

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**С.Г. Добровольский**

**ГЛОБАЛЬНАЯ  
ГИДРОЛОГИЯ  
Процессы и прогнозы**

Москва  
ГЕОС  
2017

УДК 551.482

ББК 26.323

Д 16

**Добровольский С.Г.** Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: ГЕОС, 2017. – 526 с.

ISBN 978-5-89118-558-6

Книга представляет собой первую в мировой научной литературе монографию, в которой согласованно, на единой методической основе анализируются количественные закономерности изменений всех основных составляющих водообмена и параметров экстремальных гидрологических процессов в климатическом и промежуточном масштабах времени и в различных пространственных масштабах – от глобального до регионального и локального. Рассматриваются следующие процессы: испарение с поверхности океана (и его факторы), осадки над океанами; эффективное испарение с поверхности океана; горизонтальный влагоперенос в атмосфере; осадки над сушей; испарение/эвапотранспирация с поверхности суши; «эффективные осадки» («климатический речной сток»); наблюдаемый речной сток; наводнения; засухи. В исследовании используются данные как реанализа, так и собственно инструментальных наблюдений – и их интерпретация при помощи предложенных автором новых методов идентификации стохастических моделей и оценки статистических и стохастических параметров, а также предложенные автором динамико-стохастические модели процессов.

Рассматриваются вопросы оценки возможных изменений увлажненности суши вследствие предполагаемого антропогенного потепления. В отличие от существующих исследований, учитывается возможно более полный набор неопределенностей такого рода прогнозов: не только вследствие расхождений между сценариями эмиссии парниковых газов и расхождений между результатами различных моделей климата, но и вследствие ошибок в оценках среднего стока за реперный период инструментальных наблюдений и вследствие возможных естественных изменений глобального климата.

Книга предназначена как для специалистов – гидрологов, водохозяйственников, географов, геофизиков, гляциологов, климатологов и научных сотрудников, работающих в смежных областях – так и для студентов и аспирантов, обучающихся по соответствующим специальностям.

526 с., библи. 251, 287 рис., 24 таблицы.

***Публикуется при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
(проект № 17-15-00109)***



*Эта книга посвящается памяти  
Александра Ивановича ДУВАНИНА*

## Предисловие

Настоящая монография представляет собой, по существу, второй том предыдущей книги автора – «Глобальные изменения речного стока» (2011), и обе являются продолжением и завершением, на настоящем этапе, серии монографий автора, посвященных глобальным изменениям тепловлагообмена между земными оболочками: «Аномалии глобального тепловлагообмена» (1991), «Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes» (1992), «Stochastic climate theory» (2000), «Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера»» (2002), «Наводнения мира» (совместно с М.Н.Истоминой, 2006). В настоящей книге подытожены результаты, полученные со времени выхода в свет «Глобальных изменений речного стока», а также те результаты, которые не могли войти в предыдущую монографию вследствие ограниченного объема последней.

Несмотря на то, что работа опирается на многолетние исследования автора в рассматриваемой области, настоящая книга представляет собой, как он надеется, новое самостоятельное произведение, которое должно впервые дать сравнительно полное и непротиворечивое количественное описание и анализ изменений во времени, в климатическом и промежуточном масштабах, всех основных составляющих глобального водообмена. При этом основное внимание уделено процессам на поверхности суши: среднему, максимальному и минимальному речному стоку и экстремальным гидрологическим событиям – наводнениям и засухам. Рассматривается также чрезвычайно дискуссионная проблема прогнозирования изменений увлажненности поверхности суши на протяжении предстоящих десятилетий.

Ряд разделов монографии написан в соавторстве с сотрудниками лаборатории глобальной гидрологии Института водных проблем РАН: разделы 1.3.1, 1.4.1, 1.5.1 – в соавторстве с В.П.Юшковым, глава 3 – в соавторстве с М.Н.Истоминой и В.Ю.Пасечкиной. Раздел 4.1 написан, в основном, по материалам статьи (Добровольский, Татаринич, Юшков, 2016).

Автор приносит искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории глобальной гидрологии Института водных проблем РАН Н.Н.Айдинян, В.В.Котельниковой, С.Г.Саркисян за помощь в компьютерной обработке данных.

Книга посвящена памяти замечательного ученого и педагога, профессора Московского Государственного университета Александра Ивановича Дуванина.

**«Реки все вернутся к морю,  
Ты не плачь обо мне...»**

**(из песни неизвестного автора)**

## **Введение**

Если попытаться кратко и «по максимуму» определить понятие «глобальная гидрология», то это область науки, которая занимается изучением не только гидрологических объектов и процессов на суше в глобальном масштабе, но и всеми основными компонентами мирового водного баланса и их изменениями во времени.

Полезны некоторые пояснения, связанные с происхождением понятия «глобальная гидрология». Как известно, гидрология вначале включала в качестве объекта исследований воды во всех сферах Земли, в том числе в океанах и морях. Таким образом, изначально гидрология и была «глобальной», хотя уровень науки о воде в различных сферах во многом был рудиментарным. Со временем разделы науки, связанные с океанами и морями, стали отделяться от «гидрологии» (которая превращалась по существу в «гидрологию суши») и образовали область науки под названием «океанология». В последние десятилетия существования СССР отечественная океанология, пожалуй, развивалась более интенсивно, чем собственно гидрология – и финансировалась в намного более значительных объемах. Например, в Москве, расположенной в сотнях и тысячах километров от морей и океанов, было четыре научно-исследовательских института, занимавшиеся океанологией – и до конца 1960-х годов (до образования Института водных проблем РАН) ни одного гидрологического института. Аналогичные процессы имели место и в системе гидрологического образования: в крупнейшем ВУЗе страны – Московском университете – в начале 1950-х годов из кафедры гидрологии выделилась, в качестве самостоятельной единицы, мощная кафедра океанологии.

Вместе с тем, и после разделения наук «гидрология суши» испытывала необходимость в более широком поле деятельности – в специфическом изучении ряда процессов в океане, атмосфере и криосфере в глобальном масштабе. Причин такого интереса гидрологии к Мировому океану и глобальному климату было несколько. Основные из них видятся в следующем.

- Происходящие в настоящее время гидрологические процессы на поверхности суши и в подповерхностных горизонтах тесно связаны с процессами в атмосфере, а те – с процессами в океане и в криосфере. Для понимания закономерностей изменений гидрологических характеристик (в первую очередь – важнейшей из них – величины речного стока) необходимо не просто «слепо доверяться» метеорологам и кли-

матологам, а сознательно проследить все звенья глобальной цепи гидрологического цикла

- Попытки прогнозирования состояния вод суши на отдаленную перспективу неизбежно выводят гидрологию на глобальный уровень, так как сама проблема существенно глобальна.
- Наконец, изучение гидрологических процессов в отдаленном прошлом также подразумевает способность гидрологов разбираться в палео-океанических процессах и в эволюции оледенений.

К сказанному добавим, что изучение и собственно гидрологических процессов во многих случаях и по многим причинам требует глобального подхода: изучения эволюции речного стока, озер, водохранилищ и других гидрологических объектов в глобальном масштабе.

Результатом и характерным признаком поворота отечественной гидрологии к глобальной тематике было появление менее чем за 10 лет трех фундаментальнейших работ: монографии Геннадия Павловича Калинина «Проблемы глобальной гидрологии» (1968 г.), книги и атласа «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974 г.) и монографии Даниила Яковлевича Ратковича «Многолетние колебания речного стока» (1976 г.). Первая и третья из перечисленных монографий носили во многом проблемный, постановочный характер, так как были связаны с чрезвычайно дискуссионными для того времени вопросами (впрочем, значительная часть этих вопросов остается таковой и в наше время). Важнейшим достижением Г.П.Калинина представляется обоснование в его труде тезиса: *«До последнего времени в гидрологии преобладали преимущественно региональные исследования. Обобщение материалов по земному шару сможет дать много нового о формировании режима вод суши и вместе с тем позволит существенно развить методы гидрологических расчетов и прогнозов»* (Калинин, 1968, с. 9). В свою очередь, Д.Я.Ратковичем был достигнут принципиальный результат: впервые на материале около 300 створов на реках мира было показано, что межгодовые и многолетние колебания речного стока, как правило, удовлетворительно описываются малопараметрическими стационарными стохастическими моделями, не содержащими периодических составляющих или квазициклических колебаний.

Наконец, многочисленный коллектив, работавший над монографией и атласом «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» на основе огромного, для того времени, объема информации смог оценить средние многолетние значения составляющих глобального водообмена и величин речного стока – как в глобальном масштабе, так и для конкретных регионов. Несмотря на то, что после издания указанного труда прошло более 40 лет, во многом он остается непревзойденным – как по тщательности оценок, так и по качеству использованных в нем данных наблюдений.

К сказанному необходимо добавить, что существенный вклад в развитие разделов по существу «глобальной» гидрологии, ее современных и палео-приложений внесли труды М.И.Будько, И.П.Герасимова (1959), М.И.Львовича (1986), В.И.Ферронского и В.А.Полякова (Ferronsky, Polyakov, 2012), Р.К.Клиге (1985), Л.П.Кузнецовой (Kuznetsova, 1989), В.Е. Привальского (1982), К.К.Эдельштейна (2005), А.М.Догановского и В.Н.Малинина (2004) и ряда других исследователей. В списке литературы ниже указаны лишь отдельные, но показательные труды этих ученых.

Вместе с тем, важная часть вопросов, поставленных отечественными классиками глобальной гидрологии, до недавнего времени оставалась нерешенной. В конце 1960-х – в первой половине 1970-х годов еще не существовали адекватные методы идентификации стохастических моделей для описания изменений гидрологических параметров во времени и в пространстве: они постепенно внедрялись в практику научных исследований лишь с середины 1970-х годов. По этой причине правильно поставленные в работах Г.П.Калинина и Д.Я.Ратковича проблемы изменений гидрологических характеристик в глобальном пространственном масштабе и в климатических масштабах времени в тот период не могли быть изучены с достаточной степенью полноты.

Дальнейшее развитие глобальной гидрологии в нашей стране и за рубежом было затруднено рядом как объективных, так и субъективных причин. Одна из них была прямо названа в труде Ю.Б. и Т.А.Виноградовых «Современные проблемы гидрологии»: *«Несмотря на то, что практические проблемы регулирования вод привели к рождению гидрологии, в настоящее время они тормозят ее развитие»* (Виноградов, Виноградова, 2008, с. 304 – 305). Так, вовлечение десятков научно-исследовательских институтов в 1970-х – 1980-х годах в подготовку бессмысленных региональных проектов «европейской» и «азиатской» перебросок речного стока в бассейны соответственно Каспийского и Аральского морей, мягко говоря, не благоприятствовало увлечению теорией гидрологии. В середине 1980-х годов была упразднена лаборатория глобального водообмена, основанная в свое время в ИВП Г.П.Калининым. Последовавший вслед за этим «угар перестройки» и общий упадок отечественной науки вследствие ее катастрофического недофинансирования также не способствовал развитию фундаментальных разделов гидрологии – вынуждая научных сотрудников «гоняться» за большим количеством малобюджетных и краткосрочных «грантов» (мало что дававших для науки) или решать чисто прикладные задачи по заказу министерств и ведомств. Мы уже не говорим здесь о недавнем разгроме академической науки путем фактического упразднения РАН, поставившем фундаментальные научные исследования в крайне неопределенное положение. Роковую роль играет и переход на оценку труда научных сотрудников при помощи неких «рейтингов», основанных на публикациях статей в (желательно зарубежных) журналах и совершенно не учитывающих монографии. Таким образом, краткое – на две странички – сообщение в журнале ценится в бесконечное число раз больше,

чем крупная монография из многих сотен страниц, на подготовку которой зачастую уходят многие годы. Напомним, что именно монографии ранее были сильной стороной отечественной науки, получившей мировую известность своими крупными теоретическими обобщениями.

Представляется, что и за рубежом вплоть до последнего времени целенаправленным исследованиям в области глобальной гидрологии уделялось недостаточное внимание. До 1970-х годов работы на Западе велись примерно в том же направлении, что и в СССР и были подытожены в известной монографии А.Баумгартнера и Е.Райхеля «Мировой водный баланс» (Baumgartner, Reichel, 1975) – аналогичной упоминавшейся отечественной монографии (Мировой водный баланс..., 1974), хотя и более скромной как по объему, так и по кругу затронутых проблем. Однако с 1980-х годов за рубежом научная область глобальной гидрологии, как и многие другие области наук о Земле были буквально подмяты под собой вошедшим в моду направлением, которому было дано название «Глобальные изменения» и которое было ориентировано почти исключительно на изучение предполагаемого парникового потепления и его возможных эффектов. При этом основная роль отводилась моделям климатической системы (сокращенно МОЦАО или КМОЦ), и многие науки о Земле превратились по существу в отрасли «компьютерных наук» (Computer Science), а результаты, в какой-то мере связанные с глобальной гидрологией, появлялись зачастую в качестве лишь побочных продуктов климатических моделей – на наш взгляд, без должной увязки с данными наблюдений и, следовательно, без глубокого целенаправленного анализа. Достаточно сказать, что вплоть до недавнего времени подробный количественный анализ изменений наблюдаемого речного стока в климатических масштабах времени и в подлинно глобальном масштабе просто отсутствовал. Удивительно, но за рубежом фактически не опубликованы монографии по глобальной гидрологии. Характерным последним примером книги, в название которой формально входит это словосочетание, является монография Дж.А.А.Джонса (Jones, 2016) – скорее так называемое «case-study», представляющее собой нечто среднее между учебником по гидрологии и текстами журналистского плана на региональные и прикладные темы.

Тем не менее, несмотря на перечисленные выше трудности, в настоящее время в ИВП РАН делается попытка возродить направление глобальной гидрологии: создана одна из немногих – если не единственная в мире – лаборатория с одноименным названием («лаборатория глобальной гидрологии»), работам в этом направлении придан официальный статус, они включены в планы работ Института и РАН; выходят в свет статьи и монографии соответствующего содержания, готовятся глобальные электронные базы данных, читаются лекции для аспирантов и ведутся диссертационные исследования.

Настоящая монография, подготовленная уже в период работы новой лаборатории, название которой практически совпадает с названием книги, продолжает серию книг автора, посвященных изучению тепловлагообмена в



глобальном масштабе. Это монографии: «Аномалии глобального теплового обмена» (1991), «Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes» (Dobrovolski, 1992), «Stochastic climate theory» (Dobrovolski, 2000), «Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера»» (2002), «Наводнения мира» (в соавторстве с М.Н.Истоминой, 2006), «Глобальные изменения речного стока» (2011).

Предлагаемая читателям книга является, по существу, вторым томом последней из перечисленных монографий. В книге 2011 года были впервые – как в отечественной, так и в мировой научной литературе – изложены результаты количественного анализа (на новых методических основах) межгодовых и многолетних изменений годового, максимального и минимального стока в подлинно глобальном масштабе: по данным около 3000 створов, расположенных на реках всех обитаемых континентов. В ней были представлены результаты как в глобальном осреднении, так и обобщенные для макрорегионов (каждого из материков, Зарубежной Европы, Российской Федерации, Зарубежной Азии) и для каждого из 23 крупнейших речных бассейнов мира. Однако, несмотря на значительный объем издания (55 учетно-издательских листов), далеко не все вопросы многолетних изменений речного стока могли быть рассмотрены – не говоря уже о других составляющих глобального водообмена.

В настоящей монографии исследование изменений речного стока, опубликованное в 2011 г., дополнено следующим образом.

- К описанию изменчивости стока в пределах 23 наибольших по размерам бассейнов мира добавлено аналогичное описание 8 других, специфических в различных отношениях, речных бассейнов рек, впадающих в Мировой океан или в крупные озера (Байкал, Аральское море или его части).
- Осуществлено сопоставление статистик изменений речного стока для всех изученных таким образом 30 водосборных бассейнов мира (водосбор Байкала здесь считается частью бассейна Енисея). Другими словами, проанализированы «статистики статистик» речного стока в глобальном масштабе – для различных типов речных бассейнов.
- Проведена работа по изучению адекватности описания большим числом моделей климатической системы стока крупных рек и климатической изменчивости стока. На этой основе сделаны выводы о современном состоянии моделирования гидрологического цикла при помощи МОЦАО.
- Рассчитаны глобальные карты возможных изменений слоя годового речного стока на протяжении 21-го века вследствие возможного парникового потепления.. Эти оценки осуществлены при помощи 21 модели климатической системы в сочетании с более подробной моделью гидрологии суши, а также на основе 6 сценариев эмиссии парниковых

газов Международной группы экспертов по климату (МГЭИК) и сценария Московского энергетического института (теперь – Академии).

- Осуществлены оценки неопределенности упомянутых прогнозных оценок вследствие: (а) расхождений между сценариями эмиссии парниковых газов в атмосферу; (б) расхождений между различными моделями климата; (в) ошибок оценок среднего стока за «реперный» период инструментальных наблюдений; (г) естественной изменчивости глобального климата.
- Аналогичные исследования (прогностические оценки изменений стока и оценки неопределенностей прогнозов) проведены в отношении прогнозных оценок стока конкретных рек – в основном на примере важнейших рек Российской Федерации.

Кроме указанных дополнительных исследований многолетних изменений речного стока в настоящей монографии рассматриваются другие важнейшие аспекты глобальной гидрологии. К ним относятся: получение оценок и анализ изменений, в климатическом и промежуточном масштабах, основных составляющих глобального водообмена (испарения с поверхности океана, осадков на поверхность океана, эффективного испарения с океана, горизонтального влагопереноса в атмосфере, осадков на поверхность суши, эвапотранспирации с поверхности суши, эффективных осадков над сушей – «климатического» речного стока); изучение экстремальных гидрологических явлений в глобальном масштабе (наводнений и засух) и их эволюции во времени, анализ ряда других проблем.

Как следует из предыдущего описания содержания книги, основное внимание в ней уделено естественным изменениям гидрологических процессов и объектов в глобальном масштабе. Однако, анализируются и важнейшие факторы антропогенного влияния на составляющие водообмена: потенциальное влияние эмиссии парниковых газов на состояние климатической системы и ее гидрологической подсистемы, влияние крупных гидротехнических сооружений и искусственных водных объектов на характер изменений речного стока, В разделах, посвященных изучению наводнений и засух анализируются не только природные, но и социально-экономические факторы возникновения этих явлений, а также гуманитарные и финансовые последствия природных катастроф, связанных с водой, и изменения ущербов во времени.

Предлагаемая монография не является обзором имеющейся литературы или компиляцией: большинство описанных в работе результатов получены автором. Ряд разделов был написан в соавторстве с сотрудниками лаборатории глобальной гидрологии ИВП РАН: разделы 1.3.1, 1.4.1, 1.5.1 – в соавторстве с В.П.Юшковым, глава 3 – в соавторстве с М.Н.Истоминой и В.Ю.Пасечкиной. Раздел 4.1 написан по материалам статьи (Добровольский, Татаринович, Юшков, 2016).

Автор приносит благодарность В.В.Котельниковой, Н.Н.Айдинян и С.Г.Саркисян за помощь в компьютерном обеспечении ряда исследований.

Книга посвящена памяти замечательного ученого и педагога, профессора Московского Университета Александра Ивановича Дуванина, общение с которым оказало большое влияние на мировоззрение автора.

## **Литература к введению**

Будыко М.И., Герасимов И.П. Тепловой и водный баланс земной поверхности, общая теория физической географии и проблем преобразования природы // Материалы к 3-му съезду Геогр. о-ва СССР. Л.: Геогр. о-во СССР, 1959. 18 с.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. М.: Академия, 2008. 320 с.

Добровольский С.Г. Аномалии глобального тепловлагообмена. М.: Советский геофизический комитет, 1991. 128 с.

Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера». М.: Геос, 2002. 232 с.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011. 660 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006. 256 с.

Добровольский С.Г., Татаринovich Е.В., Юшков В.П. Сток важнейших рек России и его изменчивость в климатических моделях проекта СМIP-5 // Метеорология и гидрология, 2016. №. 12. С. 44 – 62.

Догановский А.М., Малинин В.М. Гидросфера Земли. СПб: Гидрометеоздат, 2004. 631 с.

Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 378 с.

Клиге Р.К. Изменения глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 248 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 256 с.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Ред. В.И.Корзун и др. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 639 с.

Привальский В.Е. Климатическая изменчивость (стохастические модели, предсказуемость, спектры). М.: Наука, 1985. 184 с.

Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 256 с.

Эдельштейн К.К. Гидрология материков. М.: Академия, 2005. 304 с.

Baumgartner A., Reichel E. Die Weltwasserbilanz. Munhen-Wien.: Oldenburg Verlag, 1975. 175 pp.

Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. Amsterdam et al.: Elsevier, 1992, 282 pp.

Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. Heidelberg et al.: Springer Verlag, 2000. 296 pp.

Ferronsky V.I., Polyakov V.A. Isotopes of the earth's hydrosphere. Heidelberg et al.: Springer Verlag, 2012. 577 pp.

Jones J.A.A. Global Hydrology. Processes, resources and environmental management. London et al.: Routledge, 2016. 365 pp.

Kuznetsova L.P. Use of data on atmospheric moisture transport over continents and large river basins for the estimation of water balances and other purposes. Technical documents in hydrology. Paris: UNESCO, 1989, 150 pp.

# Глава 1. Основные составляющие глобального водообмена и их изменения во времени

## 1.1. Общий обзор глобального гидрологического цикла. Влагосодержание земных оболочек

Несмотря на то, что в общих чертах картина глобального гидрологического цикла известна давно, и его изображения входят даже в школьные учебники четвертого класса, сколько-нибудь точная оценка средних величин составляющих глобального водообмена и параметров изменений глобальных потоков влаги во времени – крайне сложная проблема. Сравнительно более простая задача – оценка объемов влаги, содержащихся в основных (не во всех) компонентах глобальной климатической системы (ГКС). Представляет-ся целесообразным начать с рассмотрения именно этого вопроса.

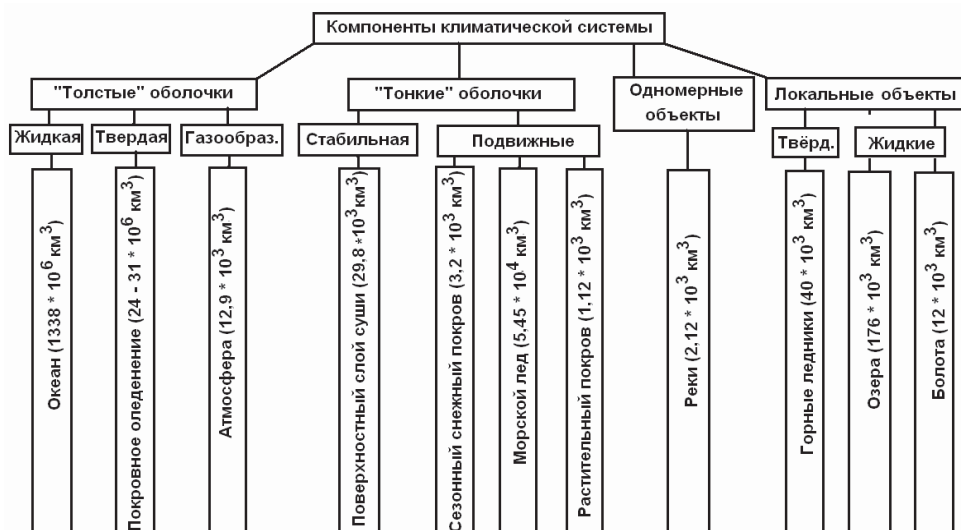


Рис. 1.1.1. Основные компоненты глобальной климатической системы и оценки объемов воды, содержащихся в каждой из составляющих системы (по Добровольский, 2011б)

В схеме на Рис. 1.1.1 показаны оценки объемов воды в «толстых», «тонких» оболочках, в одномерных и локальных объектах климатической

системы; данные о влагосодержании отдельных компонентов системы взяты из (Мировой водный..., 1974; Foster et al., 1987; Gleick, 1996; Догановский, Малинин, 2004). Термины в последней фразе взяты из новой классификации климатической системы, предложенной автором в (Добровольский, 2011б) и нуждающейся в следующих объяснениях.

*«Толстые оболочки»* – океан, покровное оледенение, атмосфера – существенно трехмерны. Их толщина имеет порядок километров и не меняется существенно за периоды времени порядка десятилетий и столетий (а средняя глубина океанов даже на протяжении ледниковых периодов менялась не более, чем на 2,5%). Площадь этих оболочек также не меняется существенно за десятки или сотни лет («площадь» атмосферы по существу совпадает с площадью поверхности Земли, около  $510 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>; площадь океана  $361 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>; площадь покровного оледенения –  $16 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>). Таким образом, основными глобальными параметрами этих оболочек, которые влияют на состояние всей системы, не могут быть их площадь или толщина; основным таким параметром является температура или теплосодержание атмосферы и океана. В исследованиях часто используется приповерхностная температура атмосферы и океана.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что вода в океане и покровном оледенении фигурирует в виде сплошной среды, в то время как в атмосфере, как справедливо подчеркнуто в (Виноградов, Виноградова, 2008), выступает в качестве «агентов» - водяного пара, облаков, осадков. Это послужило основанием для дискуссии в (Эдельштейн, 2005) относительно целесообразности включения атмосферы, в нашей классификации, в число «толстых» оболочек. Действительно, средний слой атмосферной влаги, участвующей в глобальном гидрологическом цикле, формально имеет толщину лишь около 24 мм (Монин, 1999). Заметим, однако, в этой связи, что в реальности атмосферная влага распределена в пределах слоя атмосферы толщиной до нескольких километров, а процессы атмосферного влагооборота тесно связаны с динамическими и радиационными процессами во всей толще тропосферы, отчасти и в более высоких слоях. Именно трехмерность атмосферы является необходимым условием возникновения в ней изменчивости на синоптических частотах, являющейся основным возбудителем короткопериодных и длиннопериодных процессов изменчивости составляющих тепловлагообмена на поверхности океана, в атмосфере и на поверхности суши.

Другая важная особенность атмосферы – ее способность быстро приспосабливаться к сравнительно медленным изменениям условий на поверхности океана: время такого «отклика» не превышает немногих недель. По существу, при изучении температурного режима и теплосодержания, атмосферу и океан можно рассматривать как единую трехмерную структуру, обладающую в целом громадной теплоемкостью.

Добавим к вышесказанному, что величины влагосодержания «толстых оболочек» ГКС, как и величины влагосодержания компонентов ГКС других типов, могут содержать ошибки. Особенно велик разброс относитель-

ных оценок объемов воды, содержащейся в покровном оледенении (в последнее мы включили формально и не очень значительное по объему постоянное оледенение полярных островов). Нам, однако, важно было продемонстрировать различие в порядках приведенных величин – в основном улавливаемое существующими оценками.

**«Тонкие оболочки»** – поверхностный слой суши, снежный покров, растительный покров, морские льды – могут в первом приближении рассматриваться в глобальном масштабе как двумерные структуры. Их толщина на порядки меньше, чем толщина «толстых оболочек», а площадь сопоставима с площадью первых. Так, характерная толщина сплоченных морских льдов составляет порядка 2 м, толщина снежного покрова, как правило, не превышает этой величины, характерная высота растений имеет порядок метров (хотя о «толщине» растительного покрова можно говорить только условно, так как он не представляет собой сплоченной массы).

Тонкие оболочки, в свою очередь, делятся на две отчетливо различимые группы. К первой принадлежит *поверхностный слой суши*. С учетом рассматриваемых в настоящей работе масштабов времени целесообразно говорить о слое, который участвует в формировании речного стока: в первую очередь это почвенный слой и зоны активного и сравнительно активного водообмена. Заметим, что, как и в случае с атмосферой, вода фигурирует в этом слое в качестве «агентов». Соответственно, понятие площади поверхностного слоя суши, участвующего в формировании речного стока, содержит неопределенность и, во всяком случае, может испытывать некоторые изменения от года к году, однако представляется, что они не так значительны, как изменения площади других тонких оболочек – поэтому рассматриваемый слой может считаться (потенциально) сравнительно стабильным.

К другой группе тонких оболочек относятся снежный и растительный покровы и морские льды, площадь которых характеризуется чрезвычайно большой изменчивостью – как сезонной, так и многолетней. Глобально суммированная площадь этих оболочек может меняться на десятки процентов на протяжении нескольких месяцев. Соответственно, больших величин могут достигать и изменения влагосодержания этих оболочек (на Рис. 1.1.1 данные по влагосодержанию снежного покрова приведены для стадии максимального его развития, других оболочек – средние годовые). Наиболее существенным глобальным параметром нестабильных тонких оболочек является их площадь. Важно отметить, что несмотря на сравнительно небольшую величину глобального влагосодержания нестабильных тонких оболочек, они могут играть более значительную роль в межгодовой изменчивости климатической системы (в частности, через механизм альбедо), чем в тысячи раз превышающее их по этому показателю покровное оледенение.

**Одномерные объекты.** Наиболее характерными естественными, существенно одномерными объектами в климатической системе являются реки. Перемещение вещества (преимущественно воды) канализировано здесь в пределах сравнительно узких потоков, ширина и глубина которых несопостав-

вимы с длиной. Основным параметром рек является величина стока в единицу времени; этот параметр находится в тесной зависимости от процессов в системе «океан-атмосфера», однако непосредственно формируется в тонких оболочках суши. В отличие от «толстых» и «тонких» оболочек, количество которых невелико (для большинства тонких оболочек количество их более-менее сомкнутых частей невелико), количество рек исчисляется миллионами. Вместе с тем, речные системы в конечном итоге сводятся к не очень большому числу крупных рек, и в силу того, что перемещение воды канализировано в пределах сравнительно узких и сравнительно стабильных потоков, поддающихся измерениям, речной сток – один из наиболее надежно оцениваемых параметров объектов климатической системы. Несмотря на то, что объем воды в русловой сети рек формально сопоставим с объемами воды, содержащейся в «нестабильных» двумерных оболочках суши (см. Рис. 1.1.1), собственно реки – в силу небольшой площади водной поверхности – играют далеко не такую активную роль в процессах изменения климатической системы в глобальном масштабе. Как отмечалось выше, реки как таковые являются скорее индикаторами процессов, происходящих в других компонентах ГКС. Однако, для понимания закономерностей изменчивости речного стока важно обрисовать структуру всей ГКС и место в ней рек.

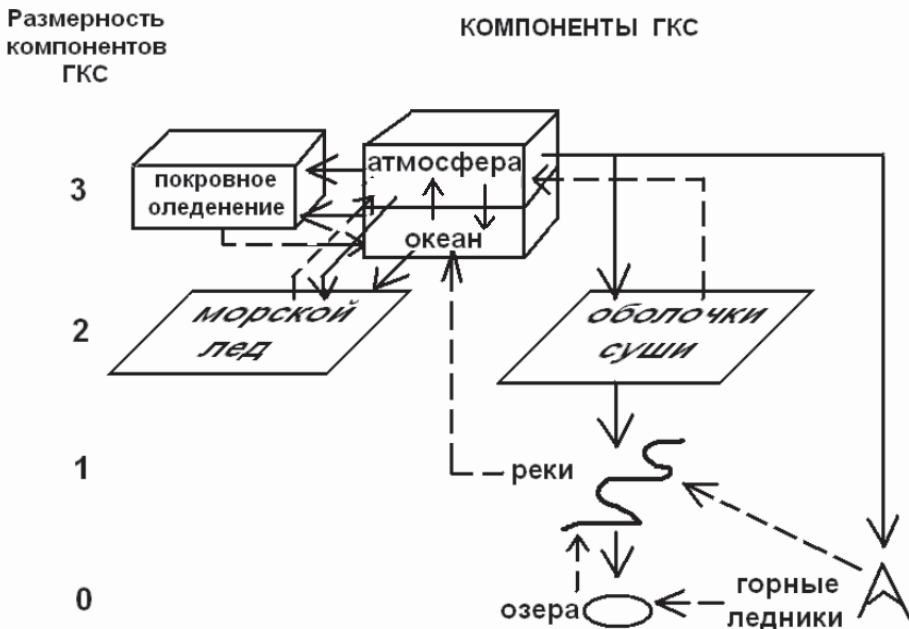
*«Нуль-мерные» (локальные) объекты.* К их числу можно отнести горные ледники и озера. Эти объекты имеют сравнительно небольшие горизонтальные размеры. Характерная длина горных ледников – от немногих километров до десятков километров. Таким образом, в глобальном масштабе горные ледники выглядят фактически точками; точное количество горных ледников трудно определить – оно измеряется, как минимум, тысячами.

Сложнее обстоит дело с идентификацией озер. Лишь одно, Каспийское море, являющееся по существу реликтом бывшей части Мирового океана, имеет довольно значительные размеры – впрочем, намного меньшие, чем горизонтальные размеры трех- и двумерных оболочек и меньшие, чем длина крупнейших рек. Лишь около 20 озер мира имеют площадь более 10 000 км<sup>2</sup>, то есть, характерные горизонтальные размеры более 100 км. Громадные же большинство озер (общее их число измеряется миллионами) имеет намного меньшие размеры – и, как и горные ледники, выглядят точками в глобальном масштабе. Важно отметить, что изменения режима даже крупнейших по площади озер (Каспийское море, Верхнее, Виктория и ряд других) могут оказывать лишь региональное воздействие на изменения климата и практически незаметны в том, что касается воздействий на глобальные изменения климатической системы в целом. Таким образом, озера, как и горные ледники и реки, вряд ли способны играть «активную» роль в естественных изменениях ГКС в масштабе лет и десятилетий, и скорее играют роль «индикаторов» климатических изменений. Находясь среди последних звеньев цепи глобального водообмена, озера и горные ледники являются миниатюрными аналогами «толстых» оболочек, однако не обладают стабильностью последних, и ос-



новным параметром нуль-мерных объектов, в характерных для них пространственных масштабах, является их объем (для озер – и уровень).

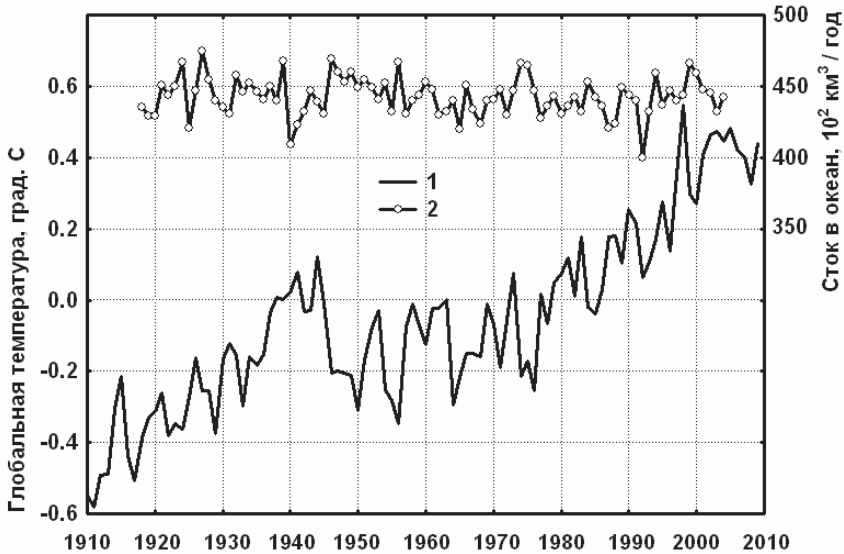
Разумеется, приведенная выше классификация компонентов ГКС, как и любая классификация, в определенной степени условна. Так, в рамках предложенной классификации вызывает сложность идентификация болот, занимающие промежуточное место между озерами и компонентами почвенных вод. Слабо изученной остается роль в многолетней изменчивости речного стока многолетней криолитозоны (ее верхние слои, впрочем, в ряде случаев могут рассматриваться как зоны сравнительно активного водообмена). Опущен также ряд других деталей структуры ГКС. Вместе с тем, предложенная схема, на наш взгляд, описывает основные, принципиальные особенности этой структуры.



**Рис. 1.1.2.** Потoki влаги в глобальном гидрологическом цикле; размерности основных компонентов ГКС. По (Добровольский, 2011б)

Перейдем к рассмотрению собственно глобального гидрологического цикла. На Рис. 1.1.2 показаны потоки влаги между основными – в соответствии с предложенной классификацией – компонентами ГКС. Нетрудно заметить, что по мере продвижения вдоль главной ветви глобального гидрологического цикла размерности составляющих ГКС в основном уменьшаются – как бы «дробятся» (Рис. 1.1.2). Испарившись с поверхности существенно трехмерного объекта (океана) и переносясь в пределах трехмерной же атмо-

сферы, влага в виде осадков выпадает на поверхность существенно двумерной (в глобальном масштабе) структуры – верхнего слоя суши, затем стекает вдоль одномерных, в сущности образований – рек, а в части случаев затем концентрируются в пределах в основном точечных (опять же, в глобальных масштабах) объектов – озер. Другая ветвь глобального гидрологического цикла приводит сразу к точечным объектам – горным ледникам, минуя стадию двумерных объектов, а в полярных широтах завершается трехмерным образованием – покровным оледенением. Разумеется, приведенная выше схема упрощена: в ее рамках мы ограничились только наиболее принципиальными объектами и процессами – по существу, объединили осадки и испарение в «эффективные осадки», не рассмотрели случаи, когда одномерные и точечные объекты чередуются (питание рек горными ледниками; реки, вытекающие из проточных или полубессточных озер – эти связи обозначены прерывистыми стрелками на Рис. 1.1.2) и т.п.. В данном случае нам хотелось обратить внимание на характерную черту структуры климатической системы, связанную с глобальным гидрологическим циклом: на сам факт последовательного «дробления» размерностей поверхностью суши. После завершения глобального гидрологического цикла – с момента возвращения влаги в Мировой океан – цикл изменения размерностей компонентов ГКС повторяется.



**Рис. 1.1.3.** Изменения глобальной температуры (1), суммарного стока в Мировой океан (2). По данным (Climate Research Unit, 2010) (1), (Мировой водный..., 1974) и (Dai et al., 2009) (2)

С рассмотренной выше системой размерностей компонентов климатической системы тесно связаны закономерности межгодовой и многолетней

изменчивости параметров (характеристик) этих компонентов. В качестве иллюстрации на Рис. 1.1.3 помещен типичный график изменения глобального «параметра состояния» трехмерной оболочки Земли – композиции приповерхностной температуры воздуха над сушей и температуры поверхности океана (1). На этом же рисунке помещен график (2) изменений суммарного стока со свободных ото льда континентов в Мировой океан – процесса, формируемого тонкими (двумерными) оболочками на поверхности суши.

Очевидно кардинальное различие графиков, следовательно и рассматриваемых многолетних процессов. Изменения глобальной температуры явно нестационарны. Опуская детали (вопросы методики рассмотрены в последующих разделах), укажем, что разность между средней глобальной температурой за период 1930 – 2009 гг. и средней глобальной температурой за период 1850 – 1929 гг. почти в 4 раза превосходит стандарт соответствующей разности, который был бы свойственен реализации стационарного случайного процесса. В работах (Dobrovolski, 1992; 2000; Добровольский, 2016) показано, что изменения годовых величин глобальной температуры (как и других основных параметров «толстых оболочек» – уровня океана, объема покровного оледенения) близки к реализациям дискретного винеровского процесса.

Напротив, изменения суммарного стока в океан даже визуально выглядят существенно более стационарными. В последующих разделах будет показано, что этот ряд удовлетворяет критериям стационарности по математическому ожиданию (среднему значению), по дисперсиям (стандартам) и по автокоррелированности и удовлетворительно описывается при помощи стационарной модели случайного процесса. Очевидно, что основной причиной столь разительных различий между эволюцией одномерных объектов и тонких оболочек ГКС с одной стороны – и «толстых оболочек» с другой стороны, является неизмеримо бóльшая тепло- и влагоемкость толстых оболочек по сравнению с тонкими оболочками суши, не способными накапливать влагу в больших объемах.

Остановимся на важной, но сложной проблеме: оценке средних глобальных потоков влаги. Воспользуемся для этой цели результатами реанализа, полученными в рамках выполнения проектов: «20 century» (20 CENTURY, 2016), NCEP/NCAR (2016). Для обработки данных реанализов использовался свободный программный продукт — Climate Data Operators (Schulzweida et al., 2006). Также использовались обобщения данных прямых наблюдений в рамках проектов GPCP (GPCP, 2016), SMAP ENCH (SMAP, 2016); они сравнивались с оценками из издания (Мировой..., 1974). В Таб. 1.1.1 приведены результаты, полученные в рамках указанных проектов, осредненные за перекрывающийся всеми ими период времени: 1979 – 2012 гг. Качество этих оценок будет анализироваться в следующих разделах, отметим здесь лишь тот факт, что 1979 год, как общее начало рядов оцененных потоков фигурирует не случайно: именно с этого года начали стабильно поступать данные спутниковых наблюдений, учитываемые в результатах реанализа и предположительно делающие эти результаты более достоверными.

**Таблица 1.1.1.** Средние величины глобальных потоков влаги по данным издания (Мировой водный баланс..., 1974) («Мир.в.б.») за период, предшествовавший началу 1970-х гг., и по данным современных проектов за период 1979 – 2012 г.г. Все величины пересчитаны для размерности мм/сут.

Параметр	Мир.в.б.	20 Cen.	NCEP/NCAR	GPCP	СМАР
Испарение с океана	3,836	3,837	3,333	-	-
Осадки над океаном	3,479	3,377	2,969	2,879	2,966
Эфф. испарение, океан	0,357	0,460	0,362	-	-
Осадки над сушей	2,192	2,395	2,290	2,174	1,919
Эвапотрансп., суша	1,329	1,609	1,836	-	-
Эфф. осадки, суша	0,863	0,786	0,456	-	-

Как видно из таблицы, из числа наиболее современных проектов только два («20 Century» и «NCEP/NCAR») дают оценки всех перечисленных составляющих мирового водного баланса; в рамках проектов «GPCP» и «СМАР enhanced») оценивались только осадки над сушей и океаном. Вследствие этого приведем сравнение лишь для результатов первых двух проектов – хотя читатели сами могут оценить результаты остальных двух.

Обратимся прежде всего к параметру, наиболее интересующему гидрологов – «эффективным осадкам» над сушей, являющимися по существу оценкой так называемого «климатического стока» - разности между осадками и эвапотранспирацией; эта разность, как предполагается, и формирует речной сток. Непосредственно наблюдаемые данные по стоку, по нашим оценкам, дают для периода 1917 – 2004 гг. величину глобально суммированного речного стока  $47 \times 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$  (Добровольский, 2011б). В издании (Мировой..., 1974) по данным до начала 1970-х годов приводятся цифры от 45 до 47 тысяч кубокилометров в год. Оценка глобального «климатического стока» в проекте «20 Century», будучи пересчитанной в объемы стока в год, дает величину  $43 \times 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$  – сравнительно близкую к нашим оценкам и оценкам из (Мировой..., 1974): разница составляет от 4 до 9% и не превышает расхождений между двумя различными оценками в монографии 1974 года. В то же время, расхождение между наблюдаемыми данными по глобальному стоку и оценкой проекта «NCAR» чрезвычайно велика и составляет от 44 до 47% (явно больше ошибок оценок наблюдаемого стока): пересчет оценки NCAR в объемные единицы в год дает величину лишь  $25 \times 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Что касается составляющих глобального водообмена в целом, то оценки проекта «20 Century» в большинстве случаев ближе к оценкам из (Мировой..., 1974), чем оценки «NCEP / NCAR»: кроме упомянутых выше

оценок речного стока, это также оценки испарения с поверхности океана, осадков над океаном и эвапотранспирации с поверхности суши. Практическое совпадение оценок «20 Century» и (Мировой..., 1974) для испарения с поверхности океана (3,837 и 3,836 мм/сут.), разумеется, случайность, однако близость многих оценок, полученных в рамках современного проекта – и работы более чем 40-летней давности – может указывать на адекватность обоих подходов. Напомним, что работами по вычислению испарения с поверхности Земли в проекте (Мировой..., 1974) руководил ведущий, к тому времени, ученый мира, занимавшийся этим вопросом, - Михаил Иванович Будыко, обладавший огромным опытом, знаниями и интуицией.

## 1.2. Методы анализа изменений во времени составляющих глобального водообмена и других параметров

Изменения во времени составляющих глобального водообмена и других параметров изучались в настоящей монографии при помощи прикладных методов теории случайных функций (см., например, Яглом, 1952; 1981 Yaglom, 1962; 1987). Используемые варианты методов анализа временных рядов подробно описаны в работах (Добровольский, 2011а,б). Вкратце напомним суть примененных алгоритмов и формул.

Основная гипотеза, использованная в работе, заключается в том, что изучаемые процессы (ряды наблюдаемых или рассчитанных величин) удовлетворительно описываются отрезками реализаций стационарных случайных последовательностей. Принципиальную роль в анализе, следовательно, является решение вопроса о том, является ли генерирующая имеющийся ряд последовательность стационарной. Другим важным вопросом является вопрос о характере функции распределения (плотности вероятности) величин, составляющих последовательность. Наконец, третья проблема заключается в идентификации стохастической модели, которой описывается последовательность. Использование для анализа временных рядов метода наибольшей энтропии (Ulrich, Bishop, 1975) диктует применение класса моделей авторегрессии конечного порядка AR (считаем среднее значение процесса нулевым):

$$X(t) = K_1 X(t-1) + K_2 X(t-2) + \dots + K_M X(t-M) + a(t), \quad (1.2.1)$$

где  $X$  – моделирующая изучаемый процесс случайная последовательность;  $t$  – целочисленное безразмерное время;  $a(t)$  – последовательность некоррелированных по времени одинаково распределенных случайных величин. Ключевым моментом является выбор порядка авторегрессии  $M$  и оценка коэффициентов авторегрессии  $K_i$  – прежде всего первого – близкого по смыслу к значению коэффициента автокорреляции для единичного сдвига по времени. Решение этих вопросов, предложенное автором, заключалось в следующем.

В связи с тем, что корректное использование наиболее разработанного, классического варианта теории (так называемой «корреляционной теории случайных процессов») ориентировано на последовательности нормально распределенных величин (при этом  $a$  в формуле (1.2.1) – «гауссовский белый шум»), исходные ряды стока преобразовывались нами в ряды выборочных значений гауссовских величин. Первый этап такого преобразования – расчет величин стока в «обеспеченностях» эффективно преобразовывает исходные величины в выборочные значения равномерно распределенных величин. Однако, последующий этап – преобразование равномерно распределенных в нормально распределенные величины встречает определенные трудности. Аналогом такого перехода является переход от обычно эффективно генерируемых на компьютерах функциями RANDOM равномерно распределенных чисел к нормально распределенным.

Подставляя генерируемые функцией RND числа в различные существующие алгоритмы для воспроизведения нормально распределенных величин, мы получили реализации по 1 млн предположительно гауссовски распределенных чисел с нулевым средним и единичным стандартом (дисперсией). Такого рода проверки, однако, показали, что параметры полученных совокупностей чисел отличаются от желаемых. Так, при применении алгоритма из библиотеки компьютерных программ Вычислительного Центра РАН среднее значение заметно отличалось от нуля (-0,016578), стандарт отличался от единичного (0,968563), значительным был и коэффициент асимметрии (-0,152619). Предложенный нами алгоритм, для наглядности на простейшем алгоритмическом языке Турбо-Бейсик – см., например, (Торхов, 1993) – выглядит следующим образом:

```

1   A=SQR(-2*LOG(X))
2   A=A-(2.515517+A*(0.802853+0.010328*A))/(1+A*
   (1.432788+A*(0.189269+0.001308*A)))
3   A=(A-0.016578)*1.0324573
4   IF A>=0.090349 THEN A=A*0.9331666
   ELSE A=A/0.9331666
5   IF A>=0 AND A<1 THEN A=A*1.11: IF A>=1 AND A<2 THEN
   A=A*1.08
6   A=-A/1.0359948-0.0195326

```

Здесь  $X$  – равномерно распределенная, в диапазоне  $(0, 1]$ , величина;  $A$  – получаемая в результате использования алгоритма, предположительно нормально распределенная величина с нулевым средним и единичной дисперсией (стандартом). Параметры этого распределения, рассчитанные по 1 миллиону чисел таковы: среднее значение +0,001734 (то есть, смещенность, по модулю, на порядок меньше, чем при использовании алгоритма ВЦ РАН), стандарт 1,000000 (ошибка, по крайней мере, на 4,5 порядка меньше), асим-

метрия  $-0,029977$  (в 5 с лишним раз лучше, по модулю, чем с применением алгоритма ВЦ РАН).

Другой важной методической основой для расчетов в рамках настоящего проекта был разработанный автором экономичный метод генерирования гауссовских псевдослучайных чисел – использованный в дальнейшем для получения улучшенных формул для оценок статистических и стохастических параметров моделей, описывающих ряды рассматриваемых характеристик. В литературе можно встретить разные способы генерирования гауссовских псевдослучайных чисел (см., например, Fishman, 1996), однако они либо требуют больших затрат машинного времени, либо порождают распределения, заметно отличающиеся от нормального – в частности, приводят к значительной асимметрии.

В результате изучения проблемы нами был предложен другой подход – чрезвычайно простой и не требующий больших затрат машинного времени, но эффективный, с нашей точки зрения, метод получения гауссовских случайных величин при помощи уже известных алгоритмов. Он заключается в зеркально-симметричном удвоении (ЗСУ) генерирующего алгоритма. А именно: на каждом шаге случайная величина генерируется при помощи известного простого алгоритма, затем из нее вычитается другая случайная величина, генерированная при помощи того же алгоритма, полученная разность принимается в качестве итоговой случайной величины (последняя также умножается на определенный коэффициент с целью получения единичного стандарта). Действительно: итоговая плотность вероятности, таким образом, оказывается сформированной двумя зеркально-симметричными, относительно вертикальной оси, плотностями вероятности. В результате практически полностью устраняется асимметрия распределения и смещенность среднего; последнюю можно дополнительно скорректировать просто путем вычитания остаточной смещенности.

Предложенный алгоритм, для наглядности – на простейшем языке Турбо Бейсик – выглядит следующим образом. Здесь приведены манипуляции для генерирования одной гауссовской псевдослучайной величины; для получения последовательности эту процедуру необходимо повторить в цикле (см. Приложение 2):

```

1   A=SQR(-2*LOG(RND(1)))
2   A=A-(2.515517+A*(0.802853+0.010328*A))/
   (1+A*(1.432788+A*(0.189269+0.001308*A)))
3   B=SQR(-2*LOG(RND(1)))
4   B=B-(2.515517+B*(0.802853+0.010328*B))/
   (1+B*(1.432788+B*(0.189269+0.001308*B)))
5   A=0.7301275*(A-B)-0.001143

```

(1.2.2)

Здесь  $A$  – получаемое в конечном итоге значение псевдослучайной гауссовской величины,  $B$  – служебный идентификатор.

Предложенный метод ЗСУ опробовался нами с использованием упоминавшегося выше алгоритма Вычислительного центра РАН и числовой встроенной функции RND Турбо Бейсика. Результаты тестирования нашего метода (в сравнении с алгоритмом ВЦ), полученные при генерировании 1 миллиона псевдослучайных величин заключаются в следующем.

- Смещенность среднего можно устранить практически полностью: в указанном эксперименте ее величина меньше 0,000001.
- Стандарт величин можно привести к единичному: его отличие от единицы в эксперименте также меньше одной миллионной.
- Коэффициент асимметрии уменьшается по модулю в 390 раз по сравнению с алгоритмом ВЦ РАН и составляет в нашем случае - 0,000391.
- Эксцесс относительно нормального уменьшается более чем в два раза по сравнению с алгоритмом ВЦ РАН и составляет, по модулю, менее 1/30 от эксцесса гауссовского распределения (-0,098242).

На основе описанного выше алгоритма, методом Монте Карло были получены новые формулы для оценок статистических и стохастических параметров рядов. Так, предложена новая поправка к выборочной оценке ( $r_{1,ВЫБ}$ ) величины коррелированности между смежными значениями ряда ( $N$  – длина ряда в безразмерных единицах времени):

$$\Delta r_{1,ВЫБ} = \frac{0,9456 + 3,0488r_{1,ВЫБ}}{N} + \frac{4,7307 + 18,6527r_{1,ВЫБ} + 25,413r_{1,ВЫБ}^2}{N^2} \quad (1.2.3)$$

Выражение (1.2.3) играет роль известной поправки Резниковского-Костиной (Водноэнергетические..., 1969). Формально оно более громоздко, чем последняя, однако в современных условиях расчеты коэффициента автокорреляции во всех случаях производятся при помощи компьютеров, поэтому использование этой формулы не представляет никаких технических сложностей, и нам хотелось привести ее в возможно более полном и точном виде. Как видно из формулы, при увеличении длины ряда выражение (1.2.3) стремится к нулю, а формула для выборочного коэффициента автокорреляции приближается к обычной оценке.

Сравнение оценок (1.2.3) с оценками Резниковского-Костиной показывает, что первые обладают существенно меньшей смещенностью. Оценки Резниковского-Костиной предпочтительнее только для значений коэффициента автокорреляции 0,9 – значений, которые почти не встречаются на практике. Во всех остальных случаях – при значениях коэффициента от -0,9 до + 0,8 - предлагаемые в настоящей работе оценки обладают преимуществом: для рядов длиной 20 ординат средняя смещенность наших оценок по



всем коэффициентам меньше в 27 раз, а для рядов длиной 40 ординат – в 55 раз. В диапазоне наиболее распространенных, в климатических масштабах времени и с дискретностью 1 год, коэффициентов автокорреляции – от 0,0 до 0,3 – оценки (1.2.3) уменьшают смещенность оценок Резниковского-Костиной от 7 до 236 раз (при длине рядов 20 и 40). Для более значительных длин рядов оценки (1.2.3) также предпочтительнее оценок Резниковского-Костиной, хотя смещенность и тех и других, естественно, уменьшается при увеличении  $N$ .

Нами также предложена новая модификация метода Акаике оценки порядков стохастических (авторегрессионных) моделей для описания многолетних изменений речного стока. Эта модификация устраняет недостаток существующих методов: сильную зависимость оценок от длины рядов наблюдений. В предложенном нами подходе все длины рядов условно приравниваются к единой (стандартной). Например, в случае, если единой длиной рядов выбрана величина 40 лет (примерно соответствующая средней длине наблюдений над стоком на реках мира), технически такое «уравнивание» достигается умножением критерия Акаике при нулевом порядке на специально подобранный корректирующий множитель ( $r_1$  - аналог  $r_{1,ВЫБ}$ ):

$$K_{AC} = a_1 + \frac{a_2 + a_3 r_1}{N} + \frac{a_4}{N^2} + r_1(a_5 + a_6 r_1). \quad (1.2.4)$$

Значения коэффициентов  $a$  для каждой из подобластей значений  $N$  и  $r_1$  приведены в таблице 1.2.1.

**Таблица 1.2.1.** Значения коэффициентов  $a$  в уравнении (1.2.4)

Диапазоны значений $r_1$ и $N$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
$0,0 \leq r_1 \leq 0,9; 20 \leq N \leq 40$	0,879	6,249	7,260	-76,32	-0,127	-0,0402
$0,0 \leq r_1 \leq 0,9; 40 < N \leq 200$	1,009	1,941	18,16	-104,0	-0,423	-0,0254
$-0,9 \leq r_1 < 0,0; 20 \leq N \leq 40$	0,947	2,260	-5,61	-25,44	0,055	-0,0899
$-0,9 \leq r_1 < 0,0; 40 < N \leq 200$	1,008	2,094	-17,2	-109,3	0,397	-0,0245

Для изучения вопроса о стационарности изменений стока были предложены новые двусторонние критерии – отдельно для стационарности/нестационарности по среднему значению (математическому ожиданию), стандарту, автокоррелированности. Указанные критерии основывались на оценке стандартов разностей между выборочными средними значениями указанных параметров для первой и второй половин рядов в случае стационарности процессов (для рядов длиной не менее 40 лет), соответственно:

$$\sigma(M_{\text{ВЫБ}}^{2,МК} - M_{\text{ВЫБ}}^{1,МК}) = 0,07 + \frac{15,3279 - 12,1355 * \lg(1 - r_1)}{N} - \frac{239,147}{N^2} - \lg(1 - r_1)[0,3702 + 0,0011 \lg(1 - r_1)]. \quad (1.2.5)$$

$$\sigma(\sigma_{\text{ВЫБ}}^{2,МК} - \sigma_{\text{ВЫБ}}^{1,МК}) = 0,0461 + \frac{11,1692 + 11,1103r_1^2}{N} - \frac{163,9971}{N^2} - r_1^2(0,0009 - 0,2442r_1^2). \quad (1.2.6)$$

$$\sigma(r_{1,\text{ВЫБ}}^{2,МК} - r_{1,\text{ВЫБ}}^{1,МК}) = 0,0925 + \frac{12,8657 + 2,6441r_1}{N} - \frac{78,6142}{N^2} - r_1(0,0113 + 0,1013r_1). \quad (1.2.7)$$

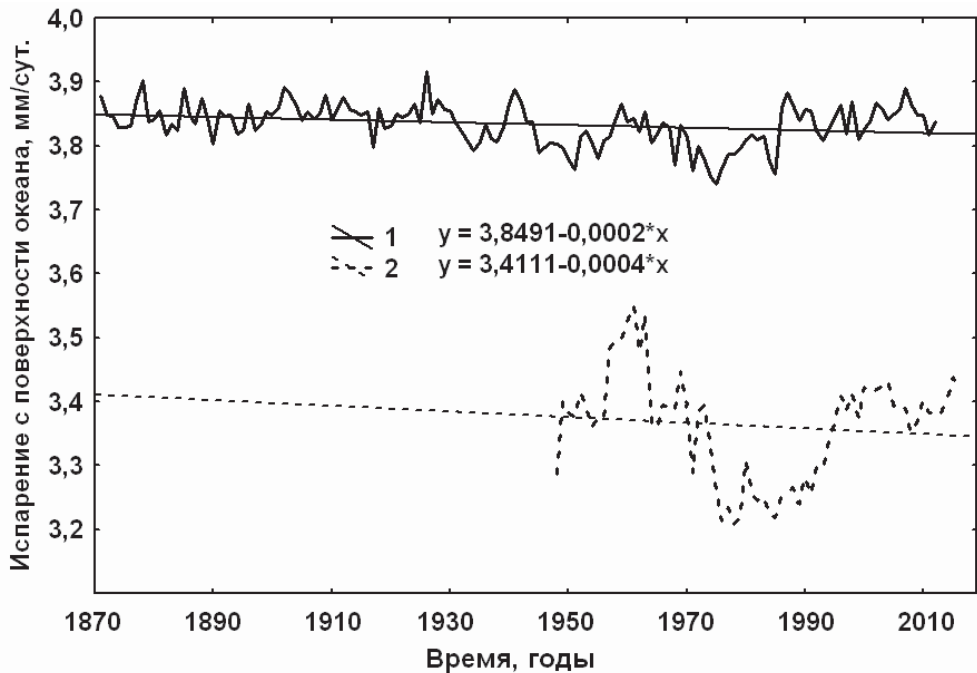
На основе формул (1.2.5 – 1.2.7) рассчитывались значения соответствующих критериев стационарности/нестационарности процессов:  $I_{\text{sm}}$ ,  $I_{\text{ss}}$ ,  $I_{\text{sr}}$ . Можно показать, что для стационарных процессов критерии распределены нормально, с единичным стандартом. Таким образом, если расчеты критериев по реальным рядам дают их значения, существенно превышающие по модулю единичные, это может служить основанием для предположения о нестационарности процессов по соответствующим параметрам – среднему, стандарту или автокоррелированности (см. более подробные пояснения в (Добровольский, 2011б)).

## 1.3. Изменения испарения с поверхности океана в климатическом и промежуточном масштабах времени

### 1.3.1. Глобальные изменения испарения с поверхности океана

Из числа рассмотренных выше проектов по восстановлению (реанализу) рядов изменений компонентов глобального водообмена в рамках только двух проектов, «20 Century» и «NCEP/NCAR», были воспроизведены ряды изменений испарения (скорости испарения) с поверхности океана. Соответствующие ряды годовых значений приведены на Рис. 1.3.1. В ряде работ отмечается, что кривые на Рис. 1.3.1 могут содержать значительные ошибки – в особенности на протяжении последних десятилетий 19 века (ряд «20 century») и большинства десятилетий 20 века. Сказанное подтверждается

сравнительно низким значением коэффициента парной корреляции между двумя рядами (0,35) – которое, впрочем, растет, если рассматривать более поздние сегменты рядов. Последнее обстоятельство связано с тем, что рассматриваемые ряды неоднородны: различные их сегменты построены при помощи различающихся методических подходов и с учетом различных типов информации – например, только с конца 1970-х годов учитываются спутниковые данные. Анализ того, как меняются характеристики рассматриваемых рядов при «приближении» к настоящему времени, будет дан ниже. Однако, при всем несовершенстве рядов, априори можно сделать некоторые важные выводы относительно эволюции глобального испарения с поверхности океана.



