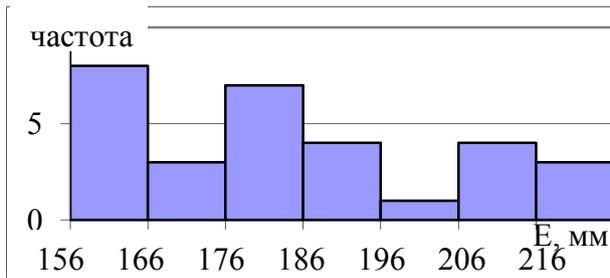
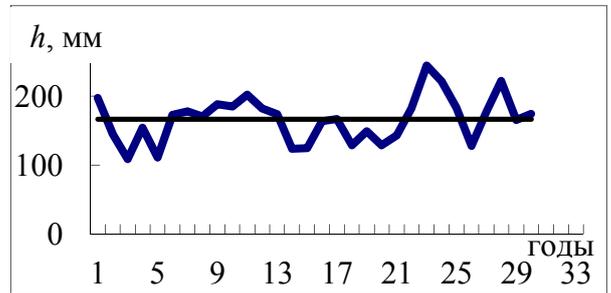


Рисунок В.4 – Гистограммы (а) и хронологические графики (б) р. Кута – д. Максим.

Приложение Г – Справки о внедрении

«УТВЕРЖДАЮ»
Временно исполняющий
обязанности
генерального директора
ЗАО "ВНИИ Галургии"
 / Мясоедов Н.В./
« 28 » мая 2014

СПРАВКА

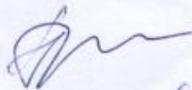
выдана аспирантке Российского государственного гидрометеорологического университета Головановой Евгении Юрьевне для представления в Учёный совет при защите диссертации на тему: «Пространственное распределение нормы изменения влагозапасов речных бассейнов России».

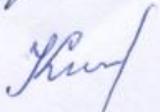
Лаборатория охраны природных вод ЗАО "ВНИИ Галургии" на протяжении ряда десятилетий занимается исследованием соляных озер на территории Евразийского экономического союза. Одним из объектов исследований являются техногенные соляные озера: шламоохранилища и рассолосборники, расположенные в Березниковско-Соликамском промышленном районе Пермского края. Эти искусственно созданные водные объекты объемом первые десятки млн. м³ и минерализацией вод-рассолов до 320 г/л оказывают существенное влияние на режим подземных и поверхностных вод.

Для оценки влияния шламоохранилищ и рассолосборников на природные водные объекты и экологическую ситуацию в целом, лабораторией охраны природных вод составляются и рассчитываются элементы их водного баланса, в частности рассчитывается величина испарения.

В диссертации Евгении Юрьевны Головановой выявлена географическая закономерность распределения по территории России ненулевых норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов. Учитывая, что в Пермском крае эти нормы отрицательны, то отсюда следует необходимость внесения положительных поправок в величины испарения, полученные из существующих карт распределения их норм.

Результаты диссертационного исследования Е. Ю. Головановой помогают более надёжно проводить расчёты испарения, а значит оценить и как следствие снизить риски экологического ущерба. Что же касается использования непосредственно факта ненулевых норм многолетних изменений суммарных влагозапасов, то он, на текущий момент, носит, скорее, мировоззренческий характер. Требуется время для осмысления возможностей его непосредственного использования.

Старший научный сотрудник, к.т.н.  Прокофьева Т.И.

Заведующий лабораторией охраны природных вод  Копшталева В.П.

Председателю Учёного совета
по присуждению учёных степеней
(по месту защиты)



проректор РГГМУ по научной работе
/ Воробьёв В. Н./

2014

СПРАВКА

Настоящая справка выдана аспирантке Головановой Евгении Юрьевне для предоставления в диссертационный совет по присуждению учёных степеней в качестве документа, подтверждающего внедрение результатов её диссертации «Многолетние изменения годовых суммарных влагозапасов речных бассейнов России» по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Магистр (по направлению «Гидрометеорология»), Е. Ю. Голованова обучается в заочной аспирантуре Российского государственного гидрологического университета (РГГМУ) и одновременно работала в различных должностях на гидрологическом факультете (инженер, зав. лабораторией математического моделирования гидрологических процессов). В настоящее время – инженер – исследователь кафедры гидрофизики и гидропрогнозов. За время обучения в магистратуре и аспирантуре Голованова принимала самое активное участие в выполнении следующих НИР:

1. «Исследование развития географически нелокального режима формирования вероятностных распределений многолетнего годового стока полизональных рек Сибири и методология их прогноза» (№ госрегистрации 01 2009 52633) – госбюджетная тема, выполняемая каф. гидрофизики и гидропрогнозов.

2. «Разработка гидрофизических моделей с непрерывным и дискретным временем для устойчивого прогнозирования долгосрочных гидрологических последствий изменения стокоформирующих факторов» (№ госрегистрации 01 2012 51675) – госбюджетная тема, выполняемая каф. гидрофизики и гидропрогнозов.

3. «Географические закономерности распределений на территории России аномальных зон формирования экстремальных видов многолетнего речного стока в перспективе долгосрочных климатических изменений» (№ госрегистрации 01 2012 80083) – грант Министерства образования и науки РФ.

4. «Создание диагностических и прогностических моделей развития катастрофического формирования многолетнего речного стока» (№ госрегистрации 01 2009 52622) – грант Министерства образования и науки РФ.

5. «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) – грант Министерства образования и науки РФ.