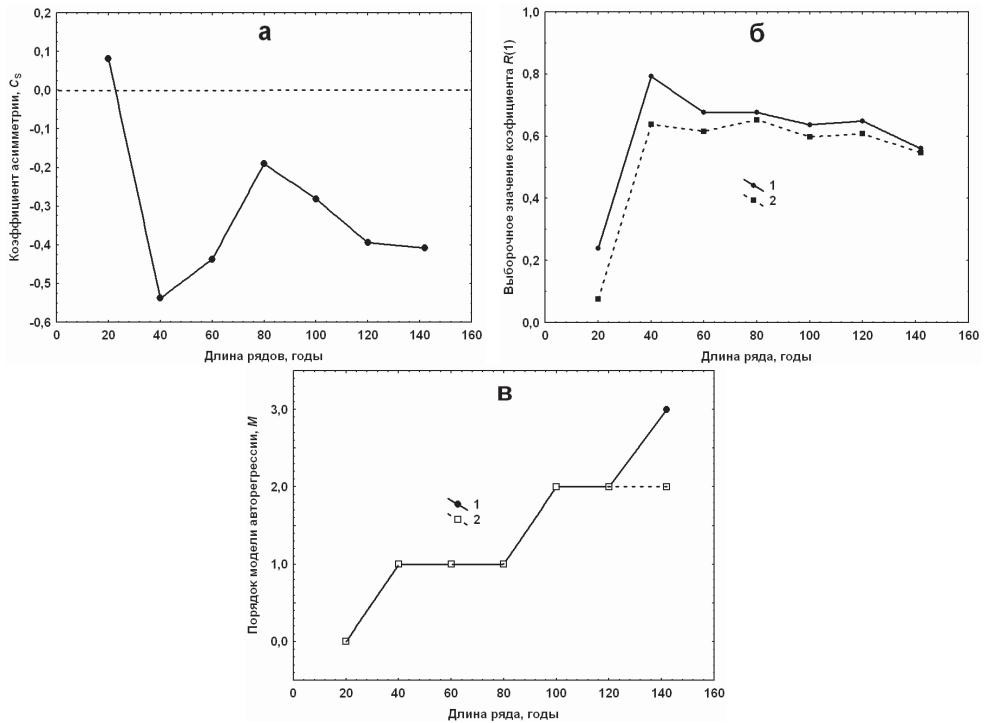
**Рис. 1.3.1.** Ломаные линии – оценки изменений средних годовых величин осредненных по поверхности свободного ото льда океана скоростей испарения. Прямые линии – линейная экстраполяция рядов, осуществленная методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. 1 – проект «20 Century», 2 – проект NCEP/NCAR. В уравнениях за ноль оси X принимается 1870 год, величины  $x$  – в целых годах

В первую очередь обращает на себя внимание то, что относительные изменения испарения с поверхности океана чрезвычайно малы и, как видно из рисунка, меньше разности в оценках средних значений глобального испарения в рамках двух проектов. Коэффициент вариации  $C_V$  составляет 0,008 для ряда 1 и 0,025 для ряда 2. Вследствие этого коэффициент асимметрии  $C_S$

также невелик: соответственно  $-0,41$  и  $-0,07$ . Эффект уменьшения коэффициента вариации составляющих глобального водообмена рассмотрен ранее в работах (Dobrovolski 1992; 2000) и может быть связан с ограниченным радиусом пространственной корреляции потоков тепла и влаги через нижнюю границу атмосферы; последнее вытекает из ограниченных размеров синоптических образований в атмосфере.

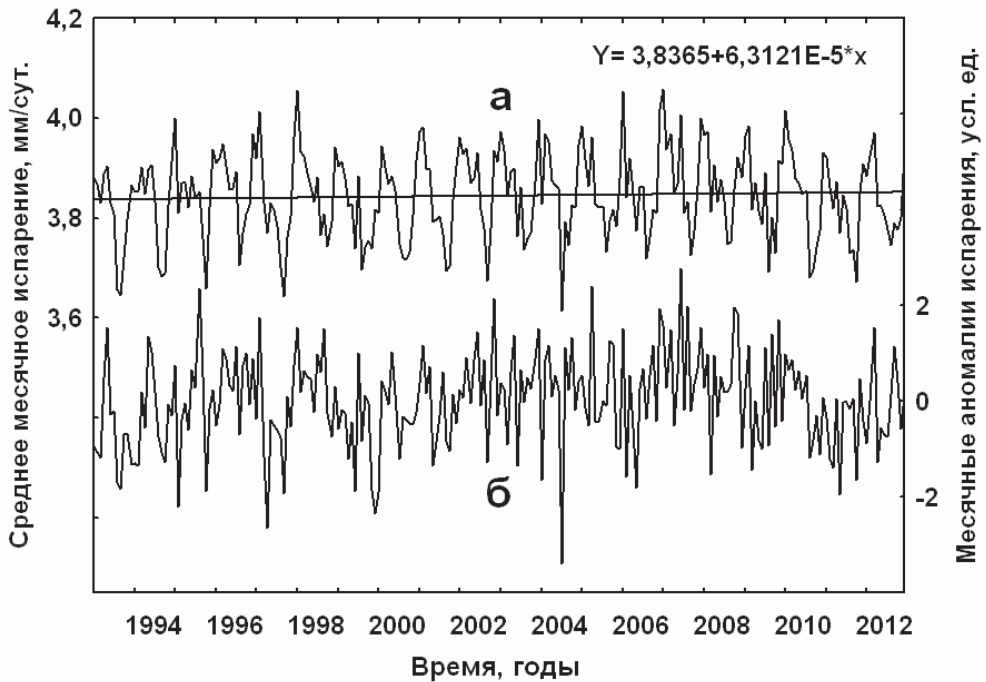
Рисунок 1.3.1 показывает, кроме того, что данные реанализа не подтверждают распространенное мнение об увеличении испарения с поверхности океана на протяжении последнего века вследствие глобального потепления атмосферы. Более того: формально фиксируется небольшое уменьшение испарения за последние 142 года (ряд 1) или 69 лет (ряд 2). Впрочем, это уменьшение статистически незначимо и составляет всего  $0,0002$  мм/сутки за год для первого ряда и  $0,004$  мм/сутки за год для второго.

Обратимся к статистическому и стохастическому анализу рассматриваемых рядов и их сегментов.



**Рис. 1.3.2.** Изменения статистических и стохастических параметров сегментов рядов глобального испарения с поверхности океана (проект «20 Century») при переходе от максимальной длины ряда к более поздним сегментам ряда. а – коэффициент асимметрии  $C_s$ ; б – коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год  $R(1)$ ; в – порядок авторегрессионной модели  $M$ . На графиках б и в: 1 – расчеты по исходным рядам, 2 – результаты анализа рядов, пересчитанных в выборочные значения гауссовских случайных величин

В связи с тем, что ряд «20 Century» наиболее длинный, на Рис. 1.3.2 приведены результаты для него, однако результаты для ряда «NCEP/NCAR» качественно сходны – хотя и рассчитаны только для трех левых точек на Рис. 1.3.2. В целом, рисунок показывает, что при переходе к более поздним – следовательно, и к более достоверным – сегментам ряда, модель изменений глобального испарения с поверхности океана стремится к модели гауссовского белого шума с близкой к нулю асимметрией (0,081), практически нулевым выборочным коэффициентом автокорреляции с единичным сдвигом (0,075 – для пересчитанного в гауссовский ряд) и нулевым значением порядка модели авторегрессии.

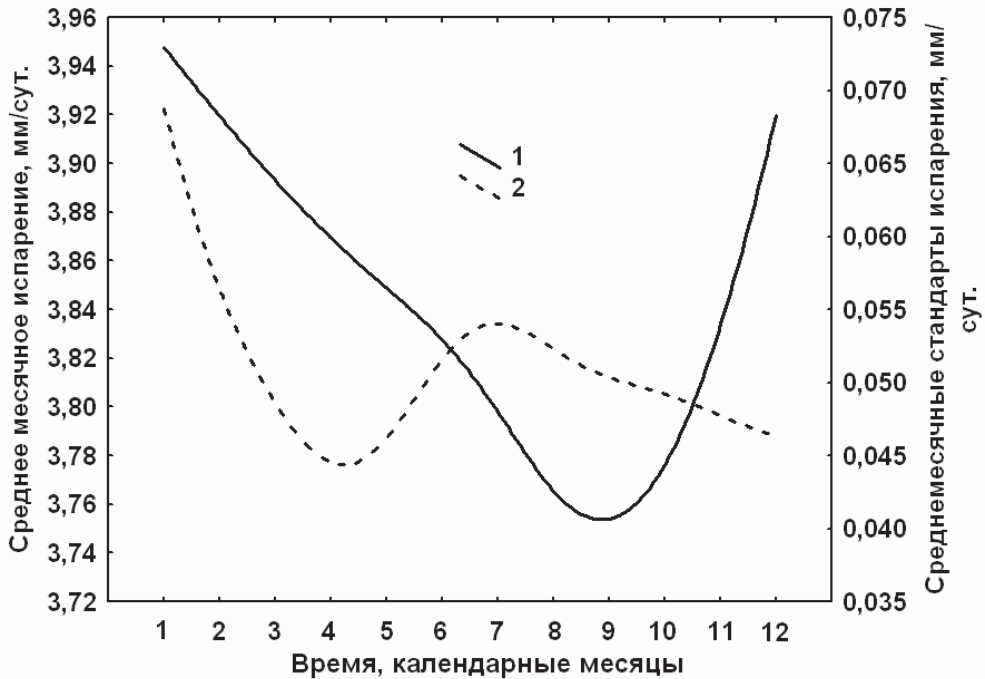


**Рис. 1.3.3.** а – изменения средних месячных значений скорости испарения с поверхности океана по данным проекта «20 Century» (левая шкала). Прямая линия – линейная аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов, соответствующее уравнение – в правом верхнем углу графика. б – месячные аномалии скорости испарения – с отфильтрованным средним сезонным ходом средних значений и с нормированием на средние стандарты отклонений от среднего соответствующих календарных месяцев (правая шкала)

Представляет также интерес рассмотрение изменений глобального испарения в «промежуточном» (по Hasselmann, 1976) масштабе времени – с месячным разрешением. В целях единообразия целесообразно осуществить соответствующий анализ на материале того же последнего сегмента длиной

20 лет фигурировавшего выше ряда «20 Century». На Рис. 1.3.3а показан ряд с месячным разрешением.

С целью применимости, для анализа ряда, корреляционной теории стационарных случайных процессов, из ряда на рис. 1.1.3а был вычтен средний многолетний сезонный ход испарения (Рис. 1.3.4-1), полученный ряд затем делился на средний многолетний сезонный ход стандартов отклонений от среднего многолетнего хода средних значений (Рис. 1.3.4-2).

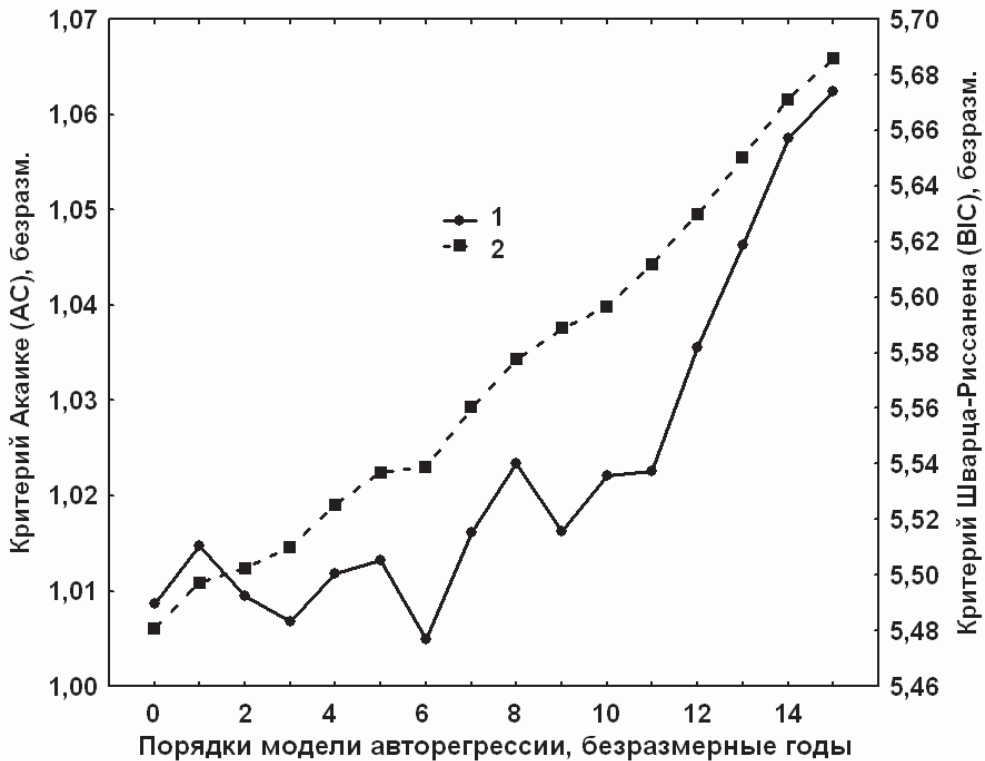


**Рис. 1.3.4.** Средний многолетний сезонный ход испарения (1, левая шкала), стандартов месячных величин испарения (2, правая шкала). Графики сглажены методом наименьших средних квадратов

Из Рис. 1.3.4-1 видно, что глобально осредненное испарение имеет ярко выраженный сезонный ход с максимумом в зимние месяцы и минимумом в конце лета – начале осени (северного полушария). Такой характер графика, очевидно, обусловлен неравномерным распределением суши между северным и южным полушариями: максимум испарения приходится на жаркие месяцы южного полушария. В свою очередь, формально график на Рис. 1.3.4-1 указывает на максимальную изменчивость испарения в конце осени и в конце весны южного полушария, однако этот результат нуждается в дальнейшем уточнении и проверке, так как изменения стандартов испарения

крайне невелики: они на порядок меньше амплитуды сезонного хода самого испарения.

Результаты анализа месячных аномалий испарения заключаются в следующем. Отметим близость гистограммы, описывающей плотность вероятности процесса, к плотности вероятности нормального распределения (Рис. 1.3.6). Далее: оптимальной стохастической моделью (если использовать для анализа метод наибольшей энтропии) является модель нулевого порядка – то есть, модель некоррелированной по времени последовательности, в данном случае близких к нормальным величин: гауссовский белый шум. Этот вывод иллюстрируется критериями Акаике и Шварца-Риссанена (см. Prival'sky, Jensen, 1993) на рис. 1.3.5. Нулевой порядок соответствует глобальному минимуму критерия  $BIC$  и первому минимуму критерия  $AC$  – последний, в соответствии с рекомендацией Акаике и нашим опытом анализа временных рядов, и указывает на порядок модели авторегрессии.



**Рис. 1.3.5.** Критерии Акаике (1) и Шварца-Риссанена (2) для оценки порядка модели авторегрессии. Нормированный ряд месячных аномалий глобально осредненного испарения с поверхности океана, 1993 – 2012 гг. Оценки коэффициентов авторегрессии осуществлены методом Бурга (см. пояснения в Vox, Jenkins, Reinsel, 1994)

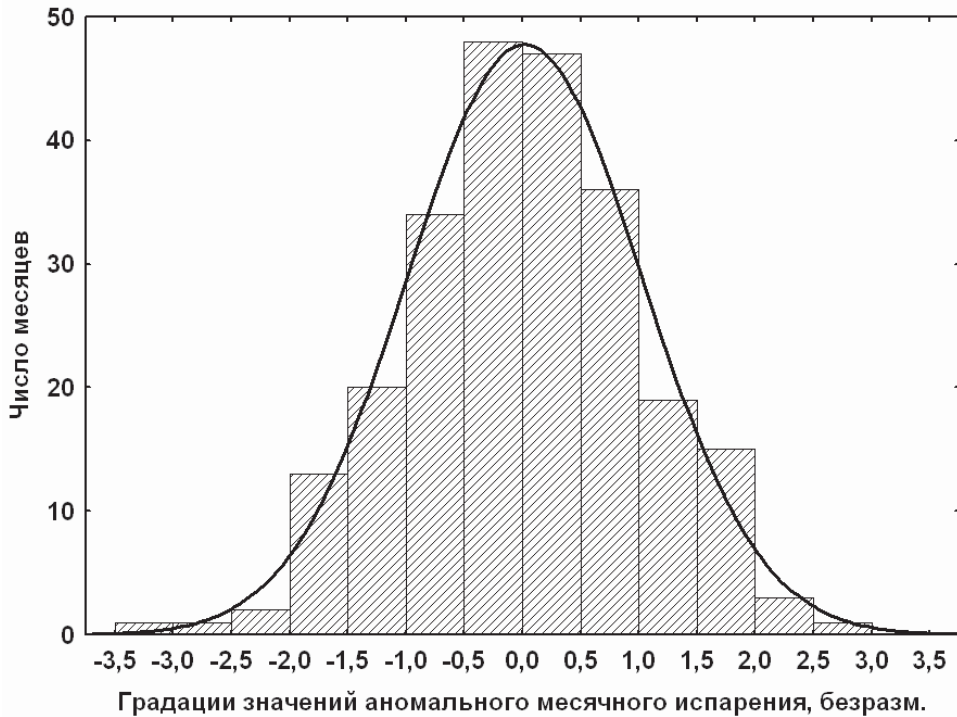
На устойчивость модели белого шума указывает и матрица частных коэффициентов авторегрессии в таблице 1.3.1. Характерным и многозначительным является устойчивость (крайне небольших) коэффициентов при увеличении пробных порядков авторегрессии. Матрица в таблице 1.3.1 построена методом Бурга, однако аналогичная матрица, построенная методом Юла-Уокера имеет очень похожий вид. Сходен и вид графиков на рис. 1.3.5 при использовании двух упомянутых процедур. В обоих случаях первый (старший) частный коэффициент авторегрессии был равен 0,07.

**Таблица 1.3.1.** Матрица частных авторегрессионных коэффициентов модели для описания ряда месячных аномалий среднего глобального испарения с поверхности океана, 1993 – 2012 гг. Оценки методом Бурга.  $M$  – пробный порядок авторегрессии,  $j$  – номера частных коэффициентов.

$M$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$	$j=7$	$j=8$	$j=9$	$j=10$
1	0,07									
2	0,06	0,12								
3	0,05	0,11	0,11							
4	0,05	0,12	0,12	-0,06						
5	0,06	0,11	0,1	-0,06	0,07					
6	0,05	0,12	0,09	-0,08	0,06	0,14				
7	0,05	0,12	0,09	-0,08	0,06	0,14	-0,01			
8	0,05	0,12	0,09	-0,08	0,06	0,14	-0,01	0,01		
9	0,05	0,12	0,11	-0,07	0,05	0,15	0,01	0,01	-0,11	
10	0,05	0,12	0,11	-0,07	0,05	0,15	0,00	0,01	-0,11	0,02

Несмотря на то, что ряд месячных аномалий испарения с поверхности Мирового океана близок к ряду выборочных значений нормально распределенных величин (коэффициент асимметрии -0,194, см. также Рис. 1.3.6), для большей корректности нами был осуществлен анализ ряда с пересчетом его значений в выборочные значения гауссовских величин. Результаты были схожими с результатами, приведенными выше. Так, старший частный коэффициент авторегрессии в этом варианте лишь ненамного отличился от первого варианта (0,0571 вместо 0,0681); порядок модели авторегрессии также был идентифицирован как нулевой. Представляет интерес анализ степени стационарности нормализованного ряда при помощи процедур, описанных в (Добровольский, 2011а; 2011б). Индексы стационарности по математическому ожиданию ( $I_{SM}$ ), стандартам ( $I_{SS}$ ), автокоррелированности ( $I_{SR}$ ) равны соответственно +0,960; +0,393; +0,008 – при том, что модули указанных индексов в случае сегментов реализаций абсолютно стационарных процессов в среднем равны единице.



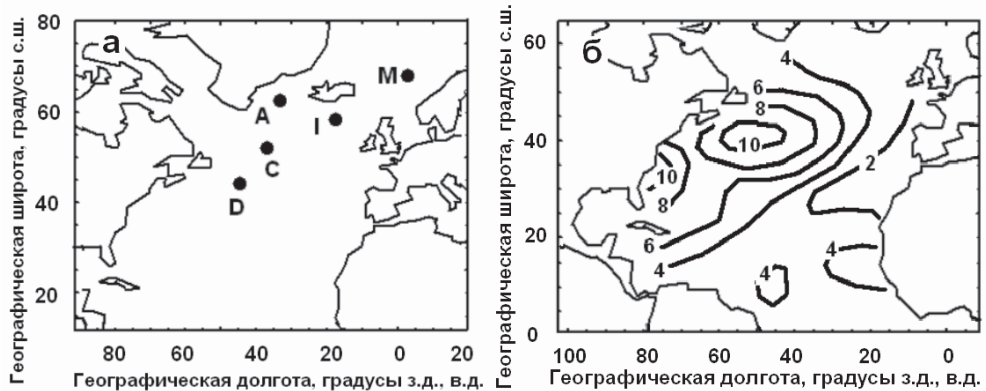


**Рис. 1.3.6.** Гистограмма плотности вероятности нормированных аномалий месячных величин испарения с поверхности океана., 1993 – 2012 гг. Кривая линия соответствует теоретическому нормальному распределению

### 1.3.2. Анализ региональных изменений испарения с поверхности океана, оцененных по данным наблюдений

Как известно, испарение с поверхности океана практически не поддается прямым инструментальным наблюдениям. В том, что касается расчетных величин, представляется, что наиболее надежными являются оценки испарения, точнее затрат тепла на испарение, полученные на так называемых «судах погоды». К сожалению, большинство судов погоды прекратили деятельность еще в 1980-х годах, таким образом, собранная в рамках этой программы, начиная с 1950-х годов, информация является уникальной и исключительно ценной.

Расположение основных судов погоды в Северной Атлантике показано на Рис. 1.3.7. Напомним еще раз, что влага на наиболее значительную часть территории Российской Федерации поступает именно с Северной части Атлантического океана – поэтому анализ изменчивости с этой акватории представляет для отечественной науки наибольший интерес.



**Рис. 1.3.7.** а - схема расположения судов погоды в Северной Атлантике; б - стандарты месячных (зимних) аномалий потока тепла испарения с поверхности Северной Атлантики в МДж \* м<sup>-2</sup> \* сут<sup>-1</sup>. Рисунки из (Dobrovolski, 2000)

На Рис. 1.3.7 а показано расположение судов погоды в Северной Атлантике, информацией с которых мы воспользовались. Большинство из них расположены вблизи основной струи Северо-Атлантического течения, либо к северу от нее. Особый интерес представляет судно погоды D, так как оно позиционируется вблизи области максимальных горизонтальных градиентов поверхностной температуры воды и внутри области наибольших аномалий температуры воды.

Детали информации, полученной на основе данных судов погоды, приведены нами в (Dobrovolski, 2000). Укажем лишь, что за исходные нами были взяты ряды месячных величин затрат тепла на испарение продолжительностью 240 месяцев. Расчеты осуществлялись следующим образом.

1. Так же, как при анализе глобально осредненных данных об испарении, осуществлялось устранение сезонной нестационарности рядов по математическому ожиданию и дисперсии. Затем стохастические модели подбирались как для исходного ряда, включавшего сезонную составляющую, так и для ряда с устраненной сезонностью.
2. Для рядов с устраненным сезонным ходом среднего и дисперсии проводились расчеты коррелированности аномалий смежных месяцев отдельно для теплого (май-октябрь) и холодного (ноябрь-апрель) полугодий. Таким образом, осуществлялись элементы стохастического моделирования с периодически меняющимися параметрами.
3. Ряды разделялись также на 2 и 4 части каждый с целью дополнительной проверки достоверности результатов и оценки степени стационарности рядов.

4. Также, каждый ряд анализировался в виде последовательности как месячных, так и годовых величин.

Таким образом, в общей сложности расчеты велись по 50 вариантам рядов. Остановимся вначале на анализе рядов в исходном варианте, без устранения сезонного хода. Несмотря на то, что такого рода анализ не совсем корректен (такие ряды нестационарны по математическому ожиданию и второму моменту, и фазы соответствующих процессов неслучайны), он представляет определенный интерес для рассмотрения внутригодовых изменений.

Ранее – см., например, (Киричек, 1986) было широко распространено мнение (существующее и сейчас) о наличии в спектрах колебаний на атлантических судах погоды пиков на периодах 3, 4, 6 месяцев. Полученные нами стохастические модели имели порядки от 6-го (станция «D») до 14-го (станции «A», «C», «I»). На всех спектрах отчетливо выделяется пик на годовой частоте, однако какие-либо достоверные, статистически значимые особенности на других частотах – отсутствуют: их порядок не превышает ширины доверительных интервалов разумного уровня значимости. Кроме того, обращает на себя внимание то, что (незначимые по величине) пики на внутригодовых периодах хаотично распределены по частотам. Таким образом, не прослеживаются даже кратные гармоники годового хода, то есть, отсутствует асимметрия годового хода испарения.

Обратимся к анализу рядов испарения с устраненным сезонным ходом по математическому ожиданию и дисперсии. Для станций «A», «I», «M» выбран нулевой порядок моделей авторегрессии, для рядов на станциях «D», «C» формально выбраны соответственно 1-й и 2-й порядки (на них приходится первый минимум критерия Акаике). Соответствующие авторегрессионные модели выглядят следующим образом:

$$X^*(t) = 0,10 X^*(t-1) + a_D(t) \quad (1.3.1)$$

$$X^*(t) = 0,12 X^*(t-1) - 0,11 X^*(t-2) + a_C(t) \quad (1.3.2)$$

В формулах (1.3.1, 1.3.2)  $X^*$  – месячные аномалии величин испарения,  $t$  - время в месяцах,  $a_D$  и  $a_C$  – «остаточные белые шумы» для соответствующих судов погоды. При этом предполагается, что математическое ожидание в обоих случаях равно нулю.

Рассмотрение приведенных моделей показывает, однако, что коэффициенты авторегрессии в обоих случаях невелики, а улучшение линейного экстраполяционного прогноза по сравнению с климатологическим составляет всего 0,006 для судна погоды «D» и 0,018 для судна погоды «C». Анализ отдельных частей рядов испарения на этих станциях также не подтверждает значимости коэффициентов  $a$ : критерии Акаике для половин рядов указывают на нулевой порядок соответствующих оптимальных моделей. Наконец, спектральные плотности для рядов аномалий испарения на станциях «C» и

«D» не отличаются от горизонтальных линий на величины, более значительные, чем доверительные интервалы разумного уровня значимости.

Эти результаты подтверждаются расчетами по рядам годовых значений испарения по информации с судов погоды. В 4 случаях из 5 ряды были идентифицированы в качестве реализаций некоррелированных по времени случайных процессов. Для ряда испарения на станции «С» выбрана модель второго порядка с коэффициентами 0,35; -0,21. Однако в связи с тем, что длина рядов чрезвычайно мала (20 ординат), а коэффициенты модели невелики, доверительные интервалы сколько-нибудь существенного уровня значимости чрезвычайно широки по сравнению с изменениями спектральной плотности и включают в себя спектры как второго, так и первого и нулевого порядка. В заключение анализа изменений испарения по данным судов погоды отметим, что в связи с прекращением программы наблюдений на них – указанные результаты являются в определенном смысле уникальными.

Представляет интерес изучение пространственной корреляционной структуры изменений испарения с поверхности океана. В (Dobrovolski, 1992) были обобщены соответствующие результаты, имевшиеся в литературе. Общим выводом было то, что максимальный корреляционный радиус наблюдается в Северной Атлантике зимой и составляет величину порядка 2000 км. Летом, а также при сдвиге по времени между рядами – корреляционный радиус существенно уменьшается. Расчеты, как и в случае с аномалиями температуры поверхности океана, не свидетельствуют о «плавании» аномалий испарения вдоль оси основных течений: возникновение и «рассасывание» аномалий в обоих случаях носит скорее локальный характер.

### **1.3.3. *Динамико-стохастическая модель изменений испарения с поверхности во взаимодействии океана и атмосферы***

Построение динамико-стохастической модели испарения с поверхности океана целесообразно основывать на практических рекомендациях, вытекающих из теории стохастических моделей изменений климата К.Хассельманна (Hasselmann, 1976). А именно, естественным способом реализации динамико-стохастической модели является возбуждение детерминистической модели (в данном случае – верхнего квазиизотермического слоя океана, ВКС) так называемым «погодным» возбуждением, имеющим на климатическом интервале частот белозумную спектральную плотность.

В качестве детерминистического блока выбрана модель из класса так называемых «моделей средней сложности»; наиболее известной из них является модель Адема (Mendoza et al., 2009). Однако, в нашем случае, в отличие от указанного типа моделей, было удобнее записывать уравнения сразу в терминах месячных аномалий. Отметим также, что аномалии испарения с поверхности океана необходимо привязывать к уравнениям сохранения тепловой энергии. Выражение для составляющих теплового баланса ВКС получено

из уравнения сохранения термической энергии единичного объема воды в форме, предложенной Миллером:

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \rho^* c_{\vartheta} T^* \rangle + \nabla \cdot (\langle \vec{V} \rangle \langle \rho^* c_{\vartheta} T^* \rangle) + \langle \vec{V}'' \cdot \rho^* c_{\vartheta} T^* \rangle = \langle Q_1 \rangle + \langle R_1 \rangle + \langle R_1'' \rangle, \quad (1.3.3)$$

где  $t$  - время;  $\rho^*$  - плотность;  $c_{\vartheta}$  - удельная теплоемкость при постоянном объеме;  $T^*$  - температура;  $\vec{V}$  - скорость течения;  $\langle Q_1 \rangle$  - скорость поступления термической энергии вследствие радиационных процессов, молекулярной теплопроводности и конденсации водяного пара (испарения);  $\langle R_1 \rangle$  - скорость поступления тепла посредством сжатия и трения. Угловые скобки обозначают операцию осреднения по времени, необходимого для выделения турбулентных пульсаций (соответствующие величины обозначаются двумя штрихами) на фоне осредненного потока.

Проинтегрируем (1.3.3) по вертикали от  $z = 0$  (поверхность) до  $z = h$  (толщина верхнего квазиизотермического слоя  $h$  здесь считается постоянной по времени). Предположим при этом, что  $\rho^*$  - постоянная величина, и средние скорости течений, следовательно, удовлетворяют уравнению неразрывности. Примем также, что  $c_{\vartheta} = c_S$  (постоянная величина) и учтем следующие допущения:

$$w|_{z=0} = 0; \langle \vec{V}_z'' T^* \rangle = -K_S \nabla_z \langle T^* \rangle; \frac{\partial \langle T^* \rangle}{\partial z} = 0, z < h; w'' T^*|_{z=h} = 0$$

$$\int_0^h (\langle R_1 \rangle + \langle R_1'' \rangle) dz = 0; \langle T^* \rangle = \bar{T}_S + T'_S; T'_S \ll \bar{T}_S.$$

В последних выражениях  $w$  - вертикальная составляющая скорости течения;  $\vec{V}_z$  - горизонтальная компонента течения;  $K_S$  - условный коэффициент горизонтальной крупномасштабной турбулентной теплопроводности Дефанта для параметризации адвекции тепла крупномасштабными горизонтальными нестационарными вихрями, сходной по форме с параметризацией мелкомасштабной турбулентности;  $T'_S$  - температура ВКС. Черта сверху обозначает осреднение за многолетний промежуток времени, штрих - отклонение от среднемноголетнего значения. Предположим также, что значение  $\bar{T}_S$  удовлетворяет стационарной части решения уравнения сохранения термической энергии в ВКС.

В результате интегрирования и перехода к  $\bar{T}'_S$  в качестве переменной получим уравнение сохранения термической энергии для столба воды еди-

ничного сечения в ВКС, записанное в аномалиях – отклонениях от средних многолетних значений:

$$h\rho_s c_s \left( \frac{\partial T'_s}{\partial t} + \bar{V}_z \cdot \nabla_z T'_s + \bar{V}'_z \cdot \nabla_z \bar{T}_s - K_s \nabla_z^2 T'_s \right) = \langle E_s \rangle' - \langle G_3 \rangle' - G_2', \quad (1.3.4)$$

$\langle E_s \rangle'$ ,  $\langle G_2 \rangle'$ ,  $\langle G_3 \rangle'$  – аномальные теплопотери за счет соответственно радиационных процессов, испарения с поверхности и контактного турбулентного теплообмена с приповерхностным слоем воздуха;  $\rho_s = \rho^*$  (постоянная величина);  $\bar{V}_z + \bar{V}'_z = \frac{1}{h} \int_0^h \langle \bar{V}_z \rangle dz$ . В уравнении (1.3.4) пренебрегли членом

$h \rho_s c_s V'_x \nabla T'_s$ , а также эффектом молекулярной теплопроводности.

Используем известные формулы Дж.Адема для аномальных теплопотерь за счет радиационных процессов, испарения и контактного турбулентного теплообмена с приповерхностным слоем воздуха, соответственно:

$$\langle E_s \rangle' = B_2'' T'_a + B_3 T'_s; \quad (1.3.5)$$

$$\langle G_3 \rangle' = K_4 B |\bar{V}_{aN}| (K_5 T'_s - U_N T'_a); \quad (1.3.6)$$

$$\langle G_2 \rangle' = K_3 |\bar{V}_{aN}| (T'_s - T'_a). \quad (1.3.7)$$

Здесь  $T'_a$  – аномалия температуры воздуха у поверхности,  $|\bar{V}_{aN}|$  – абсолютное значение средней многолетней скорости ветра у поверхности,  $U_N$  – среднее многолетнее значение относительной влажности воздуха у поверхности,  $B_2''$ ,  $B_3$ ,  $B$ ,  $K$ ,  $K_5$ ,  $K_3$  – эмпирические коэффициенты.

Наконец, применяя полуэмпирические формулы экмановского потока для описания аномальных течений, получим:

$$h\rho_s c_s \left\{ \frac{\partial T'_s}{\partial t} + \frac{C_1}{\rho_a f \sqrt{\sin \varphi}} [J(\rho_0^* - \rho_{0N}^*, \bar{T}_8)] + \bar{V}_z \cdot \nabla T'_s - K_s \nabla_z^2 T'_s \right\} = \quad (1.3.8)$$

$$(B_2'' + K_4 B |\bar{V}_{aN}| [U_N + K_3 |\bar{V}_{aN}|]) T'_a + (B_3 - K_4 B |\bar{V}_{aN}| K_5 - K_3 |\bar{V}_{aN}|) T'_s,$$

где  $\rho_a$  – плотность воздуха у поверхности океана, принимаемая постоянной,  $f$  – параметр Кориолиса,  $\varphi$  – географическая широта,  $\rho_0^*$  и  $\rho_{0N}^*$  – соответст-

венно атмосферное давление на уровне моря и среднее многолетнее атмосферное давление,  $C_1$  - коэффициент.

Перейдем в (1.3.8) от аномального атмосферного давления  $(p_0^* - p_{0N}^*)$  к параметру, характеризующему термическое состояние всей толщи тропосферы. Для этого преобразуем разность  $(p_0^* - p_{0N}^*)$  пользуясь приближением линейного вертикального профиля температуры в тропосфере, уравнением гидростатического равновесия и уравнением состояния для идеального газа:

$$(p_0^* - p_{0N}^*) = \rho_H \left[ \left( \frac{T_a + \beta H / 2}{T_a - \beta H / 2} \right)^a - \left( \frac{\bar{T}_a + \beta H / 2}{\bar{T}_a - \beta H / 2} \right)^a \right]. \quad (1.3.9)$$

Здесь  $H$  – высота верхней границы тропосферы, которую примем постоянной и равной 10 км;  $\rho_H$  – давление на верхней границе тропосферы, принимаемое постоянным во времени;  $T_a$  – осредненная по вертикали температура тропосферы, равная в условиях линейного вертикального профиля температуре на высоте 5 км;  $\beta$  – вертикальный градиент температуры в тропосфере, полагаемый постоянным и равным  $-6,5 \text{ } ^\circ\text{K} \cdot \text{км}^{-1}$ ;  $\bar{T}_a$  – среднемноголетнее значение  $T_a$  в данном пункте;  $a = g/R\beta$ , где  $R$  – газовая постоянная. Из (1.3.9) горизонтальный градиент аномалии атмосферного давления у поверхности

$$\begin{aligned} \nabla_Z(p_0^* - p_{0N}^*) = & \left( \frac{\xi_1^a}{\xi_2^a} - \frac{\xi_1^a}{\xi_2^a} \right) \nabla_Z p_H + p_H a \beta H \left( \frac{\xi_1^{a-1}}{\xi_2^{3-a}} - \right. \\ & \left. \frac{\xi_1^{a-1}}{\xi_2^{3-a}} \right) \nabla_Z \bar{T}_a + p_H a \beta H \cdot \frac{\xi_1^{a-1}}{\xi_2^{3-a}} \cdot \nabla_Z T'_a, \end{aligned} \quad (1.3.10)$$

где  $\xi_{1,2} = T_a \pm H/2$ ;  $\xi_{1,2} = \bar{T}_a \pm H/2$ ;  $T'_a = T_a - \bar{T}_a$ . Оценки показывают, что в правой части (2.3.14) можно пренебречь первым и вторым слагаемыми, малыми по сравнению с третьим:

$$\nabla_Z(p_0^* - p_{0N}^*) \approx L \nabla_Z T'_a, \quad (1.3.11)$$

$$\text{где } L = p_H a \beta H \frac{(\bar{T}_a + \beta H / 2)^{a-1}}{(\bar{T}_a - \beta H / 2)^{3-a}}. \quad (1.3.12)$$

Подставив в (1.3.12) вместо  $\rho_H$  и  $\bar{T}_a$  некоторые их средние значения,

$p_{H,0}$  и  $\bar{T}_{a,0}$ , получим постоянное приближенное значение множителя  $L$ . Для упрощения оценок среднее многолетнее значение атмосферного давления на высоте  $H$  -  $p_{H,0}$  - по аналогии с (1.3.9) можно выразить через среднее значение давления на уровне моря  $p_{0,0}$ :

$$p_{H,0} = p_{0,0} \left( \frac{\bar{T}_{a,0} + \beta H / 2}{\bar{T}_{a,0} - \beta H / 2} \right) - a. \quad (1.3.13)$$

Окончательно уравнение аномального теплосодержания верхнего слоя океана с учетом выражений (1.3.11 – 1.3.13) примет вид:

$$hp_S c_S \left\{ \frac{\partial T'_S}{\partial t} + M(\sin \varphi) \frac{3}{2} J(-T'_a, \bar{T}_S) + \bar{V}_Z \cdot \nabla T'_S - K_5 \nabla_Z^2 T'_S \right\} = \quad (1.3.14)$$

$$= (B_2'' + K_4 B |\bar{V}_{aN}| U_N + K_3 |\bar{V}_{aN}|) T'_a + (B_3 - K_4 B |\bar{V}_{aN}| K_5 - K_3 |\bar{V}_{aN}|) T'_S$$

где  $M = C_1 \frac{L}{\rho_a} 2W$ ,  $W$  - угловая скорость вращения Земли.

Уравнение (1.3.14) дает возможность рассмотреть, в первом приближении, реакцию верхнего слоя океана на «погодное возбуждение» (см. разд. 1.1), воздействующее посредством механизмов аномальных дрейфовых течений, аномального контактного турбулентного теплообмена и испарения. При этом величины соответствующих аномальных составляющих теплового баланса верхнего слоя океана параметризованы таким образом, что фигурирует только один меняющийся во времени атмосферный параметр — аномалия средней температуры тропосферы ( $T'_a$ ). Обратим внимание на то, что пока состояние атмосферы будет полностью отождествляться с погодным возбуждением, будет предполагаться, что обратное влияние океана на среднюю температуру тропосферы сравнительно невелико (при изучении изменчивости в интересующих нас масштабах времени). В конце настоящего раздела обсудим это предположение и опишем результаты численных экспериментов по изучению влияния аномалий температуры поверхности океана и аномалий испарения на термическое состояние тропосферы.

Вернемся к описанию экспериментов по «погодному» возбуждению модели верхнего слоя океана. Выражение (1.3.14) подразумевает ряд допущений. Одним из них является линейность вертикального профиля температуры в тропосфере. Следствием этого является, в частности, равенство дисперсий



месячных аномалий температуры воздуха в приводном слое и на высоких изобарических поверхностях. Данные наблюдений не позволяют детально проверить это предположение: карты дисперсий месячных аномалий температур воздуха ( $\sigma^2 T_a'$ ) на изобарических поверхностях 50-850 мбар построены по данным аэрологических наблюдений всего на нескольких океанических станциях в северном полушарии, а карты ( $\sigma^2 T_a'$ ) (или  $\sigma T_a'$ ) для приводного слоя – по данным судовых попутных наблюдений, осредненных по пятиградусным трапециям. В работе (Dobrovolski, 2000), однако, показано, что осредненные по широтам значения  $\sigma T_a'$  зимой меняются с высотой не более чем примерно на  $\pm 20\%$  (исключение составляют изменения выше уровня 100 мбар, а также для субполярного пояса - свыше уровня 300 мбар).

Оценки  $\sigma T_a'$  у поверхности океана в среднем примерно на 30% меньше оценок  $\sigma T_a'$  для фигурирующей в модели средней изобарической поверхности 500 мбар, что может объясняться различием в методике получения исходных данных. В целом, поля  $\sigma T_a'$  по данным наблюдений как для приповерхностного слоя воздуха, так и в средней тропосфере намного более размытые, по сравнению с полями среднеквадратических значений аномалий температуры воды на поверхности океана -  $\sigma T_a'$ , а также по сравнению с полями среднеквадратических месячных аномалий потоков явного и скрытого тепла через поверхность  $\sigma H$  и  $\sigma LE$ . Подчеркнем, что основной, если не единственной, ярко выраженной особенностью полей  $\sigma T_s'$ ,  $\sigma H$  и  $\sigma LE$  является резкое увеличение значений в зоне субарктического гидрологического фронта зимой (а для  $\sigma T_s'$  - и летом). Цепь экспериментов на описываемой динамико-стохастической модели состояла в том, чтобы воспроизвести основные особенности именно такого плана и их механизмы. С учетом изложенного упрощения модели представляются в первом приближении приемлемыми; более того, поле  $\sigma T_a'$  в модели задавалось изменяющимся только по широте (см. ниже).

Упрощены в используемой модели воздействие на ВКС пульсаций скорости ветра и параметров приводного слоя воздуха, влияющих на интенсивность испарения. Изменчивость ветра учитывается только при расчете аномальных (дрейфовых) течений, а воздействие атмосферы на аномальную скорость испарения параметризуется в терминах аномальной температуры воздуха. Вместе с тем, имеется тесная связь термического режима и влажности воздуха, над океаном, и непосредственный вклад изменчивости скорости ветра в изменчивость тепловлагообмена в масштабе месяцев не является основным: можно показать, что отношение месячных величин

$$(\sigma |\vec{V}_a| / |\vec{V}_{aV}|)^2 / \sigma(H + LE) / (\bar{H} + \bar{L}\bar{E})^2$$

невелико. Эти упрощения представляются в первом приближении допустимыми с точки зрения постановки задачи и целей экспериментов.

Практически «погодное возбуждение» верхнего слоя океана (сведенное к  $T'_a$ ) задавалось в модели следующим образом. В соответствии с рекомендациями К. Хассельманна (Hasselmann, 1991 и др.) зададим  $T'_a$  в виде набора случайных, некоррелированных по времени полей, генерируемых с «промежуточным» интервалом времени 1 мес. Величина  $T'_a$  в каждой точке поля полагалась распределенной по нормальному закону. Предполагалось, что пространственная (горизонтальная) коррелированность поля  $T'_a$  изотропна. Примем коэффициент пространственной корреляции погодного возбуждения линейно уменьшающимся от 1,0 при нулевом расстоянии между пунктами до 0,0 при расстоянии, равном  $20^\circ$  широты.

Примерно такой же порядок имеют среднеширотные радиусы корреляции атмосферного давления и температуры воздуха у поверхности (хотя и превышают эту величину), рассчитанные в работе (Груза, Ранькова, Семенюк, 1987). Значения  $T'_a$  одного и того же месяца в пунктах, от стоящих друг от друга более, чем на  $20^\circ$  широты, полагались взаимно не коррелированными.

Для оценки дисперсии погодного возбуждения,  $\sigma^2 T'_a$ , воспользуемся картами средних значений аномалий температуры тропосферы на уровне 500 мбар в январе для северного полушария (Казначева, 1987) и для южного полушария (Атлас общей..., 1976).

Реакция верхнего слоя океана на погодное возбуждение исследовалась нами численно, при помощи экспериментов продолжительностью 240 мес. модельного времени каждый. В начале первого месяца поле температуры поверхности океана считалось безаномальным. Параметры погодного возбуждения и средние многолетние поля ( $\bar{T}_S, \bar{V}_Z, |\bar{V}_{aN}|, U_N$ ) задавались по данным как зимних (январских), так и летних (июльских) наблюдений.

Поля погодного возбуждения  $T'_a$  генерировались при помощи метода розыгрыша вероятностей Монте Карло в узлах прямоугольной (в квадратной цилиндрической проекции) сетки с шагом  $5^\circ$  по широте и  $10^\circ$  по долготе. Горизонтально коррелированное поле получено путем засылки в каждый узел значения некоррелированной гауссовской случайной последовательности («гауссовского белого шума») и последующего сглаживания полученного поля двумя последовательными горизонтальными линейными фильтрами со специально подобранными весами, учитывающими искажения картографической проекции. Затем полученное поле умножалось на широтный профиль среднеквадратических аномалий  $\sigma T'_a$ . В результате генерировано ежемесячное погодное возбуждение, отвечающее следующим условиям: 1) некоррелированность по времени; 2) распределение величин в соответствии с нормаль-

ным законом; 3) пространственная коррелированность с заданным радиусом корреляции; 4) соответствие дисперсии погодного возбуждения заданному широтному профилю.

Уравнение (1.3.14) решалось для каждого месяца при помощи явной линейной двухслойной конечно-разностной схемы в узлах квадратной сетки (в квадратной цилиндрической проекции). Предварительные расчеты на модели показывают, что учет члена  $\overline{\vec{V}_z} \cdot \nabla T'_S$  в (1.3.14) играет незначительную роль при расчетах баланса тепла ВКС: на пятиградусной сетке среднемесячные аномалии поверхностной температуры воды практически не зависят от стационарных течений. В среднем в Северной Атлантике доля адвекции аномального тепла стационарными течениями составляет 5-10%.

В связи с тем, что в основных экспериментах мы пренебрегали членом  $\overline{\vec{V}_z} \cdot \nabla T'_S$  шаг при интегрировании по времени мог составлять сравнительно большую величину – 60 ч.

Расстояние между узлами океанической области составило  $5^\circ$  как по широте, так и по долготе. Погодное возбуждение в половине узлов океанической сетки получено путем интерполяции между соседними по широте узлами атмосферной сетки. На широтах  $70^\circ$ с.ш. и  $70^\circ$ ю.ш. образованы «ледовые границы» океанической области.

Числовые значения основных постоянных скалярных параметров модели в системе cgs:  $h=0,5 \cdot 10^4$ ;  $c_s=4,19 \cdot 10^7$ ;  $K_S=1,3 \cdot 10^8$ ,  $p_S=1,0$ ;  $g=981$ ;  $R=2,87 \cdot 10^6$ ;  $\rho_{0,0}=10^6$ ;  $T_{a,0}=250$ . Опробовалось также значение  $K=2,6 \cdot 10^8$  cgs. Значения остальных констант и коэффициентов – из работ Дж. Адема и соавторов. Принятое в настоящих экспериментах значение коэффициента крупномасштабной диффузии тепла  $K_S$  составило величину  $3 \cdot 10^8$  см<sup>2</sup>сг<sup>-1</sup>. Высокие (порядка  $10^8$  cgs) значения аналогичного коэффициента принимаются во многих моделях океанической циркуляции, в которых используются сетки с шагом  $5^\circ$  и более. Оценки  $K_S$  такого же порядка получены в ранних работах автора (Dobrovolski, 1992) с использованием данных наблюдений в Северной Атлантике.

Толщина верхнего квазиизотермического слоя океана принималась равной 50 м (опробовались значения 75, 100 и 150 м). В принципе, не представляет сложности задание в модели трехмерной величины  $h$ , меняющейся по пространству и по сезонам года, с использованием данных наблюдений. Климатологические поля  $U_N$ ,  $|\overline{\vec{V}_{aN}}|$ ,  $\overline{T}_g$  взяты из (Атлас океанов, Т.1, 1974; Т. 2, 1976).

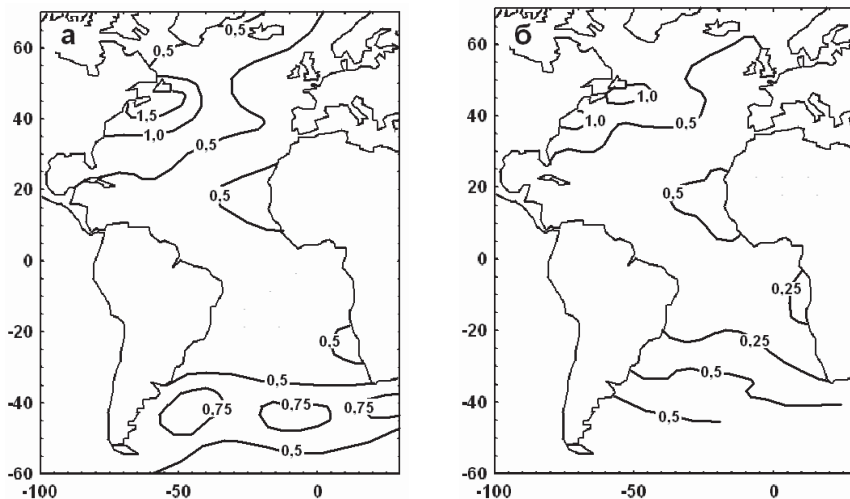
Укажем на то, что модель не описывает эпизодические эффекты Эль Ниньо–Ла Нинья. Она предназначена для изучения «регулярной» изменчивости взаимодействия океана и атмосферы во внеэкваториальных зонах океана.

### 1.3.4. Результаты моделирования

Результаты модельных экспериментов позволили изучить закономерности изменений испарения в климатическом масштабе времени (по терминологии К.Хассельманна – начиная с частоты 0,5 цикла в месяц), роль изменений испарения в формировании поля осадков и поля температуры воды на поверхности океана – и, в свою очередь, роль аномалий температуры воды и других факторов в формировании аномалий испарения.

Остановимся вначале на результатах, связанных с воспроизведением изменений температуры поверхности океана – основного океанического фактора, влияющего на испарение и находящегося таким образом в самом начале цепи глобального гидрологического цикла.

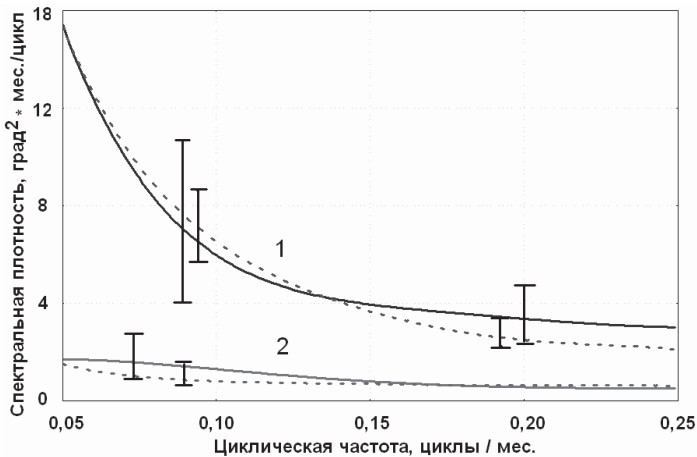
Отметим, что модель удачно воспроизводит наблюдаемое пространственное распределение интенсивности (стандартов) месячных аномалий поверхностной температуры воды во внеэкваториальных областях Тихого океана – и в целом по акваториям Атлантического, Индийского и Южного океанов, в которых явление типа Эль Ниньо не наблюдается. А именно, как по данным наблюдений, так и по результатам динамико-стохастического моделирования на нашей модели – наибольшие величины аномалий (стандарты) наблюдаются в зонах субарктических и субантарктического гидрологических фронтов. Это, прежде всего, зона субарктического фронта в северной части Атлантического океана с максимальными горизонтальными градиентами температуры воды южнее о. Ньюфаундленд (см. Рис. 3.1.8).



**Рис. 3.1.8.** Стандарты месячных (январских) аномалий температуры воды на поверхности Атлантического океана в град. С: а – по результатам эксперимента на динамико-стохастической модели, б – по данным наблюдений (Dobrovolski, 2000)

Повышенные значения стандартов аномалий температуры воды воспроизводятся также во фронтальной зоне на границе слияния течений Оясио и Куроисио в Тихом океане. В Южном океане наиболее значительные аномалии температуры воды – как в результате экспериментов на модели, так и по данным наблюдений – выявлены для субантарктической фронтальной зоны, которая характеризуется квазиширотным распространением. Наибольшие вертикальные (меридиональные) градиенты температуры и наибольшие величины стандартов аномалий температуры наблюдаются здесь примерно на широте  $40 - 45^\circ$  ю.ш. В сезонном ходе наибольшие аномалии ТПО приходятся на зимние месяцы соответствующего полушария, причем сезонный ход более ярко выражен в северном полушарии, нежели в южном.

Характер изменчивости во времени аномалий ТПО также удовлетворительно воспроизводится динамико-стохастической моделью. Так, на Рис. 1.3.9 показаны построенные по данным наблюдений и по результатам 120-месячного прогона динамико-стохастической модели графики спектральной плотности аномалий ТПО в характерных 5-градусных квадратах: в зоне наибольших величин аномалий ТПО на субарктическом гидрологическом фронте южнее Ньюфаундленда – и в центральной части Атлантического океана.



**Рис. 1.3.9.** Спектральная плотность наблюдаемых (сплошные линии) и моделированных (штриховые линии) 120-месячных рядов аномалий ТПО в 5-градусных квадратах с координатами центров  $42,50$  с.ш.,  $57,50$  з.д. (1);  $42,50$  с.ш.,  $17,50$  з.д. (2)

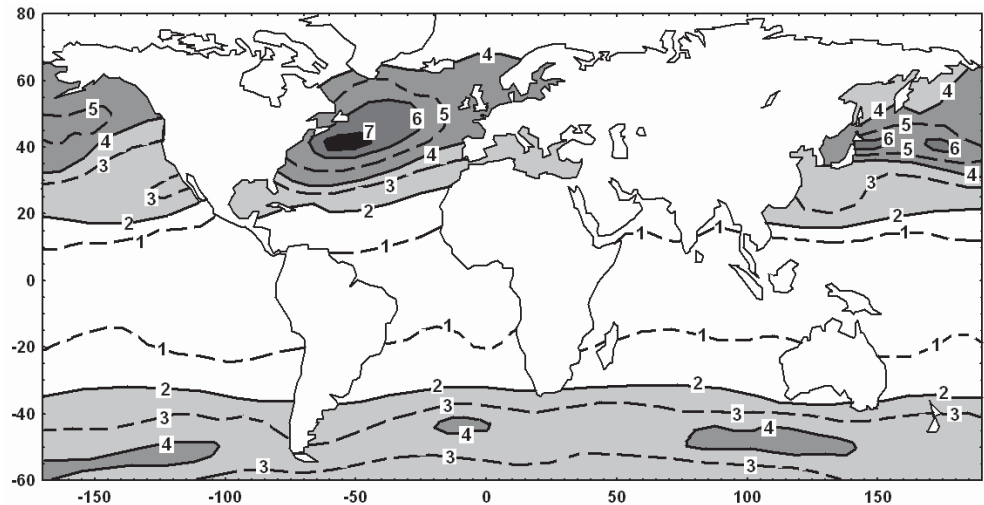
Результаты наблюдений и эксперименты при помощи динамико-стохастической модели позволяют выявить следующие закономерности формирования и эволюции аномалий ТПО (с которыми связаны и аномалии испарения) во внеэкваториальных зонах Мирового океана.

– Основную «генерирующую» роль в формировании аномалий ТПО в зонах их наибольшей интенсивности – на субарктических и субантарктическом фронтах – играют аномальные дрейфовые течения. Остальные механизмы, участвующие в формировании аномалий ТПО – горизонтальный крупномасштабный турбулентный теплообмен, вертикальный теплообмен с атмосферой, испарение с поверхности – играют в большей степени «рассасывающую» (роль отрицательных обратных связей), нежели генерирующую роль.

– Роль переноса аномалий стационарными составляющими основных океанских течений ( в Северной Атлантике – Северо-Атлантическим течением) – незначительна. Таким образом, показано, что распространенные ранее представления о «плавании» аномалий ТПО вдоль осей основных океанических течений, не соответствует действительности, и формирование аномалий ТПО носит в значительной степени локальный характер.

– В подавляющей части квадратов изменения месячных ТПО удовлетворительно описываются при помощи моделей авторегрессии первого порядка с коэффициентом от 0,5 до 0,6. Сказанное относится не только к месячным аномалиям ТПО, но и к годовым аномалиям – причем, не только в зонах основных гидрологических фронтов во внеэкваториальных акваториях Мирового океана, но и в зоне Эль Ниньо – Ла Нинья. Для анализа временной структуры аномалий ТПО в последней зоне нами был использован так называемый ряд «ТАО»: о деталях анализа ряда – см. в (Dobrovolski, 2000).

Обратимся к результатам моделирования собственно аномалий испарения с поверхности океана. Прежде всего, представляет интерес пространственное распределение интенсивности аномалий. Карта стандартов аномалий испарения,  $c (LE)$ , для января месяца показана на Рис. 1.3.10.



**Рис. 1.3.10.** Среднеквадратичные значения месячных аномалий потока теплоты испарения для января – в МДж \* м<sup>-2</sup> \* сут<sup>-1</sup>

Очевидно общее сходство, для Северной Атлантики, порядков величин и конфигурации изолиний карты на Рис. 1.3.10 и рассчитанной по данным наблюдений карты на Рис. 1.3.7б. В целом, расчеты на модели дают увеличение аномалий испарения в тех же зонах, в которых наблюдается увеличение аномалий температуры воды – причем, это касается не только месячных, но и годовых аномалий по данным проведенных нами экспериментов на протяжении 20 модельных лет. А именно, речь идет о зоне субарктических гидрологических фронтов в северных частях Атлантического и Тихого океанов и в зоне субантарктического гидрологического фронта в Южном океане. Примечательно также, что очертания изолиний стандартов аномалий температуры воды во внеэкваториальных зонах сходны с очертаниями меридиональных градиентов стационарного поля температуры воды. Это позволяет предположить, что характер пространственного распределения интенсивности аномалий испарения (и суммарного потока тепла) в большей степени определяется имеющим ярко выраженные особенности полем  $\sigma T'_S$ , чем размытым полем  $\sigma T'_a$  или полями других факторов аномального теплообмена.

Для рассмотрения сравнительной роли различных механизмов теплообмена в модели была проведена серия экспериментов с изменением ее структуры. Эксперимент, отличившийся от основного отключением возбуждения теплообмена со стороны модельной атмосферы (первое слагаемое в правой части уравнения (1.3.14), в общем реалистично воспроизвел поля  $\sigma T'_s$ ,  $\sigma(LE+H)$ . Эти расчеты показали, что в среднем более 50% изменчивости аномальной температуры воды в модели описывается возбуждением аномальной адвекцией тепла, однако в зоне субарктического фронта эта величина достигает 80% и более процентов.

В целом, подытоживая результаты экспериментов и данных наблюдений, можно сформулировать следующие предположения. (Они относятся в первую очередь к зиме северного полушария, но применимы и для "среднего" месяца, обобщенного по сезонам). Характерное пространственное распределение интенсивности аномального испарения в "промежуточных" (1мес.) масштабах времени с поверхности океана - резкая интенсификация в зоне субарктических (и субантарктических) фронтов - связано в первую очередь с полем интенсивности аномалий температуры воды. Со своей стороны, очертание изолиний поля  $\sigma T'_S$  сходно с очертаниями изолиний поля горизонтальных градиентов температуры воды соответствующего месяца (и среднегодового), а основные пространственные особенности поля  $\sigma T'_S$  определяются "переносом" средних горизонтальных градиентов температуры воды аномальными течениями. Аномальный теплообмен океана и атмосферы, особенно в районах субарктических и субантарктических фронтов, в рассматриваемых

временных и пространственных масштабах играет, по-видимому, в большей степени диссипирующую, чем генерирующую  $T_s'$ , роль.

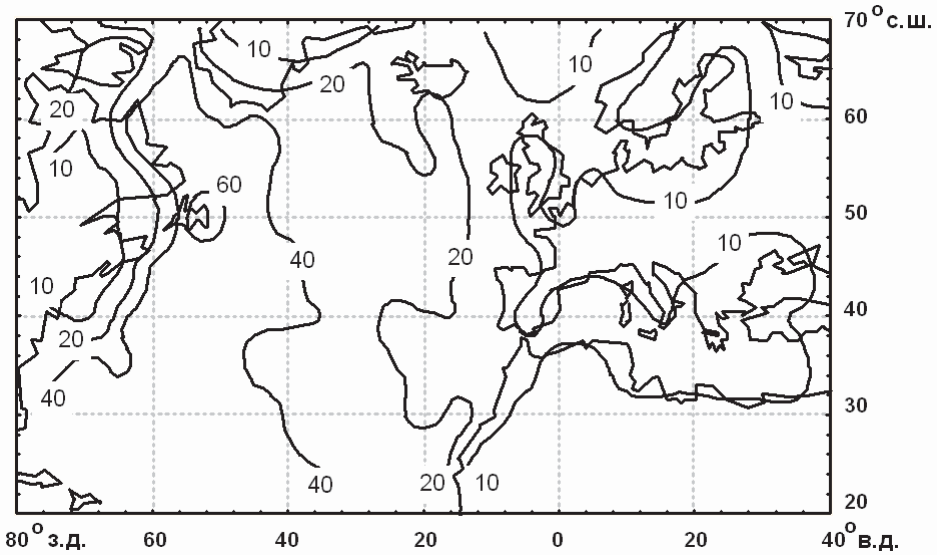
Изучение закономерностей изменений испарения с поверхности океана во времени, при помощи описанной динамико-стохастической модели, привело к следующим результатам. Почти во всех узлах расчетной сетки ряды аномалий испарения, соответствующих и «средним январям», и «средним июлям», и ряды среднегодовых аномалий удовлетворительно описывались моделями реализаций некоррелированных случайных величин. Очевидно, на структуру рядов испарения белошумность изменений скорости ветра у поверхности в экспериментах повлияла в большей степени, чем «красношумность» аномалий температуры воды. Этот результат соответствует результатам, полученным при анализе рядов испарения, рассчитанных по данным судов погоды – а также результатам анализа глобально осредненных рядов испарения, полученных по данным реанализа.

Отметим также, что результаты экспериментов на модели не продемонстрировали «плавания» аномалий испарения – так же, как аномалий температуры воды – вдоль осей основных стационарных течений в океане. И в том, и в другом случае характер возникновения и исчезновения аномалий носит скорее «локальный» характер и обусловлен в первую очередь аномалиями скорости ветра.

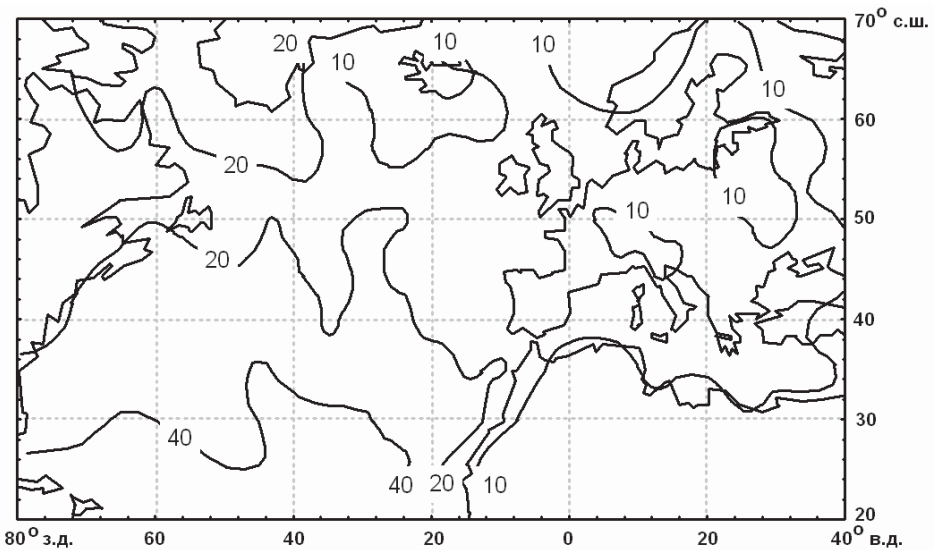
Для оценки роли обратного воздействия аномалий ТПО на тропосферу нами в течение 240 модельных месяцев рассчитывались поля аномальной температуры тропосферы и аномальных осадков, образующихся за счет "чисто океанического" эффекта – воздействия аномалий ТПО посредством аномального испарения и турбулентного потока тепла. При этом к океанической части модели подсоединялась модель тропосферы Дж. Адема (Mendoza et al., 2009). Используемая сетка узлов совпадала с сеткой узлов, использованных при генерировании погодного возбуждения и была описана выше. Модель тропосферы Дж. Адема учитывает следующие физические процессы: аккумулярование тепла воздухом тропосферы, адвекция средним (климатологическим) ветром, горизонтальный крупномасштабный турбулентный теплообмен, радиационное нагревание или охлаждение облачного слоя, радиационный баланс воздуха тропосферы, аномальный турбулентный вертикальный тепловлагообмен на границе океана и атмосферы, конденсация влаги в облаках.

На Рис. 1.3.11 и 1.3.12 показаны характерные поля аномалий осадков «январского» и «июльского» модельных экспериментов, возникающие за счет исключительно аномалий ТПО. Рисунки показывают, что влияние аномалий температуры воды (в основном – в северной Атлантике) на изменение осадков над Европой, в том числе над европейской территорией Российской Федерации чрезвычайно мало – порядка 10% или менее. Эффект аномалий ТПО над самой акваторией океана существенно больше, однако и здесь преобладает лишь в очень ограниченном по площади районе – вблизи района





**Рис. 1.3.11.** Характерный процент месячных аномалий осадков за счет аномального испарения с поверхности океана. 12-й месяц «январского» эксперимента на динамико-стохастической модели взаимодействия океана и атмосферы



**Рис. 1.3.11.** Характерный процент месячных аномалий осадков за счет аномального испарения с поверхности океана. 12-й месяц «июльского» эксперимента на динамико-стохастической модели взаимодействия океана и атмосферы

наибольших по размерам аномалий ТПО, в районе максимальных горизонтальных градиентов температуры воды у Ньюфаундленда. Очевидно также, что роль аномалий ТПО в формировании аномальных осадков существеннее в зимних условиях, чем в летних условиях – в том числе, вследствие того, что сами стандарты аномалий ТПО зимой достигают наибольших значений.

Указанные карты свидетельствуют также о том, что, как и в случае с аномалиями ТПО, эффект температуры воды носит локальный характер и не «переносится» вдоль основных стационарных воздушных потоков.

## 1.4. Изменения осадков и горизонтального влагопереноса в атмосфере

### 1.4.1. Глобальные изменения осадков и горизонтального влагопереноса

*Глобальные изменения осадков над океаном.* Как и при анализе глобально осредненного испарения с поверхности океана, будем ориентироваться в основном на результаты проекта «20 Century». На рис. 1.4.1 изображены соответствующие изменения в период с 1871 по 2012 г. Как отмечалось выше, достоверность такого рода реконструкций в ранние десятилетия вызывают большие сомнения, однако наиболее общие свойства полученных в результате реанализа рядов для многих рядов сходны и заключаются в следующем.

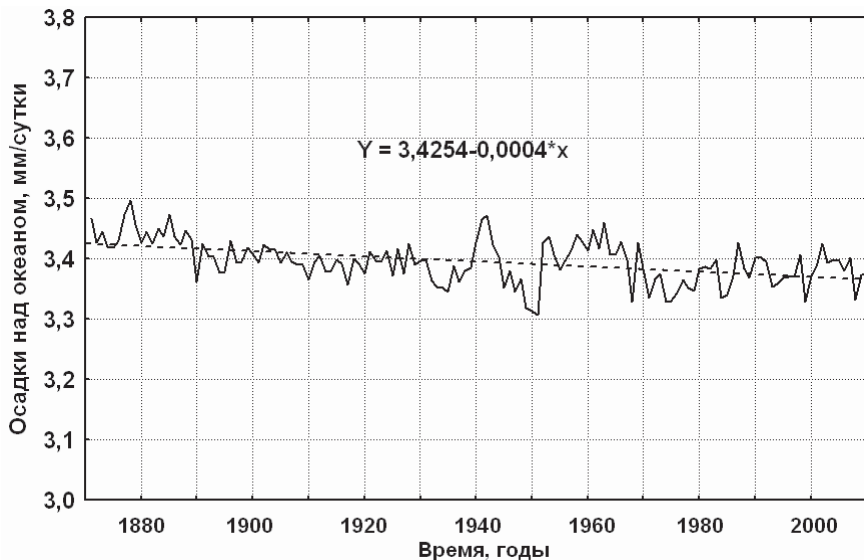


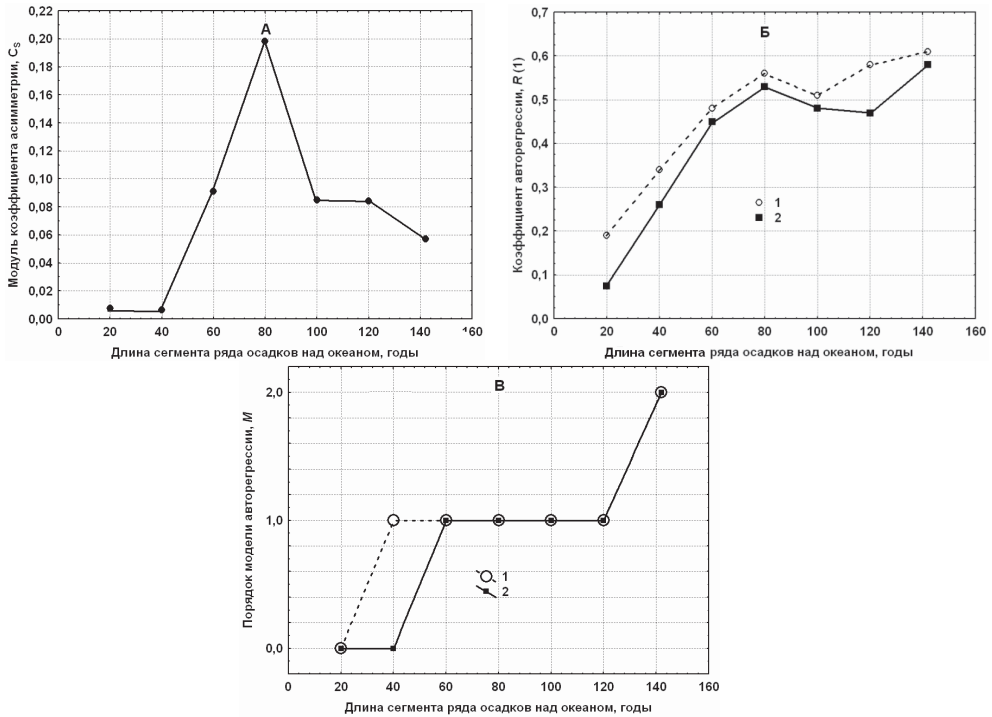
Рис. 1.4.1. Изменения средних годовых осадков над Мировым океаном по данным проекта «20 Century»

Прежде всего, обращает на себя внимание чрезвычайно малая величина относительной изменчивости ряда: коэффициент вариации ряда годовых величин осадков  $C_V$  составляет для периода 1871 – 2012 гг. всего 0,011. Характерна также (и не удивительна для такого небольшого  $C_V$ ) малая величина коэффициента асимметрии  $C_S$ : всего 0,057. В случае осадков, как и для других рассматриваемых в настоящей работе параметров водообмена, по-видимому имеет место эффект приближения процессов, в климатических масштабах времени, к гауссовским – при пространственном осреднении. Этот эффект достигается путем частичного взаимного балансирования аномалий разных знаков из-за ограниченного пространственного корреляционного радиуса синоптических образований в атмосфере (подробнее об этом – см. в (Dobrovolski, 1992; 2000)). Таким образом, на примере глобально осредненных изменений осадков налицо реализация Центральной предельной теоремы.

Существенно также то, что (как и для других составляющих глобального водообмена) длиннопериодные изменения осадков сравнительно невелики. В последнее время распространено мнение о том, что отмечающееся глобальное потепление должно сопровождаться общей интенсификацией глобального гидрологического цикла и всех его составляющих. Однако, линейная интерполяция графика на рис. 7 дает не увеличение, а уменьшение глобальных осадков над океаном за более чем 140 лет. В то же время, это уменьшение чрезвычайно невелико: коэффициент уравнения линии регрессии составляет всего -0,0004, что означает уменьшение осадков за 142 года менее чем на 0,06 мм/сутки (что меньше, чем точность оценки средних осадков над океаном).

В отношении более тонких деталей изменчивости осадков ряд на Рис. 1.4.1 менее однороден. На Рис. 1.4.2 показаны изменения параметров ряда при переходе от сегментов, включающих ранние, менее достоверные данные, к более поздним и более адекватным сегментам ряда. При этом переходе ряд, очевидно, приближается к реализации гауссовского белого шума – нормально распределенного некоррелированного по времени процесса. Наиболее быстро из всех представленных на Рис. 1.4.2 параметров, при приближении сегментов ряда к поздним отрезкам времени стремится к нулю  $C_V$ .

Рассмотрим изменения осадков над океаном в промежуточном масштабе – по месячным данным. Уже визуальное рассмотрение ряда месячных величин осадков над Мировым океаном (рис. 1.4.3а) показывает, что наличие в нем четко выраженного сезонного хода не очевидно. В этом заключается отличие указанной компоненты глобального водообмена от всех остальных, рассматриваемых в настоящей работе. Причиной этого может быть крайняя изменчивость осадков, их чрезвычайная мозаичность, меньшая зависимость от температур (по сравнению с испарением) в сочетании с тем обстоятельством, что контраст между северным и южным полушариями для океана не так значителен, как для суши – подавляющая часть которой расположена к северу от экватора.



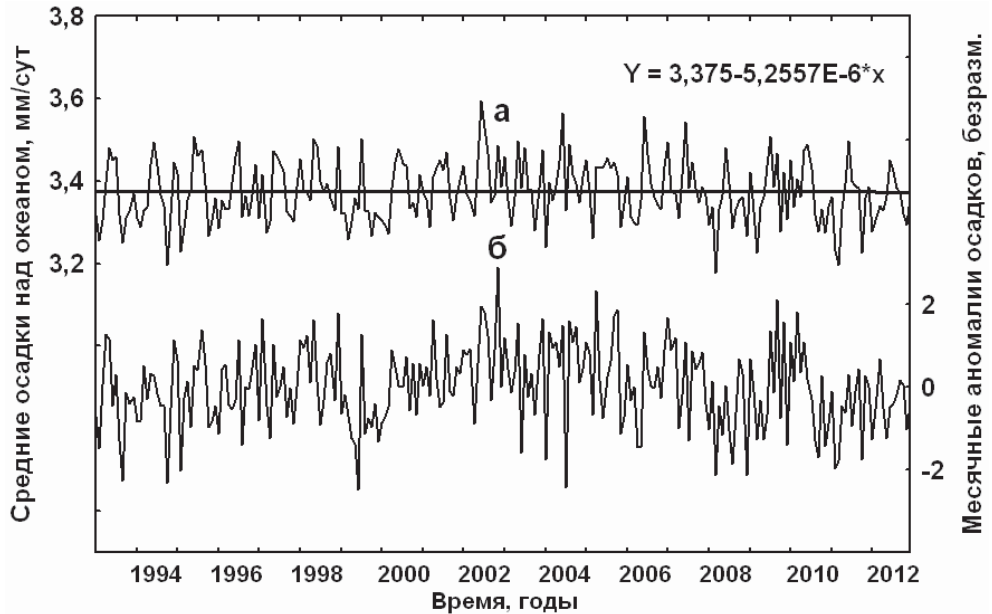
**Рис. 1.4.2.** Изменения параметров сегментов рядов глобальных осадков над океаном (проект «20 Century») при переходе от максимальной длины ряда к более поздним сегментам. а – коэффициент асимметрии  $C_s$ ; б – коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год  $R(1)$ ; в – порядок авторегрессионной модели  $M$ . На графиках б и в: 1 – расчеты по исходным рядам, 2 – по рядам, пересчитанным в выборочные значения гауссовских величин

Действительно: расчеты показывают, что средний сезонный ход осадков над океаном не так выражен, как для других характеристик: его амплитуда составляет всего 0,18 мм/сут., что примерно в 20 раз меньше средней величины осадков. Еще менее выражен средний сезонный ход стандартов месячных аномалий осадков: его амплитуда на 2 порядка меньше средней величины осадков. Формально рассчитанный ряд (по той же схеме, что в предыдущем разделе) показан на рис. 1.4.3б.

Показательно, что анализ рядов на рис. 1.4.3а и 1.4.3б дает сходные результаты: для описания обоих подходит модель реализации гауссовского белого шума.

Невелики общие изменения осадков над океаном за 240-месячный период: коэффициент соответствующей модели равен -0,00000526, что означает изменение осадков за 20 лет на статистически незначимую величину 0,0013 мм/сутки. Заметим также, что анализ глобально осредненных осадков

приводит к похожим результатам. Например, оценка первого коэффициента авторегрессии по ряду последних 20 годовых значений для глобальных осадков составила статистически незначимую величину 0,13.

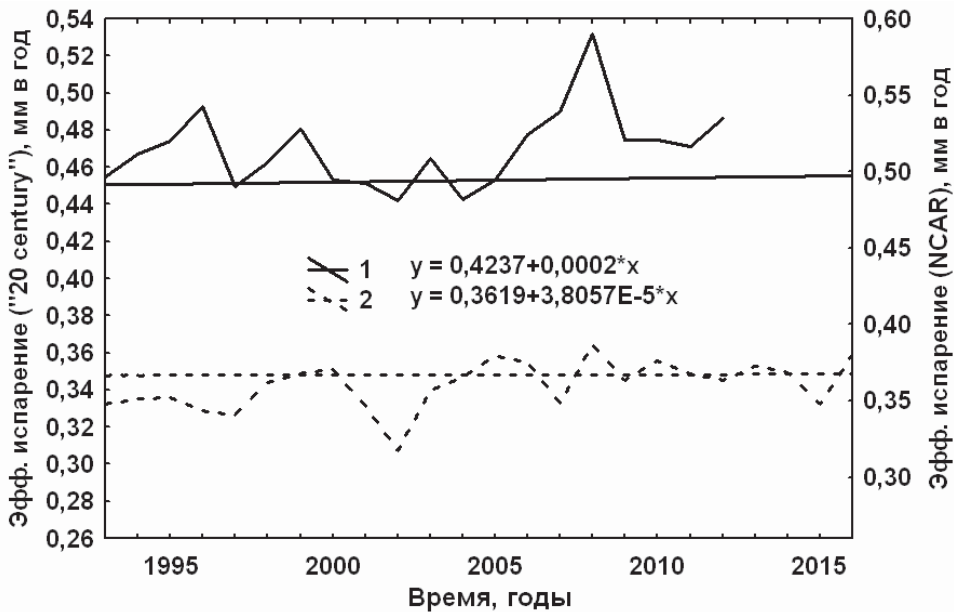


**Рис. 1.4.3.** а – изменения средних месячных значений осадков над Мировым океаном по данным проекта «20 Century» (левая шкала). Прямая линия – линейная аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов, соответствующее уравнение – в правом верхнем углу графика. б – месячные аномалии осадков над Мировым океаном – с отфильтрованным средним сезонным ходом средних значений и с нормированием на средние стандарты отклонений от среднего соответствующих календарных месяцев (правая шкала)

**Глобальные изменения горизонтального влагопереноса в атмосфере.** При наибольшем, из всех возможных, пространственном обобщении «глобальный» горизонтальный перенос влаги в атмосфере можно трактовать как результирующий перенос влаги с океана на материки. При таком подходе расчет горизонтального влагопереноса был бы эквивалентен применению так называемого «аэрологического метода в гидрологии», но не для конкретных речных бассейнов или территорий, а для всей суши в целом. Однако, расчеты, аэрологическим методом, переноса влаги на сушу вряд ли осуществля-

лись в связи с редкой сетью аэрологических станций вдоль берегов Мирового океана и уменьшением частоты наблюдений на них, начиная с конца 1960-х годов.

Вместе с тем, оценкой годовых или месячных величин влагопереноса с океана на сушу могут служить величины разностей «испарение с поверхности океана минус осадки над акваторией океана»: эта разность в конечном итоге оказывается над сушей. То есть, в данном случае решается задача, обратная задаче, стоящей перед аэрологическим методом в гидрологии. Такого рода расчеты были осуществлены, и соответствующие ряды были построены в рамках настоящей работы.

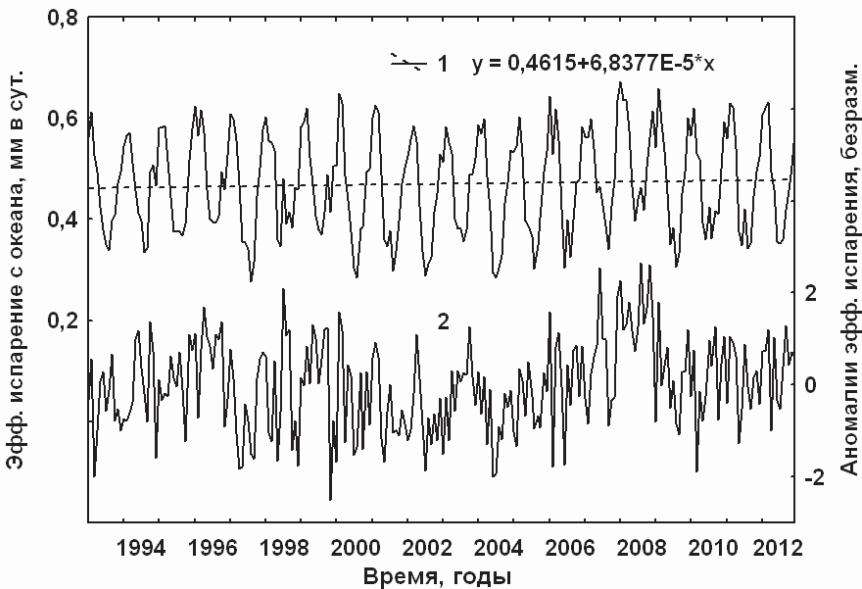


**Рис. 1.4.4.** «Эффективное» испарение с поверхности мирового океана (испарение минус осадки), средние годовые величины. 1 – по данным проекта «20 Century» (левая шкала), 2 – по данным проекта NCEP/NCAR (правая шкала). Линейные уравнения приведены для условного начала рядов в 1870 г.

Рассматриваемый параметр (эквивалентный «эффективному испарению с поверхности океана», ЭИСПО) представляется оцениваемым с наибольшими ошибками из всех параметров, рассматриваемых в настоящей работе. Достаточно сказать, что парный коэффициент корреляции, при сравнении ряда «20 Century» и ряда «NCEP/NCAR» по перекрывающимся сегментам, с 1948 по 2012 г., равен -0,29 (!). Вместе с тем, эти же ряды иллюстрируют прогресс в оценивании компонентов глобального водообмена методом реанализа, достигнутый в последние десятилетия: парный коэффициент корреляции для периода 1993 – 2012 г. составляет уже 0,41. О сравнительно

меньшей надежности оценок ЭИСПО косвенно свидетельствует и то обстоятельство, что коэффициент вариации здесь на один – полтора порядка выше, чем для рассмотренных выше рядов испарения с поверхности океана. Ввиду того, что реконструкции ЭИСПО за ранние десятилетия представляются неадекватными, на Рис. 1.4.4 помещены графики только для сегментов, начинающихся с 1993 г.

Несмотря на несовершенство рассматриваемых рядов, обращает на себя внимание то обстоятельство, что в целом изменения ЭИСПО во времени сравнительно невелики. Так, для ряда «20 Century» время входит в линейное уравнение с коэффициентом 0,00020 мм/год, а для ряда NCEP/NCAR лишь 0,000038 мм/год (нулем оси времени считается в обоих случаях 1870 год). Очевидно также, что для поздних сегментов рядов, изображенных на Рис. 1.4.4, коэффициент вариации существенно меньше, в полтора-два раза, чем для полных рядов. Несмотря на значительные ошибки, содержащиеся в рядах ЭИСПО, результаты анализа последних десятилетий сходны. Последние 20 лет ряда годовых значений ЭИСПО – как ряда «20 Century», так и ряда NCEP/NCAR – описываются реализацией некоррелированного по времени случайного процесса, белого шума.

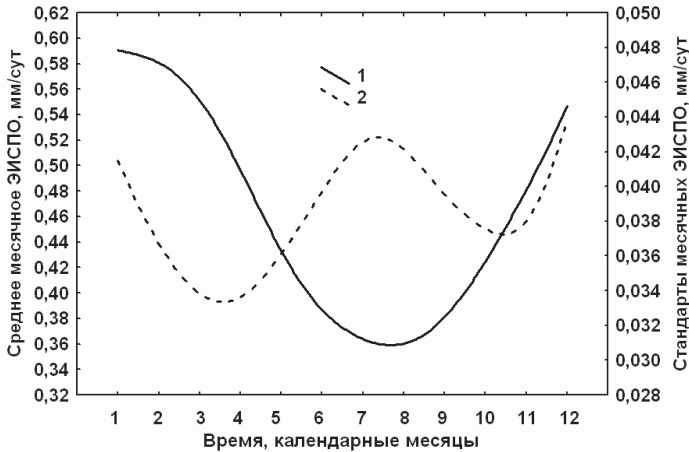


**Рис. 1.4.5.** 1 – средние месячные значения эффективного испарения с поверхности мирового океана (испарение минус осадки), левая шкала. 2 – нормированные месячные аномалии эффективного испарения, правая шкала. Прямая штриховая линия – линейная аппроксимация ряда 1 методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Соответствующее уравнение – в верхней правой части рисунка

Представляет интерес анализ изменений эффективного испарения с поверхности океана (в нашей трактовке эквивалентного горизонтальному пе-

реносу влаги в атмосфере с океана на сушу) в «промежуточном» - по К.Хассельманну – масштабе времени, порядка 1 мес. На Рис. 1.4.5-1 показаны месячные значения рассматриваемого параметра за период с января 1993 г. по декабрь 2012 г. в интерпретации проекта «20 Century». На этом же графике прямой линией обозначен график линейной регрессии, подогнанной к ряду методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Характерно то, что коэффициент соответствующего уравнения чрезвычайно мал – менее 0,00007 мм/сутки в месяц.

Для дальнейшего анализа целесообразно отфильтровать средний сезонный ход из ряда месячных ЭИСПО – см. Рис. 1.4.6. Из рисунка видно, что между сезонными изменениями испарения (см. Рис. 1.3.4) и «эффективного испарения» с поверхности океана имеется частичное сходство: в обоих случаях минимум наблюдается в холодное время года южного (наиболее «океанического») полушария – правда, в случае ЭИСПО минимум смещен с сентября к концу июля – началу августа. Летом южного полушария наблюдается рост обоих параметров. В сущности, сходны и графики сезонного хода стандартов месячных аномалий испарения и эффективного испарения. Лишь второй минимум последнего смещен с декабря к октябрю – ноябрю.



**Рис. 1.4.6.** 1 – средний годовой ход эффективного испарения с поверхности океана (левая шкала). 2 – средний годовой ход стандартов отклонений эффективного испарения от средних сезонных значений (правая шкала). Обе кривые сглажены по точкам, соответствующим календарным месяцам, методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

Ряд нормированных месячных аномалий эффективного испарения построен на рис. 1.4.5.2 путем вычитания из ряда на рис. 1.4.5.1 сезонного хода средних значений и последующего деления на средние стандарты эффективного испарения календарных месяцев.



Анализ ряда на рис. 1.5.3-2 показывает, прежде всего, что оценка плотности вероятности процесса, реализацией которого предполагается ряд, близка к плотности нормального распределения: коэффициент асимметрии,  $C_S$ , составляет всего 0,042. Порядки модели авторегрессии, подогнанной к ряду месячных аномалий ЭИСПО равны нулю – как для исходного ряда, так и для ряда, пересчитанного в выборочные значения гауссовских случайных величин. Такое совпадение не удивительно, учитывая малое значение  $C_S$ .

**Глобальные изменения осадков над сушей.** Нами были проанализированы реконструкции рядов суммарных (средних) осадков над сушей, полученные в ходе выполнения четырех проектов (последний – в двух вариантах). Характеристики рядов и их статистические параметры представлены в Таб. 1.4.1.

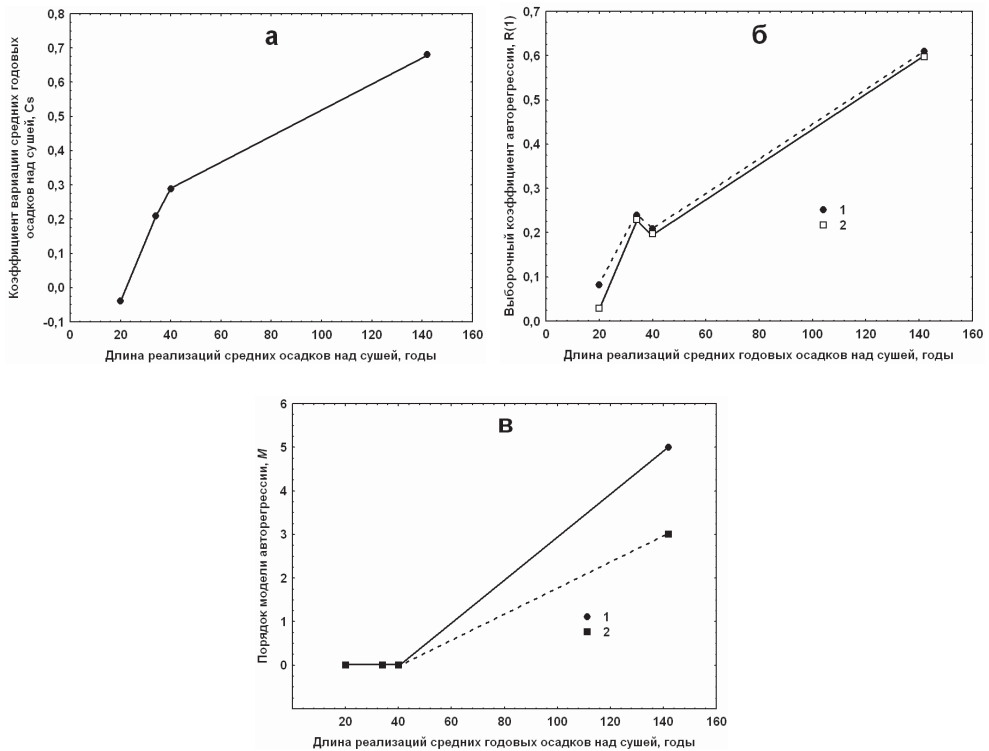
**Таблица 1.4.1.** Характеристики рядов, начиная с 1979 г., средних годовых величин осадков над сушей.  $K$  – коэффициент линейного уравнения, аппроксимирующего ряд

Проект	Даты	Среднее, мм/сут.	К-т асимметрии, $C_S$	Экссесс	$K$ мм/сут/год
20 Century	1979-2012	2,340	0,0790	0,035	+0,002
NCEP/NCAR	1979-2016	2,297	0,3328	-0,370	+0,003
GPCP	1979-2015	2,058	-0,4113	-0,280	-0,001
CMAP	1979-2016	1,801	0,2352	0,215	0,000

Необходимо отметить, что указанные в таблице 1.4.1 ряды значительно отличаются друг от друга уже в отношении средних многолетних значений осадков. Представляется, что проекты GPCP, CMAP сильно занижают средние осадки над сушей. По этой и другим причинам в работе (Малинин, Гордеева, 2016) рекомендуется использовать первые два ряда из таблицы 1.4.1. Нами были также оценены коэффициенты парной корреляции между рядами из таблицы 1.4.1. Наибольшая взаимная коррелированность присуща первым двум рядам: +0,66. Коррелированность остальных рядов друг с другом и с первыми двумя рядами существенно ниже – вплоть до 0,36; 0,39. В целом, первые два ряда выглядят более однородными. В свою очередь, более предпочтительным из них выглядит ряд проекта «20 Century» - как более длинный и близкий к естественному, для процедуры получения таких рядов,

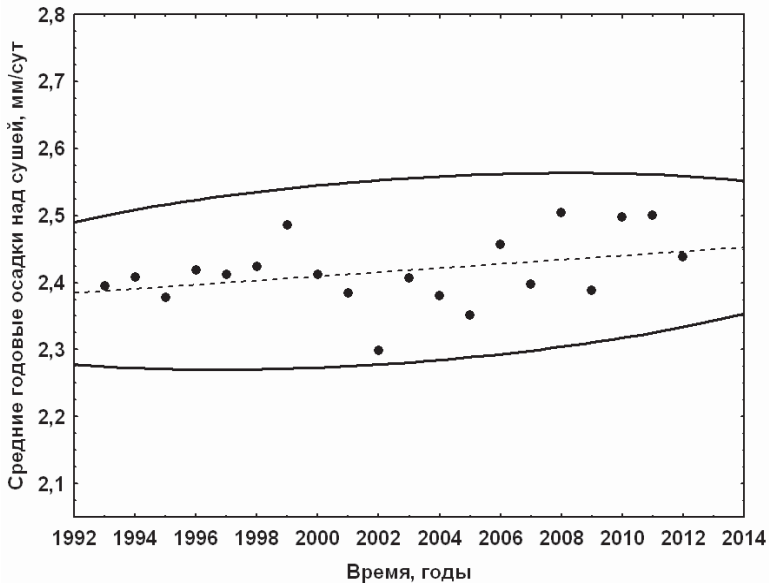
нормальному распределению: его асимметрия в разы меньше, чем асимметрия других рядов, а эксцесс относительно нормального практически нулевой и на порядок меньше по сравнению с другими рядами. Добавим, в заключение, что все ряды из таблицы 1.4.1 демонстрируют лишь незначительные изменения среднего значения за последние десятилетия (напомним, что этот период – начиная с 1970-х годов – характеризуется наибольшим видимым увеличением глобальной температуры). А именно: коэффициент линейного уравнения  $K$  в среднем составляет лишь около 0,001 мм/сутки за год.

На примере наиболее длинного ряда, проекта «20 Century», на Рис. 1.4.7 представлены изменения, в зависимости от сегмента ряда, коэффициента асимметрии, первого коэффициента авторегрессии и порядка модели авторегрессии. Очевидно, что для последних, наиболее достоверно оцениваемых, сегментов ряда, он приближается к реализации гауссовского белого шума. Напомним, что такая же картина наблюдалась в отношении глобально осредненного испарения с поверхности океана.



**Рис. 1.4.7.** Изменения параметров сегментов рядов осадков над сушей («20 Century») при переходе от максимальной длины ряда к более поздним сегментам ряда. а – коэффициент асимметрии  $C_s$ ; б – коэффициент автокорреляции  $R(1)$ ; в – порядок авторегрессионной модели  $M$ . 1 – расчеты по исходным рядам, 2 – анализ рядов, пересчитанных в выборочные значения гауссовских величин

Приведем график изменений осредненных осадков над сушей именно для последнего 20-летнего сегмента ряда проекта «20 Century» (Рис. 1.4.8). Из рисунка видно, что изменения средних значений чрезвычайно малы по сравнению с разбросом точек: ширина 95%-ного эллипса рассеяния намного превосходит эти изменения.

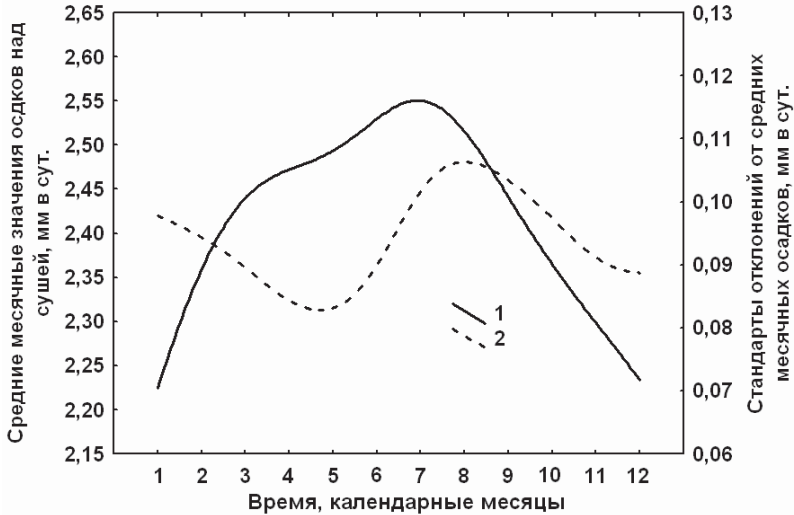


**Рис. 1.4.8.** Изменения годовых осадков над сушей. Проект «20 Century». Линия регрессии подобрана методом наименьших средних квадратов. Сплошная линия – 95%-ный эллипс рассеяния.

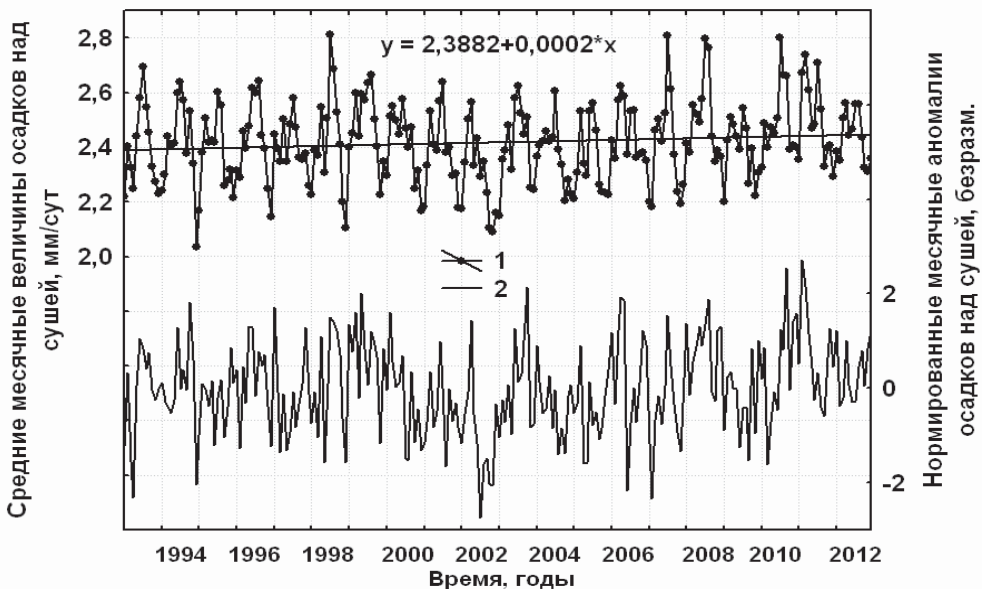
Перейдем к рассмотрению изменений месячных величин осадков. На Рис. 1.4.9.1 показан средний сезонный ход, за период 1993-2012 гг., средних месячных величин осадков над сушей и стандартов отклонений от этих величин (по данным проекта «20 Century»). Обращает на себя внимание то, что средний сезонный ход осадков над сушей находится практически в противофазе с средним сезонным ходом влагопереноса с океана на сушу (график на рис. 1.4.6.1). Это может свидетельствовать о существенном перемещении влаги с южного полушария к северу на протяжении лета северного полушария. Такое перемещение может происходить вместе со сдвигом на север экваториальной и приэкваториальной климатических зон, в пределах которых наблюдаются максимальные осадки. Максимум изменчивости осадков (Рис. 1.4.9.2) запаздывает относительно максимума самих осадков на 1 – 1,5 месяца и приходится на конец лета – начало осени северного полушария.

На Рис. 1.4.10.1 показан ряд месячных аномалий осадков, осредненных по поверхности свободной ото льда суши. Ряд нормированных месячных

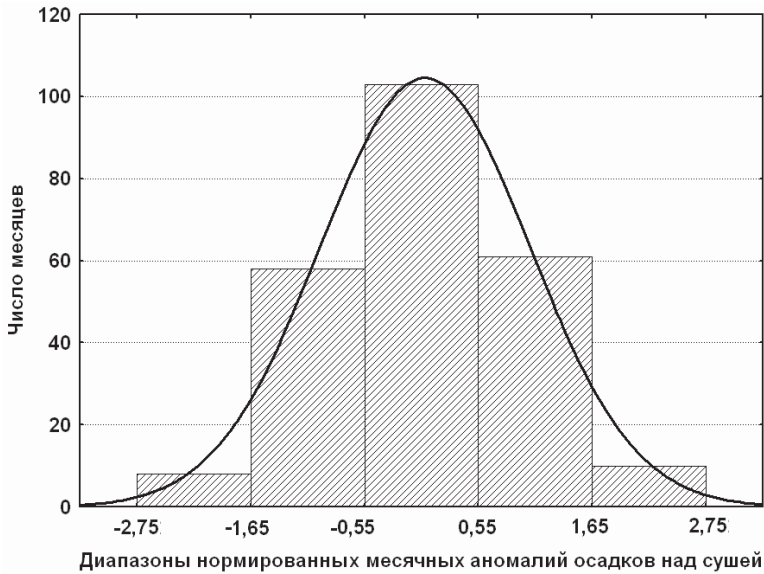
аномалий осадков (рис. 1.4.10.2) был рассчитан путем вычитания из ряда на рис. 1.4.10.1 среднего сезонного хода (рис. 1.4.9.1) и последующего деления на значения стандартов соответствующих календарных месяцев (рис. 1.4.9.2).



**Рис. 1.4.9.** 1 – средний годовой ход осадков над свободной то льда сушей (левая шкала). 2 – средний годовой ход стандартов отклонений осадков над сушей от средних сезонных значений (правая шкала). Обе кривые сглажены по точкам, соответствующим календарным месяцам, методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов



**Рис. 1.4.10.** То же, что рис. 1.4.5, но для осадков над сушей



**Рис. 1.4.11.** Гистограмма плотности вероятности нормированных месячных аномалий осадков над сушей, январь 1993 – декабрь 2012 г. Данные проекта «20 Century». Сплошная кривая соответствует теоретическому нормальному распределению

Анализ ряда показывает, что он близок к реализации гауссовского процесса: коэффициент асимметрии составляет лишь 0,010, эксцесс близок к эксцессу нормального распределения: 3,09 (превышение над нормальным составляет лишь 0,09). Соответственно, гистограмма, являющаяся оценкой плотности вероятности, идеально соответствует нормальному распределению (рис. 1.4.11).

Вместе с тем, структура изменений во времени рассматриваемого ряда отличается от структуры предыдущих рядов: ряд описывается реализацией процесса авторегрессии первого порядка со значениями коэффициента 0,34 (для ряда на рис. 1.6.4-2) и 0,33 (для ряда, строго пересчитанного в выборочные значения гауссовской случайной величины). Причем, указанные значения  $R(1)$  не меняются статистически значимо во времени: индекс стационарности  $R(1)$ ,  $I_{SR}$  составляет +0,04 (для строго стационарного процесса модуль этого индекса равен единице).

#### 1.4.2. Региональные изменения осадков и горизонтального влагопереноса в атмосфере

**Изменения осадков.** Динамико-стохастическая модель и полученные при помощи нее результаты, связанные с атмосферным гидрологическим циклом, были рассмотрены в разделах 1.3.3 и 1.3.4. Напомним вкратце, что

модель не подтвердила широко распространенное ранее мнение о «плавании» аномалий температуры воды (основного океанического фактора испарения, находящегося в самом начале цепи глобального гидрологического цикла) и «плавании» аномалий осадков вдоль основных стационарных – соответственно, океанических и атмосферных – течений. Эксперименты на модели воспроизвели скорее локальную природу возникновения и «рассасывания» аномалий характеристик атмосферного влагообмена, возбуждаемых в основном аномальными полями скорости ветра.

Ниже остановимся более подробно на анализе стохастической структуры наблюдаемых локальных и региональных изменений осадков и горизонтального атмосферного влагопереноса.

В отличие от рядов других составляющих водного баланса атмосферы в локальном масштабе – испарения и влагопереноса – ряды изменений осадков несравненно более многочисленны и более продолжительны: осадки регистрировались на тысячах метеорологических станций (естественно, в основном в пределах материков). Автором был осуществлен анализ, при помощи предложенных автором методик, рядов месячных и годовых осадков на 498 станциях: в качестве примера – ряд на Рис. 1.4.12.

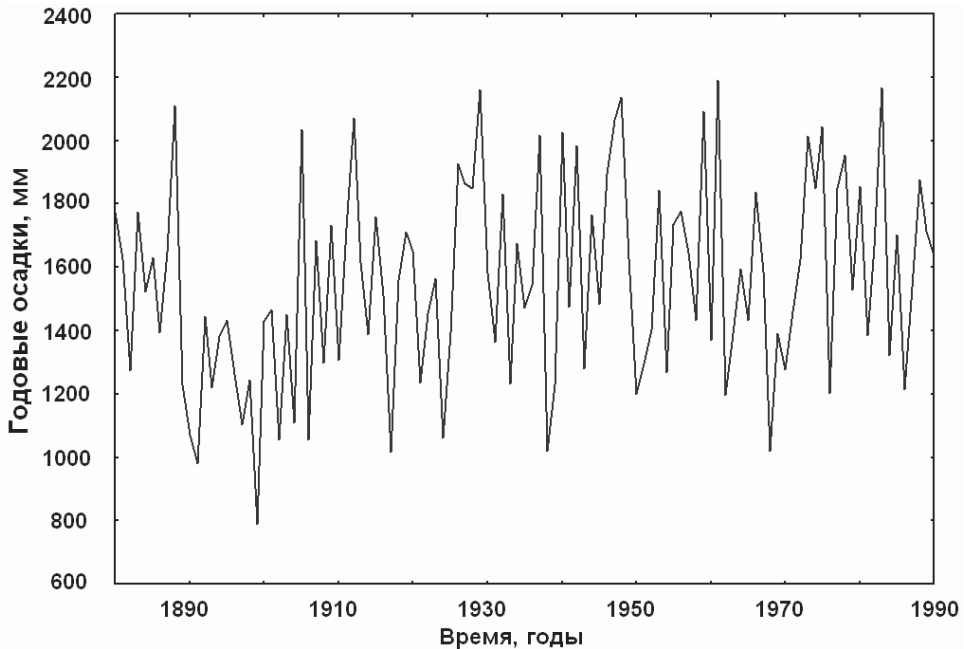
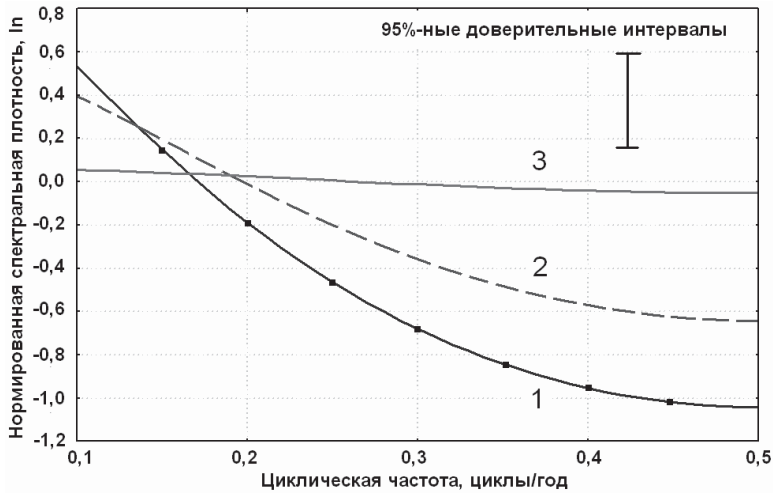


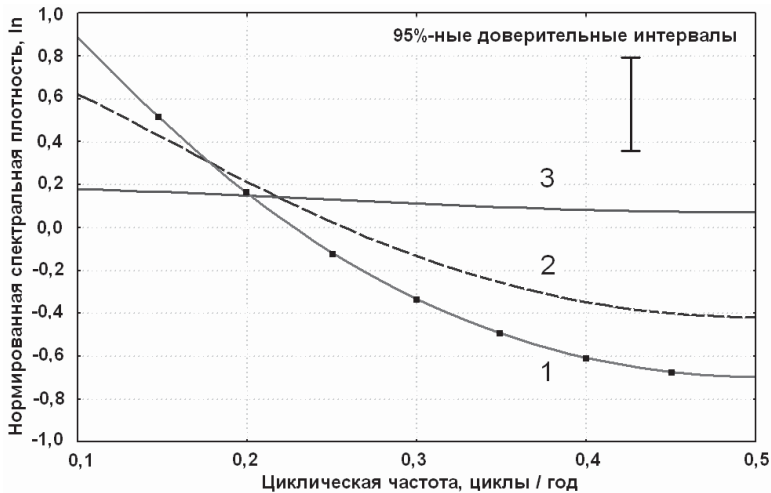
Рис. 1.4.12. Изменения годовых сумм осадков в Новом Орлеане, в мм/год

Основные результаты анализа таковы. Подавляющее большинство рядов осадков на конкретных станциях удовлетворительно описываются при

помощи реализаций процессов авторегрессии первого порядка, при этом типичные значения коэффициента – от 0,1 до 0,3 как для рядов годовых значений, так и для рядов месячных аномалий. Соответственно, типичная форма графиков спектральной плотности – плавное уменьшение с увеличением частоты вплоть до частоты Найквиста.



**Рис. 1.4.13.** Оценки нормированной спектральной плотности температуры у поверхности (1), атмосферного давления у поверхности (2), осадков (3) в Новом Орлеане (США)



**Рис. 1.4.14.** То же, что Рис. 1.4.13, но с использованием метода низкочастотного усечения нормированных спектральных плотностей

Представляет интерес сравнительный анализ рядов различных характеристик атмосферы – в первую очередь, температуры воздуха, атмосферного давления и осадков. В качестве примера на Рис. 1.4.13 и 1.4.14 показаны графики спектральной плотности указанных трех параметров, наблюдаемых в Новом Орлеане за более чем столетний период. Наблюдения охватывают годы 1880 – 1990, то есть, до периода предполагаемых максимальных значений концентрации парниковых газов в атмосфере и глобальной температуры воздуха. Таким образом, можно надеяться на то, что ряд в определенной степени отражает естественные изменения в атмосфере.

Как для рассматриваемого пункта, так и для других станций характерно то, что автокоррелированность температуры воздуха и атмосферного давления существенно превышает автокоррелированность осадков. Это отражается в расслоении спектральных плотностей изменений указанных характеристик.

На Рис. 1.4.13 показаны графики спектральной плотности температуры воздуха, атмосферного давления и осадков, оцененных при помощи традиционного метода наибольшей энтропии. Очевидно, что все три графика существенно отличаются друг от друга в области высоких частот (соответствующих периодам около 2 – 3 лет). На Рис. 1.4.14 те же графики построены предложенным автором методом низкочастотного усечения нормированных спектров (см. Dobrovolski, 2000). Суть метода заключается в том, что при нормировании спектральных плотностей, необходимом для сравнения графиков разных характеристик, деление на дисперсию осуществляется без учета той части дисперсии, которая сосредоточена на близких к нулю частотах – о которых мы ничего не можем сказать, учитывая ограниченную длину имеющихся рядов и которые, таким образом, привносят наибольшие ошибки в оценки спектральных плотностей.

Применение указанного метода приводит к тому, что разница между спектральными плотностями температуры и давления существенно уменьшается и меньше ширины доверительного интервала разумного уровня значимости. В то же время, спектральная плотность изменений осадков продолжает существенно отличаться от спектральной плотности двух других характеристик; соответствующий график близок к горизонтальной линии. При этом коэффициент корреляции между значениями осадков смежных лет невелик и составляет около 0,11.

Другое отличие изменений осадков от изменений температуры воздуха и атмосферного давления – намного большая асимметрия первых. Для аппроксимации плотности вероятности годовых осадков на конкретных станциях используются распределения Пирсона, логнормальное, композиции распределения Пуассона и другие – обзор работ такого плана дан в (Dobrovolski, 1992).

Представляет интерес вопрос о пространственной коррелированности полей осадков. Соответствующий обзор также дан в монографии (Dobrovolski, 1992).



ski, 1992). Основные результаты исследований заключаются в том, что в умеренных широтах поле осадков существенно анизотропно – коррелированность годовых сумм осадков в меридиональном направлении существенно меньше, чем в широтном. Пространственная коррелированность, для умеренных широт, больше в зимний период северного полушария, чем в летний: для широт от 35 до 45° с.ш. она достигает 0,5 в среднем при расстоянии 750 км между пунктами по широте в первом случае и около 1200 км во втором.

Пространственная коррелированность месячных сумм осадков существенно меньше (корреляционный радиус измеряется сотнями километров) и находится в сильной зависимости от природной зоны: постоянно уменьшается при переходе от зоны тундры и тайги к зоне смешанных лесов и степей.

**Изменения горизонтального влагопереноса в атмосфере.** В отличие от работ, посвященных изменениям осадков, работы в области изменений горизонтального влагопереноса в атмосфере сравнительно немногочисленны. Поэтому остановимся на этом вопросе более подробно.

Наиболее качественные результаты были получены при помощи данных об атмосферном влагопереносе над территорией бывшего СССР за десятилетие 1961 – 1970 гг., рассчитанных группой Л.П.Кузнецовой в Институте водных проблем. Уникальность использованных Л.П.Кузнецовой данных заключается в том, что за упомянутое десятилетие частота запуска шаровзондов на аэрологических станциях была в 2 раза больше, чем в последующее время. Указанные данные были проанализированы Е.С.Ярошем – с использованием методики, предложенной автором. Результаты работы интерпретировались совместно Л.П.Кузнецовой, Е.С.Ярошем и автором. Исследование, в основном, свелось к следующему.

Использованы данные по 42 станциям аэрологического зондирования на территории СССР за 120 месяцев с января 1961 по декабрь 1970 гг. Анализировались месячные значения шести характеристик зональной  $F_{x,850}$  и меридиональной  $F_{y,850}$  составляющих влагопереноса на уровне 850 мбар, абсолютная влажность воздуха на этом же уровне  $a_{850}$ , составляющие суммарного переноса влаги в атмосфере  $F_x$ ,  $F_y$  и суммарное влагосодержание атмосферы  $q$ . Указанные величины связаны следующим образом:

$$F_{x,y,850} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i,850} v_{x,y,850}^i \cdot a_{850} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i,850} ; F_{x,y} = \int_0^h F_{x,y,h} dh$$

$$q = \int_0^H a_h dh ,$$

где  $a_i$  и  $v_i$  – мгновенное значение абсолютной влажности воздуха и составляющей скорости ветра на определенном уровне в данный срок наблюдений;

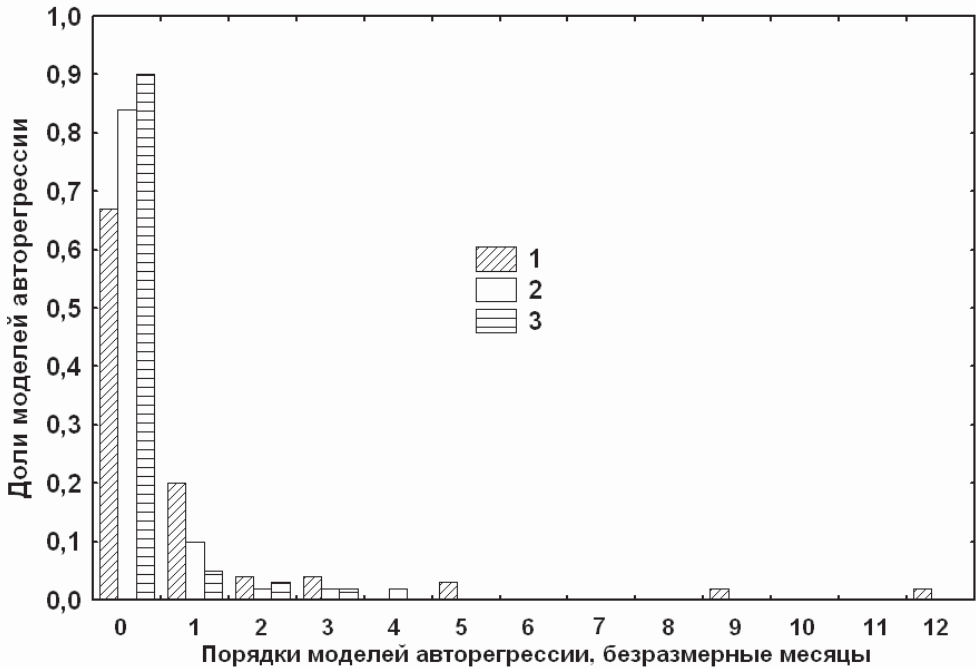
$n$  – количество сроков наблюдений в месяц;  $H$  – высота слоя в атмосфере, на который приходится практически вся атмосферная влага (в работе (Кузнецова, 1983), где описана методика расчета месячных значений характеристик, за  $H$  принимается высота 300 мбар-ной поверхности).

От величин  $a_{850}$ ,  $F_{x,y,850}$ ,  $q$ ,  $F_{x,y}$  осуществлялся переход к месячным аномалиям при помощи метода, описанного в разделе 3.1.1; месячные аномалии будут обозначены ниже штрихом. Предварительные исследования (Ярош, 1986а; Ярош, Коткова, 1986) показали, что анализируемые ряды аномалий можно рассматривать в первом приближении в качестве отрезков реализаций стационарных случайных последовательностей с нормальным распределением плотности вероятностей.

Остановимся вначале на описании моделей авторегрессии, полученных для рядов месячных аномалий влагосодержания атмосферы и влажности воздуха на уровне изобарической поверхности 850 мбар. Следует отметить, что практически всегда порядок авторегрессии (АР) для моделей рядов аномалий влагосодержания и влажности совпадает (и, как будет показано ниже, взаимная коррелированность этих рядов очень высока), поэтому рассмотрим характеристики стохастических моделей для рядов аномалий влагосодержания. Большинство моделей АР имеет небольшой порядок: для 77 из 84 рядов  $M \leq 3$  (рис. 18 а). В основном оптимальными оказываются значения  $M = 0$  и  $M = 1$  (67% и 21% всех случаев соответственно). Порядки АР, превышающие нулевой, характерны для рядов станций Казахстана, северной части Средней Азии, нижнего Поволжья и юга Украины, для северо-запада ЕТС, а также центральной части Якутии. Интересно отметить, что другие станции, для рядов  $q'$  на которых  $M > 0$ , расположены на берегах океанов. Естественно, что непосредственная близость мощного источника испарения и циркуляционные особенности нижней тропосферы, в каждом конкретном случае могут в той или иной мере усложнять структуру колебаний аномалий влагосодержания.

Расчеты показывают, что слабая инерционность месячных аномалий влагосодержания существует для станций юга Украины, нижнего Поволжья, Казахстана и северной части Средней Азии, где оценки частных первых коэффициентов авторегрессии  $a_{11}$  более 0,2 (с максимумом 0,42). Для северо-запада ЕТС также характерна слабая связь аномалий влагосодержания от месяца к месяцу ( $a_{11} \approx 0,2$ ). Для станций остальной территории бывшего СССР  $a_{11}$  еще меньше, хотя, как правило, положительны:  $a_{11} < 0$  лишь для четырех станций. Отметим, что значения  $a_{11} < 0,1$  статистически незначимы даже при уровне значимости 0,30. Даже при больших порядках авторегрессии коэффициенты авторегрессии не превосходили по абсолютной величине трех десятых: возможно, что во многих случаях отличные от нуля значения  $a_{11}$  являются следствием выборочной изменчивости оценок.

Таким образом, основными стохастическими моделями для рядов аномалий влагосодержания являются модель некоррелированных по времени изменений ( $M = 0$ ) и модель простой марковской цепи ( $M = 1$ ), выражающая слабую инерционность величин  $q'$  во времени.



**Рис.1.4.15.** Доли моделей авторегрессии различных порядков, идентифицированных при анализе рядов месячных аномалий: 1 - интегрального влагосодержания атмосферы; 2 - зонального интегрального потока влаги; 3 - меридионального интегрального потока влаги

Все эти обстоятельства позволяют считать колебания аномалий влагосодержания от месяца к месяцу некоррелированными или, для некоторых районов — малоинерционными.