Тематика перечисленных НИР направлена на разработку методов устойчивого моделирования и прогнозирования долгосрочных изменений гидрологического режима речных водосборов. Эти методы лежат в русле нового научного направления, разработанного на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ «Частично инфинитная гидрология». В его основе лежит идея расширения фазового пространства моделей формирования вероятностных распределений характеристик речного стока. Одной из фазовых переменных является изменение суммарных влагозапасов речных бассейнов. Сотрудниками кафедры было показано, что многолетняя норма этих изменений не является нулевой, как до сих пор считалось в гидрологии. Разработана долговременная программа учёта этого факта в прогностических моделях формирования речного стока.

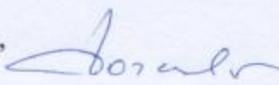
Диссертация Головановой фактически реализует первый этап этой программы, связанный с географическими аспектами территориального распределения нормы изменения

влажностных запасов. Однако, уже на этом этапе были получены результаты, имеющие не только мировоззренческое значение, но и практический выход, связанный с корректировкой карт многолетних норм испарения, которые используются в инженерной гидрологии.

Эти два аспекта (общенаучный и практический) нашли отражение в учебном процессе при подготовке гидрологов (бакалавров, специалистов, магистров) на гидрологическом факультете РГГМУ в следующих дисциплинах общенаучного и профессионального цикла:

1. «Гидродинамическое моделирование природных процессов», разделы: «Частично инфинитная методология преодоления геологических тупиков моделирования гидрологических процессов»; «Фрактальная диагностика рядов речного стока»; «Расширение фазового пространства моделей формирования речного стока» – направление: 280400 – Прикладная гидрометеорология. Профиль подготовки: Прикладная гидрология.).
2. «Моделирование эволюционных гидрологических процессов» – дисциплина для аспирантов РГГМУ, обучающихся по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия. Материал диссертации частично вошёл в монографию В. В. Коваленко «Новые явления и закономерности формирования речного стока» – (СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 172 с.), которая является, практически, учебным пособием по данной дисциплине.
3. Результаты Головановой о неравенстве нулю многолетних норм изменения суммарных влажностных запасов речных бассейнов и следующих из этого выводов прикладного характера учитываются, практически, во всех дисциплинах, читаемых на гидрологическом факультете РГГМУ, в которых используются балансовые соотношения.

Декан гидрологического факультета,
д.г.н., профессор



Догановский А. М.

Председатель методической комиссии
Гидрологического факультета, к. т. н., доцент



Викторова Н. В.

Специалист по УМР



Фадеева Н. Ф.



Для представления в
Диссертационный совет

РусГидро

ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

Открытое акционерное общество
«Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»

ул. Гжатская 21, Санкт-Петербург,
Россия, 195220

т.: +7 (812) 535 5445
ф: +7 (812) 535 6720

vniig@vniig.ru
www.vniig.rushydro.ru

от 09.07.14 № 340-3444
на № _____ от _____

СПРАВКА

Выдана кафедре «Гидрофизики и гидропрогнозов», официально внесённой в реестр ведущих научных школ (заведующий кафедрой - профессор В. В. Коваленко) Российского государственного гидрометеорологического университета, для представления её аспиранткой Е. Ю. Головановой в Ученый совет по месту защиты диссертации.

В период 2012-2014 гг. ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» проводились работы по актуализации и обоснованию расчетных гидрологических характеристик водотоков в створе плотин гидроузлов для ряда водохранилищ с целью обоснования положений правил использования их водных ресурсов.

Методика расчётов предусматривает, в том числе, и оценку значений норм многолетнего испарения с использованием карт их распределения. Известно, что подобные карты были построены путём балансовой увязки стока, осадков и испарения, что получалось обратным пересчётом в предположении, что норма многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов равна нулю.

Однако, кафедрой гидрофизики и гидропрогнозов (профессором В. В. Коваленко и доцентом Е. В. Гайдуковой) было обнаружено явление, смысл которого заключается в том, что норма многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов не является нулевой, и построена карта их распределения по Северному полушарию. При этом использовалась информация, имеющаяся в открытом доступе в сети интернет. Аспирантка Е. Ю. Голованова детализировала карту, опираясь одновременно на данные по гидро- и метеозлементам, помещаемым в гидрометеорологических ежемесячниках и гидрологических справочных материалах. В результате, путем обратного пересчета была установлена географическая закономерность распределения нормы изменения суммарных влагозапасов на территории России. Из неё, с доверительной вероятностью 68,3% следует, что на Европейской территории России эта норма имеет отрицательное значение, а в Сибири – положительное. Это позволило Е.Ю. Головановой выделить области, в которых значения



Открытое акционерное общество
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»



норм испарения необходимо вводить коррективы. Эти регионы представлены, в частности, в диссертации Е. Ю. Головановой «Пространственное распределение нормы изменения влагозапасов речных бассейнов России».

Результаты работ были использованы лабораторией «Ледотермики и термики водоемов» при выполнении научно-исследовательских работ по проведению вариантных водохозяйственных расчетов с использованием имитационных математических моделей для Невьянского и Брединского водохранилищ, которые велись одновременно с учётом коррективки и без нее, обычным методом. Это позволяло смоделировать и рассмотреть наиболее неблагоприятную ситуацию при оценке показателя расчетной обеспеченности водоотдачи водохранилищ. Результаты работы были рассмотрены на Лабораторном совете подразделения, при этом, ввиду новизны результатов и их дискуссионного характера, вводимая коррективка не превышала $\pm 20\%$ от значений, заложенных в общепринятые на сегодняшний день карты норм испарения.

Научный руководитель – первый
заместитель генерального директора



В.Б. Елаговский

Бакановичус Наталья Симовна
+7 (812) 493-93-13