Представляет интерес исследование вклада изменчивости аномалий влагосодержания в различные сезоны в общую временную коррелированность рядов (со сдвигом по времени в 1 мес.). Для этого ряды аномалий влагосодержания разбивались на две части, условно соответствующие холодному (октябрь-март) и тепловому (апрель-сентябрь) сезонам. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для рассматриваемой территории инерционность месячных аномалий влагосодержания сильнее проявляется в холодный сезон, что соответствует представлениям о большей устойчивости атмосферных процессов в эту половину года по сравнению с теплой.

Для теплого сезона коррелированность значима лишь для некоторых районов, в числе которых и районы повышенных  $a_{11}$  для года в целом.

Авторегрессионные модели для рядов аномалий зональной и меридиональной составляющих результирующего потока влаги отличаются еще меньшим разнообразием, чем модели АР для рядов аномалий влагосодержания. Как видно на Рис. 1.4.15, преобладающим порядком АР моделей рядов  $F'_x$  и  $F'_y$  является  $M = 0$  (84% и 90% соответственно). Имеющиеся модели более высоких порядков соответствуют рядам станций, расположенных по территории страны хаотично.

Все отклонения порядков авторегрессии от нулевого для рядов  $F'_x$  обусловлены соответствующими отклонениями для рядов западного, как правило, преобладающего в среднем за год, потока (восточный поток всегда характеризуется моделью белого шума). Для рядов аномалий меридионального потока влаги ненулевые, в отдельных случаях, порядки могут обуславливаться как изменчивостью аномалий только южного или северного потоков, так и их совместным действием.

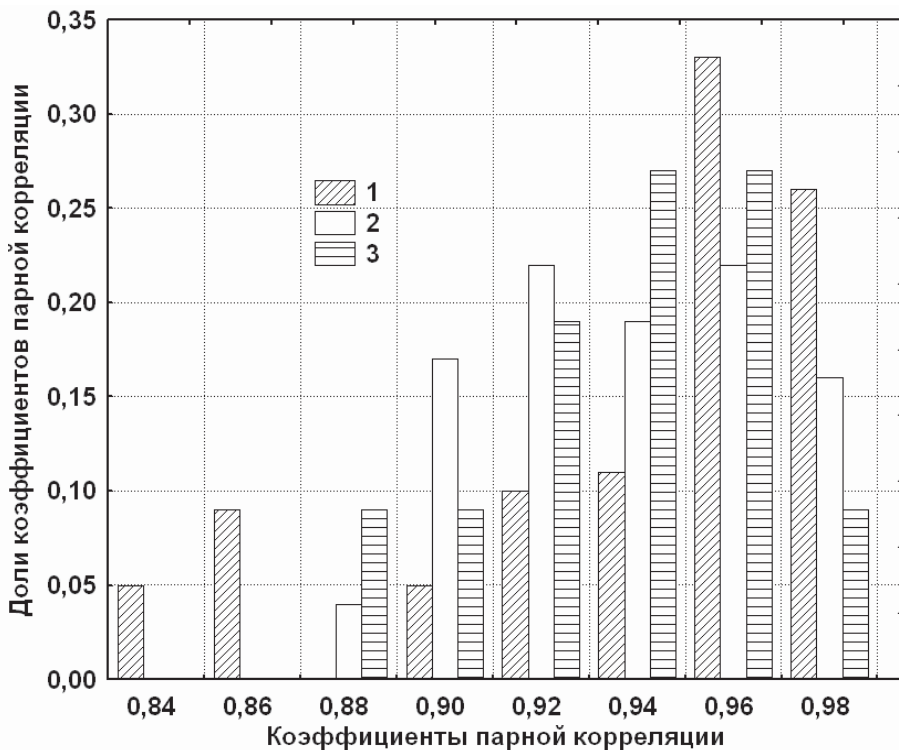
Экстремальные значения  $a_{11}$  для колебаний месячных аномалий зональной и меридиональной составляющих потока влаги составляют -0,26 и 0,33. В среднем коэффициент корреляции при сдвиге в один месяц близок к нулю. Учитывая приведенные результаты, можно предположить, что месячные аномалии составляющих влагопереноса некоррелированы во времени.

Если принять за меру предсказуемости отношение квадратичной ошибки прогноза ряда при помощи оптимальной модели авторегрессии к дисперсии самого ряда  $\sigma_a^2 / \sigma_x^2$  и считать прогноз неэффективным при  $\sigma_c^2 / \sigma_x^2 > 0,9$ , то, несмотря на то, что третья часть моделей авторегрессии для рядов аномалий влагосодержания имеет  $M \geq 1$ , прогноз с одношаговым упреждением оказывается эффективным лишь в четырех случаях (для остальных моделей  $\sigma_a^2 / \sigma_x^2 < 0,9$ ). Но даже для этих четырех пунктов предел предсказуемости не превышает 1 мес. Аналогичный подход к возможности вероятностного прогноза месячных аномалий зональной и меридиональной составляющих результирующего потока влаги показывает, что ни одна стохастическая модель не дает требуемого улучшения прогноза по сравнению с климатическим даже при упреждении в 1 мес. Поэтому можно считать, что модели авторегрессии порядков  $M > 1$  не обладают прогностической эффективностью сравнительно с моделями АР нулевого порядка.

Как показано выше, основной стохастической моделью, описывающей структуру рядов месячных аномалий влагосодержания и составляющих влагопереноса в атмосфере, является модель белого шума. Соответствующий

этой модели график спектральной плотности представляет собой прямую, параллельную оси частот.

Модель авторегрессии первого порядка определяет спектральную плотность вида "красного шума", которая характеризуется монотонным уменьшением энергии колебаний с ростом их частоты. Более сложный вид имеют графики спектральной плотности при использовании в качестве оптимальной модели авторегрессии порядка  $M \geq 2$ . В этих случаях в них находит отражение не только некоррелированность временного хода месячных аномалий или их инерционность, но и в определенной степени выраженная цикличность их развития. Во многих случаях различия между спектрами, соответствующими выбранной модели авторегрессии и модели авторегрессии первого или нулевого порядков, очень незначительны, а пики спектральной плотности за редкими исключениями невелики и сглажены. Оценки спектральной плотности в низкочастотной области могут быть очень неустойчивыми, особенно если модуль какого-либо из корней характеристического уравнения авторегрессии близок к единице, что для больших порядков авторегрессии случается почти всегда.



**Рис.1.4.16.** Коэффициенты корреляции рядов месячных аномалий интегральных характеристик и соответствующих характеристик на уровне 850 мбар: 1 - зональный поток; 2 - меридиональный поток; 3 - влагосодержание, влажность

Как уже указывалось ранее, связность аномалий влагосодержания и составляющих интегрального потока влаги с влажностью и составляющими потока влаги на уровне 850 мбар очень высока. Корреляция аномалий зонального потока ( $r_x$ ) в слое и на 850 мбар не менее 0,84, а в среднем значительно выше:  $\bar{r}_x = 0,94$ . Аналогичны результаты в отношении аномалий меридионального потока:  $r_{y,\min} = 0,88$ ,  $\bar{r}_y = 0,94$  (Рис. 1.4.16). Разброс значений  $r_x$  и  $r_y$  в виде их средних квадратических отклонений мал и составляет 0,04 и 0,05 соответственно. Разброс значений коэффициентов корреляции между рядами  $a'$  и  $q'$  несколько больше ( $\sigma r_q = 0,06$ ), так же, как среднее его значение меньше (0,92) (Рис. 1.4.16). Средние значения коэффициентов регрессии, позволяющих переходить от аномалий на уровне 850 мбар к интегральным  $q'$ ,  $F'_x$  и  $F'_y$  ( $K_q$ ,  $K_x$ ,  $K_y$ ) составляют соответственно  $3,4 \text{ мм} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ ;  $3,7 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{г}^{-1}$  и  $3,6 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{г}^{-1}$  при  $\sigma K_q = 0,4 \text{ мм} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ ;  $\sigma K_x = \sigma K_y = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{г}^{-1}$ .

Погрешности, допускаемые при оценках аномалий интегральных характеристик по аномалиям соответствующих характеристик на уровне 850 мбар, естественно определять в виде среднеквадратического расхождения аномалий оцененных и фактических интегральных характеристик, отнесенного к изменчивости фактических величин  $q'$ ,  $F'_x$  или  $F'_y$ . Корни квадратные из этих величин ( $\Delta_q$ ,  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$ ), выраженные в процентах, представляют собой меру неточности определения аномалий интегральных характеристик по аномалиям соответствующих характеристик на уровне 850 мбар. Расчеты показывают, что  $\Delta_q = 16\%$  (при  $\sigma \Delta_q = 10\%$ ),  $\Delta_x = \Delta_y = 11\%$  (при  $\sigma \Delta_x = 8\%$  и  $\sigma \Delta_y = 9\%$ ).

Проведенные расчеты позволяют предположить, что аномалии влагосодержания и составляющих интегрального потока влаги можно оценивать по аномалиям соответствующих характеристик на уровне 850 мбар с небольшой, в среднем, погрешностью. Таким образом, оценивая аномалии потока влаги на высоте изобарической поверхности 850 мбар, можно без особых погрешностей переходить к таковым для всего слоя атмосферы. Это обстоятельство представляется важным при построении моделей атмосферного влагообмена. В первом приближении процесс аномального крупномасштабного горизонтального переноса водяного пара в атмосфере над территорией бывшего СССР можно, по-видимому, списывать при помощи одноуровневой модели. Другим важным приложением полученных закономерностей может стать их использование в расчетах водного баланса подстилающей поверхности. В этом случае замена интегральных аномалий потоков (или влагосодержания) их аномалиями на 850 мбар-ной поверхности может в значительной степени повысить оперативность и доступность расчетов, поскольку уменьшает объемы необходимой для обработки информации примерно на порядок.

Расчеты взаимной связности рядов аномалий зональной и меридиональной составляющих интегрального потока влаги показывают, что взаимная коррелированность рядов  $F'_x$  и  $F'_y$ , как правило, мала и составляет в среднем 0,11 при среднеквадратическом отклонении 0,20. Область относительно повышенных значений коэффициентов корреляции (более 0,3) приходится на Среднюю Азию, Казахстан, западную и юго-западную часть Западной Сибири. Обращает на себя внимание также тот факт, что слабоположительные коэффициенты корреляции между  $F'_x$  и  $F'_y$  свойственны станциям к западу примерно от  $110^\circ$  в.д., а слабо отрицательные - как правило, к востоку от этого меридиана.

Дополнительные расчеты позволяют утверждать, что относительно высокая коррелированность аномалий зонального и меридионального потоков влаги для станций указанных регионов обусловлена в основном связностью аномалий западного и южного влагопереносов, с которой сравним совокупный эффект коррелированности аномалий потоков других направлений. Для станций остальной территории СССР коррелированность аномалий потоков влаги различных направлений не только мала, но и в определенной степени "нейтрализуется" вследствие переменности знаков.

Наши исследования позволяют также утверждать, что аномалии влагосодержания атмосферы над территорией бывшего СССР слабо коррелированы с аномалиями составляющих интегрального потока влаги, хотя в среднем климатическом поля потоков влаги и влагосодержания, по-видимому, хорошо взаимно приспособлены (Chen, 1985).

Таким образом, в результате анализа аномальных характеристик влагооборота в атмосфере над территорией СССР можно предположить, что изменчивость интегрального влагопереноса в рассматриваемых масштабах времени имеет в целом белозумный характер, а изменчивость влагосодержания близка к белозумной, при этом величины  $F'_x$ ,  $F'_y$ ,  $q'$  слабо коррелированы друг с другом. Соответственно, карты среднеквадратических значений месячных аномалий  $F'_x$ ,  $F'_y$  могут давать почти полную, а карты  $\sigma q'$  - весьма существенную информацию о закономерностях временной изменчивости месячных аномалий указанных характеристик. (Напомним, что карты  $\sigma F'_x$ ,  $\sigma F'_y$ ,  $\sigma q'$  по сезонам и среднегодовые опубликованы в работе (Кузнецова, Ярош, 1986), Основная черта этих карт - общее увеличение интенсивности влагооборота к западу над территорией СССР и минимальная интенсивность над Восточной Сибирью.

Также, для уровня 850 мбар был проведен анализ связи месячных аномалий атмосферного влагопереноса в атмосфере с аномалиями влажности воздуха и с аномалиями ветра - как при помощи данных наблюдений, так и с использованием статистической модели. Осредненные оценки вклада месячных аномалий влажности воздуха и составляющих скорости ветра на уровне 850 мбар (близком к уровню максимального влагопереноса) могут быть выполнены, исходя из полученных оценок средних величин  $F'_x$ ,  $F'_y$ ,  $q$  и измен-

чивости аномалий  $F'_x, F'_y, q'$  в предположении о некоррелированности этих величин. Такие оценки могут являться весьма приблизительными из-за вероятных погрешностей в расчете, в частности, осредненных оценок скорости ветра (Justus et al, 1979). Эти оценки, тем не менее, показывают, что изменчивость, связанная с аномалиями составляющих результирующего ветра, вносит основной вклад в изменчивость аномалий составляющих потока влаги на уровне 850 мбар, превышая более чем на порядок изменчивость, связанную с вариациями аномалий влажности воздуха.

## 1.5. Вариации испарения с поверхности суши и «эффективных осадков» над сушей

### 1.5.1. Глобальные изменения испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши и «эффективных осадков» над сушей

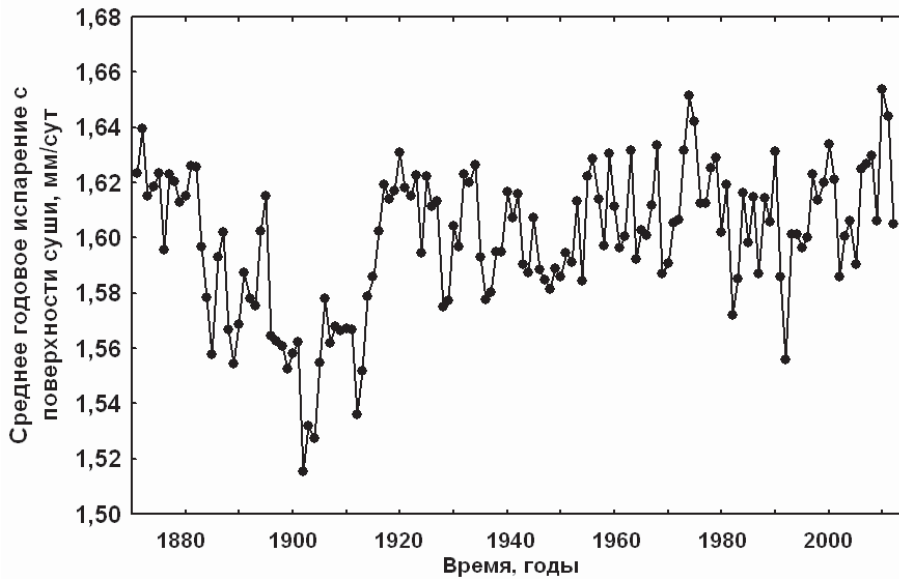
*Изменения испарения (эвапотранспирации) с поверхности свободной ото льда суши.* Ряды глобально-осредненного испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши восстановлены, при помощи реанализа, в рамках двух проектов: «20 Century» и NCEP/NCAR. Более адекватной, хотя возможно и содержащей определенные ошибки, по разным причинам представляется первая реконструкция. На рис. 1.5.1 показан соответствующий ряд годовых значений осредненного по поверхности свободной ото льда суши испарения (эвапотранспирации).

Уже при визуальном рассмотрении графика очевидно, что ряд не подтверждает распространенное мнение о том, что глобальное потепление – наиболее значительное с середины 1970-х годов – вызывает значительный глобальный рост испарения с поверхности суши.

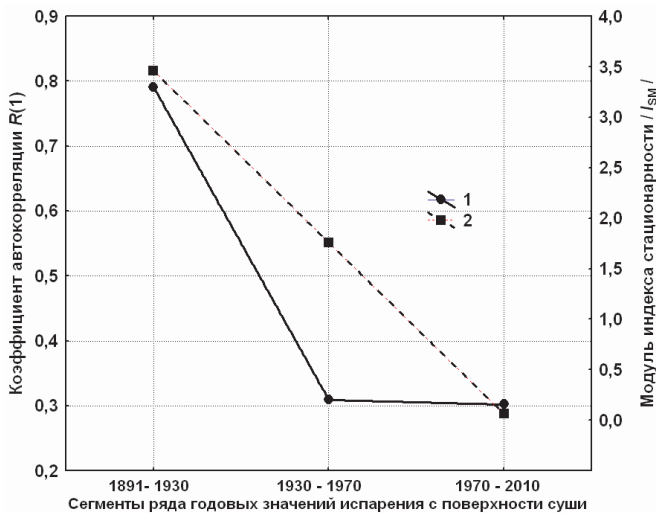
Рисунок 1.5.2 иллюстрирует изменения свойств ряда со временем. Показано, что для более поздних сегментов ряда первый коэффициент авторегрессионной модели уменьшается, как и модуль индекса стационарности по математическому ожиданию,  $I_{SM}$  (см. подробно о его расчетах в (Добровольский, 2011а, б)). Таким образом, последние, более достоверно восстановленные десятилетия ряда приближаются к стационарному процессу авторегрессии с коэффициентом около 0,3.

Перейдем к анализу месячных величин испарения. На рис. 1.5.3.1 показан исходный ряд средних месячных величин испарения (эвапотранспирации) с поверхности всей суши за «реперный», 20-летний период, в терминах слоя испарения – мм/сутки; на рис. 1.5.3.2 – ряд нормированных месячных аномалий испарения. На рис. 1.5.3.1. представлена также линия и формула линейной интерполяции исходного ряда, осуществленной методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Обращает на себя внимание практически горизонтальное расположение и чрезвычайно малый



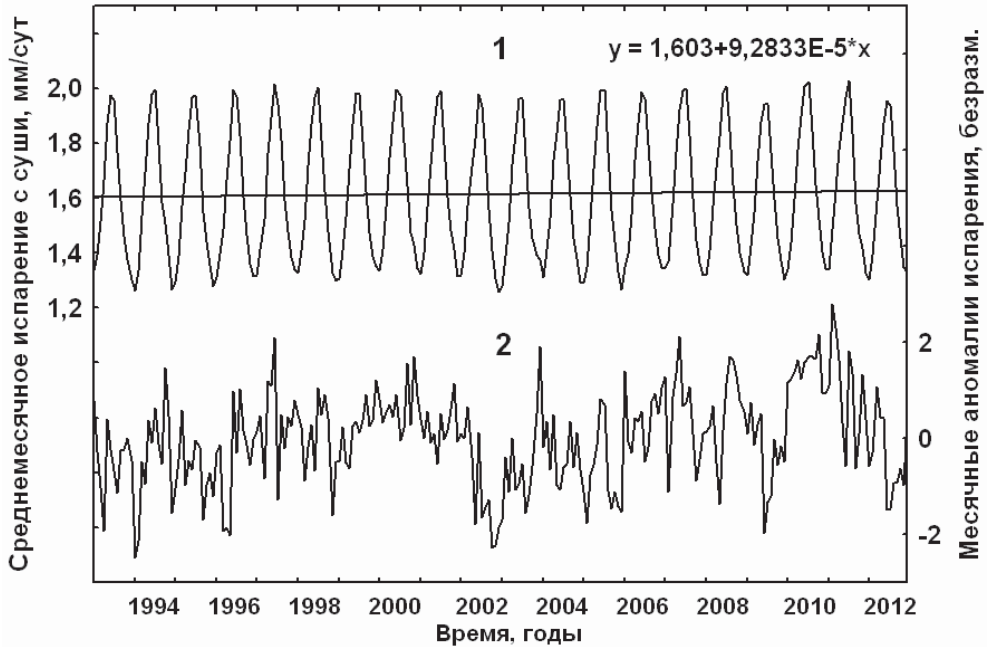


**Рис. 1.5.1.** Изменения годовых значений осредненного по поверхности свободной от льда суши испарения с поверхности (эвапотранспирации). Использованы данные проекта «20 century»



**Рис. 1.5.2.** Изменения во времени характеристик сегментов ряда годовых значений испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши. Использованы данные проекта «20 Century». 1 – коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год,  $R(1)$  (левая шкала); 2 – модуль индекса стационарности по математическому ожиданию,  $I_{SM}$  (правая шкала). Среднеквадратичное значение модуля индекса стационарности абсолютно стационарного ряда равно 1.

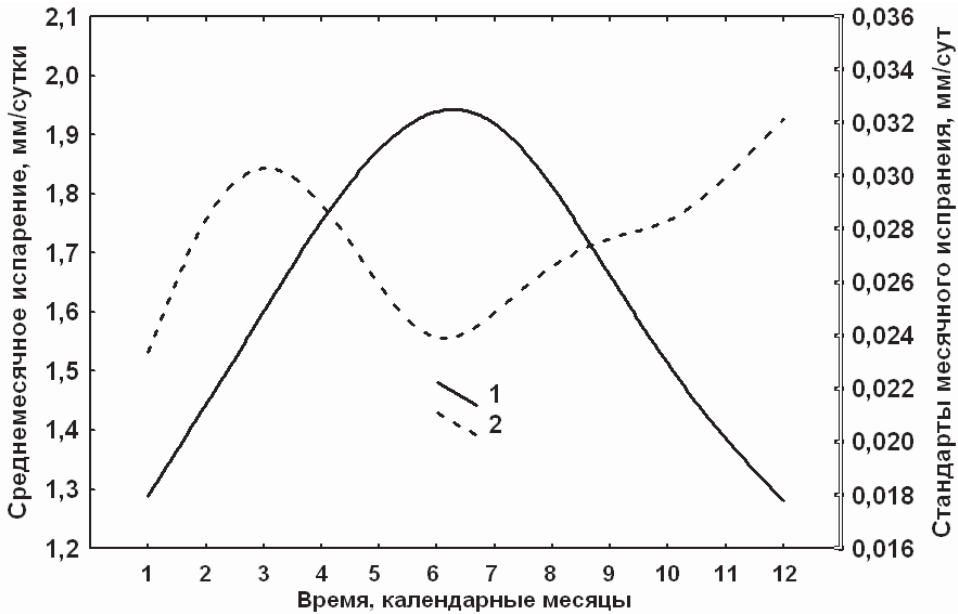
угол наклона прямой – с коэффициентом менее  $1/10000$ . Это означает, что за последние 20 лет испарение с поверхности суши изменилось всего на  $0,022$  мм/сут., что на полтора порядка меньше средней амплитуды сезонного хода среднего испарения с поверхности суши – и не превышает среднеквадратичную ошибку оценки коэффициента.



**Рис. 1.5.3.** 1 – средние месячные значения испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши, левая шкала. 2 – нормированные месячные аномалии испарения с поверхности суши, правая шкала. Прямая линия – линейная аппроксимация ряда 1 методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Соответствующее уравнение – в верхней правой части рисунка. Значения испарения на рис. 1.7.3.1 – по данным проекта «20 Century»

График 2 на рис. 1.5.3 получен, как и в аналогичных предшествовавших ситуациях, путем вычитания из ряда на рис. 1.5.3.1 среднего сезонного хода испарения (рис. 1.5.4.1) и последующего деления на стандарты отклонений от среднего сезонного года в соответствующие календарные месяцы (рис. 1.5.4.2). Интересно то, что график 1.5.4.1 заметно отличается от графика 1.4.9.1. В обоих случаях максимум приходится на июнь-июль, однако сезонный ход испарения намного более симметричен, чем сезонный ход осадков, весенние значения которых заметно превышают осенние значения. Еще больше различия между графиками стандартов, однако статистическая значимость изменений оценок стандартов, очевидно, существенно меньше ана-

логичной значимости сезонных изменений самих средних месячных значений. К сказанному остается добавить, что летний максимум испарения, естественно, связан с летним максимумом как осадков, так и температур воздуха в северном полушарии, на которое приходится подавляющая часть территории суши.



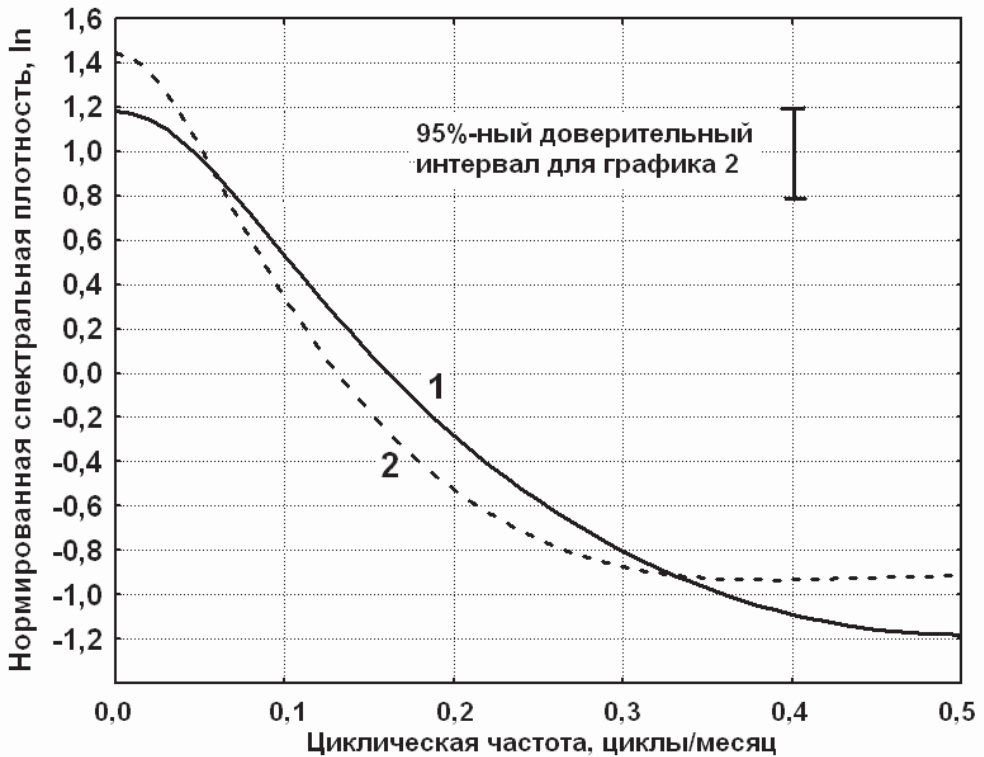
**Рис. 1.5.4.** Средняя многолетняя динамика средних месячных значений (1, левая шкала) и месячных стандартов (2, правая шкала) испарения (эвапотранспирации) с поверхности свободной ото льда суши. Графики сглажены методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

Обратимся к анализу ряда на рис. 1.5.3.2. Формально этот ряд описывается процессом авторегрессии второго порядка. Однако, соответствующий график спектральной плотности, построенный методом наибольшей энтропии, совпадает с графиком процесса авторегрессии первого порядка с учетом ширины доверительного интервала разумного уровня значимости (см. рис. 1.5.5; доверительный интервал построен при помощи оценок Кромера). Графики на рис. 1.5.5 построены с применением алгоритма Бурга, однако практически так же выглядят кривые спектральной плотности, построенные с использованием метода Юла-Уокера.

Таким образом, мы можем сказать, что ряд аномальных месячных величин испарения с поверхности суши, как и аналогичный ряд аномалий осадков на рис. 1.5.4.2, описывается процессом авторегрессии первого порядка с еще более значительным коэффициентом: 0,53 (рассчитанным как по схеме Бурга, так и по схеме Юла-Уокера). При этом, если использовать модель с

сезонно меняющимися коэффициентами автокорреляции (СМКА), то различия между зимними и летними значениями автокорреляции статистически незначимы – то есть, модель СМКА по существу, сводится к тому же процессу авторегрессии первого порядка. Добавим, что плотность вероятности, оцененная по ряду на рис. 1.7.3.2, близка к гауссовской: коэффициент асимметрии составляет лишь  $-0,05$ , а эксцесс относительно нормального  $-0,33$ .

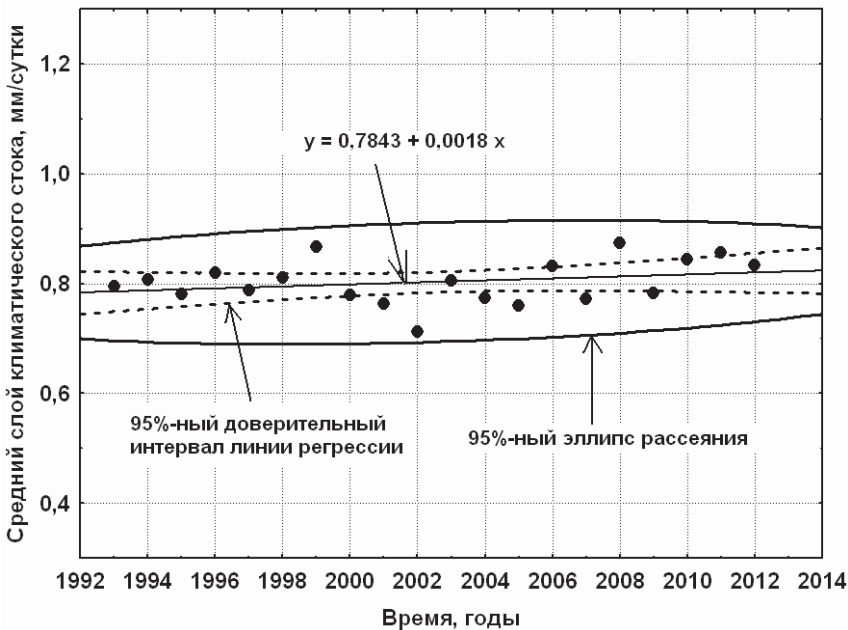
Примечательно то, что не только глобально осредненные, но и локальные ряды месячных аномалий испарения с поверхности суши во многих природных зонах описываются моделью авторегрессии первого порядка со значительным коэффициентом авторегрессии – см. раздел 1.5.2.



**Рис. 1.5.5.** Спектральная плотность изменений аномального испарения с поверхности суши (ряд на рис. 1.5.3.2). 1 – спектральная плотность процесса авторегрессии первого порядка, 2 – процесса авторегрессии второго порядка. Графики спектральной плотности построены методом наибольшей энтропии в варианте Бурга

**Изменения «эффективных осадков» (климатического речного стока) над свободной ото льда суши.** Анализ заключительного звена цепи глобального водообмена – речного стока – осуществлялся в рамках настоящей работы следующим способом. Из рядов годовых осадков, осредненных для

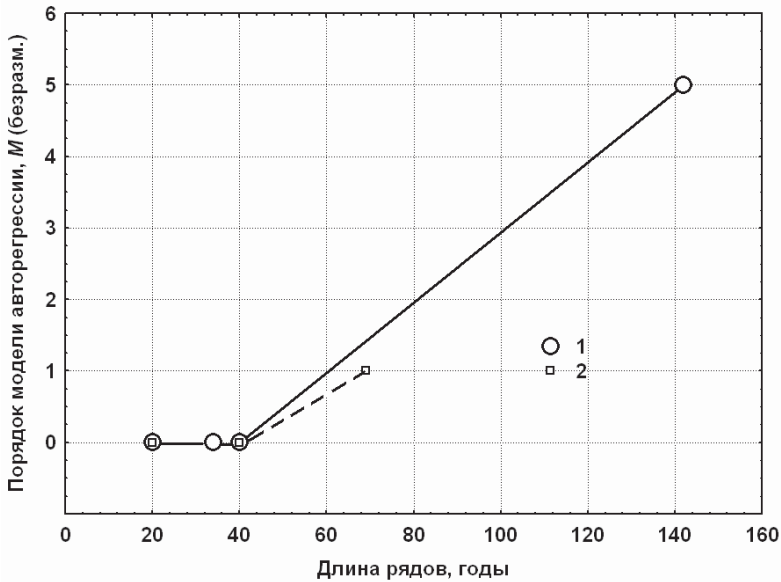
свободных ото льда материков, вычитались ряды испарения с поверхности: полученная таким образом величина, которую часто называют «климатическим стоком», может в некотором приближении служить, в глобальном осреднении, аналогом реального стока. Действительно, среди рядов годового стока рек основного типа (равнинных неозерных), как и среди рядов максимального стока рек всех типов, абсолютно преобладают ряды, описываемые моделью белого шума, а средний коэффициент коррелированности стока смежных лет для рек основного типа составляет незначительную величину. +0,15. Таким образом, результирующая порция влаги, попадающая в определенный год на поверхность суши в процессе осадков и испарения (эвапотранспирации), практически вся стекает в виде речного стока в тот же год. Следовательно, образующиеся на протяжении года, неизрасходованные на сток влагозапасы сравнительно невелики в глобальном масштабе.



**Рис. 1.5.6.** Изменения «климатического стока» (эффективных осадков) за период 1993 – 2012 гг. По данным проекта «20 Century».. В формуле линии регрессии за нулевое значение оси абсцисс принят 1992 год

Рассмотрим вначале многолетние изменения глобального климатического стока («эффективных осадков») по годовым данным. На рис. 1.5.6 показаны изменения указанной величины за последние 20 лет проекта «20 Century» – то есть, на протяжении «реперного» периода, информация по которому чаще всего фигурировала в предыдущих разделах. Прежде всего обращают на себя внимание, как и в случае предыдущих составляющих глобального

водообмена, чрезвычайно небольшие изменения параметра во времени: коэффициент линейного уравнения, подогнанного методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов, менее 0,002 мм/сутки в год. Иными словами, за период 1993 – 2012 гг. (годы значительного роста средней глобальной температуры) среднее значение климатического речного стока, по данным проекта «20 Century» изменилось всего на 0,036 мм/сутки, что намного меньше ширины изображенного на рис. 1.5.6 эллипса рассеяния и меньше среднеквадратичной ошибки оценки рассматриваемого приращения стока.



**Рис. 1.5.7.** Зависимость порядков модели авторегрессии климатического стока от длин рядов. 1 – данные проекта «20 Century»; 2 – проекта NCEP/NCAR

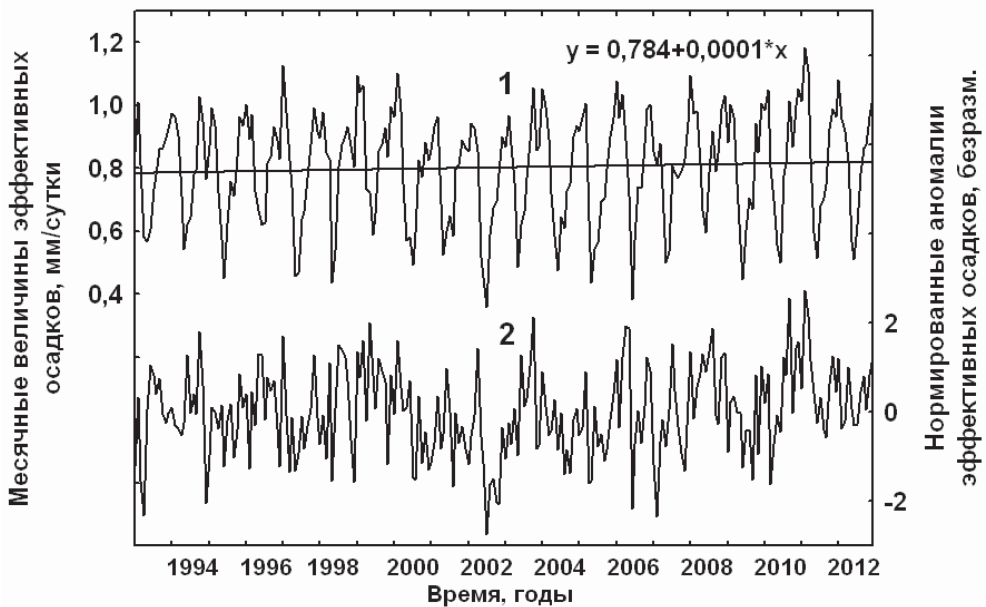
Существенным является то, что ряд на рис. 1.5.6 описывается реализацией некоррелированного по времени случайного процесса, причем близкого к гауссовскому – так как коэффициент асимметрии в данном случае чрезвычайно мал и составляет -0,039. Отмеченная структура ряда климатического стока характерна не только для его последнего, 20-летнего сегмента, но и для сегментов длиной 34 года (с 1979 года – времени начала спутниковых наблюдений) и 40 лет (период последнего наиболее мощного роста глобальной температуры). Более того: белый шум является предпочтительной моделью для ряда, построенного по данным не только проекта «20 Century», но и проекта NCEP/NCAR – как для ряда длиной 20 лет (1997 – 2016), так и для ряда длиной 40 лет (1977 – 2016). Сказанное иллюстрируется рисунком 1.5.7: он показывает, что при переходе к более поздним и более достоверным сег-

ментам рядов климатического стока его модель приближается к модели реализации некоррелированного по времени случайного процесса.

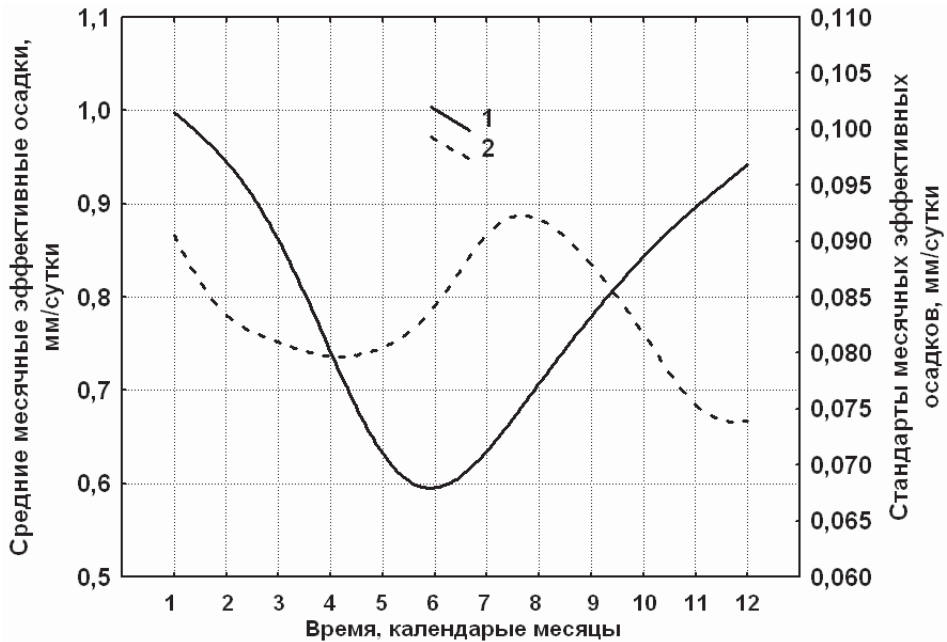
Отметим: каждый из двух процессов, формирующих глобальный климатический сток в климатических масштабах времени – осадки и испарение с поверхности – описываются процессом авторегрессии первого порядка (по гидрологической терминологии – «простой марковской цепью»), в то время как разность этих процессов – климатический сток или эффективные осадки – описывается моделью белого шума.

Таким образом, поверхность суши играет как бы «отбеливающую» роль по отношению к изменениям осадков.

Интересно то, что аналогичный отбеливающий эффект был отмечен нами в отношении локальных рядов месячных аномалий осадков, испарения и их разностей по данным воднобалансовых станций в пределах различных природных зон – от тундры до засушливых степей – см. раздел 1.5.2. В связи с этим представляет интерес анализ месячных рядов эффективных осадков по данным проекта «20 Century».



**Рис. 1.5.8.** То же, что рис. 1.5.3, но для месячных значений эффективных осадков (1, левая шкала), нормированных аномалий эффективных осадков (2, правая шкала)



**Рис. 1.5.9.** Средняя многолетняя динамика средних месячных значений (1, левая шкала) и месячных стандартов (2, правая шкала) эффективных осадков на поверхность свободной ото льда суши. Графики сглажены методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

На рис. 1.5.8.1 показан исходный ряд месячных величин эффективных осадков над поверхностью суши за «реперный» период времени (1993 – 2012) по данным проекта «20 Century». Здесь прямая линия – линейная аппроксимация ряда методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов, а в правом верхнем углу – соответствующее уравнение. Очевидно, что общие изменения месячных величин эффективных осадков совершенно незначительны: коэффициент уравнения составляет всего 0,0001 мм/сутки в месяц. То есть, за 20 лет изменения эффективных осадков составили величину порядка 0,02 мм/сутки – первые проценты от амплитуды сезонных изменений этого параметра.

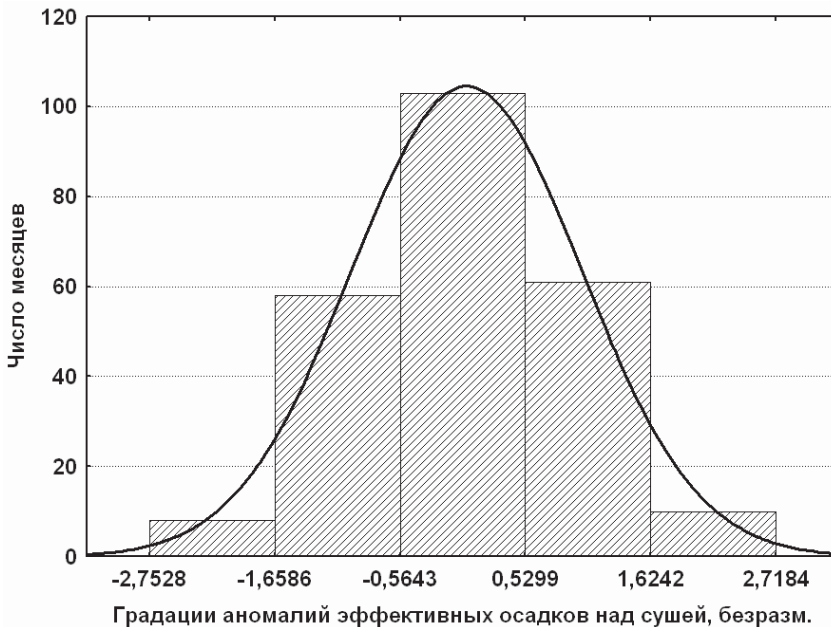
На рис. 1.5.8.2 – ряд месячных нормированных аномалий эффективных осадков, построенный, как и в предыдущих аналогичных случаях, путем вычитания из исходного ряда среднего многолетнего сезонного хода (рис. 1.5.9.1) и последующего деления на сезонный ход стандартов месячных аномалий (рис. 1.5.9.2). Интересно, что годовой ход эффективных осадков находится практически в противофазе по отношению к годовому ходу самих осадков (рис. 1.4.9.1), в то же время годовой ход стандартов месячных анома-



лий эффективных осадков (рис. 1.5.9.2) очень похож на годовой ход стандартов осадков (рис. 1.4.9.2).

Анализ ряда на рис. 1.5.8.2 приводит к следующим результатам. Коэффициент асимметрии крайне невелик и составляет 0,0203. Более того: гистограмма плотности вероятности, построенная по графику 1.5.8.2 почти идеально описывается кривой плотности нормального распределения. Как и в предыдущих аналогичных случаях, мы сталкиваемся здесь с эффектом, когда глобальное осреднение слабо коррелированных друг с другом (вследствие ограниченного корреляционного радиуса синоптических образований) аномалий потоков влаги приводит к ситуации, соответствующей центральной предельной теореме.

В свою очередь, анализ стохастической структуры ряда месячных аномалий эффективных осадков – как исходного, так и пересчитанного в выборочные значения гауссовских величин – приводит к модели белого шума. При этом ряд близок к стационарному как по математическому ожиданию, так и по автокоррелированности и по стандартам (величина соответствующих индексов – см. (Добровольский, 2011б) составляет соответственно 1,73; 0,084; 0,0136. Повторимся, что аналогичная модель была получена для локальных эффективных осадков, оцененных по данным воднобалансовых станций в различных природных зонах ЕТР – см. раздел 1.5.2.



**Рис. 1.5.10.** Гистограмма плотности вероятности нормированных месячных аномалий эффективных осадков на поверхность суши. Кривая линия – плотность вероятности, соответствующая теоретическому (нормальному) распределению

### 1.5.2. Региональные изменения «эффективных осадков» над суши по данным наблюдений – на примере ЕТР

Для анализа изменений составляющих водного баланса поверхности суши в региональном и локальном масштабах целесообразно воспользоваться информацией, полученной на воднобалансовых станциях, ВБС. Наибольшее число ВБС с наиболее длинными рядами наблюдений имелось на Европейской территории РФ (ранее – Европейской территории СССР). К сожалению, отечественная программа наблюдений на ВБС свертывалась в последние десятилетия, поэтому используем данные ВБС «классического периода». Для целей настоящей работы были выбраны 8 ВБС с отсутствием пропусков в месячных рядах данных. Выбранные станции образуют своего рода меридиональный разрез, охватывающий почти все внетропические природные зоны – от тундры до степей. Информация об анализируемых нами данных наблюдений сведена в Таб. 1.5.1.

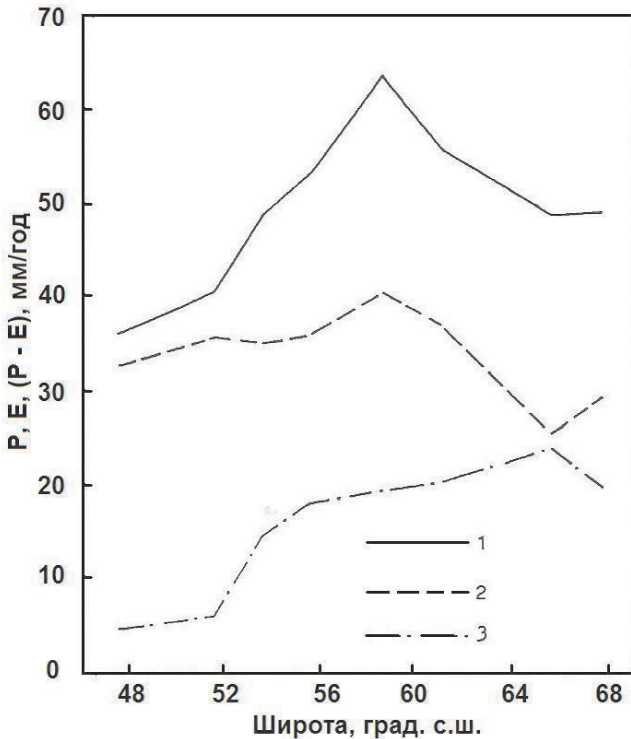
**Таблица 1.5.1.** Информация о воднобалансовых станциях

№	Название	Широта*	Длина ряда**	Природная зона
1	Хибины	67,7	72	Вблизи границы тундры и тайги
2	Усть-Цильма	65,4	168	Тайга
3	Олонец	61,0	168	Тайга
4	Валдай	58,0	396	Граница тайги и смешанных лесов
5	Подмосковная	55,5	348	Смешанные леса
6	Болховская	54,0	264	Лесостепи
7	Каменная степь	51,0	372	Степи
8	Дубовская	47,0	120	Степи

\* в градусах с.ш.

\*\* в месяцах

Наиболее северная из станций, Хибины, располагалась на Кольском полуострове, наиболее южная, Дубовская – в Приазовье. Общая протяженность профиля составляет 20,7 градуса широты, то есть около 2300 км. Длина наиболее продолжительных рядов составляет 33 года, наиболее коротких – 6 лет, средняя – около 23 лет. Величины испарения измерялись эвапориметрами ГТИ-500-50, осадков – осадкомерами Третьякова. Максимальное расстояние между эвапориметром и осадкомером на ВБС не превышало 200 м. Используемая в работе информация почерпнута из изданий (Материалы..., 1965 – ...).

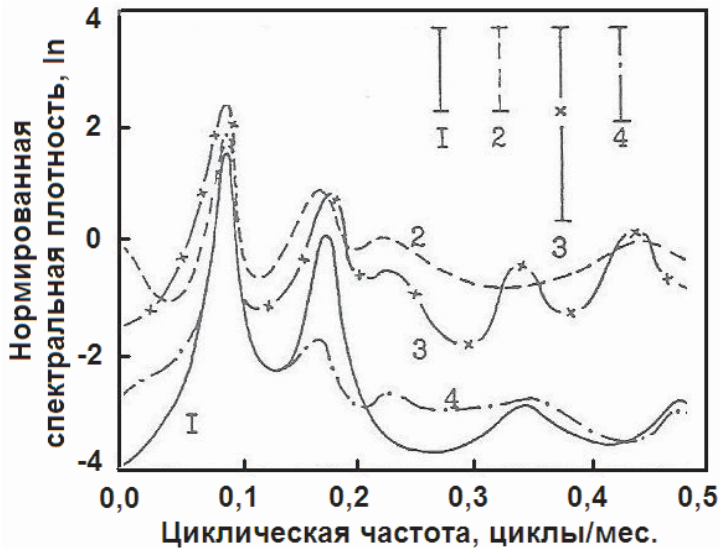


**Рис. 1.5.11.** Меридиональный профиль средних годовых осадков ( $P$ , линия 1), испарения/эвапотранспирации ( $E$ , линия 2), эффективных осадков ( $P - E$ , линия 3) по данным воднобалансовых станций на Европейской территории страны

Меридиональные профили средних годовых осадков, испарения/эвапотранспирации и эффективных осадков (слоя «климатического речного стока») помещены на Рис. 1.5.11. Наибольшие величины как осадков, так и испарения наблюдаются в средних широтах. На юге испарение уменьшается вследствие недостатка осадков, на севере наблюдается абсолютные минимумы испарения, в пределах профиля, вследствие недостатка тепла. В то же время эффективные осадки почти непрерывно растут с юга на север. Широтные изменения последней характеристики чрезвычайно велики и достигают  $\pm 60 - 75\%$ , в то время как изменения первых двух параметров не превышают  $\pm 20 - 25\%$ .

Спектральные плотности трех рассматриваемых характеристик увлажнения и приземной температуры воздуха показаны, в качестве примера, для станции Валдай на Рис. 1.5.12. Обращаем внимание на то, что графики построены по исходным рядам среднемесячных величин, без вычитания среднего годового хода. Рассчитанные таким образом спектральные плотности не вполне корректны, так как ряды могут быть нестационарными по ма-

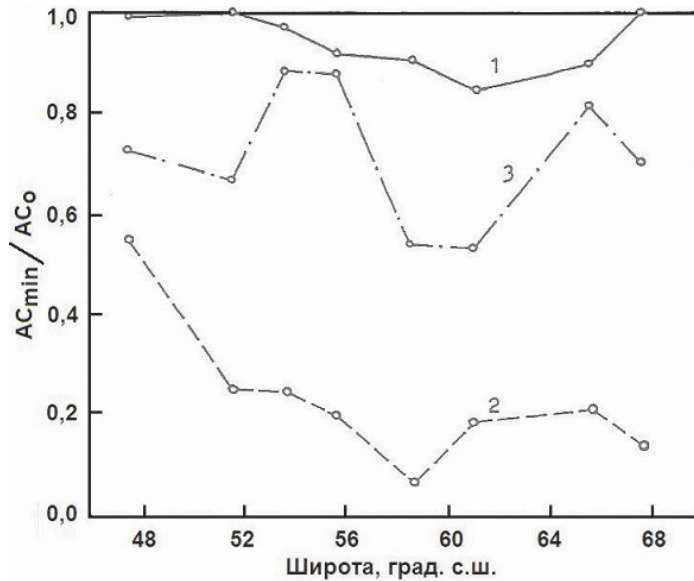
тематическому ожиданию (характеризоваться неслучайными фазами), однако такого рода анализ может давать некоторую полезную информацию. Среди всех трех рассматриваемых составляющих вертикального водообмена, наиболее острый пик на частоте 1 цикл в 12 месяцев – то есть, на годовом периоде (как и на полугодовом периоде) – отмечается для ряда испарения. Кстати сказать, такая же закономерность справедлива и для испарения с поверхности океана – о чем свидетельствует раздел 1.3 настоящей монографии.



**Рис. 1.5.12.** Оценки спектральной плотности изменений средних месячных величин: 1 – испарения/эвапотранспирации, 2 – осадков, 3 – эффективных осадков, 4 – приземной температуры воздуха. Вертикальные отрезки обозначают 95%-ные доверительные интервалы

В то же время, годовой и полугодовой пики спектральной плотности наименее выражены в ряде осадков. Показательно также, что спектральные плотности осадков и эффективных осадков характеризуются тем, что часть дисперсии, сосредоточенная в диапазоне внутригодовых колебаний – в отличие от испарения и температуры воздуха – очень значительна.

Представляют интерес изменения картины, представленной на Рис. 1.5.12, с широтой. Мерой «упорядоченности» спектральной плотности может служить отношение значения первого минимума критерия Акаике (см. раздел 1.2) к значению критерия на нулевом порядке. На Рис. 1.5.13 представлены графики меридиональных профилей соответствующих величин для осадков, испарения и эффективных осадков. Напомним, что рассматриваются ряды без удаления сезонного хода. Рисунок, таким образом, показывает, какова роль сезонной изменчивости в вариациях составляющих водообмена.



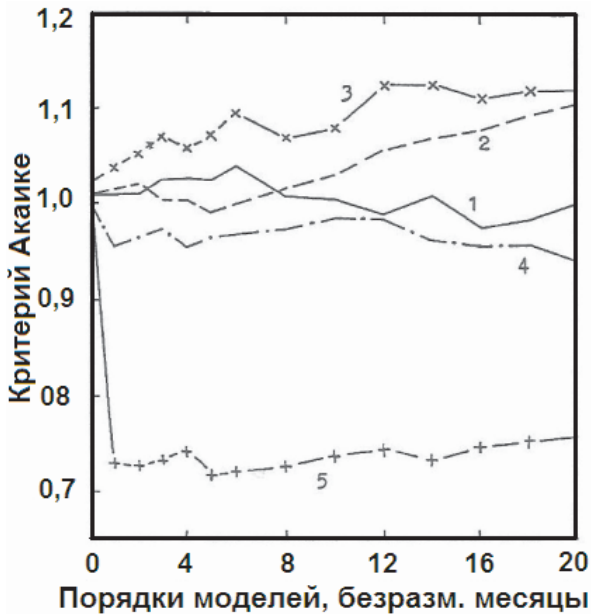
**Рис. 1.5.13.** Отношение первого минимального значения критерия Акаике к значению критерия на нулевом порядке для рядов месячных величин осадков (1), испарения/эвапотранспирации (2), эффективных осадков (3). Меридиональные профили, построенные по данным воднобалансовых станций

Рисунок показывает, что для всех широт ЕТР роль сезонных изменений в вариациях осадков минимальна, испарения – максимальна. Эффективные осадки занимают промежуточное положение вдоль всего меридионального профиля. Показательно также, что роль годового хода в изменениях осадков совершенно ничтожна на самых южных станциях и на самой северной станции профиля. В том, что касается испарения, соотношение  $AC_{min}/AC_0$  резко падает при продвижении с крайнего юга по направлению к лесостепной зоне и далее к северу остается в пределах 0,1 – 0,2. В то же время, какой-либо определенной картины в отношении меридионального профиля величины  $AC_{min}/AC_0$  для эффективных осадков установить не удается.

График 1 на Рис. 1.5.13 представляет чрезвычайный интерес еще и в следующем аспекте. Он означает, что почти на всей Европейской территории России сезонный сигнал осадков крайне невелик (а на юге и крайнем севере совершенно ничтожен). В то же время, амплитуда среднего сезонного хода приповерхностной температуры воздуха на ЕТР составляет, как известно, десятки градусов – в Центральной России порядка  $30^\circ\text{C}$ . Неудивительно поэтому, что роль, в эволюции осадков, изменений глобальной температуры на величину порядка десятых долей градуса за последние десятилетия, приписываемых во многих исследованиях парниковому эффекту, чрезвычайно

трудно выявить. Судя по графику 2 на Рис. 1.5.13 сезонный сигнал невелик и в изменениях «эффективных осадков» («климатического речного стока»). Сказанное выше соответствует тому факту, что парниковый сигнал, как и другие монотонные тренды, не выявляется статистически значимо в большинстве рядов наблюдаемого годового, максимального и минимального речного рек мира – это будет показано в главе 2.

Для целей настоящего исследования наибольший интерес представляет анализ аномалий составляющих вертикального водообмена через поверхность суши – с вычитанием среднего сезонного хода и делением результирующих величин на средние стандарты аномалий соответствующих календарных месяцев. Вкратце результаты такого рода исследования следующие. Для большей части рядов аномальных осадков (6 из 8) и для половины рядов аномалий эффективных осадков наиболее адекватны модели нулевого порядка авторегрессии («белый шум»). Напротив, в 6 случаях из восьми ряды аномалий испарения описываются моделями первого (на 5 станциях) или второго (1 станция) порядков.



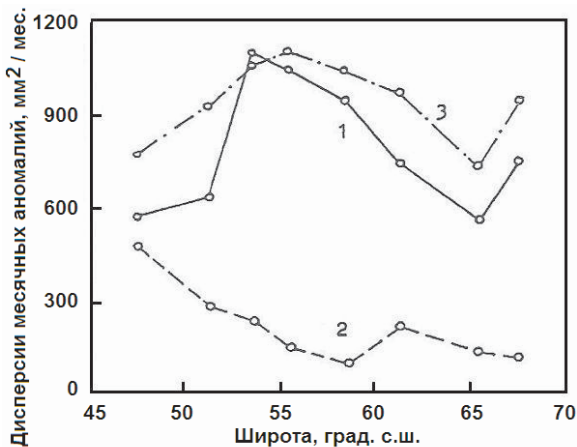
**Рис. 1.5.14.** Критерии Акаике для рядов нормированных месячных аномалий составляющих влагообмена на поверхности суши в районе воднобалансовой станции Валдай. 1 – испарение (эвапотранспирация), 2 – осадки, 3 – эффективные осадки, 4 – температура воздуха, 5 – речной сток (р. Пола)

Оценки связности аномалий соседних месяцев находятся в соответствии с приведенными выше результатами стохастического моделирования. Для осадков и эффективных осадков коррелированность между аномалиями

смежных месяцев составляет в среднем соответственно 0,1 и 0,02. Для аномалий испарения аналогичные величины в среднем 0,2 – 0,3.

Были также проведены расчеты ковариационных коэффициентов между аномалиями раздельно летних и зимних месяцев. Они оказались значимыми для летнего испарения (0,26), небольшими для летних и зимних осадков (0,18 и 0,14).

Приведенные выше результаты могут быть иллюстрированы графиками критериев Акаике. На Рис. 1.5.14 соответствующие кривые, в качестве примера, приведены для станции Валдай («Лог Таежный»). Также приведен график для месячных нормированных аномалий стока малой реки Пола в створе недалеко от воднобалансовой станции. Рисунок показывает, что если относительно типа модели для аномалий осадков существует неопределенность, а для аномалий испарения идентифицируется модель авторгрессии первого порядка, то изменения аномальных эффективных осадков однозначно описываются реализацией модели белого шума. Отметим, что качественно сходные результаты получены практически для всех рассматриваемых воднобалансовых станций.



**Рис. 1.5.15.** Меридиональный профиль дисперсий месячных аномалий (без нормирования на стандарты календарных месяцев) вертикальных потоков влаги. 1 – осадки, 2 – испарение (эвапотранспирация), 3 – эффективные осадки

В то же время, интенсивность аномалий влагообмена (стандарт или дисперсия) обнаруживают значительную изменчивость в меридиональном направлении (Рис. 1.5.15): для осадков и эффективных осадков характерно наличие максимума изменчивости на средних широтах, в то время как изменчивость испарения, в общем, убывает в направлении с юга на север ЕТР.

Чрезвычайно интересны графики на Рис. 1.5.16. Здесь показаны меридиональные профили соотношения стандартов месячных аномалий испарения и осадков (кривая 1) – и соотношения стандартов месячных аномалий

испарения и эффективных осадков (кривая 2). Если в первом случае наблюдаются определенные изменения с широтой, то вторая кривая близка к горизонтальной линии на уровне 0,86: среднеквадратичное отклонение составляет всего 8%, что явно меньше ошибок наблюдений. Можно, следовательно, выдвинуть гипотезу об определенной инвариантности – во всяком случае, в масштабах рассматриваемого крупного региона – указанного соотношения.

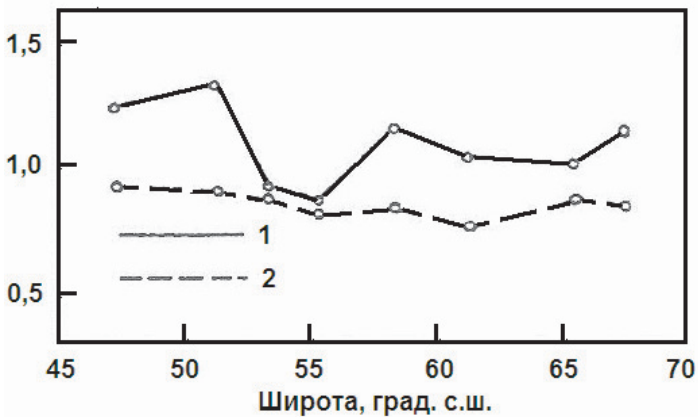


Рис. 1.5.16. Меридиональные профили величин  $\sigma(E)/\sigma(P)$  (кривая 1);  $\sigma(E)/\sigma(P-E)$  (кривая 2)

### 1.5.3. Простая локальная динамико-стохастическая модель преобразования эффективных осадков в речной сток

Обычно динамико-стохастические модели как вводно-солевого состава океанических вод, так и гидрологии поверхности суши, строятся следующим образом. Термогидродинамическая или балансовая (детерминистические) модели океана или верхнего слоя суши возбуждаются определенным образом сгенерированными реализациями псевдослучайных функций, представляющих атмосферные характеристики. Соответственно, границей между случайным атмосферным возбуждением и возбуждаемой моделью подстилающего слоя суши или океана считается физическая поверхность раздела. Пример такого построения нами динамико-стохастической модели приведен в разделе 1.3.3.

Однако, в работе (Hasselmann, 1991), применительно к модели океана, предложен альтернативный подход. А именно, К.Хассельманн предложил возбуждать модель водного баланса океана не атмосферными осадками, а сразу «эффективными» атмосферными осадками, то есть, разностью между осадками и испарением – в «промежуточном» масштабе времени (порядка месяца). Таким образом, самый верхний, сравнительно тонкий слой океана как бы изымается из модели подстилающей поверхности, процессы в нем не



рассчитываются внутри гидротермодинамической детерминистической модели, а сам верхний слой океана включается в случайное, «погодное возбуждение» (по К.Хассельманну).

Представляется, что в первом приближении, для построения простейшей модели изменений речного стока в климатическом масштабе времени – может быть использован аналогичный подход. Причины, дающие возможность такого подхода, видятся в следующем.

- Анализ как глобально-осредненных, так и региональных (в широком диапазоне природных зон) и локальных изменений, в климатическом масштабе времени, составляющих вертикального водообмена на поверхности суши – показывает, что испарение (эвапотранспирация) играет «отбеливающую» роль: превращает марковские изменения месячных аномалий и годовых величин осадков в бел шумные изменения «эффективных осадков».
- Исследование около 6 тысяч многолетних рядов годового и максимального стока, описанное ниже в главе 2, также демонстрирует преимущественно бел шумный характер изменений указанных видов речного стока в климатических масштабах времени. В особенности это характерно для рек «основного» типа – неозерных, не подвергающихся существенному влиянию регулирования стока.
- График плотности вероятности коэффициентов коррелированности стока смежных лет (Добровольский, 2011б) выглядит как композиция двух принципиально различных структур. А именно: на нем четко выделяется высокий пик на нулевом значении – своего рода дельта-функция Дирака – и боковой «лепесток» в диапазоне со средним значением около 0,3. Очевидно, что «дельта-функция» соответствует случаю, когда почти все эффективные осадки дренируются русловой сетью в тот же год (имеется в виду «гидрологический год»). Боковой лепесток соответствует случаю, когда часть эффективных осадков задерживается в верхних слоях суши (в «активном слое») и попадает в русловую сеть в следующий или более поздние годы. Именно последний тип межгодовых изменений стока – в меньшей, но все же заметной части створов – мы попытаемся описать при помощи предлагаемой модели. (Очевидно, что первый случай тривиален и не требует детальных пояснений с точки зрения стохастической структуры рядов годового стока).

Уравнения для месячных величин компонентов баланса в модели выглядят следующим образом.

$$Q_{s,t}^i = [(P - E)_t^i m^i] k^i + a_t^i, \quad (\overline{P - E}) > 0 \quad (1.5.1)$$

$$Q_{s,t}^i = c^i + a_t^i, \quad (\overline{P-E}) \leq 0 \quad (1.5.2)$$

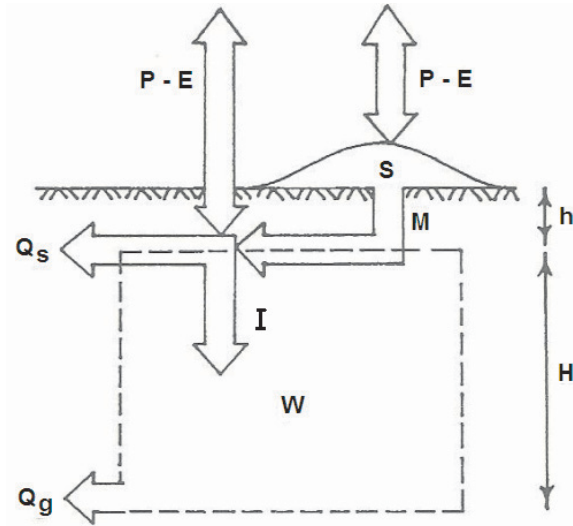
$$I_t^i = [(P-E)_t^i m^i + M^i] - Q_{s,t}^i \quad (1.5.3)$$

$$W_t^i = W_{t-1}^{i-1} + I_t^i - Q_{g,t}^i \quad (1.5.4)$$

$$Q_{g,t}^i = (W_{t-1}^{i-1} - const)l \quad (1.5.5)$$

$$S_t^i = S_{t-1}^{i-1} + (P-E)_t^i (1-m^i) \quad (1.5.6)$$

Схема модели представлена на Рис. 1.5.17.



**Рис. 1.5.17.** Схема простой динамико-стохастической модели преобразования эффективных осадков в сток.  $(P-E)$  – эффективные осадки (здесь и далее – месячные величины);  $Q_s$  – поверхностный сток;  $M$  – таяние снежного покрова;  $I$  – просачивание в горизонты, дренируемые русловой сетью в последующие месяцы;  $W$  – годовой запас влаги в этих горизонтах;  $Q_g$  – подземный сток (из указанных горизонтов);  $h$  – толщина слоя, участвующего в образовании эффективных осадков;  $H$  – толщина слоя накопления влаги для разгрузки в последующие месяцы;  $S$  – снежный покров

В уравнениях (1.5.1 – 1.5.6) и на Рис. 1.5.17  $i$  – номер календарного месяца;  $t$  – «непрерывное» время в месяцах;  $Q_{s,t}$  – поверхностный сток месяца  $t$ ;  $Q_g$  – подземный сток;  $(P-E)$  – эффективные осадки;  $(1-m)$  – коэффици-

ент, указывающий, какая часть эффективных осадков тратится на формирование снежного покрова;  $M$  – таяние снежного покрова;  $k$  – коэффициент, соответствующий части потока влаги, попадающей в русловую сеть в тот же месяц («поверхностный сток»);  $a^i$  – случайная величина с нулевым математическим ожиданием;  $c^i$  – константа для соответствующего календарного месяца;  $I^i$  – часть стока, не попадающая в данный месяц в русловую сеть, но сохраняющаяся в подповерхностных горизонтах;  $W$  – запас подземных вод, разгружающихся в последующие месяцы в русловую сеть;  $l$  – постоянный коэффициент;  $S$  – запас воды в снежном покрове. Верхний индекс « $i$ » применительно к величинам  $W$  и  $S$  обозначает конец месяца; во всех остальных случаях обозначает месяц в среднем.

Модель сконструирована в нуль-мерном варианте. Величины потоков и запасов влаги, следовательно, фигурируют в терминах слоя влаги. Статистические параметры эффективных осадков ( $P - E$ ) оценивались с использованием данных воднобалансовой станции Валдай (Рис. 1.5.18, 1.5.19).

Месячные аномалии эффективных осадков вводились в модель в двух вариантах: (а) в предположении об усеченном нормальном распределении ( $P - E$ ); (б) в варианте логнормального распределения. Расчеты показывают, что

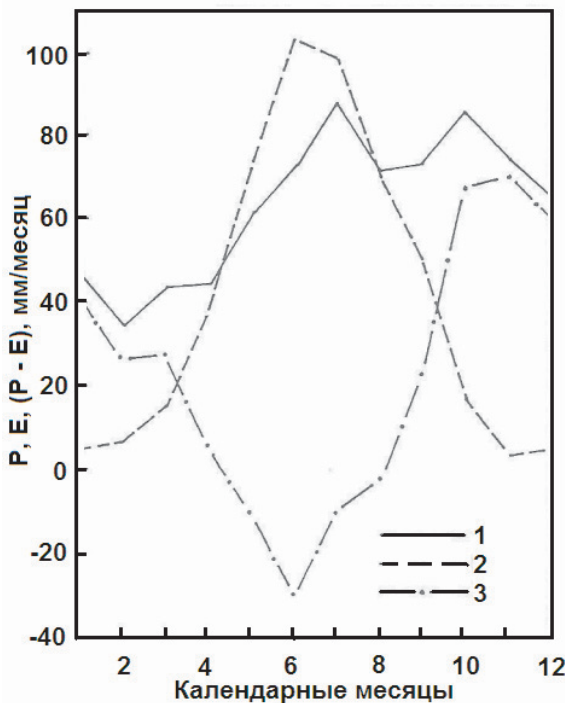
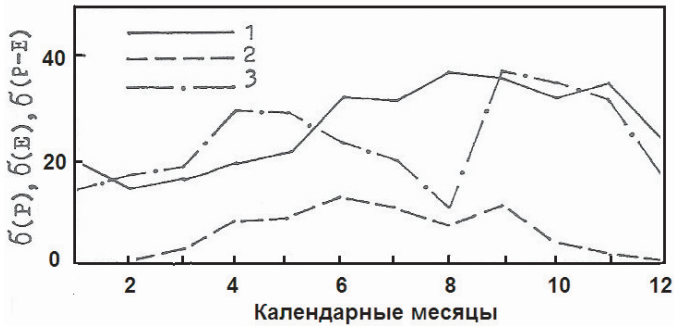
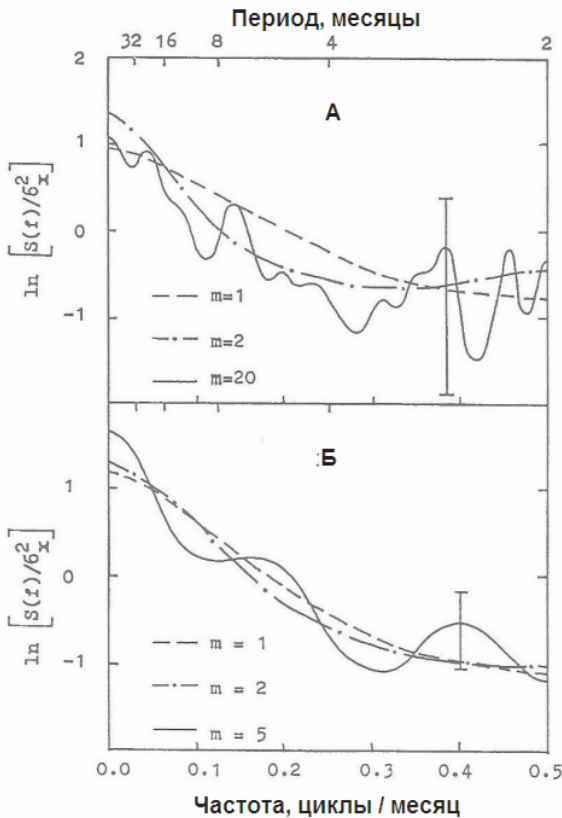


Рис. 1.5.18. Средний сезонный ход осадков (1), испарения (2), эффективных осадков (3) на воднобалансовой станции Валдай



**Рис. 1.5.19.** Сезонный ход стандартов месячных аномалий осадков (1), испарения/эвапотранспирации (2), эффективных осадков (3) на валдайской воднобалансовой станции



**Рис. 1.5.20.** Спектральная плотность нормированных месячных аномалий стока р. Пола. А – с использованием исходного ряда аномалий; Б – с использованием ряда аномалий, пересчитанных в выборочные значения гауссовских случайных величин.  $m$  – порядки моделей авторегрессии. Вертикальные отрезки обозначают 95%-ные доверительные интервалы для порядков  $m = 20$  (А) и  $m = 5$  (Б)

основной результат моделирования – автокорреляционная структура изменений годового стока – слабо зависит от выбора между вариантами (а) и (б). Сказанное находится в согласии и с анализом наблюдаемых рядов стока. Анализ около 6000 рядов годового, максимального и минимального стока примерно в 2000 створов на всех обитаемых континентах Земли, описанный в главе 2, показывает, что стохастическая и автокорреляционная структура рядов мало зависит от того, рассматриваются ли ряды в исходном виде – или будучи пересчитанными в выборочные значения гауссовских величин. Аналогичный результат обычно бывает получен и в отношении анализа месячных величин – см. пример оценок спектральной плотности  $p$ . Пола в створе, ближайшем к воднобалансовой станции Валдай (Рис. 1.5.20).

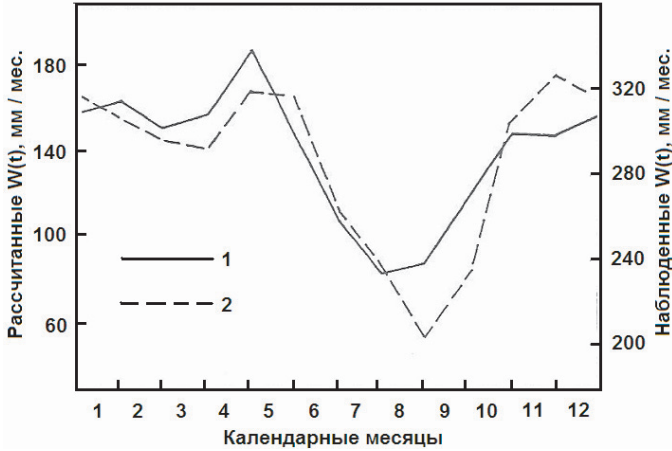
При построении модели рассматриваемого типа возникает вопрос о соотношении нуль-мерного «погодного возбуждения» и ненулевой площади водосбора, замыкаемого створом, сток в котором сравнивается с модельным стоком. Очевидно, что дисперсия погодного возбуждения «в точке» может быть больше дисперсии эффективных осадков, осредненных по площади водосбора. Для того, чтобы учесть этот эффект, были проведены эксперименты с уменьшением в 2 и более раз соответствующих дисперсий величины ( $P - E$ ), автокорреляционные функции и спектральная плотность годовых величин модельного стока при этом практически не менялись.

Коэффициенты  $k$  рассчитывались с использованием графика среднего сезонного хода эффективных осадков и гидрографа стока  $p$ . Пола, расчлененного на поверхностную и подземную составляющую. Коэффициент  $m$  рассчитывался простейшим образом – с учетом средней многолетней даты формирования устойчивого снежного покрова. Коэффициент  $l$  калибровался в процессе детерминистических экспериментов с моделью по воспроизведению средней сезонной динамики системы. В этом случае в модель вводился средний сезонный ход эффективных осадков и коэффициентов  $k^i$  и  $m^i$ . Из всех вариантов задания коэффициента  $l$  выбирался тот, при котором дисперсия ошибок воспроизведения  $Q_s$  была минимальной. При этом условии значение  $l$  оказалось равным 0,061.

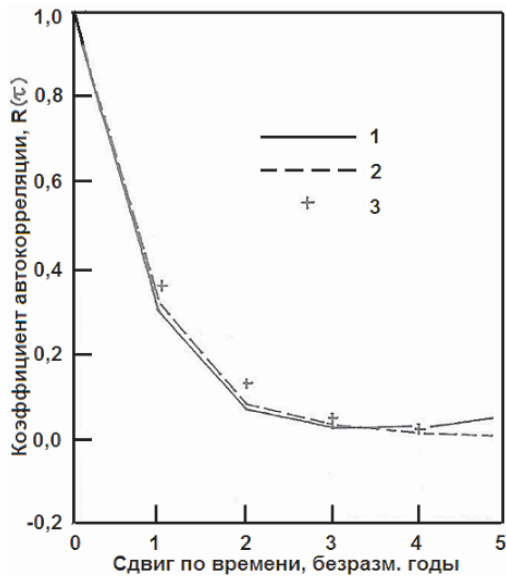
Осуществленные нами сезонные эксперименты с моделью показали, что она на качественном уровне удовлетворительно воспроизводит сезонные изменения запасов влаги. Так, Рис. 1.5.21 иллюстрируют изменения  $W$ , рассчитанные в модели – и соответствующие наблюдаемые изменения в районе валдайской воднобалансовой станции. Очевидно, что существует принципиальное сходство между двумя графиками, с точностью до некоторой константы, которая является аналогом величины  $const$  в уравнении (1.5.5) и равна примерно 15 см.

Рисунки 1.5.22 и 1.5.23 представляют автокорреляционные функции для годовых значений общего, поверхностного и подземного стока, полученные в результате 1020-летнего эксперимента на модели. Коэффициент автокорреляции суммарного стока со сдвигом 1 год оказался равным в модели 0,28; соответствующее значение для подземного стока было 0,66. Значение

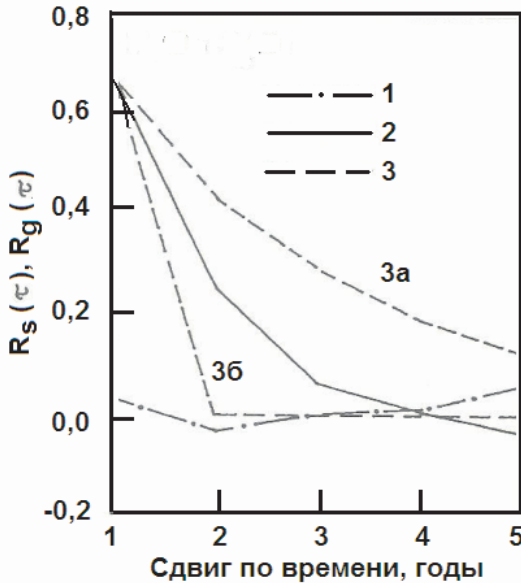
коэффициента для поверхностного стока находились, естественно, около нулевой отметки; небольшие отличия от нуля объясняются, очевидно, выборочной изменчивостью оценок.



**Рис. 1.5.21.** Сезонные изменения наблюдаемых (1) и оцененных в модели (2) запасов подземных вод в районе валдайской воднобалансовой станции



**Рис. 1.5.22.** Автоковариации годового стока р. Пола. 1 – оценки с помощью 1020-летнего эксперимента с динамико-стохастической моделью; 2 – оценки при помощи первого коэффициента, назначенного по методике (Раткович, 1976) и формулы для  $R$  процесса  $AR(1)$ ; 3 – оценки по данным наблюдений за стоком



**Рис. 1.5.23.** Автоковариации поверхностного (1) и подземного (2) стока р. Пола. Оценки при помощи 1020-летнего эксперимента на динамико-стохастической модели. 3а и 3б – оценки при помощи первого коэффициента автокорреляции, полученного в результате численного эксперимента – и, для сдвигов по времени более 1 года, соответственно модели простой Марковской цепи и процесса скользящего среднего

Отметим также, что введение в модель второго белого шума  $a_t^i$  не изменило принципиально результаты эксперимента.

Таким образом, представляется, что для меньшей, но все же значительной части рядов годового стока рек основного на Земле типа (неозерных незарегулированных), для которых характерна статистически значимая коррелированность годового стока смежных лет (см. главу 2), предложенная простая модель воспроизводит основные параметры сезонной и межгодовой изменчивости стока.

## Литература к главе 1

Атлас общей изменчивости температуры воздуха в свободной атмосфере южного полушария М.: Гидрометиздат, 1976. 76 с.

Атлас океанов. Т. 1. Тихий океан. Гл. управл. Навигации и океанографии, 1974. 228 с.

Атлас океанов. Т. 2. Атлантический океан. Гл. управл. Навигации и океанографии, 1976. 256 с.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. М.: Академия, 2008, 320 с.

Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. Под ред. А.Ш.Резниковского. М.: Энергия, 1969, 294 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Семенюк Е.А. Пространственно-временные корреляционные функции температуры воздуха, атмосферного давления и осадков в северном полушарии // Применение статистических методов в метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1987. С. 102 – 107.

Добровольский С.Г. Аномалии глобального тепловлагообмена. М.: Советский геофизический комитет, 1991. 128 с.

Добровольский С.Г. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира // Водные ресурсы, 2011а. Т. 38. С. 643 – 660.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011б. 660 с.

Добровольский С.Г. О стохастическом моделировании естественных изменений глобальной температуры // Ученые записки РГГУ. 2016, № 43. С. 116 – 127.

Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. СПб: Гидрометеиздат, 2004, 631 с.

Казначеева В.Д. Изменчивость температуры северного полушария по данным радиозондовых наблюдений // Применение статистических методов в метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1987. С. 121 – 125.

Киричек А.Д. Тепловой баланс энергоактивных зон и других районов Атлантического океана // Тр. Гидрометцентра СССР, 1986. № 273. С. 105 – 114.

Кузнецова Л.П. Атмосферный влагооборот над территорией СССР. М.: Наук, 1983. 173 с.

Кузнецова Л.П., Ярош Е.С. Внутри- и межгодовая изменчивость аномалий влагосодержания атмосферы и потока атмосферной влаги над территорией СССР // Метеорология и гидрология, 1986, № 11. С. 62 – 67.

Малинин В.Н., Гордеева С.М. Изменчивость испарения и осадков над океаном по спутниковым данным // Исследование земли из космоса, 2016. № 4. С. 23—34.

Материалы наблюдений на воднобалансовых станциях. М.: Гидрометиздат, 1965 – ... .

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 639 с.

Монин А.С. Атмосфера // Экологический энциклопедический словарь. М.: Ноосфера, 1999, 37 – 39.



- Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометиздат, 1976. 256 с.
- Торхов В.Л. Турбо Бейсик. М.: Гендальф, 1993. 64 с.
- Эдельштейн К.К. Структурная гидрология суши. М.: Геос, 2005, 316 с.
- Яглом А.М. Введение в теорию стационарных случайных функций // Успехи математических наук, 1952. Т. 7, вып. 5 (51). С. 3 – 168.
- Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций. С примерами из метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1981. 280 с.
- Ярош Е.С. Исследование сезонных аномалий характеристик атмосферной ветви гидрологического цикла. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: Институт водных проблем АН СССР, 1986. 137 с.
- Ярош Е.С., Коткова Л. Ю. Об устойчивости норм средних месячных интегральных потоков водяного пара и влагосодержания атмосферы над территорией СССР // Всес. конф. «Гидрология-2000». М.: Геофиз. Комитет АН СССР, 1986. С. 201 – 202.
- 20 CENTURY, 2016. Сайт в Интернете: <http://rda.ucar.edu/datasets/ds131.1/>
- Vox G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time series analysis: forecasting and control. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1994. 498 pp.
- Chen T.C. Global water vapor flux and maintenance during FGGE // Mon. Weather Rev., 1985. Vol. 113, No. 10. P. 1801 – 1819.
- Climate Research Unit. UK Meteorological Office. Hadley Centre, 2009. Сайт в Интернете: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>.
- CMAP, 2016. Сайт в Интернете: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atmospheric-reanalysis-overview-comparison-tables>
- Dai A., Qian T., Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in continental freshwater discharge from 1948 – 2004 // J. Climate, 2009. Vol. 22, 2773 – 2791.
- Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. Amsterdam et al.: Elsevier, 1992, 292 pp.
- Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. Berlin et al.: Springer, 2000, 296 pp.
- Dobrovolski S.G., Rybak O.O. Incorporation of hydrological cycle elements into the dynamic-stochastic climate model // GeoJournal, 1992. Vol. 27, No 3, July, 247-254.
- Fishman G.S. Monte Carlo: concepts, algorithms and applications. Springer, Berlin et al., 1996, 256 pp.
- Foster J.L., Hall D.K., Chang A.T.C. et all. Global snow cover and the Earth's rotation // Large scale effects of seasonal snow cover. Proc. Of the Vancouver Symp., Aug. 1987. IAHS Publ., № 166, 365-375.
- Gleick P.H. Water resources. // Encyclopedia of climate and weather. Vol. 2. Ed. S.H.Schneider. N.-Y.: Oxford Univ., 2000 – 2001. Washington, Island Press, 2000, 315 pp.
- GPCP, 2016. Сайт в Интернете: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>

Hasselmann K. Stochastic climate models. Part I. Theory. // *Tellus*, 1976, V. 28, 473-485.

Hasselmann K. Ocean circulation and climate change // *Tellus*, 1991. Vol. 43, Issue 4. P. 82 – 103.

Justus C.G., Mani K., Mikhail A.S. Interannual and month-to-month variation of wind speed // *J. Appl. Meteorol.*, 1979. Vol. 18. No. 7. P. 903 – 920.

NCEP/NCAR, 2016. Сайт в Интернете: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

Mendoza V.M., Villanueva E.E., Garduño R., Nava Y., Santiesteban G., Mendoza A.S., Oday B., Adem J., 2009. Thermo-hidrological modelling of the climate change effect on the water availability in two hydrologic regions of México. *Int. J. Climatol.* (ISSN: 0899-8418) 29, 1131-1153.

Privalsky V.E., Jensen D.T. Time series analysis package. Logan: Utah Climate Center, 1993. 61 pp.

Schulzweida U., Kornblueh L., Quast R. CDO user's guide. Climate Data Operators, Version, 2006. Vol 1. No. 6. 164 pp.

Ulrich T.J., Bishop T. Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition // *Rev. Geophys. Space Phys.*, 1975. Vol. 13. P. 183 – 200.

Yaglom A.M. An introduction to the theory of stationary random functions. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962. 232 p.

Yaglom A.M. Correlation theory of stationary and related random functions. Vol. 1. Basic results. Berlin et al.: Springer, 1987, 526 pp.

## **Глава 2. Изменения речного стока в климатических масштабах времени**

### **2.1. Общий обзор глобально осредненных характеристик межгодовых и многолетних изменений речного стока**

Значительная часть тем, связанных с глобальными изменениями речного стока, освещена в монографии (Добровольский, 2011б). В настоящем разделе вкратце повторим, с некоторыми изменениями, основные положения указанной монографии. Вместе с тем, несмотря на значительный объем последней, часть вопросов не могла быть в ней рассмотрена: не все значительные бассейны рек мира были подробно освещены, отсутствовал сравнительный анализ статистик стока в пределах основных речных бассейнов. Этим проблемам будут посвящены последующие разделы главы.

Несмотря на то, что изучению многолетних колебаний стока посвящено большое количество работ, анализ изменчивости годовых объемов стока в глобальном масштабе до недавнего времени был последовательно (с использованием стохастических моделей) осуществлен лишь в одном труде – «Многолетние колебания речного стока» (Раткович, 1976). В этой монографии, на основе изучения стоковых рядов в 339 створах, впервые было показано, что многолетние изменения годового стока большинства рек мира, для которых имелись соответствующие данные наблюдений, в первом приближении удовлетворительно описываются при помощи малопараметрических моделей стационарных случайных последовательностей.

К настоящему времени назрела необходимость (и появилась возможность) провести количественный анализ изменчивости стока рек мира на новом уровне – с учетом большего количества данных по стоку и новых компьютерных возможностей.

Другим отличием нашей работы является использование в ней прикладных методов теории случайных функций, неизвестных в первой половине 1970-х годов.

Наконец, новые подходы к изучению колебаний стока связаны с разработкой, в последние десятилетия, стохастической теории климата (Hasselmann, 1976; 1981; Dobrovolski, 2000; Imkeller et al., 2001), рассматривающей воды суши как компоненту глобальной климатической системы и помогающей лучше понять причины и закономерности изменчивости стока в климатических масштабах времени. В осуществлении этих новых возможностей

и в выявлении на этой основе новых закономерностей, применительно к анализу изменений стока в глобальном масштабе, и заключалась цель настоящего исследования.

### **2.1.1. Исходная информация**

В работе были использованы: архив данных по стоку, подготовленный в рамках международных проектов «Глобальные базы данных для моделей суши и атмосферы» (Global Data Sets for Land-Atmosphere Models) и «Международный спутниковый проект климатологии поверхности суши» (International Satellite Land Surface Climatology Project) (ISLSCP, 1996); глобальный архив данных по речному стоку, сформированный Центром распределенных активных архивов (EOSDIS) Национальной лаборатории Ок Ридж (США) (Vogosmarty et al., 1998); архив Глобального центра данных по речному стоку (GRDC, 2009). Как правило, эти архивы содержали информацию о стоке в створах, замыкающих речные бассейны площадью не менее примерно 2500 кв. км.<sup>1</sup> Таким образом, рассматриваются преимущественно те реки, которые часто называют «средними» и «большими» и не рассматриваются реки, которые принято называть «малыми»<sup>2</sup>. Заметим, что, как показано в ряде работ – см., например, (Пространственно-временные..., 1988), при площадях бассейнов менее примерно 3000 кв. км основные параметры многолетней изменчивости стока не зависят от площади бассейна.

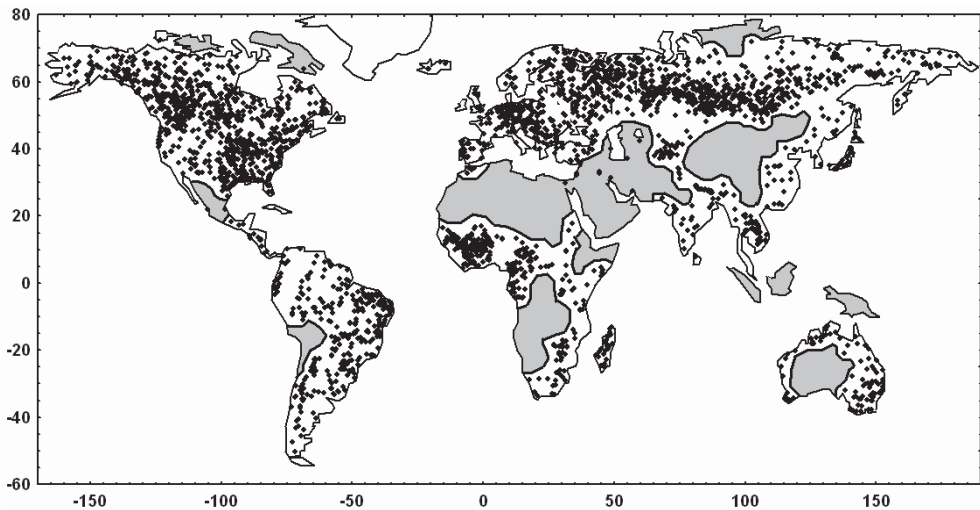
Первичная обработка исходной информации заключалась в следующем. (1) Створы идентифицировались и картировались при помощи электронного атласа (Microsoft, 2005) в азимутальной проекции. (2) С использованием карт из этого атласа, а также – в ряде случаев – с использованием атласа космических снимков (Earth..., 2009) выявлялись ошибки в координатах створов, названиях рек и створов, площадях водосборных бассейнов, замыкаемых створами. (3) Выявлялись ошибки в данных наблюдений, ошибочные величины удалялись. (4) Выделялись непрерывные ряды величин годового стока, максимального и минимального стока длиной, как правило, не менее 20 лет. В отдельных случаях, для территорий с очень редкой сетью речных постов, для расчета нормы и слоя стока использовались ряды длиной от 10 до 20 лет. (5) В случае, если в ряде был один пропуск, он заполнялся методом Ульриха-Бишопа (Ulrych, Bishop, 1975). (6) Данные всех архивов подвергались взаимной сверке. В случае разночтений по возможности выяснялась причина ошибок.

В результате для целей настоящей работы был сформирован электронный архив данных по 2942 створам рек; из них 351 створ находится в

<sup>1</sup> Для наглядности: 2500 кв.км – примерно площадь бассейна реки Пахра.

<sup>2</sup> См. о разделении бассейнов по площади и о связанной с этим дискуссии, например, в (Виноградов и др., 2008).

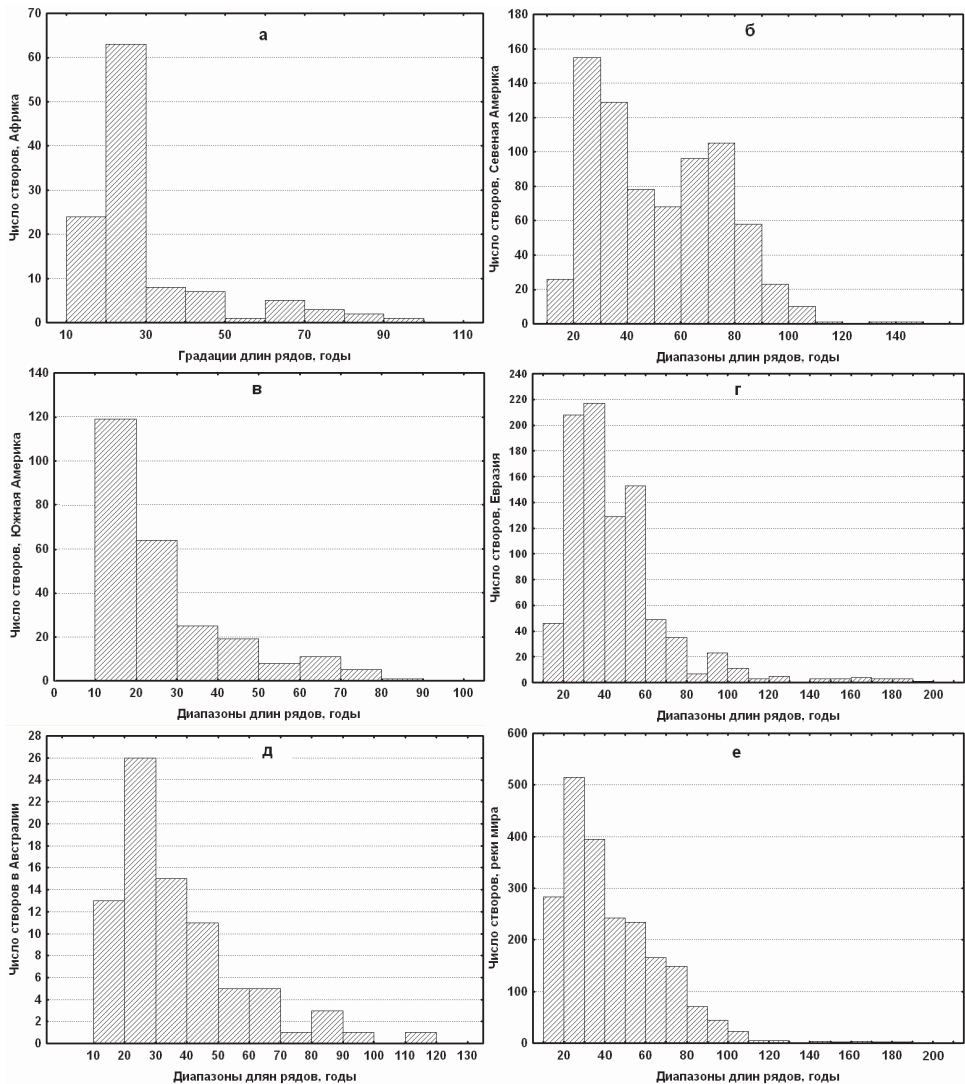
Африке, 933 – в Северной Америке, 307 – в Южной Америке, 1267 – в Евразии (733 в России, 300 в зарубежной Европе, 234 в зарубежной Азии), 84 в Австралии. Расположение створов показано на Рис. 2.1.1. Из рисунка видно, что наиболее полное покрытие створами отмечается для Северной Америки (кроме Мексики) и зарубежной Европы (кроме части территории Украины и Белоруссии). Сравнительно полно освещена территория России, а также территория Южной Америки (кроме части территории Перу и Чили и территории Боливии). Редкая сеть створов или полное отсутствие створов характерно для значительных по размеру частей зарубежной Азии, Африки и Австралии. На Рис. 2.1.1 территории, где створы с длинными рядами стока полностью или почти полностью отсутствуют, обозначены серым цветом. Большинство этих территорий приходится на пустынные или полупустынные регионы. Кроме того, длительные наблюдения над стоком отсутствуют и в части избыточно увлажненных регионов (часть экваториального пояса Африки, Новая Гвинея), и на территориях с достаточным увлажнением, но чрезвычайно холодным климатом (полуостров Таймыр, арктические острова Канады).



**Рис. 2.1.1.** Расположение створов, использованных в работе. Серым цветом обозначены территории (в основном, в зонах пустынь и арктических пустынь), в пределах которых речные посты с длинными рядами наблюдений практически отсутствуют

Средняя длина рядов годовых величин стока составляла около 44 лет. Эта величина примерно равна длине рядов, изучавшихся в (Раткович, 1976) (но в нашем случае количество рядов существенно больше), и в два с лишним раза превышает среднюю длину рядов глобального архива EOSDIS (21,5 года).

На Рис. 2.1.2 показаны гистограммы длин рядов годовых объемов стока для каждого из пяти свободных ото льда материков Земли и для мира в целом. Наиболее длинные ряды стока в среднем – в Северной Америке (51,8



**Рис. 2.1.2.** Гистограммы длин рядов наблюдений за стоком: а – Африка, б – Северная Америка, в – Южная Америка, г – Евразия, д – Австралия, е – мир

года). Сравнительно длинные ряды стока в Евразии (в среднем 46,0 года – в основном за счет длинных рядов в зарубежной Европе и, отчасти, в России). Меньшая длина рядов характерна для Австралии (36,1 года), Африки (31,5

года), в особенности – для Южной Америки (23,7 года). Распределение числа створов по градациям длин рядов для материков, избежавших непосредственного участия в мировых войнах – Австралии, Южной Америки и Африки (и в целом для мира) выглядит близким к случайному: наиболее велико число створов с наиболее короткими рядами (то есть, длиной от 20 лет; как говорилось выше, ряды длиной от 10 до 20 лет использовались избирательно), по мере увеличения длин рядов количество створов монотонно падает.. На гистограммах для Северной Америки и Евразии наблюдаются провал числа створов между 40 и 60 годами – что очевидно связано со Второй мировой войной – и увеличение числа створов, наблюдение на которых было организовано после войны.

Важным этапом исследования было выделение групп створов по типам замыкаемых ими речных бассейнов. Число створов в исследовании было велико, и для большинства рек, на которых они расположены, было невозможно установить при помощи литературных источников точную степень осуществляемых в их бассейнах гидротехнических мероприятий на режим стока и точную степень «озерности». В связи с этим была принята упрощенная схема выделения типов речных бассейнов (Рис. 2.1.3), базирующаяся в основном на изучении электронных карт водосборов (хотя по возможности использовались и литературные источники, и электронные атласы космических снимков).



Рис. 2.1.3. Схема выделения типов речных бассейнов

В соответствии с этой схемой к основному типу (тип 1 на Рис. 2.1.3) были отнесены створы неозерных рек снегового или дождевого питания, вблизи которых (выше по течению) отсутствуют крупные водохранилища и/или ирригационные системы. «Створами озерных рек» (тип 2) считались те, которые расположены в непосредственной близости от питающего их озера. Аналогично, створы, расположенные вблизи питающих реки ледников, были отнесены к типу «ледниковых створов» (тип 3), а створы рек вблизи нижних бьефов крупных водохранилищ и/или крупных ирригационных систем были отнесены к типу «створов рек с антропогенно-измененным стоком» (тип 4).

Наряду с перечисленными выше четырьмя основными типами створов и бассейнов, целесообразным было выделить и два «переходных» типа – между соответственно типами 1 и 4 (тип 5) и 1 и 2 (тип 6) – в тех случаях, когда степень «озерности» или степень возможного антропогенного влияния на режим стока априори неясна.

Можно заметить, что предложенная схема выделения типов речных бассейнов носит в определенной степени экспертный характер. Вместе с тем, дальнейший анализ подтвердил целесообразность группирования створов по упомянутым выше типам речных бассейнов: результаты для основных групп створов были принципиально различными. Расчеты подтвердили и полезность выделения переходных типов бассейнов: средние значения параметров изменчивости стока для переходных типов, как правило, находились между значениями для соответствующих основных типов.

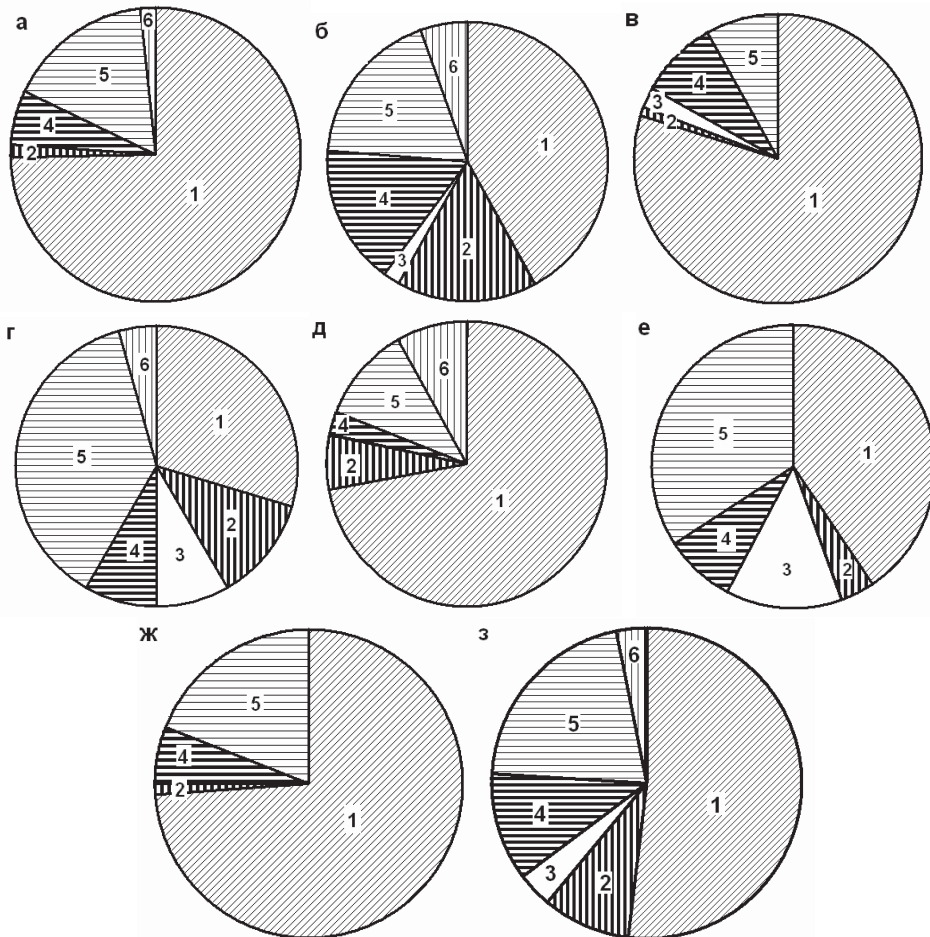
Приведем данные распределений числа створов по типам замыкаемых ими бассейнов (Рис. 2.1.4). Напомним, что при этом расчеты ведутся не по всей площади суши или ее отдельных частей и не по всем рекам и их бассейнам (что, впрочем, невозможно ввиду неопределенности самого понятия «река»), а только для использованных в работе створов средних и крупных, по площадям, бассейнов рек. Однако, и рассчитанные таким образом распределения показательны, так как речные посты организовывались в створах рек, представлявших наибольший практический и научный интерес. Из диаграмм видно, что в среднем по миру створы равнинных неозерных рек с ненарушенным водным режимом составляют несколько более половины, примерно 1/8 створов приходится на реки озерного, переходного к озерному типов и реки ледникового питания. Остальные, примерно 1/3 створов – створы рек предположительно антропогенно-измененного и переходного типов.

Картина распределения створов по типам бассейнов заметно варьирует от одного макрорегиона мира к другому. Так, в России, Южной Америке, Африке и Австралии доля створов рек основного типа (неозерных равнинных с ненарушенным режимом стока) близка к  $\frac{3}{4}$ . В Европе, Северной Америке и зарубежной Азии доля рек этого типа существенно меньше: минимальна в зарубежной Европе (немногим более  $\frac{1}{4}$ ) и составляет около 1/3 в Северной Америке и зарубежной Азии. Для последних трех макрорегионов характерна и повышенная доля рек с антропогенно-измененным (предположительно) режимом стока.

В конечном итоге, в основном варианте сформированная нами электронная база данных включала следующие исходные параметры: (1) номер створа по нашей классификации; (2) название реки в латинской транскрипции; (3) название створа; (4) название страны; (5) широта створа в градусах и их десятичных долях (с точностью до сотых или тысячных долей градуса); (6) долгота створа; (7) номер типа замыкаемого створом водосборного бассейна по принятой нами классификации; (8) площадь водосборного бассейна в кв. км; (9) среднее значение годового стока по всем имеющимся данным наблюдений в кубокилометрах в год; (10) среднее значение годового слоя стока в



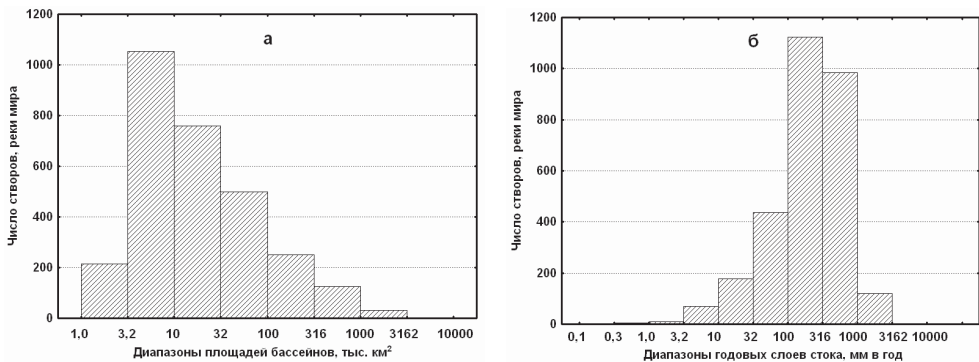
мм в год; (11) среднее по всем наблюдениям значение стока в наиболее полноводный месяц в кубометрах в секунду; (12) номер наиболее полноводного месяца; (13) величина стока самого маловодного месяца; (14) номер этого месяца; (15 – 26) средний многолетний сток календарных месяцев в кубометрах в секунду. Таким образом, часть основной электронной таблицы нашей базы данных, содержащая исходную информацию для принятых 2942 створов рек мира, включала в себя 76492 ячейки, подавляющая часть которых была заполнена.



**Рис. 2.1.4.** Диаграммы долей типов бассейнов, замыкаемых использованными в работе створами. Номера типов бассейнов соответствуют номерам на схеме на Рис. 3. а – Африка, б – Северная Америка, в – Южная Америка, г – зарубежная Европа, д – Россия, е – зарубежная Азия, ж – Австралия, з – мир

### 2.1.2. Средние параметры речных бассейнов и стока рек

Перед тем, как перейти к анализу изменений стока, целесообразно вкратце охарактеризовать параметры речных бассейнов и средние климатологические значения параметров стока. Важнейшие исходные параметры – площадь водосборных бассейнов и их увлажненность в терминах среднего слоя стока (или модуля стока). Среднее глобальное значение площади бассейна ( $A$ ) для рассматриваемых 2942 створов – 81 149 км<sup>2</sup> (напомним, что в работе рассматривались бассейны площадью, в основном, не менее 2500 км<sup>2</sup>). Средние значения  $A$  для отдельных материков составило: Африка – 97617 км<sup>2</sup>, Северная Америка – 63534 км<sup>2</sup>, Южная Америка – 103657 км<sup>2</sup>, Евразия – 84809 км<sup>2</sup>, Австралия – 68970 км<sup>2</sup>. Отклонения этих значений от среднего глобального сравнительно невелики и не превышают 28%; уменьшенные средние значения  $A$  в Северной Америке и в Австралии можно объяснить большей относительной (в сопоставлении с густотой речной сети) густотой сети створов в этих развитых регионах мира.



**Рис. 2.1.5.** Гистограммы (в логарифмических шкалах) основных параметров речных бассейнов, рассматриваемых в работе: площадей бассейнов (а) и средних годовых слоев стока (б)

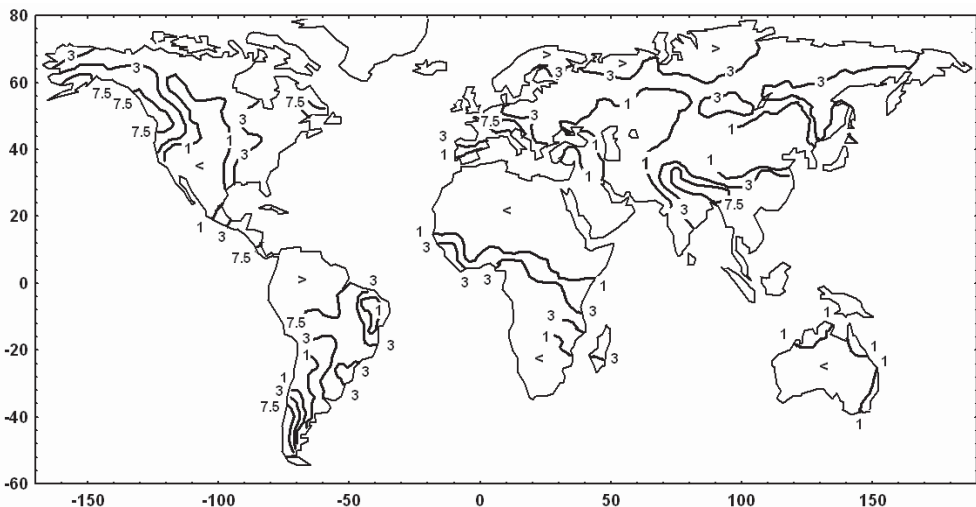
Намного больше различия площадей бассейнов в зависимости от их типа (Рис. 2.1.3). Если величина средней площади  $A$  для основного типа рек – неозерных с антропогенно-неизменным режимом – близка к средней по всем типам (68 275 км<sup>2</sup>), то средняя площадь бассейнов озерных и переходного к озерному типу бассейнов несколько меньше (59 795 км<sup>2</sup>), а значение аналогичного параметра для рек ледникового питания составляет лишь около 20% от среднемирового (17851 км<sup>2</sup>). Напротив, средняя площадь бассейнов, в пределах которых находятся крупные водохранилища и/или ирригационные

системы, и бассейнов переходного типа в полтора с лишним раза больше среднемировой ( $124081 \text{ км}^2$ ).

В исходном виде гистограмма плотностей распределений площадей бассейнов для всех типов бассейнов очень быстро спадает с увеличением значений  $A$ . Даже, будучи перестроенным в логарифмических шкалах (Рис. 2.1.5а), график демонстрирует непрерывное уменьшение плотности распределения с ростом  $A$  (крайний левый столбец не показателен из-за принятого усечения площадей на значении 2,5 тыс. кв.км).

Большой интерес представляет распределение по макрорегионам мира годовых слоев стока. Среднее по створам глобальное значение составляет 332 мм/год, в то время как различия по материкам чрезвычайно велики: средний слой стока наиболее увлажненного континента, Южной Америки (547 мм/год), почти в 6 раз превосходит слой стока наиболее засушливого континента – Австралии (93 мм/год). Величина слоя стока другого засушливого континента – Африки – также заметно ниже среднего значения (237 мм/год), в то время как средняя увлажненность Северной Америки и Евразии (соответственно 303 и 344 мм/год) близка к средней глобальной.

Имеются различия в слое стока и между водосборными бассейнами различных типов. Средний слой стока в бассейнах неозерных рек с естественным режимом, как и озерных рек и рек переходного к озерному типу, близок к среднемировому (соответственно 339 и 325 мм/год). В то же время, средний слой стока бассейнов рек ледникового питания в два с лишним раза больше (765 мм/год), а бассейнов рек, в пределах которых находятся крупные гидротехнические сооружения заметно меньше (276 мм/год).



**Рис. 2.1.6.** Карта средних многолетних значений годового слоя стока. Обозначения изолиний – в сотнях мм /год

Представляет интерес и гистограмма распределения числа створов по градациям слоя стока (Рис. 2.1.5б, построен в логарифмической шкале слоев стока). В отличие от Рис. 2.1.5а, гистограмма слоев стока в логарифмической шкале нарастает – до значений около 300 мм/год (то есть, средних глобальных), затем быстро падает.

На Рис. 2.1.6 помещена построенная нами карта средних многолетних значений годового слоя стока. В отличие от наиболее подробной, из аналогичных, карты в монументальном издании (Мировой..., 1974), в нашем случае имела информация прямых наблюдений за стоком на территориях, на которых в 1970-х годах такие наблюдения практически отсутствовали – например, для значительной части ключевого для изучения стока бассейна – Амазонки.

Поле слоя стока не является гладким: оно существенно мозаично; в связи с этим, а также в связи с тем, что в разных регионах густота сети створов различна, карта на Рис. 2.1.6 и любая карта такого содержания неизбежно должна быть существенно генерализована. Генерализация приведенной карты осуществлялась следующим образом: значения слоя стока усреднялись по квадратам  $5 \times 5$  градусов, затем осредненные значения присваивались центрам квадратов, и по полученной сетке значений вручную проводились изолинии. Так как предварительно осреднение проводилось по большим площадям (в среднем порядка 140 тыс. км<sup>2</sup>), то для построения карты на Рис. 2.1.6 отбирались створы, замыкающие бассейны площадью, как правило, не более 100 тыс. км<sup>2</sup>. В тех регионах, которые практически не охвачены сетью речных постов, изолинии не проводились (можно предположить, что в большей их части слоя стока минимален – менее 100 мм/год).

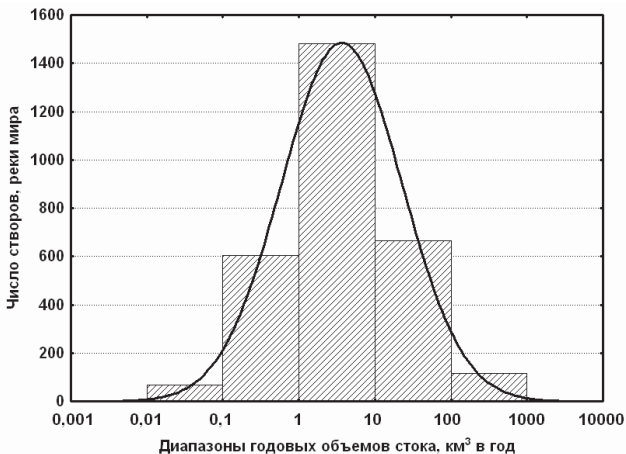
В настоящем исследовании изучался вопрос о возможной связи между площадью речных бассейнов ( $A$ ) и соответствующим средним слоем стока. Как и в работе (Раткович, 1976), нами отмечено некоторое увеличение слоя стока при уменьшении  $A$ , однако вплоть до площадей порядка 1 млн км<sup>2</sup> этот эффект очень незначителен, а количество бассейнов большей площади слишком невелико для того, чтобы делать значимые выводы. Возможно, отмеченный эффект небольшого формального роста слоя стока с уменьшением  $A$  связан с тем, что на слабо увлажненных территориях речная сеть менее густая, и в связи с этим уменьшается процент речных постов на небольших реках. Другой причиной может быть неопределенность самого понятия «водосборный бассейн» применительно к рекам на засушливых территориях: оценки площади бассейнов таких рек могут быть завышены. На Рис. 2.1.7 показана гистограмма распределений средних годовых объемов стока рек – как и на Рис. 2.1.5, для логарифмической шкалы. Вследствие того, что площади бассейнов на Рис. 2.1.5а распределены с положительной асимметрией, а слой стока на Рис. 2.1.5б – с отрицательной асимметрией, причем модули коэффициентов асимметрии в этих случаях примерно равны (близки к единице), распределение произведений этих величин – объемов стока – близко к симметричному (нормальному). Можно, таким образом, сказать, что распределение

исходных годовых объемов речного стока при глобальном обобщении близко к логнормальному.

Добавим к этому, что средний глобальный объем годового стока составил для рассматриваемых 2942 створов  $22,2 \text{ км}^3/\text{год}$  при гигантском разбросе величин: минимальный наблюдаемый объем составил  $0,003 \text{ км}^3/\text{год}$ , максимальный –  $5449 \text{ км}^3/\text{год}$  (р. Амазонка в створе Обидос).

Примечательно распределение средних значений годового стока рек по материкам. Наибольшая величина среднего стока наблюдается на наиболее увлажненном континенте, Южной Америке –  $62,2 \text{ км}^3/\text{год}$ , наименьшая – на наиболее засушливом, Австралии – всего  $2,0 \text{ км}^3/\text{год}$ , причем различие во много раз превышает соответствующее различие в среднем слое стока и составляет более 30 раз.

Заметно меньше среднего годовой сток рек Африки –  $15,8 \text{ км}^3/\text{год}$ , близко к среднемировому значению для Евразии –  $22,7 \text{ км}^3/\text{год}$ . Интересно то, что средний сток, наблюдаемый в створах Северной Америки, составляет лишь  $12,7 \text{ км}^3/\text{год}$ , что очевидно объясняется очень высокой плотностью сети речных постов.



**Рис. 2.1.7.** Гистограмма плотности вероятности годовых объемов речного стока рек мира (в логарифмической шкале). Сплошной кривой обозначена плотность нормального распределения

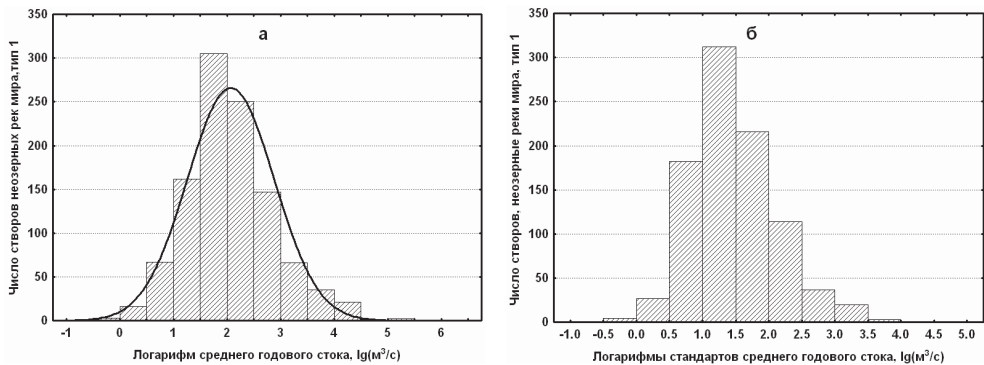
Распределение средних годовых объемов стока по типам водосборных бассейнов следующее. Средний сток неозерных рек с неизменным режимом, как и рек с антропогенно-измененным режимом и переходных рек, близок к среднемировому: соответственно  $23,2$  и  $25,9 \text{ км}^3/\text{год}$ . В то же время, средний сток в створах рек озерного и переходного типа, а также рек ледникового питания примерно в два раза меньше среднемирового:  $11,4$  и  $11,6 \text{ км}^3$ .

### 2.1.3. Общая изменчивость речного стока

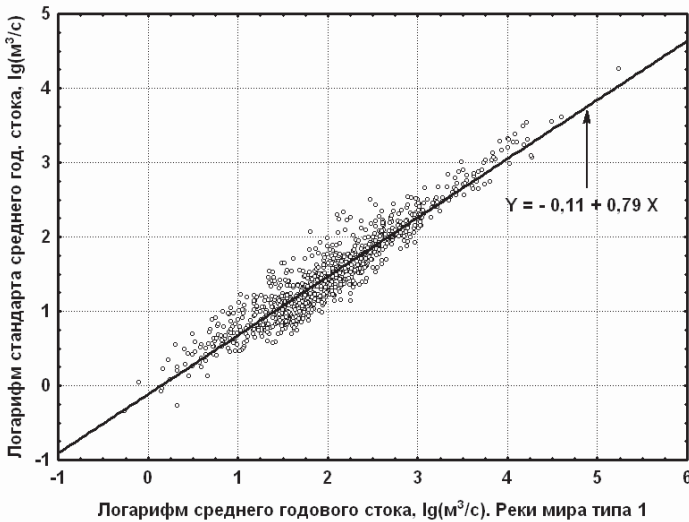
Базовые параметры, описывающие общую изменчивость годовых объемов стока – второй момент при нулевом сдвиге по времени (или дисперсия), а также стандарт – и нормированный вариант последней величины, характеризующий относительную изменчивость – коэффициент вариации  $C_V$ . В отличие от предыдущих, на этом этапе исследования с самого начала необходимо учитывать различия между типами бассейнов, замыкаемых используемыми в работе створами.

Начнем с основных бассейнов – неозерных рек с ненарушенным (как предполагается) режимом стока. На Рис. 2.1.8 для этого типа рек и створов показаны гистограммы, в логарифмических шкалах, распределений числа створов по диапазонам среднего годового стока и стандартов годового стока. Распределение величин среднего стока несколько более асимметрично, чем аналогичное распределение для створов рек всех типов, вместе взятых (Рис. 2.1.7), однако логнормальное распределение и в этом случае является неплохим первым приближением. В свою очередь, распределение на Рис. 2.1.8б еще более асимметрично ( $C_S = 0,67$ ).

Представляет интерес зависимость стандартов среднего годового стока от самого среднего годового стока (Рис. 2.1.9). В билигарифмических шкалах она близка к прямой линии с тангенсом угла наклона около 0,8. Это означает, что при переходе от самых малых из рассматриваемых рек к наиболее крупным – то есть, при увеличении среднего годового стока на 5 порядков, стандарты среднего годового стока растут всего на 4 порядка (соотношение между стандартами и самим стоком меняется на порядок или примерно в 10 раз).



**Рис. 2.1.8.** Гистограммы плотности вероятности величин среднего годового стока (а) и стандартов годового стока (б) в логарифмических шкалах. Неозерные реки мира с ненарушенным режимом стока (тип 1). Сплошной кривой на Рис. 2.1.8а обозначено нормальное распределение

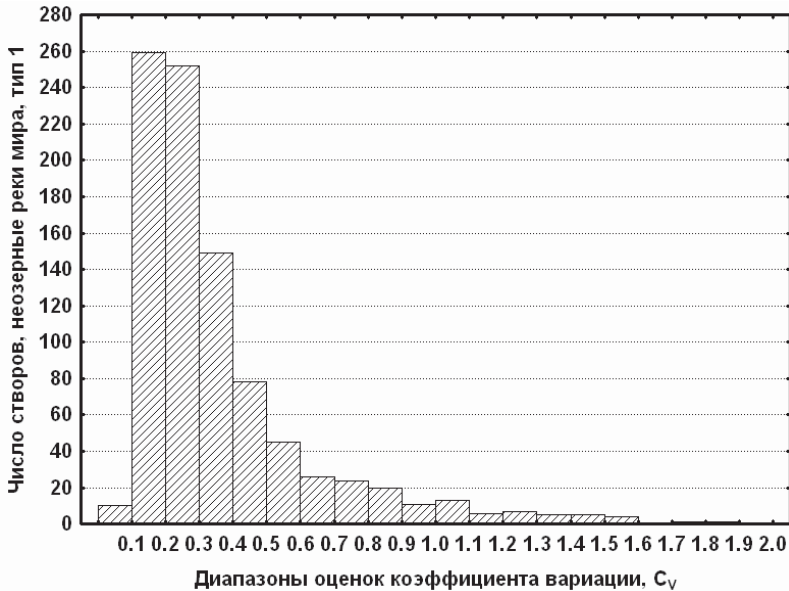


**Рис. 2.1.9.** Соотношение между логарифмами стандартов среднего годового стока и логарифмами среднего годового стока. Неозерные реки мира с ненарушенным режимом стока, тип 1

Это подводит к рассмотрению одного из важнейших параметров изменчивости речного стока – коэффициента вариации годовых значений. Как известно,  $C_V$  связан и с коэффициентом асимметрии, и с оценками внутрирядной связности изменений стока, и с другими параметрами изменений стока. На Рис. 2.1.10 показана гистограмма распределений числа створов по диапазонам значений для основного типа рек – неозерных с ненарушенным режимом стока (тип 1). Обращает на себя внимание наличие на гистограмме резкого скачка плотности распределения вероятности при переходе от диапазона 0,0 – 0,1 к диапазону 0,1 – 0,2. В то время как на второй диапазон приходится мода распределения, значения  $C_V$  меньше 0,1 фиксируются лишь для нескольких створов из почти тысячи участвовавших в расчетах гистограммы – причем, значения менее 0,06 отсутствуют. С увеличением значений  $C_V$  выше 0,3 плотность распределения падает почти в геометрической прогрессии. По-видимому, на значениях около 0,1 существует некоторое универсальное пороговое значение  $C_V$ , связанное с фундаментальными природными свойствами изменчивости стока.

Точные значения характерных величин  $C_V$  таковы. Среднее значение  $C_V$  годовых величин стока в створах неозерных рек мира с ненарушенным режимом (тип 1) составляет 0,361 (при этом  $C_V$  для величин как максимального, так и минимального стока существенно выше – соответственно 0,435 и 0,454). Заметно ниже значения годового стока для створов рек озерных и переходного к озерному типа и для створов рек ледникового питания – 0,286 и

0,200. Напротив, значение  $C_V$  для рек, сток которых может быть нарушен функционированием гидротехнических сооружений (типы 4 и 5 на Рис. 2.1.3) значительно выше и составляет в среднем 0,423.



**Рис. 2.1.10.** Гистограмма плотности вероятности коэффициентов вариации средних годовых величин речного стока неозерных рек мира с ненарушенным режимом (тип 1)

Коэффициент вариации годового стока находится в сильной зависимости от фундаментальных параметров речных бассейнов – площади бассейна и годового слоя стока. На Рис. 2.1.11 показан трехмерный график зависимости от названных параметров. На рисунке видно, что график  $C_V$  имеет форму как бы трех лучей, параллельных осям. Иначе говоря, наибольшие значения каждого из трех параметров соответствуют случаям, когда значения двух параметров сравнительно невелики. Другой особенностью графика является то, что все три его луча приподняты над горизонтальной нулевой плоскостью на величину, равную пороговому значению  $C_V$ .

Более детально зависимости  $C_V$  от двух других параметров по отдельности выглядят следующим образом (Рис. 2.1.12). На рисунке слева показана зависимость, в билогарифмических шкалах, коэффициента вариации годового стока от площади бассейна, справа – от годового слоя стока. Сплошными кривыми линиями на каждом графике показана аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов.



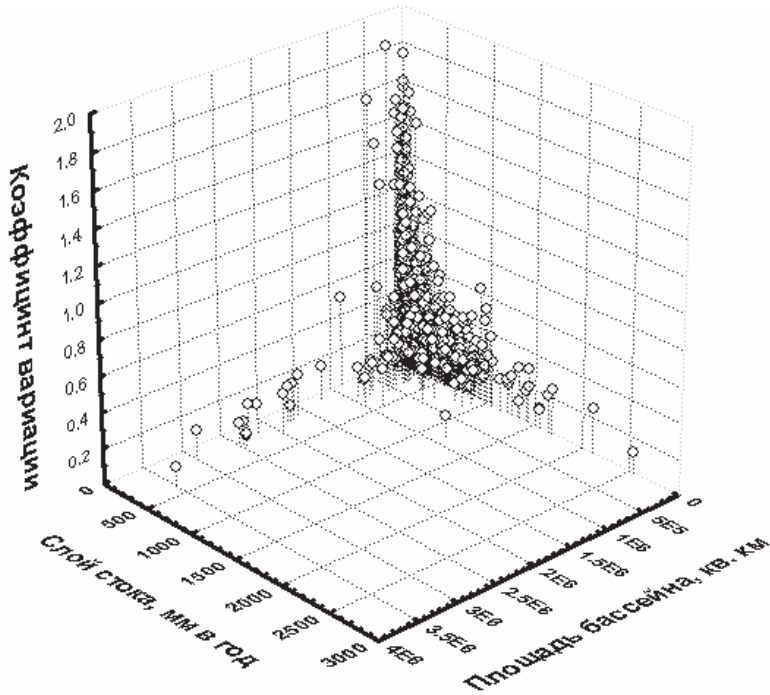


Рис. 2.1.11. Зависимость коэффициента вариации от площади бассейна и годового слоя стока.

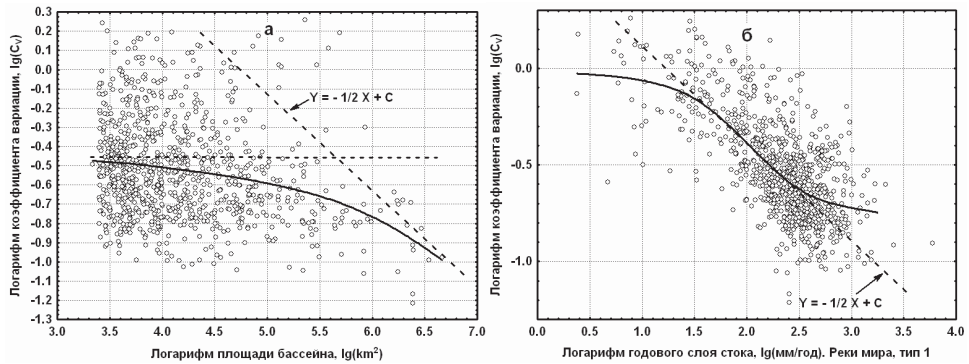
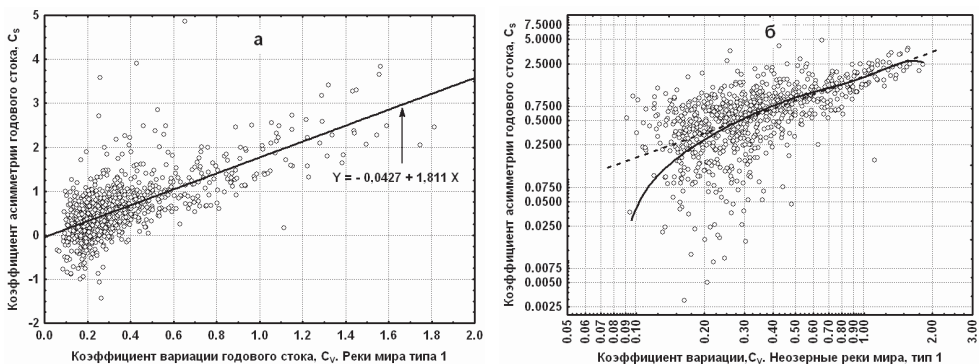


Рис. 2.1.12. Зависимости, в билогарифмических шкалах, коэффициента вариации годового стока от площади бассейна (а) и годового слоя стока (б). Неозерные реки с ненарушенным режимом стока (тип 1). Сплошные кривые – аппроксимации методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

На первом графике обращает на себя внимание сравнительно небольшие изменения  $C_V$  при небольших площадях водосборов, переходящие в бы-

строе понижение при больших площадях. Это обстоятельство, для створов на территории России, было отмечено в (Пространственно-временные..., 1988), однако для створов мира подробный график, как представляется, приводится впервые. В качестве гипотезы можно предположить, что кривая на Рис. 2.1.12а имеет две асимптоты (обозначены пунктирными прямыми): горизонтальную, к которой  $C_V$  стремится при уменьшении площадей бассейнов, и прямая с тангенсом угла наклона  $-1/2$ , к которой  $C_V$  стремится при увеличении площадей. Значение степени  $-1/2$  характерно: такова должна быть, теоретически, скорость уменьшения  $C_V$  при росте площадей бассейнов в отсутствие пространственной коррелированности стока. Действительно, в ряде работ – например, в (Пространственно-временные..., 1988) было показано, что при расстоянии между створами порядка 1000 км коррелированность между годовыми объемами стока в них практически исчезает; это примерно соответствует величинам площадей ( $10^6 \text{ км}^2$ ), начиная с которых кривая средних значений  $C_V$  вплотную приближается к линии, соответствующей «закону минус второй степени». Аппроксимирующая кривая зависимости от слоя стока показана на Рис. 2.1.12б. В диапазоне слоев стока примерно от 30–40 до 300–400 мм/год аппроксимирующая кривая также соответствует закону «минус второй степени». На меньших и на больших значениях слоя стока аппроксимирующая кривая выполаживается.

Важным представляется вопрос об оценках коэффициента асимметрии ( $C_S$ ) годовых величин стока. Как известно, выборочные оценки этого параметра содержат очень большие ошибки, поэтому зачастую рекомендуют рассчитывать  $C_S$  как удвоенное значение  $C_V$  – см. об этом, например, (Раткович, 1976). Эти гипотезы проверялись нами на материале стоковых рядов в створах неозерных рек типа 1 всего мира (Рис. 2.1.13).



**Рис. 2.1.13.** Зависимости коэффициента асимметрии годового стока от коэффициента вариации в линейных шкалах (а) и в билогарифмических шкалах (б). Сплошными линиями обозначены линейная аппроксимация (а) и аппроксимация методом пространственно взвешенных наименьших средних квадратов. Пунктиром на Рис.2.1.13б обозначена прямая с единичным тангенсом угла наклона

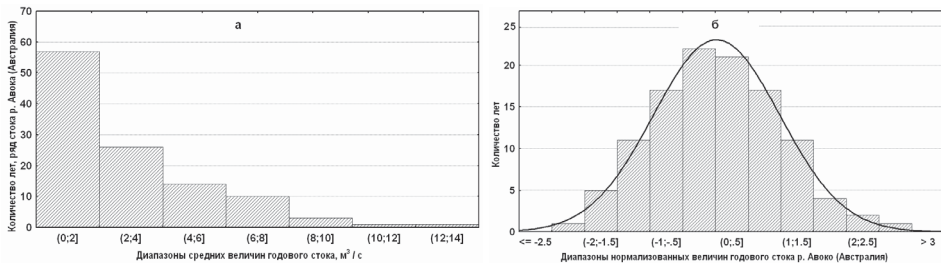
Здесь на Рис. 2.1.13а для точек графика представлена оптимальная линейная аппроксимация; она дает значение коэффициента связи между  $C_S$  и  $C_V$  несколько ниже упоминающегося в работах (Раткович, 1976; Пространственно-временные..., 1988): около 1,8 при очень незначительной смещенности оценок (0,04).

Вместе с тем, нуждается в проверке и сама гипотеза о линейном характере связи между  $C_S$  и  $C_V$ , так как подавляющая часть точек графика на Рис. 13а сосредоточена в области низких значений  $C_V$ , где линейность не очевидна. С этой целью на Рис. 13б аналогичный график представлен в бипологарифмических шкалах (при этом поле точек более равномерное), а аппроксимация осуществлена методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. На рисунке видно, что гипотеза линейной связи применима, начиная со значений  $C_V$  примерно 0,2 – 0,3; при меньших значениях рост  $C_S$  происходит быстрее, чем по линейному закону.

### 2.1.4. Коррелированность стока смежных лет

Как отмечалось во многих работах (Раткович, 1976; Пространственно-временные..., 1988; Добровольский, 1991; 2002; Dobrovolski, 1992), коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год,  $K(1)$ , является ключевым параметром для описания закономерностей временной (межгодовой и многолетней) изменчивости годовых значений многих гидрометеорологических характеристик, в том числе речного стока. Ниже этот вывод будет подтвержден и на материале всех доступных нам стоковых рядов рек мира.

Для того, чтобы быть уверенными в надежности оценок  $K(1)$  и строящихся на их основе последующих выводов, в настоящем исследовании были проделаны работы методического плана по изучению влияния на оценки этого параметра негауссовости стоковых рядов и длины рядов.



**Рис. 2.1.14.** Гистограммы плотности распределения годовых величин стока р. Авоко (Австралия): а – исходного ряда, б – ряда величин, преобразованных в нормально распределенные. Сплошная кривая на Рис. б – теоретическая плотность нормального распределения

С этой целью анализ каждого ряда стока проводился в трех вариантах: в исходном, в виде ряда обеспеченностей (с равномерной плотностью распределения) и в виде ряда величин, пересчитанных в нормально распределенные. Последняя процедура осуществлялась при помощи алгоритма на основе формулы 1.2.1 из раздела 1.2 главы 1 настоящей монографии. В том же разделе помещены подробные объяснения процедуры и приведено сравнение с другими аналогичными методами преобразования исходных рядов в ряды нормально распределенных величин.

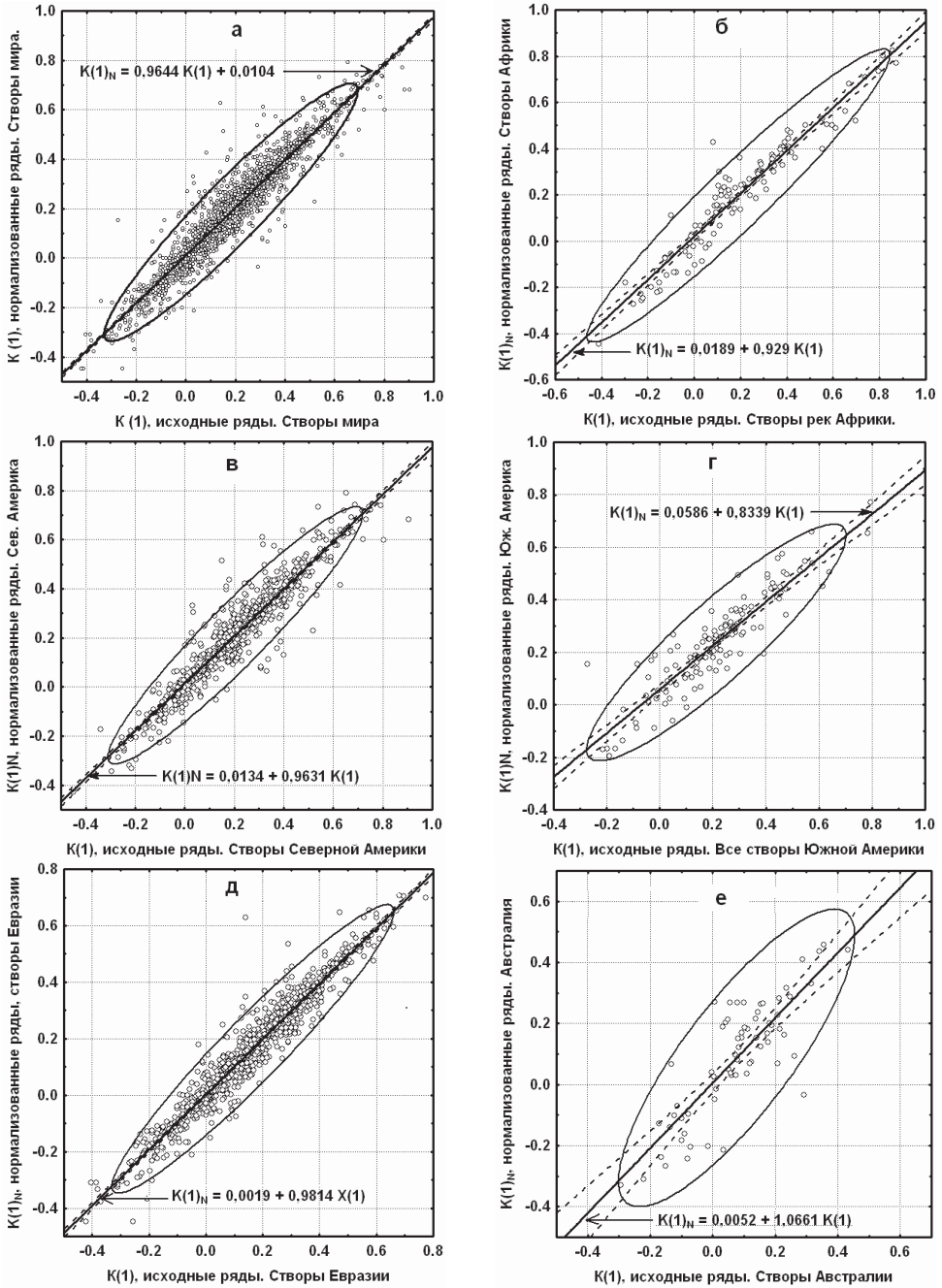
Чтобы проиллюстрировать эффективность такого преобразования на конкретном примере, на Рис. 2.1.14 приведены выборочные оценки распределения плотности вероятностей, рассчитанные по исходному ряду (а) и по ряду, преобразованному в ряд нормально распределенных величин. В то время как исходный ряд в очень существенной степени асимметричен ( $C_V$  около 1), даже выборочная оценка плотности распределения преобразованных величин (б) практически идеально соответствует теоретическому нормальному распределению. Так как оценки параметров многолетней изменчивости, рассчитанные по рядам обеспеченностей, как правило, находились между оценками соответствующих параметров, рассчитанными по исходным и нормализованным рядам, ниже приводятся только результаты для последних двух вариантов.

Будучи преобразованными в ряды нормально распределенных величин, стоковые ряды становятся идеальными объектами для применения корреляционной теории случайных функций (независимо от того, как были распределены исходные ряды), так как в этом случае последняя полностью описывает вероятностные свойства последовательности. Если, к тому же, будет показано, что результаты, полученные по исходным рядам, сходны с результатами, полученными по преобразованным в нормально распределенные ряды, будет продемонстрирована корректность применения корреляционной теории и к исходным рядам.

Так, на Рис. 2.1.15 показаны соотношения между коэффициентами автокорреляции годовых величин стока со сдвигом 1 год, оцененными по исходным рядам ( $K(1)$ , по горизонтальной оси) и по рядам преобразованных в нормальные величин ( $K(1)_N$ , по вертикальной оси) – для створов рек мира в целом и для каждого материка.

Очевидно, что тангенс угла наклона линий регрессии (прямые сплошные линии) близок к единице, смещенность оценок невелика, а 95% эллипсы рассеяния и 95% доверительные области оценок линий регрессии (пунктирные линии) достаточно узки. Наибольший разброс оценок характерен для рек самого засушливого континента – Австралии – но при этом смещенность ничтожна – всего 0,005, а тангенс угла наклона практически совпадает с единичным (1,07).

Точные оценки величин парной корреляции между оценками  $K(1)$  и  $K(1)_N$  для всего мира таковы: для бассейнов всех типов, вместе взятых – 0,95,



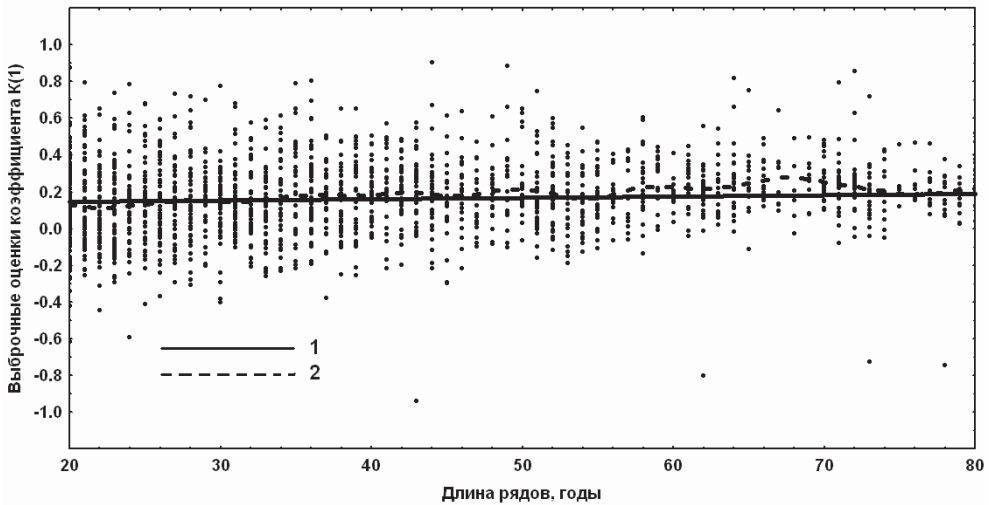
**Рис. 2.1.15.** Связь между оценками коэффициентов автокоррелированности годовых величин, рассчитанными по исходным рядам и по рядам величин, преобразованным в нормально распределенные для мира в целом и для каждого из материков

для неозерных рек с ненарушенным (как предполагается) режимом стока – 0,93, для озерных рек – 0,97, для рек ледникового питания – также 0,97, для створов рек с антропогенно нарушенным режимом стока – 0,93. Определенные различия в коррелированности между  $K(1)$  и  $K(1)_N$  наблюдаются на разных материках. В Африке (0,96), Евразии и в Северной Америке (по 0,95) коррелированность между  $K(1)$  и  $K(1)_N$  для всех типов рек близка к средним мировым значениям. Несколько понижена величина коррелированности для Южной Америки (0,90) и заметно понижена для Австралии (0,83); в последнем случае, очевидно, играет роль большая асимметрия стоковых рядов (в среднем,  $C_S = 1,55$ , а  $C_V = 0,95$ ), связанная с засушливостью климата и большой долей временно пересыхающих рек. Однако, и для Австралии, как будет показано ниже – в связи с малой смещенностью линии регрессии на Рис. 2.1.15e – общая структура семейства стохастических моделей для описания многолетних колебаний стока, основанных как на исходных, так и на нормализованных рядах, качественно не отличается от общемировой структуры.

Важным, но одновременно сложным является вопрос о возможном влиянии длины рядов на результаты анализа. На Рис. 2.1.16 показана зависимость средних значений «несмещенной» выборочной оценки коэффициента автокорреляции годового стока для сдвига 1 год от длины ряда. Из рисунка видно, что линейная аппроксимация и аппроксимация методом «взвешенных отрицательных экспонент» дают сравнительно небольшой рост (на 0,04 – 0,05) значений  $K(1)$  при переходе от минимальных длин рядов (20 лет) к длине, равной 60 годам – то есть, в наиболее распространенном диапазоне длин, для которого можно «набрать» статистику. Существуют и косвенные свидетельства того, что различия в длинах рядов может не играть критической роли при формулировании основных результатов исследования: как будет показано ниже, структура системы стохастических моделей для описания многолетних колебаний стока качественно сходна в различных макрорегионах – с наибольшими средними длинами рядов (в Северной Америке), с наименьшими длинами (в Южной Америке, Африке и Австралии) и со средними длинами (в целом в Евразии и в России).

Вместе с тем, нельзя не отметить, что вопрос о возможном влиянии длин рядов на результаты анализа при помощи корреляционной теории случайных функций чрезвычайно нетривиален и связан с фундаментальными проблемами приложений теории – в частности, с предположением об эргодичности процесса изменчивости стока. Также, возможная небольшая зависимость результатов от длин рядов может иметь «параметрический» характер – через третьи параметры. Например, расчеты показывают, что имеется определенная связь между длинами стоковых рядов и площадями бассейнов, а последний параметр, в свою очередь оказывает влияние на автокоррелированность стока. В рамках настоящего исследования подвергались анализу и обсуждались и эти эффекты, однако ограниченный объем публикации не дает возможности подробно на них останавливаться. Заметим только, что

при средней длине использованных нами рядов (44 года), примерно равной длине рядов в работе (Раткович, 1976) (40 лет) результаты нашего исследования вполне сопоставимы с результатами указанной, наиболее близкой к нему, работы.

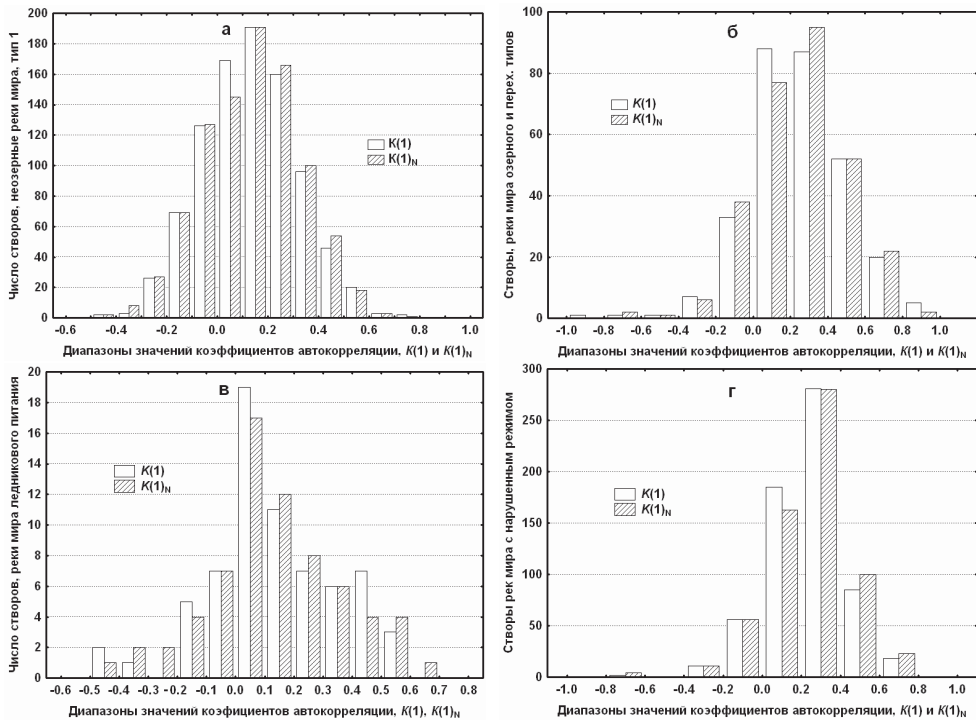


**Рис. 2.1.16.** Зависимость выборочных значений коэффициента автокорреляции  $K(1)$  от длины рядов. 1 – линейная аппроксимация, 2 – аппроксимация методом отрицательных взвешенных экспонент

Распределение выборочных оценок коэффициентов автокорреляции годового стока со сдвигом 1 год для рек различных типов показано на Рис. 2.1.17. Здесь белыми (левыми) столбцами обозначены плотности распределения коэффициентов, рассчитанных по исходным рядам, заштрихованными (правыми) столбцами – по пересчитанным, в нормально распределенные, рядам. Из графиков, прежде всего, видно, что оценки по исходным и пересчитанным в нормально распределенные рядам практически совпадают друг с другом во всех случаях. Приведем величины средних значений/стандартов первых и вторых оценок для бассейнов разных типов: 0,13/0,19 и 0,13/0,19 – неозерные реки с предположительно ненарушенным режимом стока; 0,24/0,25 и 0,24/0,25 – реки озерного и переходного к озерному типа; 0,13/0,22 и 0,13/0,23 – реки ледникового питания; 0,23/0,20 и 0,24/0,20 – реки с предположительно измененным режимом стока и переходного типа.

Из графиков и приведенных выше цифр видно также, что неозерные реки с ненарушенным (предположительно) режимом стока и реки ледникового питания характеризуются сравнительно низкими значениями автокоррелированности стока смежных лет (0,13, что на 0,05 ниже средних по миру оценок из (Раткович, 1976)), в то время как автокоррелированность стока озер-

ных рек и рек с нарушенным (предположительно) режимом стока почти в 2 раза больше (в среднем, 0,24). Из указанных данных вытекает также, что в среднем, в глобальном масштабе, строительство гидротехнических сооружений на реках играет по отношению к связности стока смежных лет точно такую же роль, как и озерность рек. Наличие же горных ледников, как источников питания, в среднем не меняет характерную для большинства «естественных» неозерных рек временную коррелированность стока.

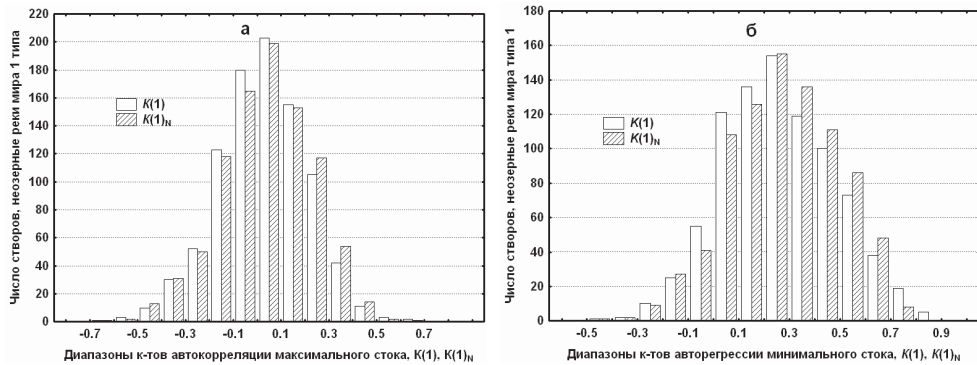


**Рис.2.1.17.** Гистограммы распределения числа створов по диапазонам оценок коэффициентов автокорреляции  $K(1)$  (левые столбцы, белого цвета) и  $K(1)_N$  (правые столбцы, заштрихованы). Ряды среднего годового стока рек разного типа

Представляет интерес автокоррелированность не только среднего, но и максимального и минимального стока. На Рис. 2.1.18 помещены соответствующие распределения величин  $K(1)$ . В сопоставлении с распределением средних годовых объемов стока (Рис. 2.1.17а) очевидно, что автокоррелированность максимального стока существенно меньше, чем среднего годового стока и в среднем близка к нулю (около 0,03). Напротив, средняя автокоррелированность минимального стока в два раза превышает автокоррелированность среднего годового стока (0,26 – 0,27). Графики на Рис. 2.1.18 составлены для неозерных рек с ненарушенным режимом стока; для рек других типов



соотношение между автокоррелированностью максимального, среднего и минимального стока сохраняется – притом, что в целом значения этих параметров для озерных рек и рек с антропогенно-нарушенным режимом стока выше, чем рассмотренные, а значения параметров рек ледникового питания близки к рассмотренным.

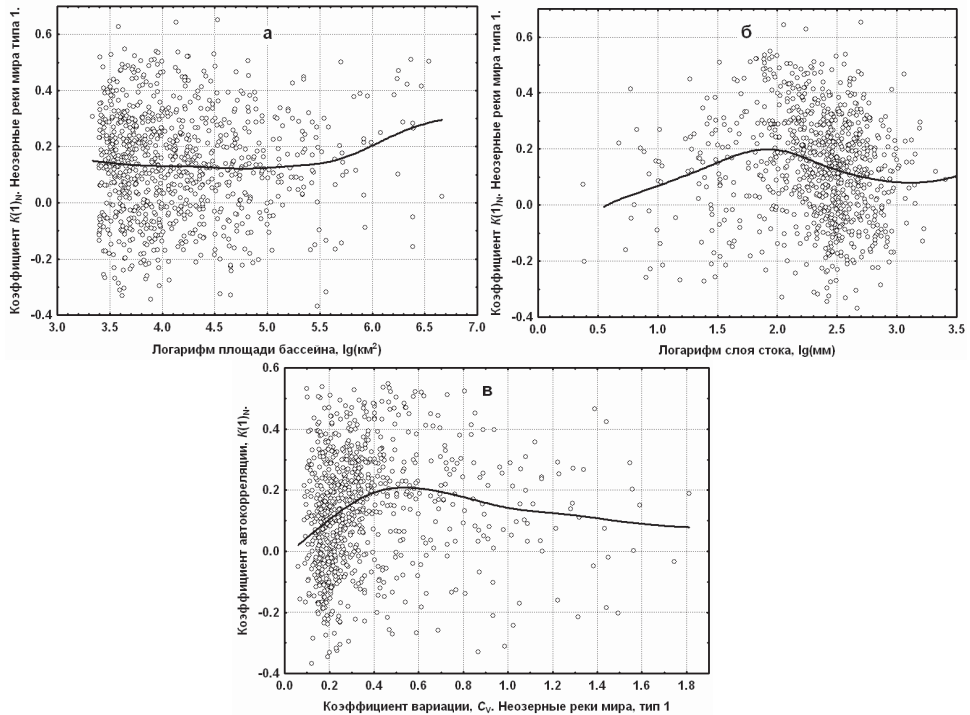


**Рис. 2.1.18.** Гистограммы распределений числа створов по диапазонам оценок коэффициентов автокорреляции  $K(1)$  (левые столбцы, белого цвета) и  $K(1)_N$  (правые столбцы, заштрихованы). Ряды максимального (а) и минимального (б) стока неозерных рек 1 типа

### 2.1.5. Факторы автокоррелированности речного стока

Связность (коррелированность) стока смежных лет зависит от ряда факторов. На Рис. 2.1.19 показаны графики зависимости  $K(1)_N$  от фундаментальных параметров речных бассейнов – площади и слоя стока, а также от основного параметра, описывающего относительную изменчивость стока – коэффициента вариации годового стока.

На Рис. 2.1.19а видно, что вплоть до площадей бассейнов порядка 300-400 тыс. км<sup>2</sup> автокоррелированность стока практически не зависит от этого параметра. С дальнейшим ростом площадей бассейнов величина  $K(1)_N$  на графике заметно растет. В качестве гипотезы можно предположить, что пространственная инвариантность автокоррелированности в диапазоне сравнительно небольших площадей связана с пространственной коррелированностью самого стока – за счет, прежде всего, пространственной коррелированности метеорологических полей. На более значительных пространственных масштабах, где роль пространственной коррелированности стока убывает, может играть роль то обстоятельство, что крупнейшие реки дренируют более глубокие горизонты подземных вод.



**Рис. 2.1.19.** Зависимости коэффициента автокорреляции годового стока с единичным сдвигом,  $K(1)_N$ , от площади бассейна (а), годового слоя стока (б), коэффициента вариации годового стока (в). Неозерные реки мира с ненарушенным режимом стока (тип 1). Сплошными линиями обозначены аппроксимации методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

Характерной чертой графика на Рис. 2.1.19б является наличие локального максимума автокоррелированности стока на значениях годового слоя стока порядка 50 – 100 мм/год. Это свойство зависимости между автокоррелированностью стока и слоем стока, кстати, не отмечалось ранее по данным о стоке отечественных рек: в (Пространственно-временные..., 1988) регистрируется непрерывный рост автокоррелированности стока с уменьшением его слоя (модуля). Также в качестве гипотезы можно предположить, что при очень малой увлажненности роль подземных вод в формировании стока уменьшается (в случае сезонно пересыхающих рек очевидно, что в засушливый период эта роль становится нулевой).

Наконец, на графике на Рис. 2.1.19в также имеется локальный максимум – на значении  $C_V$  около 0,5. Этот эффект также не отмечен в (Пространственно-временные..., 1988). Его объяснение, по-видимому, может быть аналогично объяснению предыдущего эффекта.

Расчеты показывают, что автокоррелированность годового стока связана не только с параметрами самого годового стока и с площадью бассейнов,

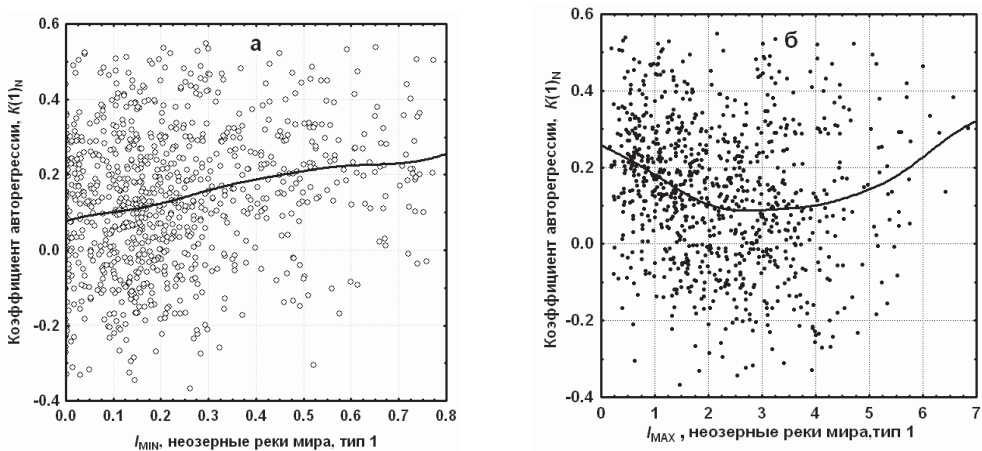
но и с особенностями (естественного) внутригодового распределения стока. Как отмечено в (Эдельштейн, 2005), обычно в исследованиях приводится такой параметр внутригодового распределения, как доля базисного стока в годовом объеме стока, характеризующая общую (естественную) сезонную зарегулированность. В нашем случае целесообразным оказалось ввести два более простых параметра, разделяюще характеризующих роль максимального и минимального стока в формировании годового стока – соответственно, «индекс максимального стока»,  $I_{MAX}$  и «индекс минимального стока»,  $I_{MIN}$  :

$$I_{MAX} = (Q_{MAX} - Q) / Q; \quad (2.1.1)$$

$$I_{MIN} = Q_{MIN} / Q, \quad (2.1.2)$$

где  $Q$  – среднее многолетнее значение среднего годового стока;  $Q_{MAX}$  и  $Q_{MIN}$  – соответственно среднее многолетнее значение стока наиболее полноводного и наиболее маловодного месяца – все в одинаковых единицах, например, в  $M^3/c$ .

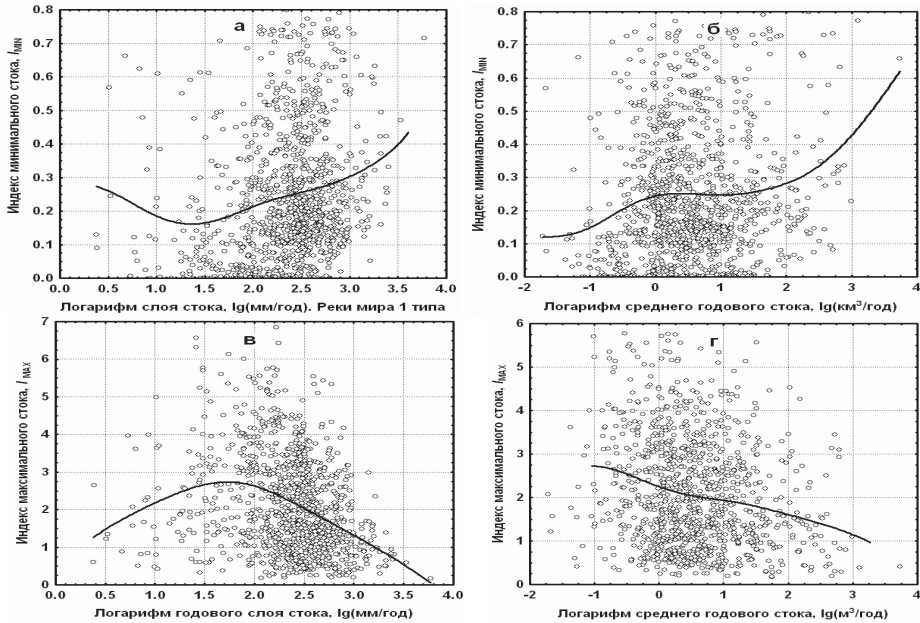
Зависимости коэффициента авторегрессии с годовым сдвигом, рассчитанного для нормализованных рядов стока, от введенных индексов показаны на Рис. 2.1.20. Очевидно, что зависимость автокоррелированности стока от «роли» минимального стока монотонно растет при увеличении индекса минимального стока во всем диапазоне значений – от близких к нулю значений (сезонно пересыхающие реки) до величины 0,8.



**Рис. 2.1.20.** Зависимости коэффициента авторегрессии  $K(1)_N$  от индекса минимального стока,  $I_{MIN}$  (а) и индекса максимального стока,  $I_{MAX}$  (б). Неозерные реки мира с антропогенно-ненарушенным режимом стока, тип 1

Напротив, зависимость автокоррелированности стока от индекса максимального стока немонотонна и имеет локальный минимум на значении

2,75. Нами также были построены графики зависимостей  $I_{\text{MAX}}$  и  $I_{\text{MIN}}$  от основных параметров бассейнов – среднего годового стока и слоя стока – оказавшиеся чрезвычайно четкими и очень интересными (Рис. 2.1.21). Обращают на себя внимание монотонность и значительность зависимостей обоих индексов от среднего годового объема стока (Рис. 2.1.21б,г) и немонотонность зависимостей обоих индексов от слоя стока (Рис. 2.1.21а,в), причем во



**Рис. 2.1.21.** Зависимости индексов минимального (а, б) и максимального (в, г) стока от слоя стока (а, в) и от среднего годового стока (б, г). Неозерные реки мира с антропогенно-ненарушенным режимом стока, тип 1

всех случаях изменения индексов максимального и минимального стока происходят почти в противофазе.

### 2.1.6. Стохастические модели изменений стока

В многочисленных работах по изучению многолетних колебаний годовых величин речного стока и других параметров гидросферы и атмосферы Земли (Раткович, 1976; 2003; Привальский, 1984; Привальский и др., 1992; Фролов, 1985; Dobrovolski, 2000; Добровольский, Истомина, 2006 и др.) показано, что для описания большей части временных рядов этих параметров оп-

тимальными являются малопараметрические стохастические модели. При этом ведущую роль играют авторегрессионные модели вида:

$$X(t) = \alpha_1 X(t-1) + \dots + \alpha_M X(t-M) + a(t), \quad (2.1.3)$$

где  $X$  – значение рассматриваемого параметра,  $t$  – время в безразмерных годах,  $\alpha_1, \dots, \alpha_M$  – постоянные коэффициенты (авторегрессии),  $M$  – порядок модели,  $a(t)$  – последовательность некоррелированных по времени, одинаково и нормально распределенных случайных величин. Выражение (2.1.3) подразумевает, что последовательность  $X(t)$  стационарна, нормально распределена и обладает нулевым математическим ожиданием. Последнее условие, применительно к исходным рядам, удовлетворяется путем центрирования рядов (вычитания из них оценки математического ожидания). В отношении рядов величин, пересчитанных в нормально распределенные, автоматически удовлетворяются оба последних условия; вопрос о стационарности будет обсужден ниже.

Модель (2.1.3) обладает преимуществами по сравнению с другими способами описания временных рядов (Haykin, 1979; Dzhaparidze, Yaglom, 1983; Привальский, 1984; Marple, 1987; Журбенко, Кожевникова, 1990 и др.). Прежде всего, отметим, что к ней приводит так называемый «метод наибольшей энтропии» (МНЭ), позволяющий минимизировать вклад недоступной информации (из-за ограниченности доступной реализации процесса) и максимизировать вклад доступной информации (Ulrych, Bishop, 1975). В результате разрешающая способность (способность различать пики в спектральной плотности на близких частотах) МНЭ превышает разрешающую способность метода сглаживания периодограммы по частотам и метода наибольшего правдоподобия. В то же время, в том, что касается дисперсии и смещенности оценок спектральной плотности, МНЭ не хуже, чем два других метода (Baggeroer, 1976; Yaglom, 1987 и др.).

В монографии (Marple, 1987) сделаны следующие выводы относительно преимуществ моделей вида (2.1.3) перед моделями скользящего среднего (СС) и смешанными моделями авторегрессии-скользящего среднего (АРСС). (1) Процессы СС и АРСС обычно могут быть удовлетворительно описаны моделями авторегрессии. (2) В случаях, если в спектрах существуют пики, разрешающая способность оценок МНЭ превышает разрешающую способность оценок СС. (3) Говоря в общем, алгоритмы оценок АРСС не могут быть использованы для анализа процессов в реальном времени.

А.М.Яглом (Яглом, 1981) отмечал также важную особенность МНЭ: он дает разумное описание процесса (разумный вид спектральной плотности) даже при очень коротких рядах. Кроме того, класс моделей (2.1.3) обладает тем преимуществом перед непараметрическими способами описания временных рядов, что одновременно дает аналитическое выражение для спектраль-

ной плотности, параметрическую модель процесса и выражение для оптимального линейного прогноза в явном виде.

Ключевой момент, при идентификации стохастических (авторегрессионных) моделей – оценка порядка модели  $M$ . Предложено большое количество критериев для оценки  $M$ : критерий «окончательной ошибки прогноза» Акаике (FPE), «информационный критерий Акаике» (AIC), критерий Шварца-Риссанена (BIC), критерий Хеннана-Куинна (HQ), критерий авторегрессионной передаточной функции Парзена (CAT) и другие – подробно о них см. в (Привальский и др., 1992; Privalsky, Jensen, 1992). Более чем 40-летний опыт автора по применению критериев для оценки  $M$  в рамках анализа многих тысяч рядов годовых и месячных величин параметров гидросферы и атмосферы Земли (см. монографии: Добровольский, 1991; 2002; 2011 Добровольский, Истомина, 2006; Dobrovolski, 1992; 2000) привел к выводу о том, что оптимальными являются критерий окончательной ошибки прогноза Акаике и критерий Шварца-Риссанена. Другие критерии, как правило, давали завышенные значения  $M$  – приводящие к оценкам параметров моделей, которые удовлетворительно описывались и моделями низших порядков, идентифицированными при помощи AIC и BIC.

Другие технические детали: старшие частные коэффициенты авторегрессии рассчитывались нами методом Бурга (опробывались также методы Марквардта-Вильсона и Юла-Уокера, дававшие очень похожие результаты), младшие коэффициенты оценивались при помощи алгоритма Дарбина, стационарность моделей оценивалась путем решения характеристического уравнения авторегрессии (методом Миллера), при выборе  $M$  учитывались также рекомендации Хайкина. Алгоритм расчетов и формулы использованного нами варианта МНЭ подробно описаны в (Добровольский, 2011).

Результаты расчетов по идентификации стохастических моделей для рядов годового стока рек основного типа (1) – неозерных рек с предположительно ненарушенным антропогенно режимом стока – приведены на Рис. 2.1.22 для мира в целом и для каждого из материков. На рисунке показаны гистограммы распределений порядков  $M$  моделей авторегрессии – с применением критерия FPE (критерий BIC давал очень похожие результаты) – как для исходных рядов (левые белые столбцы), так и для рядов величин, пересчитанных в нормально распределенные (правые заштрихованные столбцы); очевидно, что результаты для двух вариантов представления стоковых рядов практически совпадают.

В целом результаты анализа изменчивости стока рек мира основного типа – неозерных рек неледникового питания с ненарушенным режимом стока – оказались несколько неожиданными для автора. До настоящего времени было широко распространено мнение о том, что основную (чуть ли не универсальную) роль, при описании изменений годового стока рек, играют модели «простой марковской цепи» (по существу, модели авторегрессии первого порядка или модели марковского процесса первого порядка). Однако, графики на Рис. 2.1.22 говорят о другом: *преобладающую роль, при описании*

*естественных межгодовых и многолетних изменений годового стока неозерных рек мира, играет модель последовательности некоррелированных по времени случайных величин - ПНСВ (иначе говоря, процесс авторегрессии нулевого порядка).*

Действительно: процент моделей нулевого порядка на Рис. 2.1.22а в два с лишним раза больше, чем процент моделей первого порядка и в полтора с лишним раза превышает процент всех моделей ненулевого порядка вместе взятых. Абсолютное преобладание моделей нулевого порядка характерно и для каждого из материков (Рис. 2.1.22 б-е), в том числе для наиболее увлажненного (Южная Америка) и для наиболее засушливого (Австралия), для наибольшего по площади (Евразия) и для наименьшего (та же Австралия), для материка с наиболее длинными стоковыми рядами (Северная Америка) и для материка с самыми короткими рядами (Южная Америка), для материка с наиболее полным покрытием створами (та же Северная Америка) и для материка с наименьшей густотой покрытия (Африка).

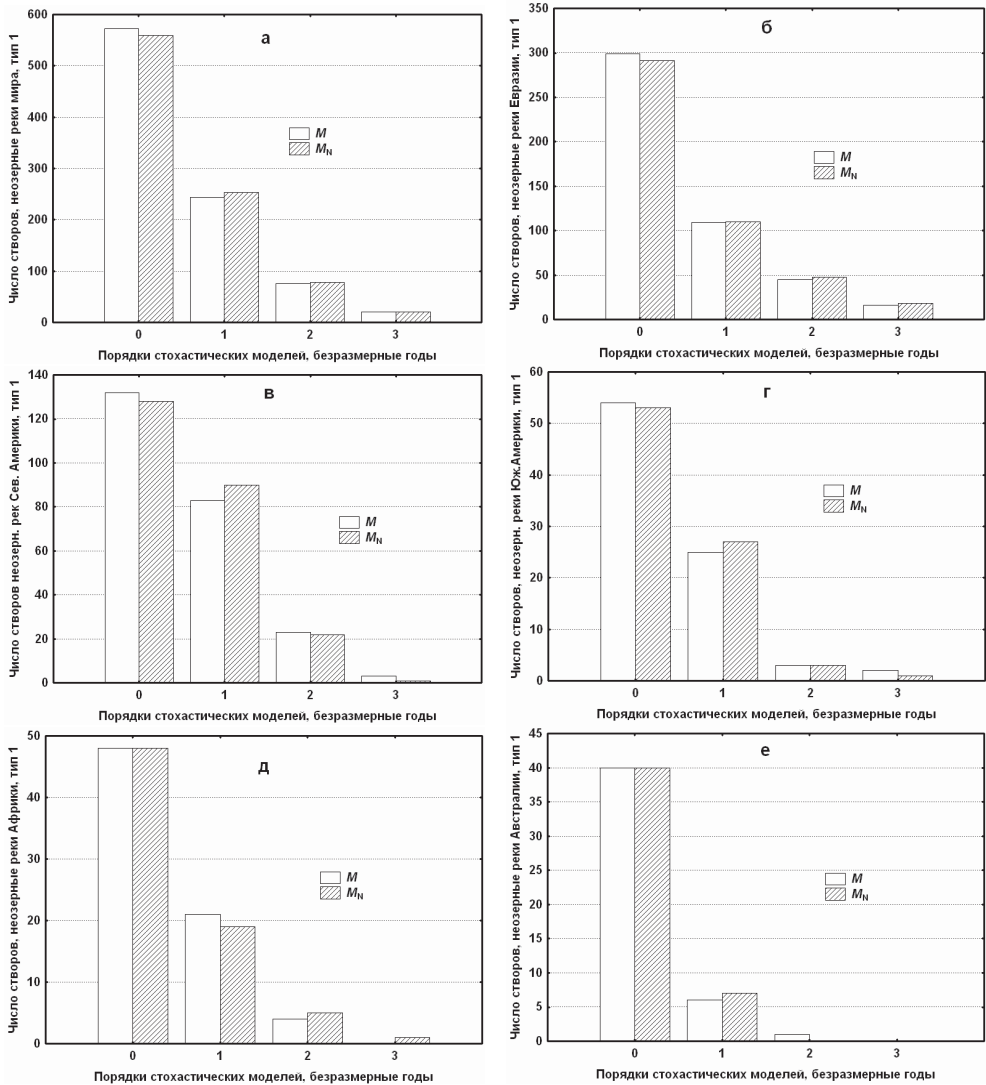
Более того: та же картина абсолютного преобладания моделей нулевого порядка характерна и для всей территории России, и для каждого из ее макрорегионов (Европейская территория, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток). Наконец, отмеченная структура порядков моделей наблюдается в большинстве бассейнов крупнейших рек мира, для которых имеется достаточное количество данных и которые не подверглись антропогенным изменениям в очень большой степени: для бассейнов Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея, Лены, Амура, Яны, Индигирки, Колымы (в России), Юкона, Макензи, Нельсона, Св. Лаврентия (Северная Америка), Амазонки и Параны (Южная Америка), Муррея-Дарлинга (Австралия), Нигера (Африка). Перечисленные факты говорят о том, что «белозумность»<sup>3</sup> естественных многолетних колебаний годового стока рек наиболее распространенного на Земле типа (неозерных) – в определенном смысле универсальное свойство, отражающее фундаментальные закономерности формирования стока.

Представляет интерес спектр моделей для описания изменчивости стока не только неозерных равнинных рек 1 типа, но и рек других типов (Рис. 2.1.23). На рисунке видно, что структура моделей для рек озерного и переходного к нему типов (Рис. 2.1.23б) и рек искусственно измененного (предположительно) стока (Рис. 2.1.23г) существенно отлична: модели ненулевых порядков абсолютно преобладают над моделями нулевого порядка. В то же время, структура моделей для рек ледникового питания качественно похожа на структуру моделей для основного типа рек (Рис. 2.1.23в). Этот результат не противоречит результатам исследования автором (Dobrovolski, Reunaud, 1998) многолетних изменений массы 26 основных горных ледников

---

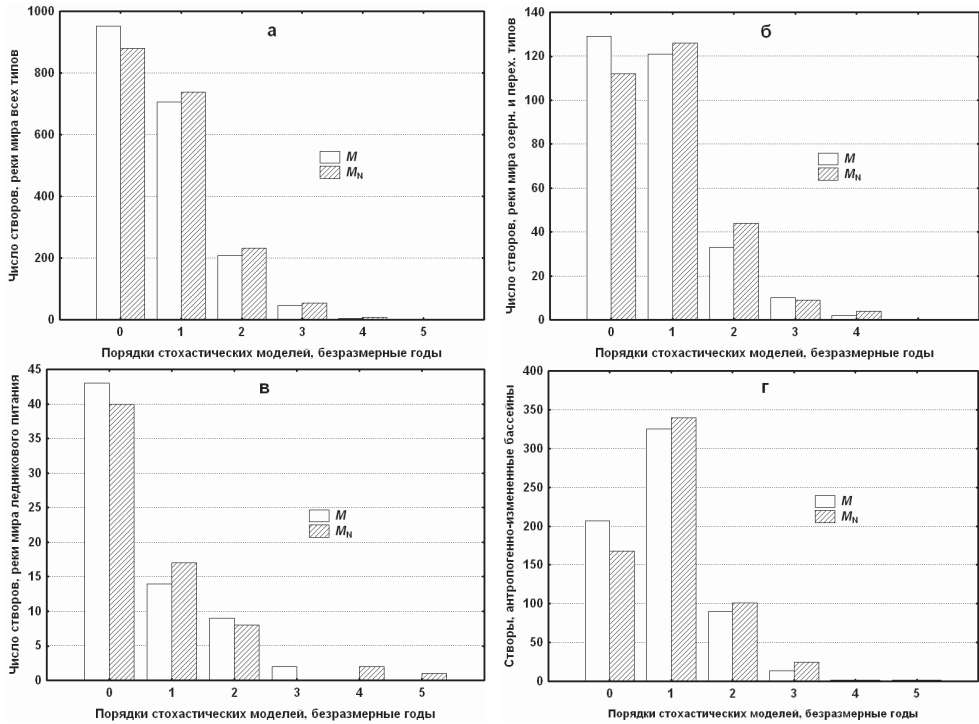
<sup>3</sup> Термин «белый шум» для обозначения последовательности некоррелированных по времени случайных величин не совсем корректен, но широко распространен. Мы используем его для краткости.

мира: в большей части случаев они описываются моделью такого же типа – последовательности некоррелированных по времени случайных величин.

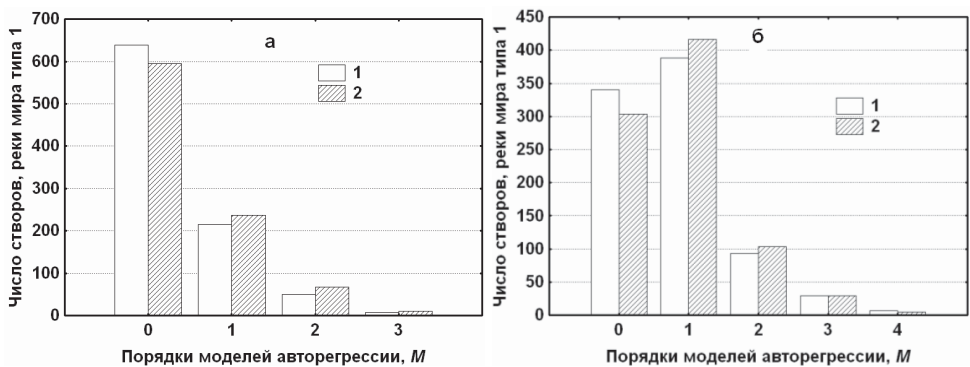


**Рис. 2.1.22.** Порядки стохастических (авторегрессионных) моделей для описания межгодовых и многолетних изменений годового стока неозерных рек с антропогенно-неизменным стоком (тип1): а – мир в целом, б – Евразия, в – Северная Америка, г – Южная Америка, д – Африка, е – Австралия. Белые столбцы соответствуют моделям для исходных рядов (порядки  $M$ ), заштрихованные – моделям для рядов величин, пересчитанных в нормально распределенные (порядки  $M_N$ )





**Рис. 2.1.23.** То же, что Рис. 2.1.22, но для рек мира разных типов: а – все типы; б – реки озёрного и переходного к нему типов (типы 2); в – реки ледникового питания (тип 3); г – реки, в бассейне которых находятся сравнительно крупные гидротехнические сооружения (типы 4, 5)



**Рис. 2.1.24.** То же, что Рис. 2.1.22, но для максимального (а) и минимального (б) стока неозёрных рек мира 1 типа

Показательна структура моделей многолетних колебаний максимального и минимального стока рек основного типа (Рис. 2.1.24). Для рядов максимального стока (точнее, стока наиболее многоводных месяцев, Рис. 2.1.24а, преобладание моделей нулевого порядка еще более ярко выражено, чем для моделей годового стока: число моделей первого порядка составляет лишь 29%, а число всех моделей ненулевых порядков – лишь 38% от числа моделей нулевого порядка. Напротив, для рядов минимального стока (стока наиболее маловодных месяцев) структура моделей принципиально иная: как модели ненулевых порядков вместе взятые, так и модели первого порядка преобладают над моделями нулевого порядка (Рис. 2.1.24б). Характерно то, что принципиально сходная структура моделей рядов максимального и минимального стока наблюдается и для всех других типов рек – озерных, ледникового стока, с гидротехническими сооружениями в пределах бассейна, промежуточных.

Из основного вывода настоящего раздела – о белошумном (некоррелированном по времени) характере многолетних колебаний годового стока большей части неозерных, незарегулированных рек мира – вытекает ряд важных следствий. Прежде всего, отмеченное обстоятельство может означать, что входной стохастический «сигнал», посредством которого атмосфера воздействует на большинство речных бассейнов, в свою очередь некоррелирован в климатических масштабах времени. Другое следствие может заключаться в том, что сами речные бассейны не преобразуют существенно структуру этого сигнала, но сохраняют его основные черты. Наконец, можно сделать вывод и о том, что основной механизм, посредством которого речные бассейны теоретически могли бы изменить структуру входного «сигнала» – накопление запасов влаги в каком-либо виде и медленная их разгрузка в русловую сеть – в большинстве случаев «не срабатывает». Иными словами, в большинстве исследованных речных бассейнов подавляющая часть попадающей в них влаги стекает в русловую сеть в тот же год и не накапливается в сколько-нибудь заметных количествах.

Отмеченные свойства процессов формирования годовых объемов речного стока, логически вытекающие из анализа стока рек мира, находятся в соответствии со стохастической теорией климатической системы (Hasselmann, 1976; 1981; Dobrovolski, 2000; Imkeller et al., 2001). Напомним, что в ее основе лежит подтвержденная позднее моделями климатической системы гипотеза К.Хассельманна (1976) о белошумном, в климатическом диапазоне частот, характере стохастического возбуждения океана и поверхности суши со стороны атмосферы (так называемого «погодного возбуждения»). К.Хассельманном (1981; 1991) предложен и простой практический способ конструирования «погодного возбуждения» подстилающей поверхности в климатических масштабах времени в случаях, когда изучаются потоки влаги между геосферами: в терминах непосредственно разности между осадками и испарением («эффективные осадки»). Позднее автором настоящей книги было получено экспериментальное подтверждение белошумного характера из-

менений эффективных осадков в климатическом диапазоне частот – с использованием данных воднобалансовых станций в различных природных зонах СССР (см. главу 1).

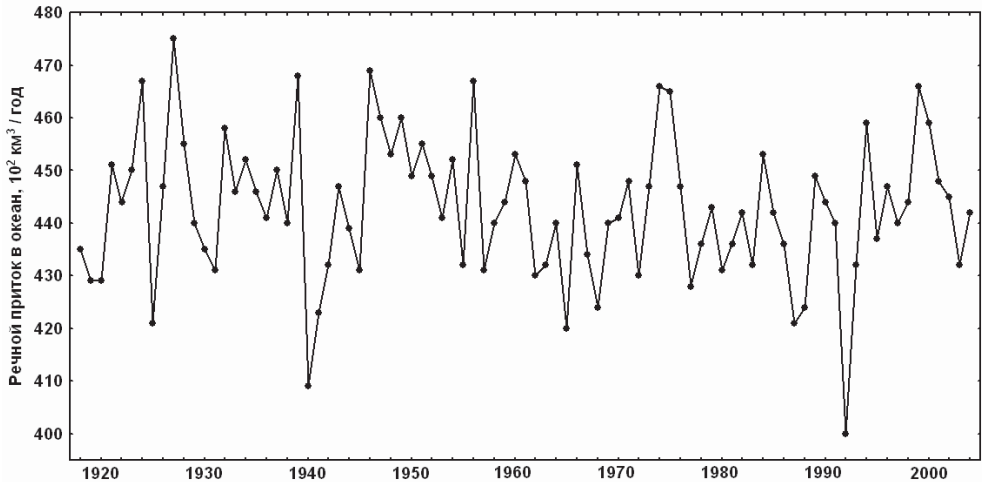
Наконец, важное следствие «беложумности» изменений речного стока в большинстве бассейнов рек основного типа (тип 1 по классификации на Рис. 2.1.3) – отсутствие статистически значимых монотонных «трендов» (изменений математического ожидания) в соответствующих стоковых рядах: в противном случае автокоррелированность рядов была бы высока, и модели изменений стока неизбежно идентифицировались бы как модели ненулевого порядка.

Обратимся к той, меньшей части рассмотренных речных бассейнов типа 1, для которых характерны ненулевые порядки моделей, следовательно – повышенная автокоррелированность стока. Из сопоставления рисунков 2.1.17а, 2.1.18а и 2.1.18б ясно, что максимальный сток в общем случае не может быть причиной повышенной автокоррелированности, так как средние коэффициенты автокорреляции максимального стока чрезвычайно близки к нулю и оцениваются величинами от 0,028 (исходные ряды) до 0,035 (ряды величин, пересчитанных в нормально распределенные). В то же время, коэффициенты автокоррелированности минимального стока неозерных равнинных рек на порядок больше и составляют соответственно 0,262 и 0,274. В связи с тем, что минимальный сток в значительной степени связан с разгрузкой в речную сеть запасов влаги в подповерхностных горизонтах речных бассейнов, то представляется, что это и есть основной механизм, создающий автокоррелированность годового стока тех рек, где она наблюдается. В (Добровольский, 2002) была предложена простая динамико-стохастическая модель для описания изменений годового стока рек при помощи указанного механизма. Подставив в формулу (48) из этой работы полученное нами уточненное среднее глобальное значение автокоррелированности минимального стока (0,27), получим среднее значение автокоррелированности годового стока 0,12, что очень близко к приведенным выше оценкам  $K(1)$  и  $K(1)_N$ : 0,13.

### **2.1.7. Изменения суммарного стока в океан. Стационарность стока**

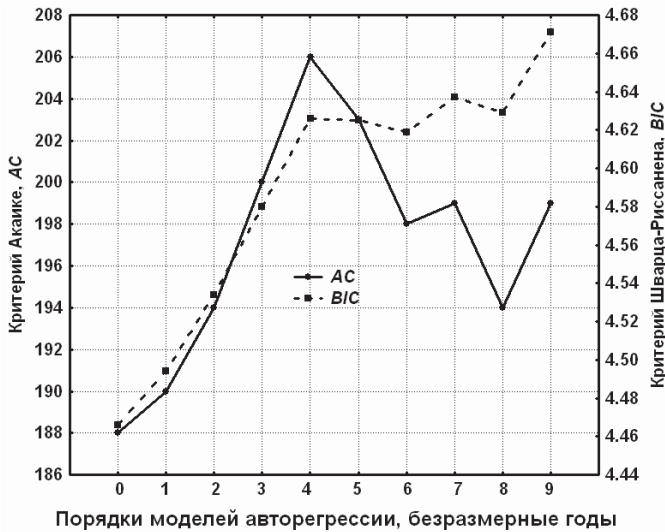
Величина суммарного стока в Мировой океан представляет значительный теоретический интерес, так как, с одной стороны отражает суммированный по большей части поверхности Земли (за исключением бессточных областей и покровных ледников) сток, а с другой стороны является важной компонентой водного баланса Мирового океана и мирового водного баланса в целом. В (Добровольский, 1981) анализировался ряд притока в Мировой океан длиной 50 лет (1918 – 1967) из (Мировой водный..., 1974); было показано, что этот ряд описывается последовательностью некоррелированных по времени случайных величин.

В настоящее время можно попытаться продлить ряд притока в океан при помощи новейших реконструкций этой характеристики: например, из (Dai et al., 2009). Ввиду того, что ряды стока в океан конструировались в двух упомянутых работах разными методами и охватывали разные периоды времени (в последнем случае – 1949 – 2004 гг.), была необходима коррекция одного из рядов. Эта коррекция и конструирование окончательного варианта ряда осуществлялись нами следующим способом: (а) для периода, когда ряды взаимно перекрывались (1949 – 1967), было получено выражение оптимальной линейной связи между двумя рядами; (б) при помощи этого выражения ряд (Dai et al., 2009) для периода 1968 – 2004 был пересчитан в величины, сопоставимые с величинами из первого ряда; (в) этот сегмент ряда был добавлен к ряду из (Мировой водный..., 1974). Полученная реализация показана на Рис. 2.1.25.



**Рис. 2.1.25.** Изменения суммарного жидкого стока в Мировой океан с поверхности материков, 1918 - 2004. Построено с использованием данных из (Мировой водный..., 1974; Dai et al., 2009)

Результат анализа ряда на Рис. 2.1.25 заключаются в следующем. Среднее значение притока равно  $44270 \text{ км}^3/\text{год}$ , стандарт  $1350 \text{ км}^3/\text{год}$ , коэффициент вариации  $0,031$ , коэффициент асимметрии  $-0,144$ . Значение  $C_V$  и  $C_S$  чрезвычайно мало; можно показать, что и оценка четвертого момента близка к значению, свойственному нормальному распределению (эксцесс составляет около 3,4).



**Рис. 2.1.26.** Значения критериев Акаике (сплошная линия) и Шварца-Риссанена (пунктирная линия), рассчитанные для идентификации модели суммарного стока в Мировой океан

Оба использованных в нашем исследовании критерия для идентификации стохастических моделей стока – Акаике (AC) и Шварца-Риссанена (BIC) имели как первый, так и глобальный минимум на нулевом порядке (Рис. 2.1.26), причем графики на Рис. 2.1.26 были практически идентичными для всех трех опробованных нами способов оценки первого частного коэффициента авторегрессии: при помощи схемы Юла-Уокера, Марквардта-Вильсона и при помощи метода Бурга (оценка коэффициентов, обеспечивающая минимальную ошибку пробного прогноза ряда в прямом и обратном направлении). Практически совпадающие результаты были получены и по ряду на Рис. 2.1.25, пересчитанному в ряд строго нормально распределенных величин.

Таким образом, анализ «продленного» ряда привел к точно такой же модели (со сходными значениями параметров), что и анализ раннего ряда стока – к последовательности некоррелированных случайных величин, распределение которых близко к нормальному. Этот вывод не противоречит представлению о белом шумности двух других компонентов мирового водного баланса – ледникового стока и приращений объема океана за счет межгодовых эвстатических колебаний его уровня, полученному в предыдущих работах автора (Добровольский, 1981; Dobrovolski, 2000).

В заключение приведем результаты расчетов, проведенных с целью выявления возможных монотонных трендов в рядах стока. Так как соединение двух сегментов ряда на Рис. 2.1.25 – в том, что касается средних значений

– произведено в некоторой степени искусственно, целесообразно исследовать стационарность каждого из исходных рядов отдельно. Средние значения первой и второй половин ряда стока из (Мировой водный..., 1974) составляют соответственно 44296 и 44508 км<sup>3</sup>/год, то есть, средние значения каждого сегмента отклоняется от среднего значения всего ряда на 106 км<sup>3</sup>/год. Так как каждая половина ряда удовлетворительно описывается последовательностью нормально распределенных некоррелированных случайных величин, ошибка в оценке среднего значения половин ряда равна стандарту, деленному на корень из длины ряда, то есть соответственно 302 км<sup>3</sup>/год и 242 км<sup>3</sup>/год, что имеет тот же порядок, что и приведенный выше «параметр нестационарности» (106 км<sup>3</sup>/год) и даже превосходит его. Изменения, за последние десятилетия, средних значений глобально суммированного стока из работы (Dai et al., 2009) также не превышали ошибок соответствующих выборочных значений: «параметр нестационарности» для этого ряда равен 230 км<sup>3</sup>/год, а стандарты ошибок оценок средних значений половин ряда – не менее 210 и 242 км<sup>3</sup>/год.

Аналогичным образом в нашей работе исследовалась значимость возможных монотонных трендов в рядах стока индивидуальных рек. В случае идентификации модели нулевого порядка стационарность стока по математическому ожиданию проверялась описанным выше способом. Для моделей других порядков вместо длины ряда в расчетах стандарта ошибки оценки среднего участвовала эквивалентная длина ряда (см. Yaglom, 1987):  $\sigma (M_X) = (2 T_1 / N)^{1/2} \sigma X$ , где  $\sigma$  – обозначение стандарта (среднеквадратичного отклонения);  $M_X$  – выборочная оценка среднего значения процесса  $X$ , рассчитанная по сегменту ряда длины  $N$ ;  $T_1$  – интегральный временной масштаб («корреляционное время»), рассчитываемое по формуле:

$$T_1 = 1/2 + \sum_{\tau=1}^{\infty} |K(\tau)|, \quad (2.1.4)$$

где  $K(\tau)$  – автокорреляционная функция. Расчеты по нормализованным рядам годового стока неозерных рек типа 1, рек ледникового питания и озерных рек показали, что процент выхода значения введенного выше «показателя нестационарности» за пределы, теоретически фиксируемые для стационарных рядов не превышают нескольких процентов. Напротив, ряды стока в створах, расположенных вблизи крупных гидротехнических сооружений во многих случаях демонстрировали нестационарность по математическому ожиданию – однако, в каждом таком случае причины нестационарности нужно выяснять индивидуально.

Таким образом, полученные результаты – как для суммарного стока рек в Мировой океан, так и в большинстве створов индивидуальных рек – не противоречат гипотезе о стационарности, в первом приближении, моделей естественного стока. Эти результаты находятся в согласии с выводами, полу-

ченными ранее в многочисленных исследованиях (Раткович, 1976; Сахарюк, 1981; Семенов и др., 1988; Пространственно-временные..., 1988; Георгиевский, 2005; Yevjevitch, 1977; Shaedler, 1987; Chiew, McMahon, 1995; Dobrovolski, 2000 и др.). Обширные работы по изучению значимости линейных трендов в рядах водных ресурсов всех основных речных бассейнов и 13 бассейнов морей России освещены в монографии (Водные ресурсы России..., 2008). Анализ этих результатов показывает, что *«значимых трендов водных ресурсов рассматриваемых речных бассейнов и бассейнов морей не существует»* (с. 131). Результаты детальных исследований, выполненных с использованием наиболее полной информации по динамике стока крупнейших рек мира и водных ресурсов природно-экономических регионов, приведенные в фундаментальной работе (Shiklomanov, Rodda, 2003), показали отсутствие значимых трендов в их многолетних колебаниях.

В связи с проблемой стационарности рядов речного стока необходимо отметить проблему потенциального влияния на сток глобальных изменений климата вследствие парникового эффекта. Исследования такого плана подытожены в главе 4. В ней, на основе изучения статистик прогнозов стока на моделях климатической системы показано, что статистически значимые изменения стока вследствие парникового эффекта, в частности на территории России, могут ожидаться только для рек крайнего севера Евразии и Северной Америки, начиная со второй трети 21 века; вместе с тем, названная сложнейшая проблема требует дальнейшего изучения.

## **2.2. Особенности межгодовых и многолетних изменений речного стока в пределах специфических речных бассейнов**

В монографии «Глобальные изменения речного стока» (Добровольский, 2011) были подробно проанализированы вариации стока в пределах каждого из 23 крупнейших речных бассейнов мира. Вместе с тем, в указанной монографии отсутствовало описание изменений стока в пределах ряда менее крупных, но уникальных, важных, показательных и специфичных – с различных точек зрения – бассейнов мира. В настоящем разделе это упущение исправлено. А именно, были изучены следующие бассейны.

- Бассейн р.Черчилл, Северная Америка. Бассейн уникален тем, что среди значительных бассейнов мира это, по-видимому, наиболее «озерный». Кроме того, примечательно то, что в 1970-х годах осуществлена межбассейновая переброска стока из бассейна Черчилла в бассейн р. Нельсон. Эти два обстоятельства делают рассмотрение бассейна р. Черчилл чрезвычайно интересными как с научной точки

зрения, так и в плане истории осуществления крупнейших водохозяйственных проектов.

- Бассейн р. Рейн. Его уникальность заключается в том, что этот, заметный по своим размерам и физико-географическим параметрам бассейн находится в регионе с наиболее плотной промышленной структурой мира. Представляет интерес анализ, в этих условиях, закономерностей многолетних изменений речного стока.
- Бассейн р. Дон. Он традиционно рассматривается как бы «в паре» с ближайшим и более крупным его аналогом на юге Европейской территории России – бассейном Волги. В отношении стока Дона и Волги уже давно предпринимались представляющие практический интерес попытки изучения вопроса о синхронности или асинхронности их стока. Оба бассейна примечательны тем, что изменения их стока теоретически могут оказывать заметное влияние на режим уникальных морей: наименьшего по горизонтальным размерам и самого мелкого моря Мирового океана – Азовского – и наибольшего полубессточного озера-моря мира – Каспийского.
- Бассейны Амударьи и Сырдарьи. Важность изучения многолетних колебаний стока этих рек очевидна. Как и в случае с Волгой и Доном, сток этих рек влияет на режим второго по величине (во всяком случае, до недавнего времени) бессточного водоема мира – Аральского моря. Важно отметить, что сток этих рек в очень значительной степени формируется водами, образующимися в результате таяния горных ледников. Представляет интерес изучить закономерности колебаний стока такого рода рек в сравнении со стоком рек ледникового питания других регионов Земли.
- Бассейн р. Печоры. Так же, как бассейны Дона и Волги представляют собой пару крупнейших бассейнов южного склона Европейской территории России, бассейны Печоры и Северное Двины составляют пару крупнейших бассейнов северного склона ЕТР. Совместно рассмотрение двух последних бассейнов представляет интерес в связи с тем, что на территории Северной Двины в предыдущих работах автора монографии выявлена крупнейшая в мире аномалия режима межгодовых колебаний речного стока: практически повсеместная, в пределах бассейна, отрицательная коррелированность стока смежных лет. Важно изучить вопрос о том, находит ли эта аномалия, каким-то образом, свое продолжение в пределах соседнего бассейна – Печоры, и если находит, то в чем именно выражается влияние «Северодвинской аномалии».
- Бассейн р. Колымы. Колыма является ближайшим аналогом р. Лены: это два крупнейших речных бассейна, практически полностью расположенных в зоне многолетней криолитозоны («вечной мерзлоты»). На предыдущем этапе проекта и в предыдущих публикациях автора выс-



казывалась гипотеза о том, что вечная мерзлота, в противоположность распространенному в гидрологии мнению, не ослабляет, а усиливает автокоррелированность многолетних колебаний речного стока. На материале бассейна Колымы имеется возможность проверить и уточнить степень применимости этой гипотезы и условия ее справедливости.

- Наконец, последним дополнительным, сравнительно крупным речным бассейном, исследованным в рамках настоящей монографии, был бассейн р. Вольта (Африка). Р. Вольта уникальна тем, что на ней сооружено крупнейшее по площади водохранилище мира – озеро Вольта. Бассейн Вольты является ближайшим аналогом изученного нами ранее бассейна р. Нигер (охватывающего бассейн Вольты полукольцом). На примере изменений стока в бассейне Вольты представляет интерес дальнейшее рассмотрение явления бифуркации порядков авторегрессионных моделей, выявленное руководителем проекта на материале о стоке многих крупных рек мира.

Таким образом, изучение особенностей изменения стока в перечисленных 7 бассейнах является важным дополнением в масштабной программе исследования изменчивости стока важнейших рек мира, осуществляемой автором в предыдущей и в настоящей монографиях.

### **2.2.1. Исходные данные**

В качестве основы для формирования исходных данных была использована глобальная база по речному стоку, созданная руководителем проекта в течение 2004 – 2011 гг. и описанная в монографии (Добровольский, 2011). Она включает в себя иерархическую систему электронных таблиц в формате Statistica 6.1. фирмы Statsoft. Для каждого створа в базе фигурируют до 122 параметров – как исходных, так и рассчитанных автором. Кроме того, таблица включает в себя производные (функционалы) от исходных и рассчитанных величин – логарифмы, относительные величины, другие величины. В свою очередь, глобальная база сформирована на основе 5 международных архивов по стоку, проверенных и по возможности исправленных руководителем проекта. Часть итоговой электронной таблицы приведена в Приложении 1.

В целях достижения задач настоящей работы были сформированы электронные таблицы для каждого из 7 рассматриваемых здесь бассейнов. Внутри каждой таблицы, в свою очередь, был сформирован набор их вариантов для каждого из типов замыкаемых створами водосборов и для «объединенных» типов водосборов. Рассматриваемые в настоящей монографии бассейны выбирались с учетом имеющихся данных наблюдений за стоком. Бассейны должны были удовлетворять следующим условиям: 1) как упомина-

лось выше, они должны были быть в определенной степени уникальными и представляющими значительный научный интерес; 2) каждый из них имел бассейн-аналог, как правило расположенный вблизи – такой, чтобы совместный анализ закономерностей изменений стока в обоих содействовал лучшему пониманию природы этих изменений; 3) бассейн должен был быть в достаточной степени освещен данным и наблюдений. Как правило, количество створов в каждом рассматриваемом бассейне составляло порядка 20. Общее число створов, таким образом, составило несколько сот, а число годопунктов измерялось тысячами. В ряде случаев необходимо было привлечь дополнительные данные: так, при анализе изменений стока в бассейне Дона были использованы любезно предоставленные Л.Ф.Сотниковой ряды стока в нескольких створах и ряды суммарных величин «боковой приточности» для различных участков реки.

Изменения речного стока анализировались, как и в предыдущих разделах, с использованием теории случайных последовательностей. В связи с тем, что корректное использование наиболее разработанного варианта теории (так называемой «корреляционной теории случайных процессов») ориентировано на последовательности нормально распределенных величин, исходные ряды стока преобразовывались нами в ряды выборочных значений гауссовских величин. Результаты во всех случаях были получены как для исходных рядов, так и для рядов, преобразованных в ряды нормально распределенных величин.

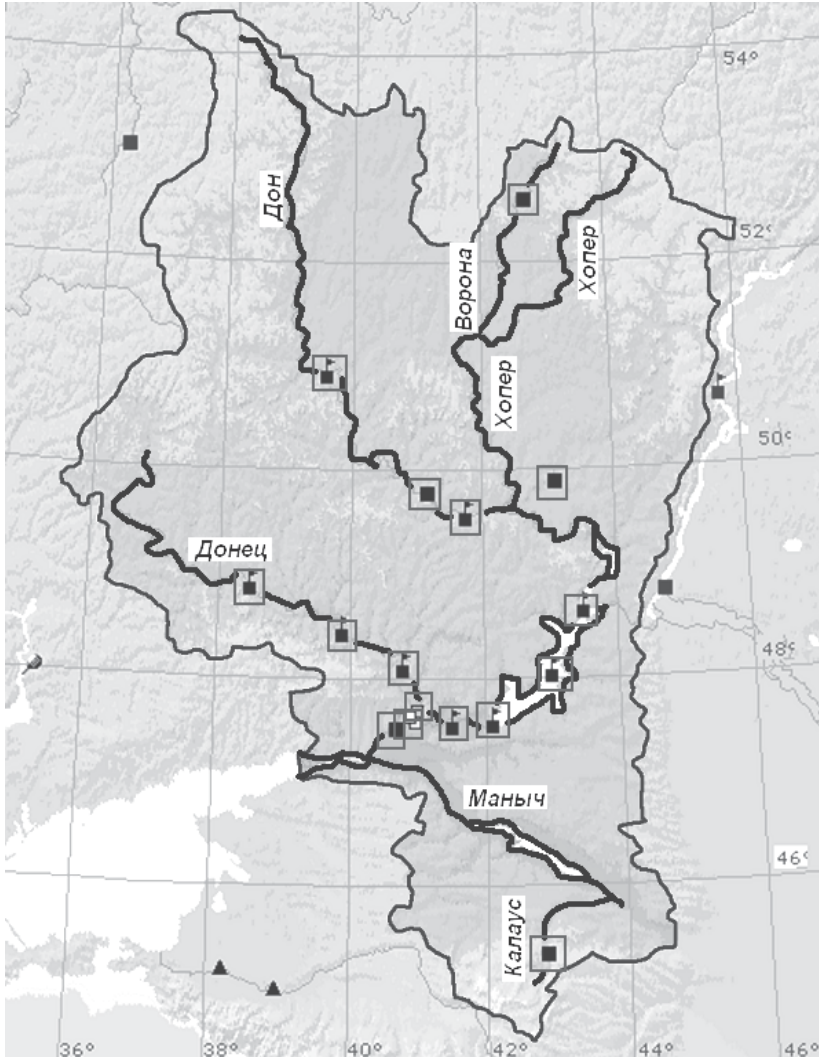
### **2.2.2. Бассейны умеренной природной зоны: бассейн Дона**

В процессе работы над настоящим разделом составлена электронная карта бассейна Дона, включающая элементы гидрографической сети, рельеф (методами послойной окраски и отмывки), а также расположение основных створов, информация об изменениях стока в которых использована в работе (Рис. 2.2.1).

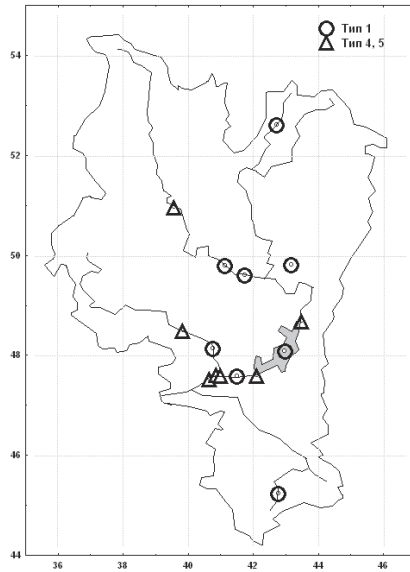
На карте на Рис. 2.2.1 часть створов представляют собой условные точки, соответствующие центрам отрезков «боковой приточности». Это: а) участок Дона между г. Георгиу-Деж и г. Калач-на-Дону, б) г. Калач-на-Дону – Цимлянская плотина, в) Цимлянская плотина – ст. Раздорская (в двух вариантах – с учетом р. Северский Донец и без учета этой реки).

Была составлена картодиаграмма типов водосборов, замыкаемых створами, информация в которых использована в проекте. В общей сложности использована информация в 16 створах (включая условные створы – центры участков р. Дон, для которых была рассчитана боковая приточность). Наиболее длинные ряды наблюдений – в створе Лиски, замыкающем верхнюю часть бассейна Дона (длина ряда 127 лет, последний год наблюдений 2007), а также в створе Раздорская (ближайшем к устью, длина ряда 99 лет).

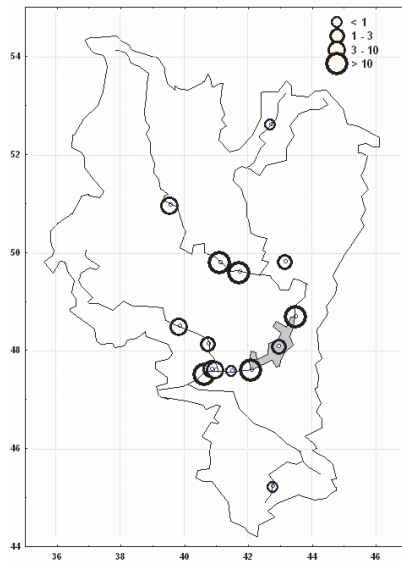
На Рис. 2.2.3 помещена картодиаграмма средних годовых объемов стока в створах в бассейне Дона. Обращает на себя внимание то, что сток, формируемый в верхней части бассейна Дона, более значителен, чем сток в бассейнах Хопра и Северского Донца.



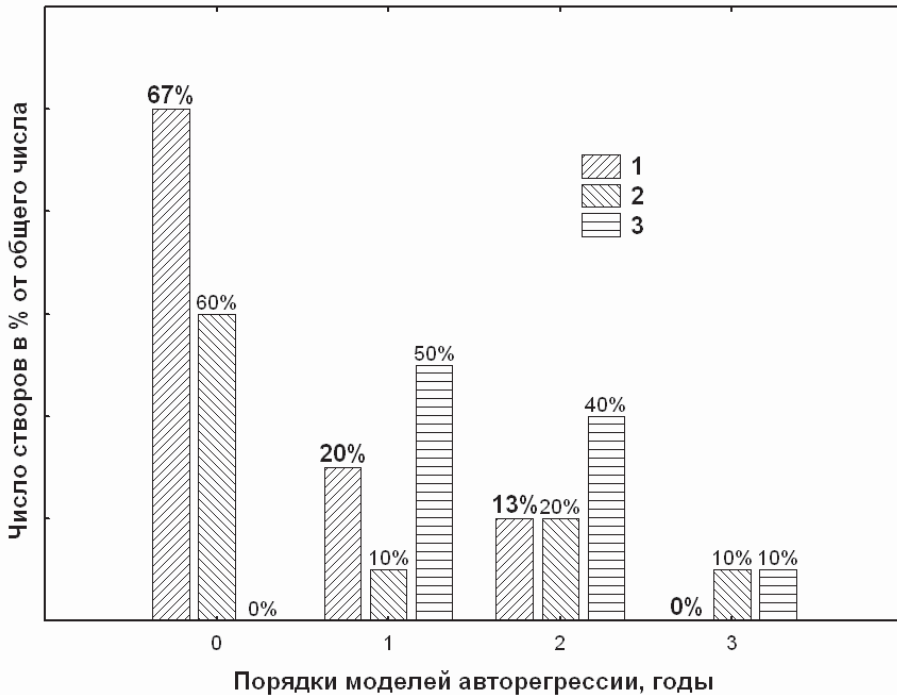
**Рис. 2.2.1.** Карта бассейна р. Дон. Квадратами обозначены створы, информация об изменениях стока в которых использована в работе. Квадраты с флажками обозначают створы, информация в которых была любезно предоставлена Л.Ф.Сотниковой. Фигура из нескольких квадратов обозначает створы, неразличимые в масштабе карты



**Рис. 2.2.2.** Картодиаграмма типов водосборов, замыкаемых используемыми в работе створами. Треугольники (типы 4, 5) – створы, замыкающие водосборы, влияние гидротехнических сооружений на режим многолетних колебаний стока в которых значительно. Кружки – другие водосборы (тип 1)



**Рис. 2.2.3.** Картодиаграмма средних годовых величин стока, в кубокилометрах в год, в створах в бассейне р. Дон

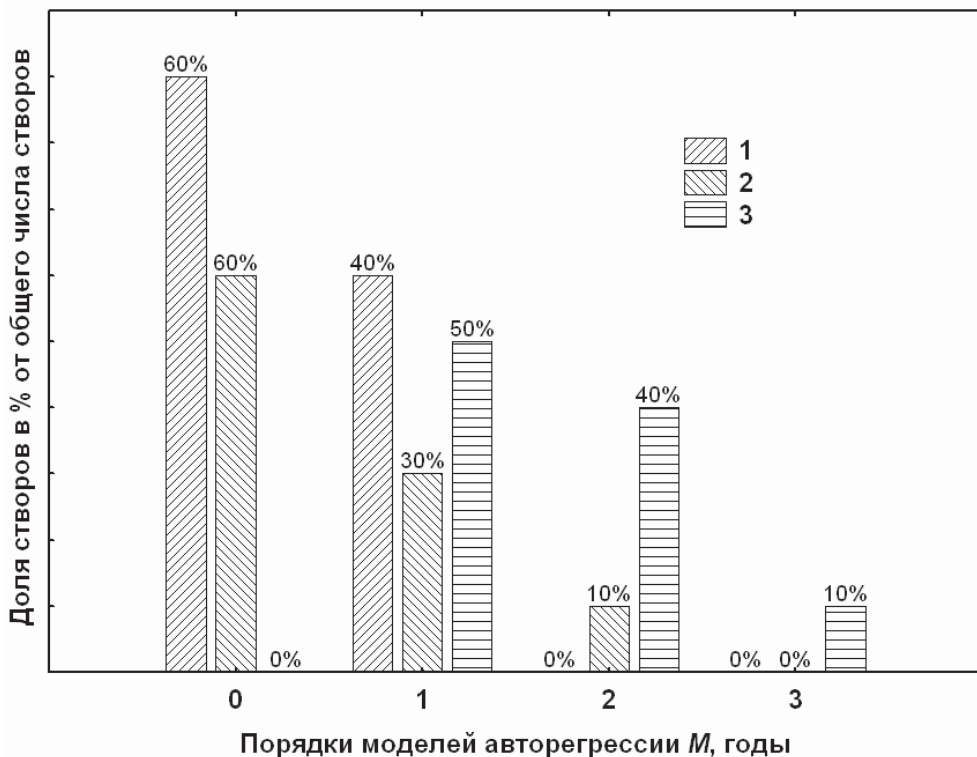


**Рис. 2.2.4.** Гистограмма процентных соотношений рядов годового (1), максимального (2) и минимального (3) стока рек в бассейне Дона, описываемых авторегрессионными моделями разных порядков – от нулевого до третьего. Исходные ряды

Чрезвычайно интересны результаты, связанные со стохастическим моделированием рядов стока в бассейне Дона. На Рис. 2.2.4 показаны доли рядов годового, максимального и минимального стока, описываемых моделями авторегрессии различных порядков. На Рис. 2.2.5 показаны аналогичные результаты, полученные при анализе рядов, преобразованных в ряды выборочных значений гауссовских величин при помощи предложенного нами метода такого преобразования.

Качественно оба графика – на Рис. 2.2.4 и 2.2.5 сходны. Примечательно то, что несмотря на высокую степень использования водных ресурсов в бассейне Дона, структура соотношений порядков моделей рядов стока здесь в точности совпадает с соответствующей структурой, осредненной по всем имеющимся в нашей глобальной базе данных стоковым рядам, а также со структурой рядов основного типа (рядов стока рек, на режим которых не оказывает большого влияния антропогенная деятельность). На этом примере видно, что мощные закономерности естественной изменчивости стока как бы «прорываются» через обстоятельства, связанные даже с интенсивным водопользованием.

Совокупность других значительных результатов связана с изучением вопроса о стационарности/нестационарности изменений стока. В настоящей монографии эти вопросы решались при помощи методики, предложенной автором и вкратце описанной в разделе 1.2, и более детально – в монографии (Добровольский, 2011б).



**Рис. 2.2.5.** Гистограмма процентных соотношений рядов годового (1), максимального (2) и минимального (3) стока рек в бассейне Дона, описываемых авторегрессионными моделями разных порядков – от нулевого до третьего. Ряды величин стока, преобразованных в ряды выборочных значений гауссовских случайных чисел. (Метод преобразования подробно изложен в разделе 1.2)

В качестве примера указанных результатов на Рис. 2.2.6 и 2.2.7 показаны графики изменений годового стока Дона в двух крайних створах – Лиски, расположенном в верхнем течении Дона – и в ст. Раздорская, ближайшей к устью.

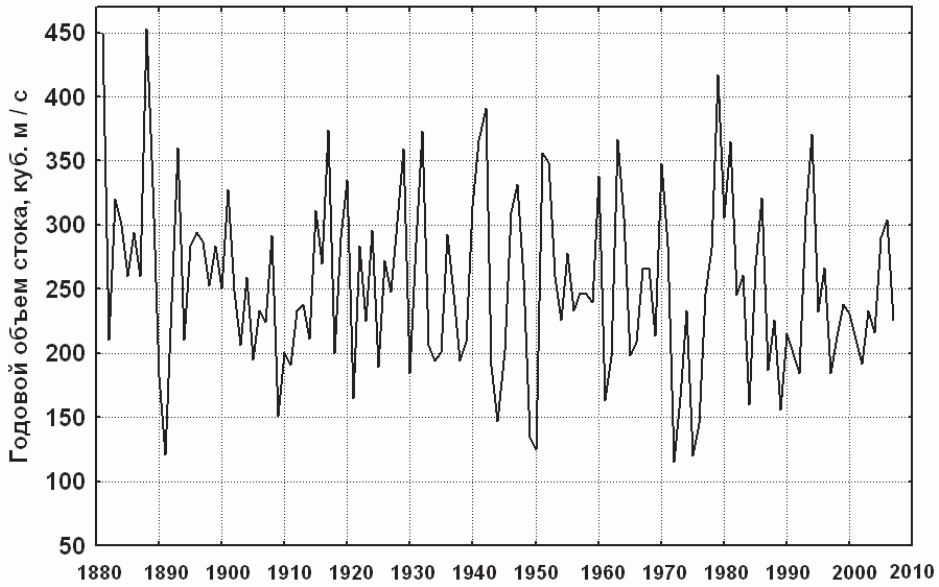


Рис. 2.2.6. Изменения годового стока Дона в створе Лиски ( $50,97^{\circ}$  с.ш.,  $39,56^{\circ}$  в.д.)

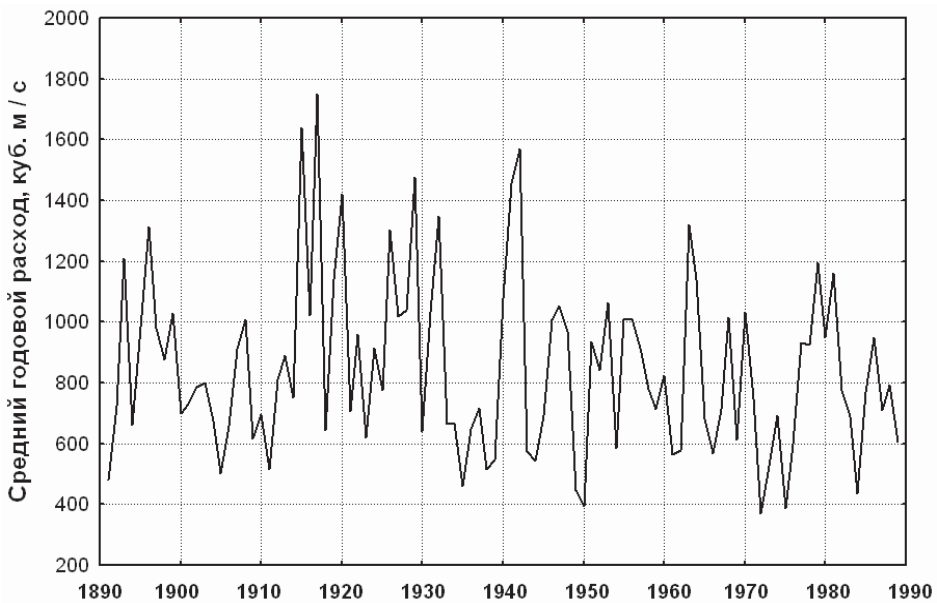


Рис. 2.2.7. Изменения годового стока Дона в створе Раздорская ( $47,53^{\circ}$  с.ш.,  $40,65^{\circ}$  в.д.)

Анализ указанных рядов привел к следующим результатам. Оба ряда удовлетворительно описываются при помощи реализаций последовательностей некоррелированных случайных величин (процесс авторегрессии нулевого порядка). Введенный нами индекс стационарности по математическому ожиданию для первого ряда принимает значение  $-1,4$ , что не отличается кардинально, по абсолютной величине, от величины аналогичного индекса для абсолютно стационарного процесса (единица). В еще большей степени ряд приближается к стационарному по стандартам (соответствующий индекс равен  $+0,2$ ) и по автокоррелированности (также  $+0,2$ ).

Аналогичны показатели стационарности для ряда годового стока вблизи устья: соответственно  $-1,11$ ;  $+0,31$ ;  $-0,21$ ). Напомним, что таковы значения индекса стационарности/нестационарности, рассчитанного для всего ряда в целом – в последнем случае с 1891 по 1989 г. Вместе с тем, представляет значительный интерес проблема нестационарности стока Дона после начала заполнения Цимлянского водохранилища (1952 г.). В научной литературе широко распространено мнение о том, что в результате строительства этого водохранилища и последующих безвозвратных изъятий воды (в основном – на орошение в сети каналов, берущих начало из водохранилища) приток пресных вод в Азовское море драматическим образом снизился, в результате чего последовало резкое увеличение солености моря, изменение видового состава обитающих а нем организмов и т.д.

Для того, чтобы проверить эту гипотезу, нами были изучены показатели стационарности/нестационарности стока Дона в створе Раздорская, оценивающие статистическую значимость разницы между средними значениями, стандартами и автокоррелированностью стока в период после 1952 года и в период сравнительно высоких значений стока – с 1914 по 1951 г. Результаты показывают, что период после 1952 года статистически не очень значительно отличается от периода высоких значений уровня 1914 – 1951 гг. Индекс стационарности по среднему ( $I_{SM}$ ) составил всего  $-1,5$ : индексы по стандартам и по автокоррелированности ( $I_{SS}$ ,  $I_{SR}$ )  $-1,34$  и  $0,00$ . Более того: если сравнивать период высоких значений стока после 1914 г. – например, 1914 - 1937 гг. с предыдущим периодом 1891 – 1913 гг., то мы увидим, что показатели стационарности/нестационарности по абсолютным значениям были сходными: индекс  $I_{SM}$  составил  $+1,4$ , индексы  $I_{SS}$  и  $I_{SR}$   $+1,64$  и  $+0,34$ .

Таким образом, полученные результаты показывают, что изменения притока стока Дона в результате заполнения и ввода в эксплуатацию Цимлянского водохранилища и связанных с ним оросительных систем, если и повлияли на изменения солености Азовского моря, имели такой же размах, что и естественные изменения стока Дона, происходившие в предыдущие периоды времени.

Наконец, приведем результаты анализа связности изменений стока Дона (в створе Раздорская) и Волги (в створе Волгограда), интересовавшие исследователей в течение длительного времени: высказывалось предположение о том, что эти изменения происходят в противофазе, что теоретически



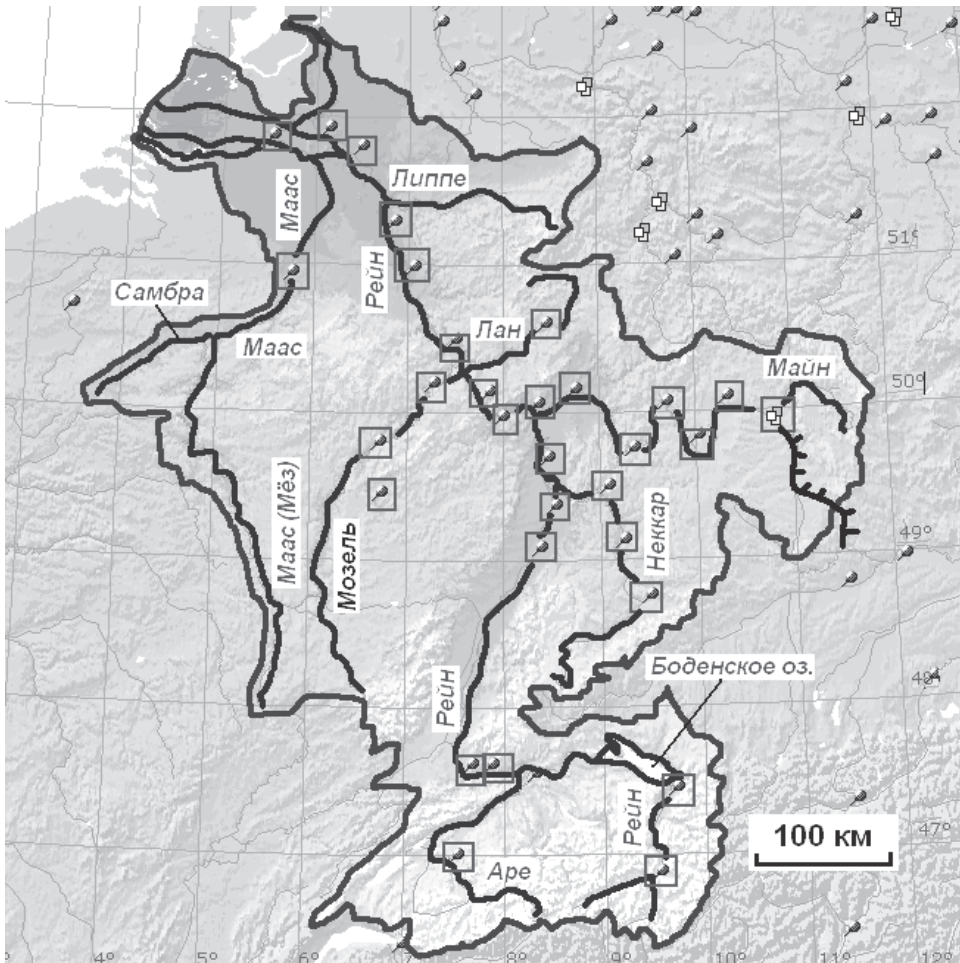
позволило бы в маловодные для Волги годы использовать в оросительных системах воду Дона и наоборот. Наша оценка коэффициента парной корреляции годового стока в этих створах составила 0,43, что указывает на определенную связность процессов. (Эта связность меньше, если вместо створа Раздорская использовать створ Лиски: +0,34). Сопоставление изменений стока Дона и Волги демонстрирует, что в обоих случаях эти изменения не отличаются существенно от реализаций стационарных случайных последовательностей – несмотря на интенсивное использование ресурсов обоих бассейнов в хозяйственных целях.

### **2.2.3. Бассейны умеренной природной зоны (продолжение): бассейн Рейна**

Вследствие ограниченности объема настоящей монографии имеется возможность остановиться лишь на наиболее интересных результатах. Так как для отечественных научных сотрудников и практиков, по сложности ситуации в бассейне Дона (сочетание большого водосборного бассейна и самого малого моря Мирового океана) и по наличию научных «мифов» в отношении эволюции этого сочетания, именно этот бассейн в нашем случае представлял наибольший интерес. К сожалению, результаты изучения шести других, чрезвычайно специфических речных бассейнов мира удастся представить лишь конспективно, указывая на основные выявленные особенности изменчивости стока.

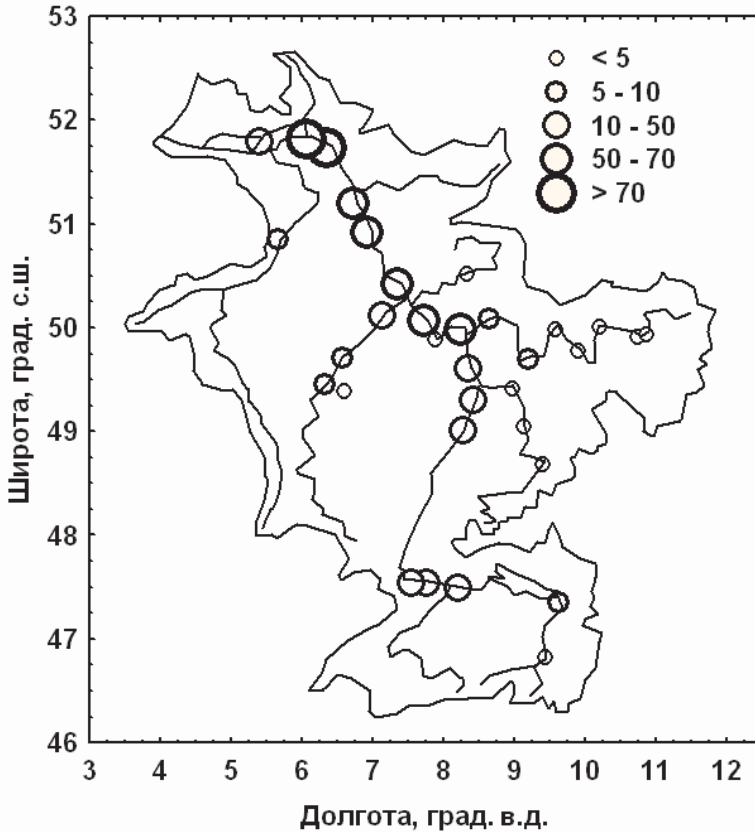
В какой-то степени западно-европейским «аналогом» крупных бассейнов на территории ЕТР является бассейн Рейна. Он занимает примерно ту же полосу широт, что и бассейн Дона (между 46 и 53 градусами северной широты) и имеет площадь водосбора того же порядка. В его пределах, так же как и в пределах бассейнов Дона и Волги, чрезвычайно развито водопользование; в случае Рейна это в основном использование воды для коммунальных и промышленных нужд и обеспечения навигации. Другим отличием бассейна Рейна от бассейнов двух основных рек южного склона ЕТР является горный характер территории, на которой зарождается сток основной реки бассейна и ледниковый тип питания притоков Рейна в верхней части бассейна. В этом отношении ближайшим аналогом Рейна является Дунай, бассейн которого подробно рассмотрен в монографии (Добровольский, 2011б).

Бассейн Рейна изображен на Рис. 2.2.8. На нем указано расположение створов, информация в которых – длинные ряды годового, максимального и минимального стока – использованы в работе. На карте представлены основные черты гидрографической сети, основной канал Западной Европы (Рейн /Майн – Дунай), а также рельеф. Основная часть створов расположена вдоль течения самого Рейна (14 створов) и вдоль течения Майна – по-существу, превращенного в часть канала, соединяющего бассейны Рейна и Дуная. При помощи меньших по размеру каналов бассейн Рейна соединен также с речными бассейнами Франции и западной Бельгии.



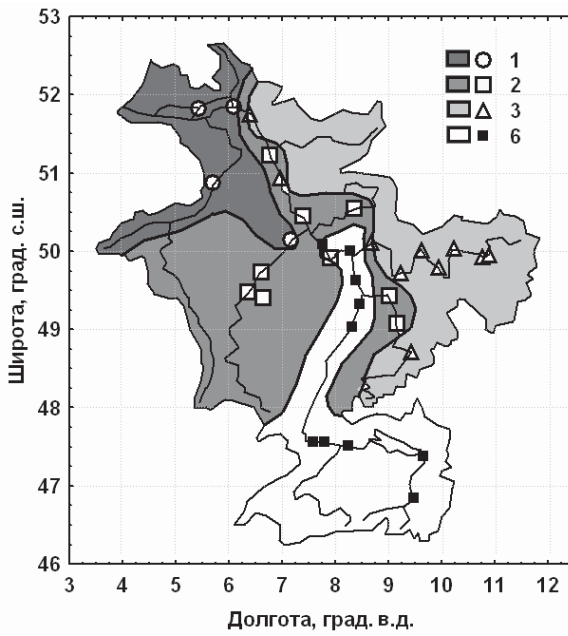
**Рис. 2.2.8.** Бассейн Рейна. Кружками в квадратах отмечены створы, информация в которых использована в настоящей работе. Символ из трех квадратов обозначает группу створов, неразличимых в масштабе карты. Черной линией изображен канал Майн-Дунай

На картодиаграмме на Рис. 2.2.9 показано распределение средних годовых объемов стока в бассейне. На рисунке видно, что очень значительная часть стока формируется именно в южных, горных регионах бассейна – в результате слияния Верхнего Рейна и Аре, частично в бассейне Мозеля, также берущего начало в горных районах. Напротив, собственная водоносность правых притоков Рейна – Неккара, Майна, Лана, Липпе – крайне невелика.

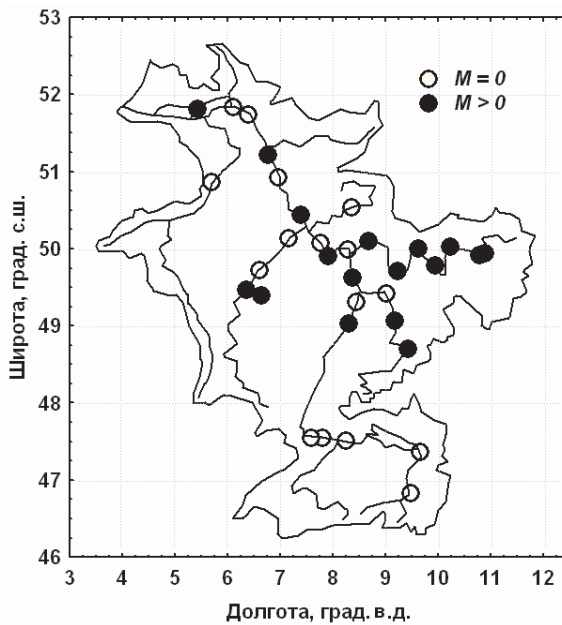


**Рис. 2.2.9.** Картодиаграмма среднегодовых объемов стока в створах в бассейне Рейна. Цифрами в легенде обозначены объемы стока в кубокилометрах в год

Различия между зонами формирования стока Рейна становятся очевидными из рассмотрения картограммы месяцев максимального стока на Рис. 2.2.10. На ней резко выделяется южная (горная) часть бассейна, сток в которой формируется в очень значительной степени за счет летнего таяния альпийских ледников. Эта зона, с максимумом стока в июне, распространяется вдоль самого Рейна вплоть до его центральных участков – до слияния с Майном. Как мы увидим на следующем рисунке, именно физико-географические особенности различных частей бассейна Рейна оказывают определяющее влияние на характер межгодовой и многолетней изменчивости стока. А именно: на Рис. 2.2.11 показана картодиаграмма порядков стохастических (авторегрессионных) моделей изменений годовых объемов стока в бассейне – моделей нулевого и первого порядков.



**Рис. 2.2.10.** Картограмма месяцев максимального стока в бассейне Рейна. Цифрами в Легенде обозначены календарные месяцы

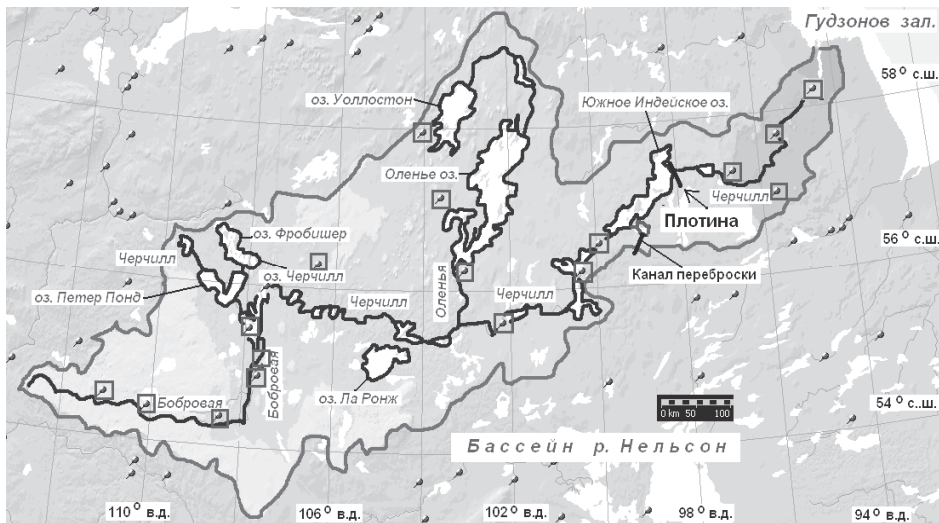


**Рис. 2.2.11.** Картодиаграмма порядков стохастических (авторегрессионных) моделей, описывающих многолетние изменения годовых объемов стока в бассейне Рейна

Из рассмотрения Рис. 2.2.11 очевидно, что сплошная зона некоррелированного от года к году речного стока – это именно южная, горная часть бассейна. Напротив, зона сплошного преобладания моделей авторегрессии первого и высшего порядков – именно течение Майна, бассейн которого в максимальной степени используется в хозяйственных целях, прежде всего – для наполнения системы каналов, связывающих бассейны Рейна и Дуная. Представляется, что бассейн Рейна – наиболее наглядный, из всех рассмотренных ранее многочисленных речных бассейнов мира, пример влияния, с одной стороны, «географии» бассейна, а с другой стороны – хозяйственной деятельности на водосборе – на характер многолетних колебаний речного стока.

В целом изменения годового стока Рейна – в ближайших к устью створах (Реес и Лобит) – удовлетворительно описывается при помощи стационарных последовательностей некоррелированных по времени случайных величин, очевидно, не без учета белошумных процессов изменения стока в основном районе его формирования, в Альпах. Так,  $I_{SM}$  годовых объемов стока в Реесе составляет величину всего + 0,81, а в Лобите + 0,75. Не превышают средних, «стационарных» значений этого индекса и его величины, рассчитанные для максимального и минимального стока.

#### 2.2.4. Бассейны зоны тайги: Черчилл



**Рис. 2.2.12.** Бассейн р. Черчилл. Кружками внутри квадратов обозначены створы, информация в которых использована в проекте. Обозначены также плотина на Южном Индейском озере и канал переброски воды из бассейна Черчилла в бассейн р. Нельсон

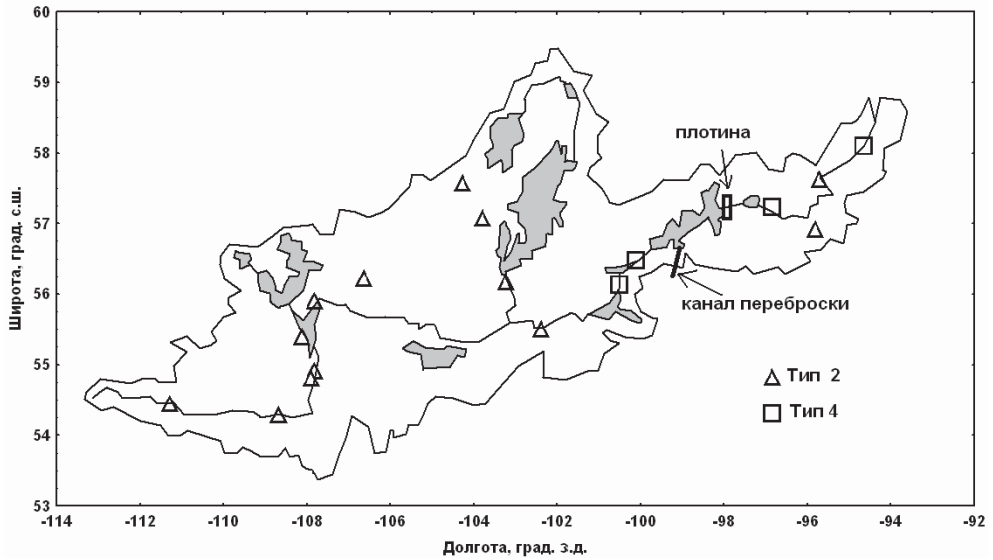
Как уже отмечалось во Введении, бассейн реки Черчилл (Рис. 2.2.12) уникален прежде всего тем, что это, по-видимому, наиболее крупный из речных «озерных» бассейнов мира. На картах более крупного масштаба видно, что «суша» или «материк» в пределах бассейна представляют собой скорее структуру наподобие сита: громадное количество озер, отделенных друг от друга узкими перепонками суши и соединенными тонкими руслами озерных рек.

Другой особенностью бассейна является то, что между ним и бассейном р. Нельсон осуществлена одна из крупнейших в мире межбассейновых перебросок стока. Причем, объем изымаемой из бассейна Черчилла воды доходит, по литературным источникам, до 60% его стока (!). Интересно также, что переброска (осуществленная в 1970-х годах) была предназначена не для целей ирригации, как это часто происходит, а в целях снабжения водой каскада ГЭС на р. Нельсон. Такое нетрадиционное решение частично объясняется несколькими благоприятными для такого рода переброски факторами:

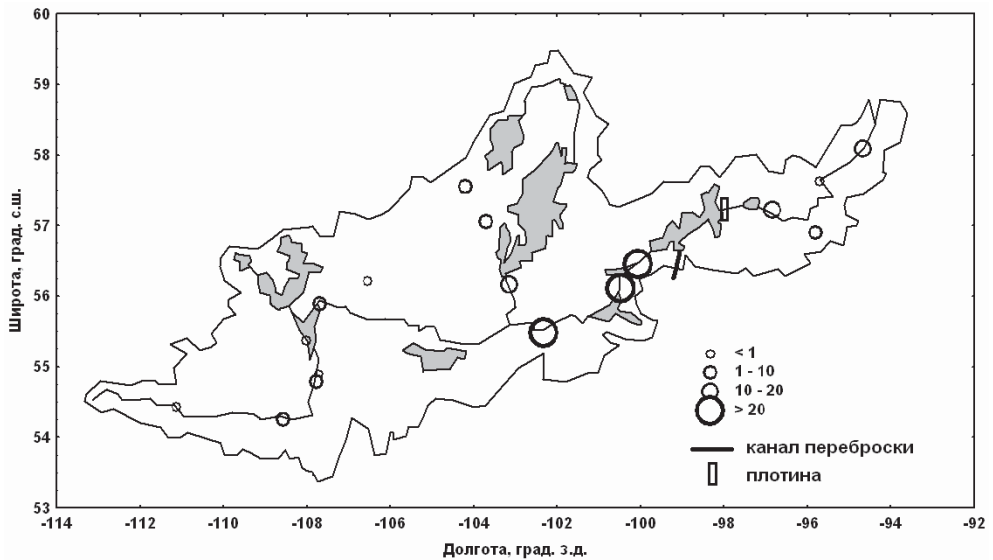
- Естественным водохранилищем, снабжающим водой канал переброски и бассейн Нельсона, является крупное Южное Индейское озеро, перекрытие которого в условиях скалистой местности не потребовало очень больших затрат.
- Расстояние между южной частью озера и бассейном Нельсона невелико, поэтому канал переброски имеет небольшую протяженность и частично проходит по естественным озерам.
- Имеется существенный перепад уровней воды между Южным Индейским озером (после сооружения на нем плотины) и прилегающими звеньями гидрографической сети бассейна Нельсона.
- Местность в нижнем течении Черчилла чрезвычайно слабо заселена, поэтому теоретически изъятие стока не должно было нанести, по мнению проектантов, большого социального ущерба.

Тем не менее, несмотря на все «благоприятные» для переброски факторы, ее осуществление сопровождалось и до сих пор сопровождается непрекращающимися протестами местного индейского населения, правозащитников и экологов, а экономическая целесообразность проекта до сих пор подвергается сомнениям и проверкам в законодательных и судебных органах.

Для целей настоящего проекта важно было проверить по имеющейся достоверной информации: (а) действительно ли изъятия достигают той величины, которая фигурирует в литературных источниках; (б) каковы особенности изменений стока, поступающего в Южное Индейское озеро и в канал переброски – с учетом чрезвычайно большой степени озерности всего бассейна; (в) какова ситуация с естественной стационарностью или нестационарностью стока в бассейне-доноре переброски.

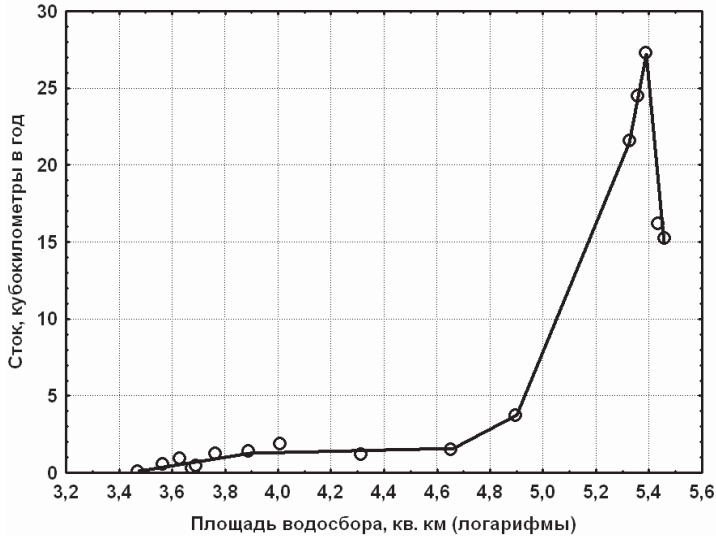


**Рис. 2.2.13.** Типы водосборов, замыкаемых створами в бассейне р. Черчилл. Тип 2 по классификации (Добровольский, 2011) – створы на озерных реках. Тип 4 – створы на участках рек, режим стока которых может быть подвержен значительной трансформации в результате осуществления гидротехнических мероприятий

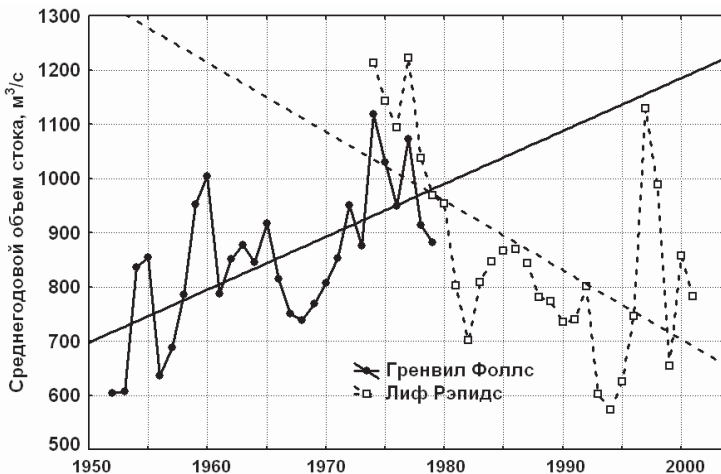


**Рис. 2.2.14.** Средние годовые объемы стока в  $\text{км}^3/\text{год}$  после осуществления переброски

Для решения этих вопросов мы использовали информацию в сети 18 створов. Типы водосборов, замыкаемых створами, показаны на картодиаграмме на Рис. 2.2.13. На значительную степень изъятия стока из бассейна указывает картодиаграмма средних годовых объемов стока (после постройки плотины на Южном Индейском озере) на Рис. 2.2.14.



**Рис. 2.2.15.** Зависимость среднего годового объема стока от площади замыкаемых створами водосборов (последние – в логарифмической шкале)



**Рис. 2.2.16.** Изменения годового стока р. Черчилл в створах, находящихся вблизи озера Южное Индейское (выше его) в период с 1952 по 2001 гг.



Об этом же свидетельствует график на Рис. 2.2.15: между створом, который находится выше озера Южное Индейское и створами, находящимися ниже плотины, существует резкий перепад годовых расходов, примерно соответствующий степени изъятий 50 – 60%.

Рассмотрение проблемы стационарности или нестационарности многолетних изменений стока в бассейне Черчилла тесно связано со структурой межгодовой изменчивости стока. Как известно, озерность бассейна увеличивает коррелированность стока смежных лет (автокоррелированность). Среднее значение этой величины составляет в бассейне Черчилла 0,60, что намного превышает среднее значение этого параметра в других крупных бассейнах мира, рассмотренных в настоящей работе и в монографии (Добровольский, 2011). Это обстоятельство увеличивает кажущуюся (или действительную) нестационарность стока. На Рис. 2.2.16 показаны изменения стока в двух створах, находящихся недалеко (выше по течению) от Южного Индейского озера. Ряд в створе Гренвилл Фоллс обрывается в 1979 г., и весь ряд с 1952 по 1979 г. производит впечатление сильно нестационарно растущего. Напротив, ряд стока в Лиф Рэпидс производит впечатление нестационарного, с такой же абсолютной скоростью понижающегося ряда. Однако, если рассмотреть более длинные ряды стока, имеющиеся в створах Черчилла (см., например, наиболее длинный ряд стока Черчилла на рис. 2.2.17), то возникают сомнения в предположении о нестационарности увлажненности бассейна. Действительно, ряды на Рис.2.2.17 представляют собой классические примеры реализаций

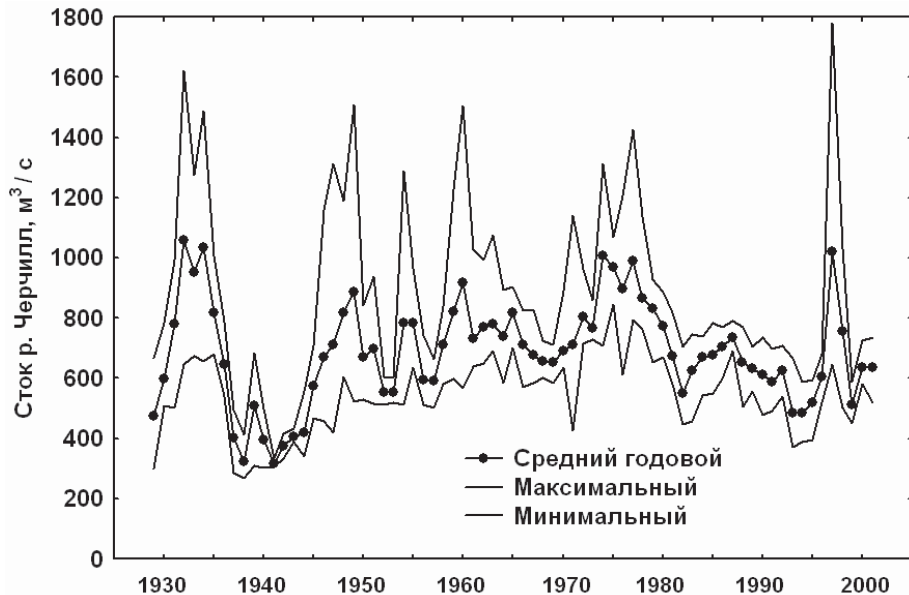
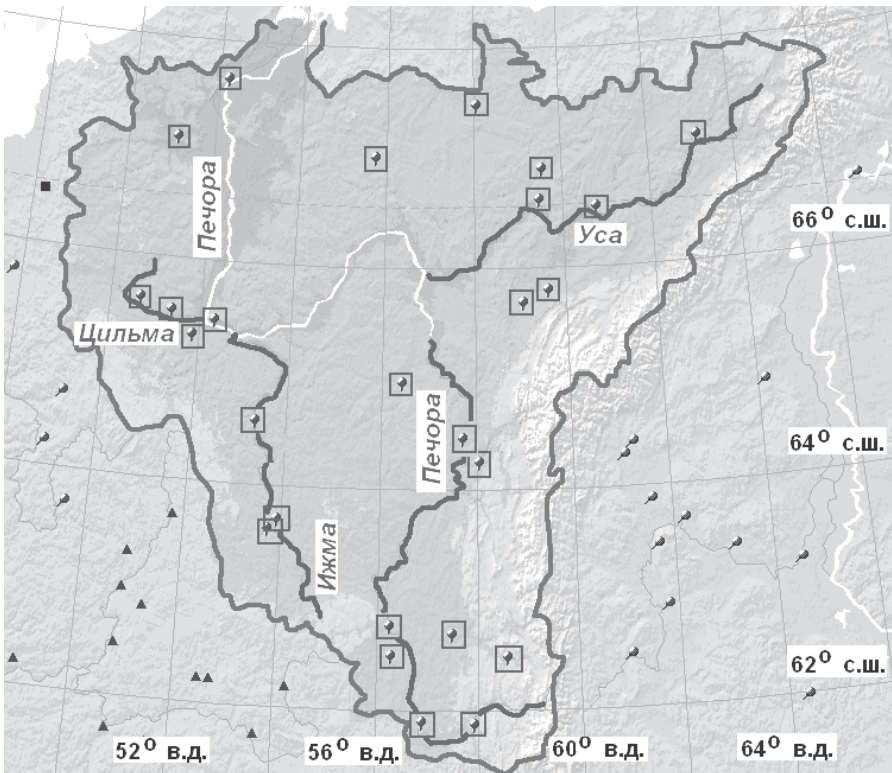


Рис. 2.2.17. Изменения стока в створе Сенди Бар,  $55,523^{\circ}$  с.ш.,  $102,318^{\circ}$  з.д.

стационарной случайной последовательности во всех отношениях. Так, индекс стационарности ряда годовых значений стока по математическому ожиданию составляет +1,17, что практически совпадает с соответствующим значением (по абсолютной величине) абсолютно стационарного ряда с аналогичной автокоррелированностью. Не демонстрирует признаков нестационарности ни один из индексов  $I_{SM}$ ,  $I_{SS}$ ,  $I_{SR}$  – по среднему, стандартам и автокоррелированности – ни для ряда годовых, ни для ряда минимальных, ни для ряда максимальных значений стока. Результаты изучения изменчивости стока в бассейне Черчилла, следовательно, подтверждают предположение, сформулированное впервые на примере стока реки Святого Лаврентия (Добровольский, 2011) о существовании так называемой «условной стационарности» – то есть стационарности/нестационарности рядов стока, находящейся в зависимости от рассматриваемых масштабов времени.

### 2.2.5. Бассейны зоны тайги (продолжение): бассейн Печоры



**Рис. 2.2.18.** Бассейн Печоры. Кругами в квадратах обозначены использованные створы

Бассейн Печоры (Рис. 2.2.18) представляет большой интерес для изучения в целях настоящей работы, так как: (а) является одним из двух основных бассейнов северного склона ЕТР; (б) в пределах этого бассейна наблюдаются одни из наибольших величин годового слоя стока и одни из наибольших величин горизонтальных градиентов слоя стока в Российской Федерации (Рис. 2.2.19); (в) этот бассейн находится в непосредственной близости от бассейна Северной Двины, уникального в отношении свойств межгодовых и многолетних колебаний речного стока: в его пределах находится крупнейшая в мире аномалия отрицательных значений коррелированности стока смежных лет. Дополнительным стимулом для подробного изучения бассейна Печоры является то обстоятельство, что он сравнительно полно освещен данными наблюдений над стоком – имеется информация в 26 створах, изображенных на Рис. 2.2.18.

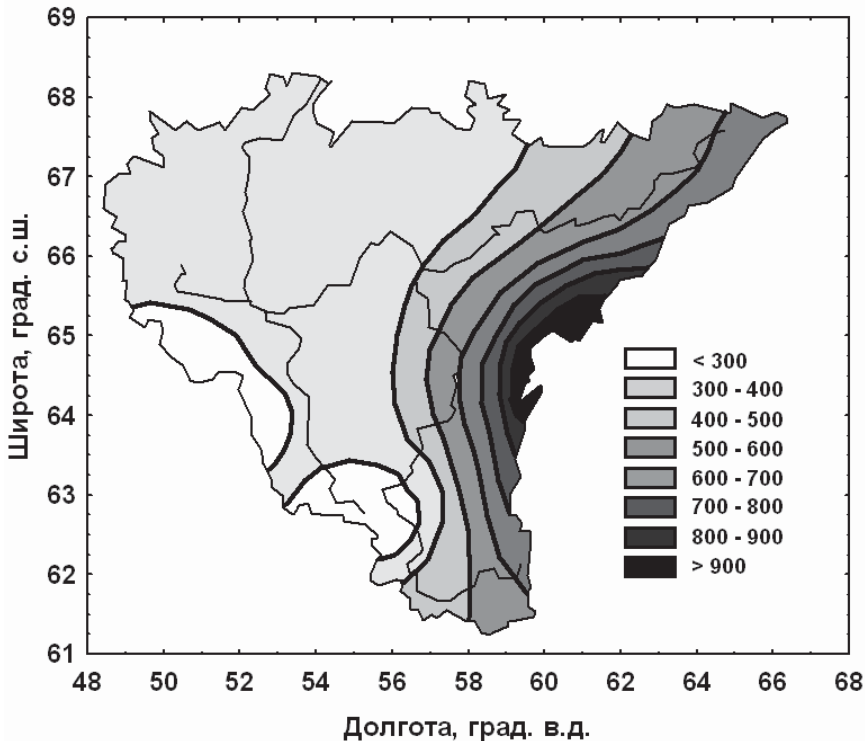


Рис. 2.2.19. Картограмма слоев годового стока в бассейне Печоры

В соответствии с картограммой слоев стока в бассейне Печора находится и распределение средних годовых объемов стока (Рис. 2.2.20): левые притоки Печоры – Ижма и Цильма – сравнительно маловодны, в то время как правые притоки (самый крупный – Уса) и собственно Печора в ее среднем и верхнем течении – многоводны.

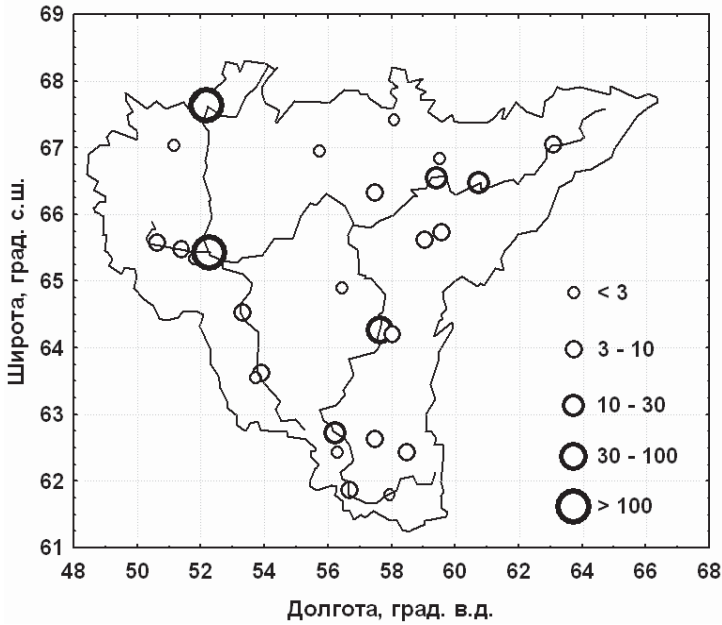


Рис. 2.2.20. Средние годовые объемы стока в створах бассейна Печоры, в  $\text{км}^3$  в год

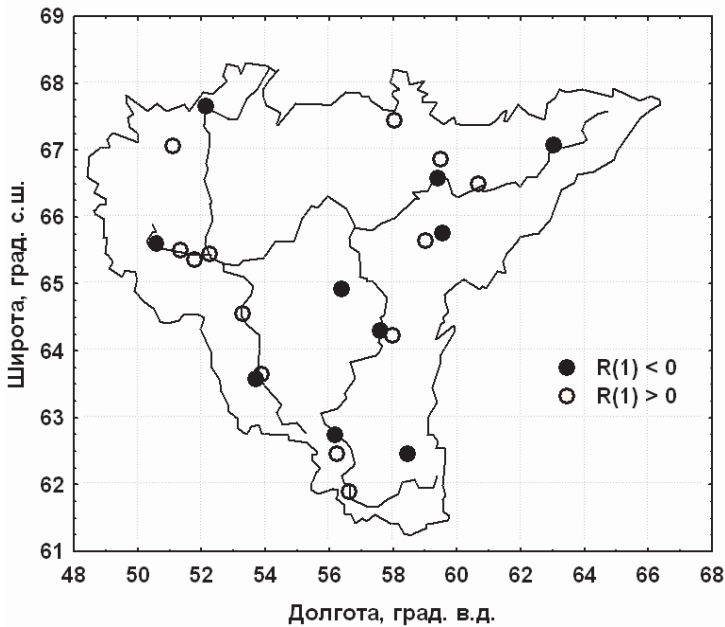
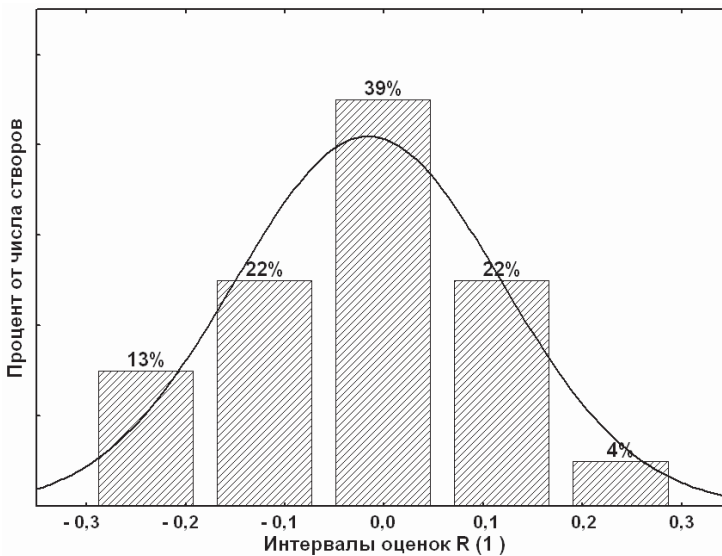


Рис. 2.2.21. Знаки коэффициентов коррелированности стока смежных лет в бассейне Печоры

Теоретически, можно было бы ожидать, что параметры межгодовой и многолетней изменчивости, в своей пространственной структуре, отразят эти географические контрасты в слое и объемах стока. Однако, картодиаграмма знаков коррелированности стока смежных лет – основного интересующего нас в данном случае параметра – указывает на более-менее хаотичное распределение положительных и отрицательных автокоррелированностей. Вместе с тем, обращает на себя внимание все-таки необычно высокий процент створов с отрицательным значением параметра  $R(1)$ . Это может указывать на то, что и на бассейн Печоры распространяются «отголоски» Северо-Двинской аномалии. Подтверждением этого является и гистограмма выборочных значений коэффициентов коррелированности стока смежных лет  $R(1)$  на Рис. 2.2.22.

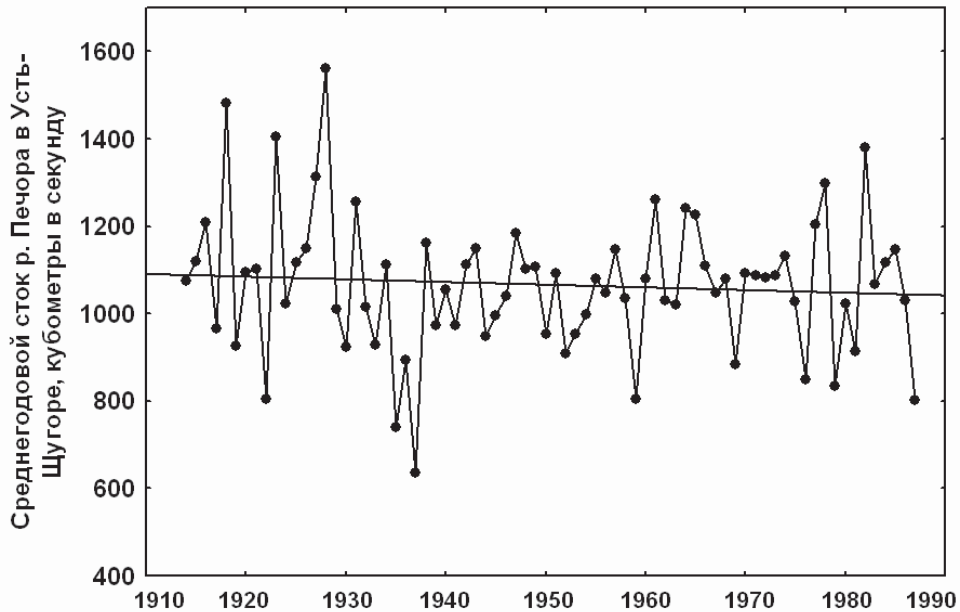


**Рис. 2.2.22.** Гистограмма выборочных значений (оценок) коэффициентов коррелированности  $R(1)$  объемов стока смежных лет в створах бассейна Печоры. Сплошная кривая соответствует нормальному распределению.

Действительно, среднее значение  $R(1)$  в створах в бассейне Печоры необычно близко к нулю, а гистограмма значений  $R(1)$  хорошо описывается нормальным распределением с модой, практически равной нулю, что не наблюдается ни в одном крупном речном бассейне мира.

Следствием чрезвычайно близкого к белому шуму, в среднем, характера многолетней изменчивости стока рек в бассейне Печоры является близость этой изменчивости к стационарной – в противном случае коррелированность стока смежных лет была бы существенно положительной. В качестве примера на Рис. 2.2.23 приведен наиболее длинный ряд наблюдений за

объемами годового стока Печоры – в створе Усть-Шугор. Формально подогнанная к графику прямая линия («линейный тренд») имеет отрицательный наклон, однако величина тренда статистически абсолютно незначима: индекс стационарности по математическим ожиданиям,  $I_{SM}$  составляет здесь всего  $-0,192$  – при среднеквадратичном значении этого индекса для абсолютно стационарных рядов, равном единице.



**Рис. 2.2.23.** Изменения годовых объемов стока в створе Усть-Шугор (в среднем течении Печоры, координаты  $64,27^{\circ}$  с.ш.,  $57, 62^{\circ}$  в.д.)

### 2.2.6. Бассейны зоны тайги (продолжение): бассейн Колымы

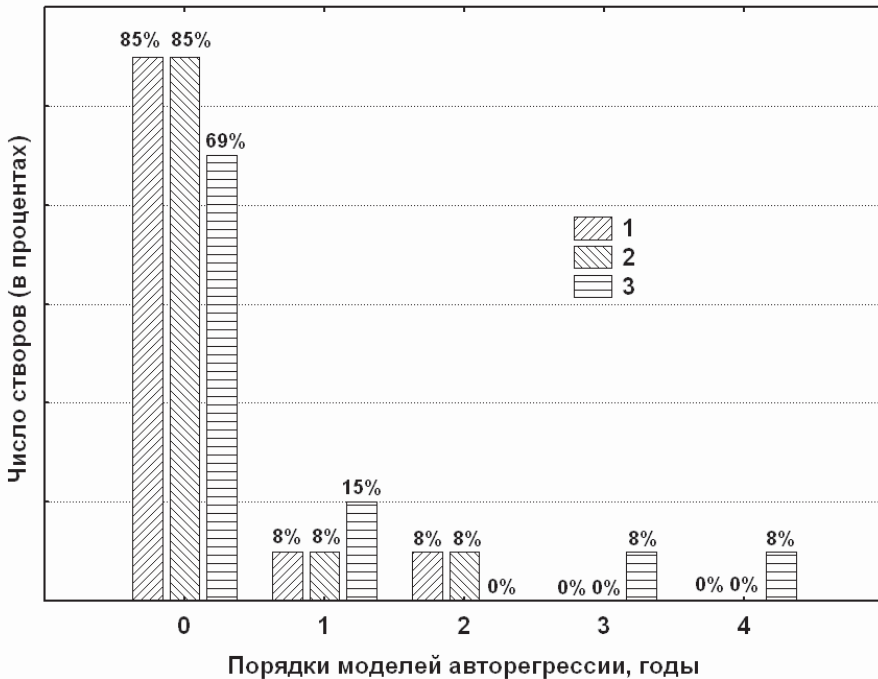
Уникальность бассейна Колымы (Рис. 2.2.24) заключается в том, что он входит в число двух крупнейших речных бассейнов мира (наряду с бассейном Лены), полностью находящихся в пределах зоны многолетней криолитозоны («вечной мерзлоты»). В предыдущих работах автора, на основе анализа рядов стока в бассейне Лены, было выяснено, что, в противоположность распространенному мнению, наличие вечной мерзлоты приводит не к отбеливанию спектров многолетних изменений стока, а напротив, к их смещению в сторону «красных» спектров. Анализ рядов стока в бассейне Колымы позволил еще более уточнить и конкретизировать, на наш взгляд, эти представления.



**Рис. 2.2.24.** Карта бассейна Колымы с указанием створов, информация в которых использована в проекте.

На Рис. 2.2.25 приведены результаты расчетов распределения числа рядов годового, максимального и минимального стока по створу по номерам оптимальных порядков авторегрессионных моделей, подогнанных для описания соответствующих рядов.

Рассмотрение рисунка показывает, что структура порядков моделей в бассейне Колымы намного ближе к распространенной, имеющей место в среднем для бассейнов мира, структуре. А именно, для рядов годового и максимального стока абсолютно преобладающими оказываются модели нулевого порядка; модели всех остальных порядков вместе взятых составляют лишь 15% от общего числа. Несколько неожиданным было то, что такова же структура и порядков моделей для описания минимального стока: модели нулевого порядка составляют 69% от общего числа. Эти результаты могут свидетельствовать о том, что наличие вечной мерзлоты само по себе может не приводить к «покраснению» спектров многолетних колебаний стока: необходимым дополнительным условием, возможно, является еще и область сверхнизких зимних температур, характерная для бассейна Лены в целом (с центром в районе Приленского плато), но менее характерные для бассейна Колымы.



**Рис. 2.2.25.** Распределение числа стоковых рядов в бассейне Колымы по порядкам процессов авторегрессии, подогнанным к описанию рядов годового (1), максимального (2), минимального (3) стока.

### 2.2.7. Бассейны рек, впадающих в бессточные водоемы в зоне пустынь умеренного пояса: Амударья и Сырдарья

Изменения стока рек в бассейне Аральского моря (Рис. 2.2.26) (преимущественно Амударья и Сырдарья) в течение долгого времени были в центре внимания российских гидрологов. Однако, после распада СССР и на протяжении продолжавшегося после этого уменьшения объема воды и площади Аральского моря-озера этот интерес несколько ослабел. Проблема восстановления Аральского моря представляется, в принципе, нерешаемой, и центр тяжести исследований, если таковые и ведутся, неизбежно несколько смещается к области формирования стока основных рек бассейна – в значительной мере питающихся за счет таяния горных ледников.

Отсутствие раздела, посвященного специально Амударье и Сырдарье, было определенным недостатком монографии (Добровольский, 2011б) и первого этапа настоящей работы. Объективной причиной отсутствия такого анализа до последнего времени служила, в определенной степени, все та же



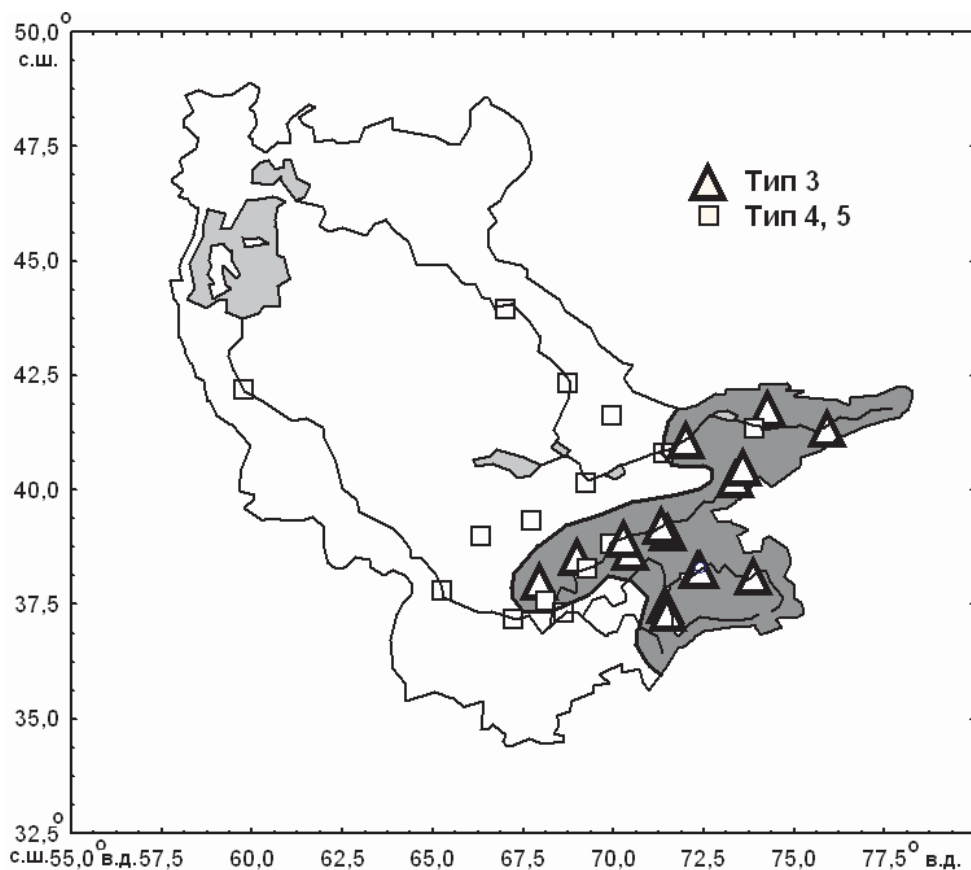
«безысходность» ситуации в бассейне Арала, выражавшаяся в наличии сильнейших отрицательных трендов в стоковых рядах в створах равнинной части водосборного бассейна моря – следовательно, в отсутствии интересного материала для анализа фундаментальных закономерностей изменчивости стока. Однако, дополнительные данные о стоке рек ледникового питания, привлеченные автором, позволили провести интересное, с нашей точки зрения, исследование изменений стока с этого типа водосборов в бассейне Арала.



**Рис. 2.2.26.** *Водосборный бассейн Аральского моря. Кружками в центре квадратов обозначены створы, информация в которых использована в проекте. Фигуры из трех квадратов обозначают группы створов, расположение которых в пространстве неразлично друг от друга в масштабе карты*

А именно: важной проблемой, в том числе, и особенно для бассейна Арала является проблема гипотетического таяния горных ледников на протяжении последних десятилетий вследствие глобального потепления. В научной и научно-популярной печати и в СМИ чрезвычайно распространено мнение о том, что в последние десятилетия объем горных ледников катастрофически сокращался вследствие глобального парникового потепления. Автором настоящей работы в изданиях (Dobrovoski, 2000; Добровольский, 2002)

на материале наблюдений за 26 крупнейшими горными ледниками мира было показано, что изменения их годового объема и массы за последние десятилетия (кстати, не только в сторону уменьшения, но для части ледников – в сторону увеличения) в большинстве случаев не содержат статистически значимых детерминированных однонаправленных трендов, но удовлетворительно описываются при помощи релизаций дискретного винеровского процесса (частный случай случайного блуждания). На примере рек ледникового происхождения в бассейне Арала есть возможность проверить эту гипотезу.



**Рис. 2.2.27.** Картодиаграмма типов водосборных бассейнов, замыкаемых створами, информация в которых была использована в настоящем проекте. «Тип 3» соответствует створам, замыкающим водосборы рек, питающихся в основном водами таяния горных ледников. «Типы 4, 5» соответствуют створам, замыкающим бассейны, на режим колебаний стока в которых оказывают существенное влияние гидротехнические сооружения. Темно-серым цветом обозначен ареал, объединяющий, в основном, водосборы 3 типа

Действительно, если объем (масса) горных ледников в этом регионе меняется от года к году как реализация дискретного винеровского процесса, то ежегодные приращения объема (массы) воды в ледниках должны описываться реализацией последовательности независимых (некоррелированных) величин. Как было показано в главе 1, во многих природных зонах Земли и в глобальном среднем изменения разности между осадками и испарением («эффективные осадки») в климатических масштабах времени описываются при помощи как раз такой модели. Логично предположить, что, в соответствии с изложенной концепцией трансформации горных ледников и составляющих их баланса, и изменения от года к году стока рек, формирующегося за счет таяния ледников, будет меняться как реализация последовательности некоррелированных величин (процесс авторегрессии нулевого порядка).

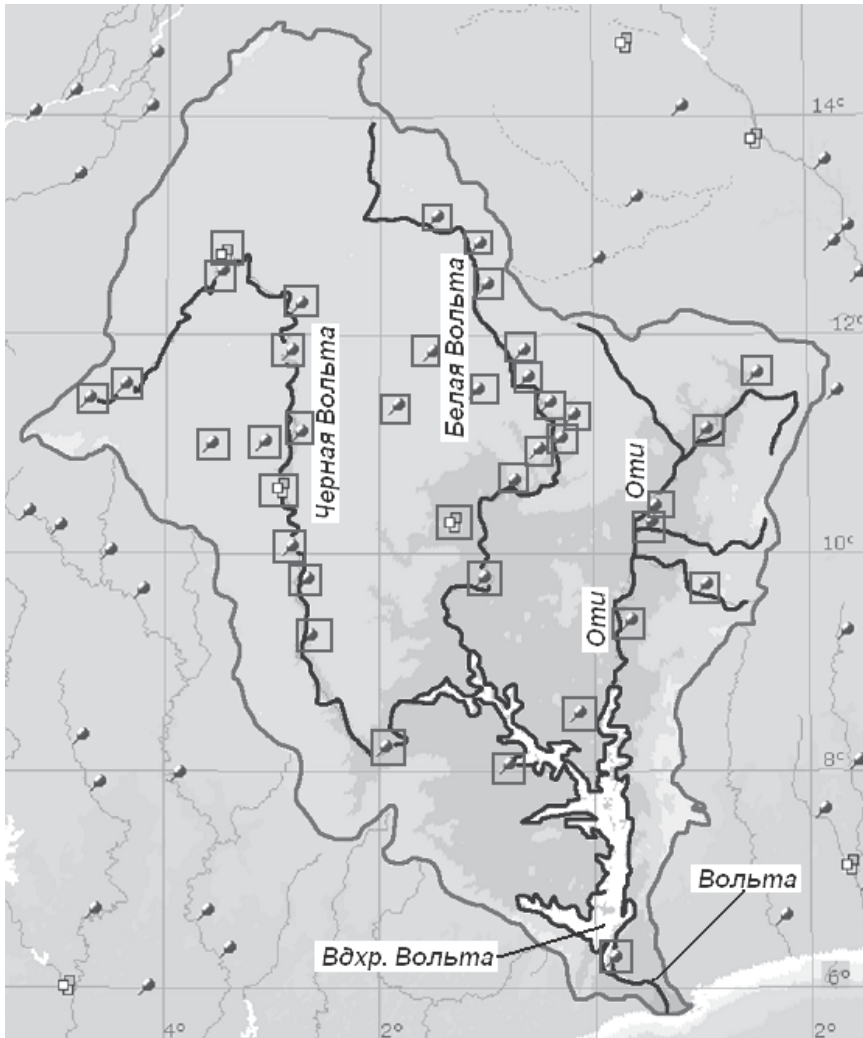
Анализ изменений годового стока рек ледникового питания в бассейне Арала полностью подтверждают сформулированную концепцию. А именно: из 16 створов третьего типа лишь в одном многолетние изменения годового стока описывались при помощи модели авторегрессии первого порядка, во всех остальных случаях – моделями нулевого порядка. Модели авторегрессии нулевого порядка соответствуют и оценки индекса стационарности изучаемых рядов. Среднеквадратичное значение индекса стационарности по математическому ожиданию,  $I_{SM}$  составило величину 1,1, что чрезвычайно близко к теоретическому среднеквадратичному значению этого индекса для абсолютно стационарных рядов.

### **2.2.8. Бассейны тропической зоны: бассейн Вольты**

Бассейн реки Вольта (Западная Африка) уникален тем, что в его пределах расположено крупнейшее, по площади зеркала, водохранилище мира – Озеро Вольта. Представляет чрезвычайно большой интерес как трансформация стока в результате появления водохранилища, так и закономерности изменений во времени стока впадающих в него рек. Водоохранилище было сооружено в 1960-е годы с целью выработки электроэнергии на ГЭС, развития рыболовства и водного транспорта, орошения части территорий. Вместе с тем, его сооружение сопровождалось значительными социальными ущербами: на затопленной территории было уничтожено большое количество поселений, произошла массовая миграция населения в другие районы бассейна реки. Кроме того, агрегаты ГЭС значительную часть времени простаивали вследствие засушливых условий и недостаточного наполнения водохранилища.

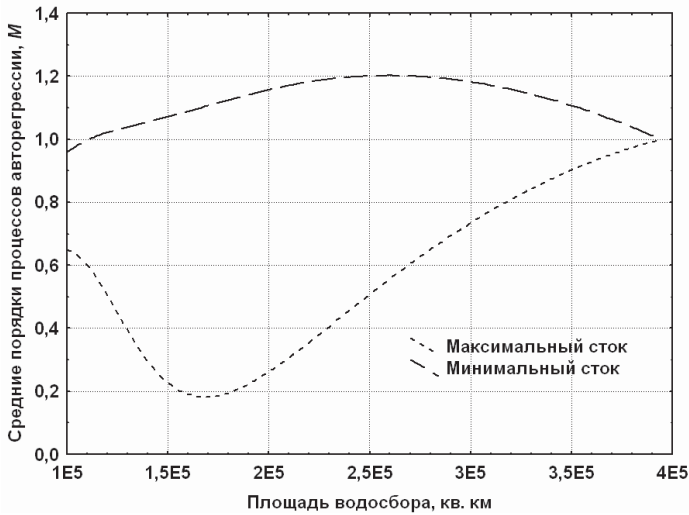
Изучение изменчивости стока в бассейне Вольта привело к большому количеству результатов, подробное рассмотрение которого невозможно в рамках настоящей работы. Укажем лишь на один из наиболее примечательных результатов. В предыдущих разделах (и, частично, в монографии (Добровольский, 2011б)) на многих крупнейших реках мира было выявлено

явление бифуркации порядков авторегрессионных моделей: «расхождение» средних значений порядков моделей, с одной стороны максимального – с другой стороны, минимального стока при росте таких параметров, как площадь водосборного бассейна и объем стока. Отмечалось, что в зависимости от природной зоны, кривая порядков моделей годового стока следует или кривой для максимального, или кривой для минимального стока.



**Рис. 2.2.28.** Бассейн р. Вольга. Кружками обозначены створы, информация в которых была использована в настоящей монографии. Фигуры из трех квадратов обозначают створы, пространственно неразличимые в масштабе карты

Уникальность бассейна Вольты заключается не только в том, что в его пределах находится крупнейшее водохранилище мира, но и в том, что оно расположено вблизи устья реки. Это обстоятельство привело к тому, что «бифуркация» порядков авторегрессии, при достижении максимальных площадей водосборов, напротив – сменяется схождением кривых порядков.



**Рис. 2.2.29.** Изменения средних порядков моделей авторегрессии рядов максимального и минимального стока рек в бассейне р. Вольта с ростом площади водосборов.

**Резюме раздела 2.2.** Рассмотрение дополнительных уникальных речных бассейнов, которым не были посвящены специальные исследования в предыдущей монографии автора (Добровольский, 2011б), позволило, на наш взгляд, впервые выявить важные закономерности изменений речного стока в их пределах, а также позволило проверить ряд гипотез, выдвинутых ранее и касавшихся речных бассейнов-аналогов или примыкающих внутренних морей – или глобальных закономерностей изменчивости стока. Так, рассмотрение стока в пределах бассейна Дона подтвердило гипотезу, высказанную в (Добровольский, 2011б) о неочевидности роли построения и эксплуатации Цимлянского водохранилища и связанных с ним ирригационных систем в увеличении солёности Азовского моря. Изучение стока в предельно индустриализированном бассейне Рейна выявило существенную роль закономерностей изменений стока горных ледников, питающих верховья Рейна и «пробивающих» сквозь все искажения стока, привнесённые многочисленными гидротехническими сооружениями в бассейне. Анализ стока реки Черчилл позволил подтвердить высказанную в (Добровольский, 2011б) гипотезу о наличии в стоке ряда рек (в первую очередь, крупных озерных рек) явления «условной» или «перемежающейся» стационарности, когда нестационарность одних отрезков стоковых рядов сменяется стационарностью рядов большей

длины. Расчеты параметров изменений стока в бассейне Печоры показали, что в них могут сказываться отголоски крупнейшей в мире северодвинской аномалии – области устойчивой отрицательной коррелированности стока смежных лет. Оценки параметров изменений стока в бассейне Колымы позволили уточнить гипотезы относительно влияния многолетней криолитозоны на характер колебаний стока. Влияние льда в виде горных ледников на изменения стока в бассейне Аральского моря подтвердило гипотезу относительно винеровского характера изменений объема и массы горных ледников в последние десятилетия. Наконец, изучение изменений стока в пределах уникального бассейна реки Вольта продемонстрировало наличие любопытного варианта явления бифуркации параметров авторегрессионных моделей стока – своего рода «антибифуркации».

Таким образом, предпринятое в настоящей монографии исследование уникальных речных бассейнов мира, на наш взгляд, позволило получить важные результаты относительно как региональных, так и глобальных закономерностей изменений речного стока. Вместе с тем, для окончательного обобщения результатов и написания на их основе новых работ, необходимо продолжение исследований.

### 2.3. Многолетние изменения стока в бассейне оз. Байкал

Ввиду особенной важности проблемы озера Байкал представляется целесообразным выделить рассмотрение изменений увлажненности его бассейна в отдельный значительный раздел монографии. В качестве наиболее многоводного пресноводного озера мира Байкал можно рассматривать как своего рода миниатюрный «пресноводный океан» планеты. В свою очередь, как будет показано в работе, водосборный бассейн Байкала – в отношении многих важных особенностей изменений речного стока – представляет собой миниатюрный аналог всей суши; в этом заключается своеобразие и уникальность рассматриваемого бассейна. Целью раздела было изучение межгодовых и многолетних изменений как годового, так и максимального и минимального стока рек бассейна Байкала при помощи новых методов оценки стохастических и статистических параметров временных рядов, предложенных автором. На этой основе в работе обсуждаются основные проблемы, связанные с притоком в Байкал речных вод: стационарность или отсутствие стационарности (в том числе «естественной») стока; стохастическая структура стоковых рядов, проявления в бассейне закономерностей, обнаруженных ранее при анализе стока намного более крупных бассейнов – закона «степени минус одна вторая» зависимости коэффициента вариации от морфологических параметров бассейнов, явления «бифуркации» моделей максимального и минимального стока при переходе от менее крупных к более крупным водосборам, степень белошумности годового, максимального и минимального стока.

### 2.3.1. Исходная информация

Как и в предыдущих разделах главы 2, основу исследования составляла электронная база данных, сформированная автором на базе 6 архивов и описанная в работах (Добровольский, 2011а,б). В общей сложности нами анализировались 102 ряда годового, максимального и минимального стока в 34 створах, расположенных в пределах водосборного бассейна Байкала. Ин-

**Таблица 2.3.1.** Информация о створах и замыкаемых ими водосборах в бассейне Байкала

No	Река	Створ	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Слой стока, мм/год	Годовой расход, км <sup>3</sup> /год	Начало набл.	Длина ряда, годы
1	В. Ангара	В.Займка	20 600	401	8,25	1939	55
2	Баргузин	Баргузин	19 800	197	3,90	1936	57
3	Баргузин	Могойто	9 350	241	2,26	1948	42
4	Инаопос	Инаопос	3 270	279	0,91	1957	31
5	Турка	Турка	5 050	297	1,50	1938	49
6	Уда	Улан-Уде	34 700	62	2,15	1936	50
7	Уда	Хорнинск	7 850	33	0,26	1956	44
8	Уда	Усть-Агита	3 900	59	0,23	1983	7
9	Худан	Хоринск	7 800	51	0,40	1947	39
10	Худан	Михайловка	3 300	78	0,26	1955	35
11	Она	Онинская	3 580	78	0,29	1943	44
12	Она	Низ Майла	2 660	104	0,27	1980	5
13	Курба	Новая Курба	5 500	125	0,69	1947	43
14	Курба	Тагда	3620	165	0,60	1957	31
15	Брянка	Брянка	4 400	38	0,17	1964	15
16	Хилок	Найластуй	38 300	79	3,04	1936	58
17	Хилок	Кундалей	29 600	87	2,58	1959	34
18	Хилок	Хилок	15 400	86	2,25	1937	57
19	Хилок	Малета	25 771	87	2,43	1937	57
20	Хилок	Могзон	3 240	87	0,15	1961	4
21	Чикой	Поворот	44 700	186	8,33	1936	56
22	Чикой	Гремячка	15 600	214	3,34	1943	51
23	Джида	Джидал	23 300	127	2,95	1943	43
24	Джида	Намней	8 480	139	1,18	1943	35
25	Темник	377	4 240	212	0,90	1943	22
26	Снежная	Снежная	3 000	502	1,51	1936	54
27	Селенга	Мостовой	440 200	67	29,53	1936	64
28	Селенга	Кабанск	445 000	66	29,47	1971	23
29	Селенга	Н.С еленгинск	360 000	65	23,51	1936	58
30	Селенга	Наушки	282 000	51	14,47	1936	32
31	Дэлгер	Мурен	16 300	113	1,84	1950	15
32	Орхон-Гол	Орхон	23 600	57	1,34	1952	14
33	Хараа-Гол	Барун-Хараа	9 580	28	0,27	1951	12
34	Туу-Гол	Улан Батор	6 300	134	0,85	1948	17

формация об использованных рядах наблюдений представлена в таблице 2.3.1. Длина рядов в 26 створах превышала 20 лет, для них был осуществлен сравнительно полный расчет статистических параметров методами, описанными в следующем разделе. Информация в 8 створах использовалась в ограниченном варианте: для оценки средних величин и  $C_V$ . Наконец, информация в 17 створах с наиболее длинными рядами (более 40 лет) использовалась для оценки степени стационарности или нестационарности рядов годового, максимального и минимального стока по математическому ожиданию, автокоррелированности и дисперсиям (стандартам).

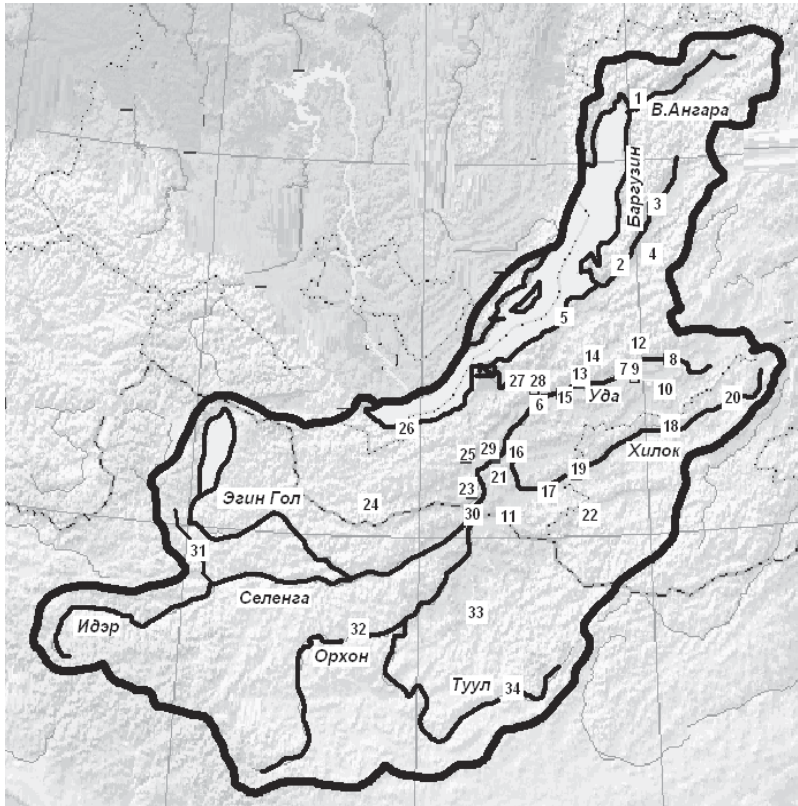
Водосборные бассейны, замыкаемые приведенными в таблице 1 створами, характеризуются большим разнообразием. Они находятся в пределах различных природных зон, основные из которых – тайга, лесостепи и степи, включая горные варианты последних. Увлажненность водосборов также находится в широком диапазоне: слой стока меняется от 28 мм/год в западной части водосборного бассейна Байкала (в бассейне р. Хараа-Гол в Монголии) до более 400 мм/год в пределах одного из наиболее восточных водосборов – в бассейне Верхней Ангары. Существенны различия в площади водосборов: от менее 3 000 км<sup>2</sup> в части бассейна Оны до 445 000 км<sup>2</sup> – часть бассейна Селенги, замыкаемая находящимся недалеко от устья створом Кабанск. Еще более значительно – в 200 раз – разнятся средние годовые объемы стока: от 0,15 км<sup>3</sup> реки Брянка до почти 30 км<sup>3</sup> в створах Селенги недалеко от устья. Таким образом, на материале имеющихся стоковых рядов была возможность рассмотреть особенности и закономерности изменений стока в широких диапазонах различных параметров.

Была осуществлена попытка разделить рассматриваемые водосборные бассейны по типам водосборов. Наибольшая часть створов, 20, замыкает водосборы неозерных рек, на режим многолетних колебаний которых не оказывают влияние гидротехнические сооружения. Водосборы такого типа находятся преимущественно в бассейнах Баргузина, Уды, Оны, Курбы, Джиды.

12 других водосборов были отнесены нами к типу промежуточных (между «антропогенно-измененными» и «естественными») – таких, влияние на режим которых гидротехнических сооружений трудно оценить априори. Таковы водосборы, замыкаемые, в основном, створами на реках Хилок и Селенга. При расчетах указанная группа водосборов и соответствующих стоковых рядов была объединена нами с первой группой. Результаты расчетов косвенным образом показывают, что такое объединение имело под собой основания.

Наконец, имелись единичные водосборы, являющиеся явно антропогенно-измененными (р. Худан), и водосборы озерных рек (Турка). Картограмма расположения всех створов помещена на рис. 2.3.1. На нем же обозначены административные границы, а способом отмывки показан рельеф территории. Схема демонстрирует преимущественно гористый характер водосборного бассейна Байкала; в то же время, в регионе отсутствуют крупные горные ледники и значительные реки ледникового питания. Невелико число озер, круп-





**Рис. 2.3.1.** *Водосборный бассейн оз. Байкал. Номерами (см. таб. 2.3.1) обозначено расположение створов. Прямоугольники с несколькими номерами обозначают группу из несколько створов, местоположение которых неразлично в масштабе карто-схемы.*

нейшим из которых является оз. Хубсугул на территории Монголии, питающее р. Эгийн Гол.

В задачи настоящего исследования не входило изучение водного баланса Байкала и всех его составляющих. Тем не менее, можно отметить, что часто встречающееся в литературе мнение о том, что сток Селенги составляет примерно половину приходной части водного баланса озера, вполне правдоподобно – если учесть, что средний сток в ближайших к озеру створах Мостовой и Кабанск составляет примерно  $29,5 \text{ км}^3$  в год, а средний сток Ангары в районе Иркутской ГЭС около  $58 \text{ км}^3$  в год. Суммарный средний годовой сток в Байкал, оцененный по данным ближайших к озеру створов на впадающих в него реках – Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Снежная, Турка – составляет примерно  $45 \text{ км}^3$ . Невязка около  $13 \text{ км}^3$ , вероятно, может быть объяснена неучтенным притоком малых рек, стоком с тех частей водосборов

крупных рек, которые находятся ниже ближайших к озеру створов, а также эффективными осадками над самим озером.

### 2.3.2 Стационарность изменений стока

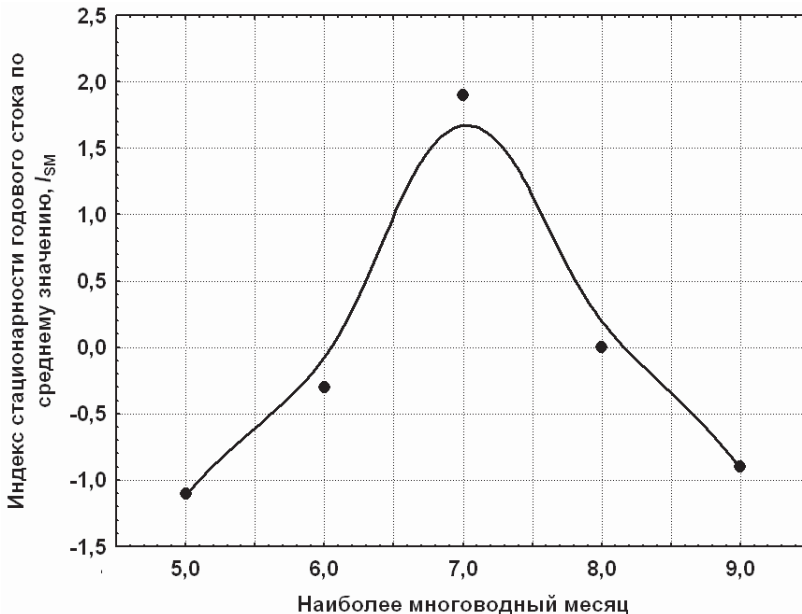
**Таблица 2.3.2.** Индексы стационарности по средним значениям ( $I_{SM}$ ), стандартам ( $I_{SS}$ ), автокоррелированности ( $I_{SR}$ ) рядов годового, максимального и минимального стока в створах рек бассейна Байкала

Река	Створ	$I_{SM}$ год.	$I_{SS}$ год.	$I_{SR}$ год.	$I_{SM}$ макс.	$I_{SS}$ макс.	$I_{SR}$ макс.	$I_{SM}$ мин.	$I_{SS}$ мин.	$I_{SR}$ мин.
В. Ангара	В.Заимка	1,31	-0,28	-1,15	1,53	-0,24	-1,12	0,26	-0,76	-0,76
Баргузин	Баргузин	-0,25	0,54	0,64	-0,26	-0,82	0,96	-	-	-
Баргузин	Могойто	1,88	0,63	-0,34	1,89	-0,39	-0,19	-	-	-
Турка	Турка	0,15	0,43	1,78	0,34	-0,09	-0,50	-	-	-
Уда	Улан-Уде	-1,04	1,02	0,16	-1,79	1,01	-0,57	-0,19	0,15	1,06
Уда	Хоринск	-0,76	1,04	0,12	-1,01	0,99	-0,93	-0,86	1,13	0,98
Она	Онинская	-0,34	1,09	1,75	-0,63	0,81	-0,20	-2,69	-0,21	-1,07
Курба	Новая Курба	-1,10	1,62	1,51	-1,60	2,07	1,30	-1,69	-0,31	0,55
Хилок	Найластуй	-1,22	0,22	-0,32	-1,24	0,28	-1,18	-0,90	1,67	0,63
Хилок	Хилок	-0,86	0,91	0,47	-0,89	0,70	-0,26	-1,08	1,74	0,05
Хилок	Малета	-0,86	0,92	0,50	-0,84	0,65	-0,32	-1,13	1,85	-0,05
Чикой	Поворот	0,42	-0,42	-0,92	0,28	-0,79	-1,90	1,69	0,34	-0,07
Чикой	Гремячка	-0,77	1,12	-0,18	-0,05	0,90	-0,59	0,30	0,51	-0,84
Джида	Джидал	0,93	1,12	1,48	0,76	0,90	1,22	2,08	-0,25	0,49
Снежная	Снежная	-1,54	0,01	-0,17	-1,58	0,11	0,60	2,04	-1,75	-0,14
Селенга	Мостовой	-0,19	2,53	0,12	0,24	1,54	-0,35	1,27	0,79	1,44
Селенга	Ново-Селенгинск	0,26	0,37	0,39	0,20	0,74	0,28	2,11	0,45	0,49

Информация о параметрах степени стационарности наиболее длинных (не менее 40 лет) рядов стока в бассейне Байкала помещена в таблице 2.3.2. Индексы указывают на степень отличия сегментов рядов, пересчитанных в ряды выборочных значений гауссовских величин (для простоты расчетов – первой и второй половин рядов), в отношении стационарности, от аналогичных отличий реализаций стационарных процессов. Индексы для последних распределены в первом приближении нормально, с единичной дисперсией. Отметим, что примененный метод (описанный в (Добровольский, 2011а,б) основан на одном из жестких вариантов двустороннего критерия применимости нулевой гипотезы относительно стационарности – за счет того, что выборочные автокорреляции рассчитываются первоначально для каждого из сегментов ряда, и потом усредняются. Более мягкий вариант предусматривал бы оценку автокоррелированности по всему ряду и приводил бы к «более стационарным» результатам.

Таблица показывает, что ряды основного и наиболее достоверно оцениваемого параметра стока – его годовых величин – вполне соответствуют гипотезе стационарности по среднему. Ни одно из 17 значений не выходит за пределы 95% доверительного интервала оценок для стационарного ряда – не превышает по модулю 1,96. Такая же картина наблюдается в отношении автокоррелированности рядов годового стока. Один из рядов – в створе Мостовой реки Селенга – выходит за эти пределы в отношении стационарности по стандартам. В принципе, такой выброс можно объяснить выборочной изменчивостью оценок или «жесткостью» примененного варианта критерия стационарности, однако не исключено, что этот вопрос нуждается в дополнительных исследованиях.

Из таблицы также видно, что близкая к стационарности картина имеет место в отношении максимального стока (стока наиболее многоводного месяца) – как для средних значений, так и для стандартов и автокоррелированности – и для минимального стока в отношении математического ожидания и автокоррелированности. Несколько повышенное число «нестационарных» значений индекса наблюдается для средних значений минимального стока, однако в основных створах крупнейших притоков Байкала – Селенги и Верхней Ангары – значения не выходят за пределы стационарных.



**Рис. 2.3.3.** Зависимость индекса стационарности рядов годового стока по математическому ожиданию (среднему значению),  $I_{SM}$ , от номера наиболее многоводного месяца

Нами были предприняты попытки найти зависимости между показателями стационарности (длиннопериодных изменений) стока в створах и характеристиками водосборных бассейнов, замыкаемых соответствующими створами. Ввиду сравнительно небольшого количества створов, небольшой длины наблюдений и большого разброса точек на графиках – статистически значимых зависимостей такого плана не было обнаружено – за исключением одного случая: связи индекса  $I_{SM}$  годового стока с характеристикой сезонного хода стока – наиболее многоводным месяцем (рис. 2.3.3). На рисунке точками обозначены средние значения индекса по всем створам, в которых наибольший сток наблюдается в соответствующем месяце. Очевидно, что наибольшие положительные изменения стока за рассматриваемый период (в основном – во второй половине 20 века) соответствуют водосборам, сток в пределах которых формируется в середине лета; напротив – определенное уменьшение стока характерно для водосборов с максимумом стока в конце весны и в начале осени.

### 2.3.3. Параметры общей изменчивости стока

Из предыдущего раздела следует, что ряды стока в водосборном бассейне Байкала можно в первом приближении рассматривать как стационарные (во всяком случае – в широком смысле слова, «по Хинчину»). Следовательно, имеется возможность оценивать статистические и стохастические параметры изменений стока с использованием теории стационарных случайных функций (последовательностей).

В таблице 2.3.3, для рядов длиной не менее 20 лет, помещены оценки наиболее общих параметров изменений стока – стандарты, коэффициенты вариации и коэффициенты асимметрии рядов годового, максимального и минимального стока. Примечательно, что среднее значение  $C_V$  годового стока для створов в бассейне Байкала (0,38) существенно выше, чем в среднем для всего бассейна Енисея (0,22), для рек России (0,29), но совпадает со значением для створов рек мира (0,38). Коэффициент вариации максимального стока в бассейне Байкала (0,44) также выше, чем в среднем для России (0,36) и практически совпадает со среднемировым значением (0,45). Несколько иная картина для коэффициента вариации минимального стока:  $C_V$  для бассейна Байкала (0,66) в среднем не только выше, чем для рек России (0,37), но и для рек мира (0,49).

Вместе с тем, оценки коэффициента асимметрии для створов рассматриваемого бассейна существенно превышают оценки для рек России и мира: по годовому стоку соответственно 0,68; 0,45; 0,61, по максимальному стоку 1,15; 0,66; 0,85, по минимальному стоку 0,86; 0,48; 0,81.

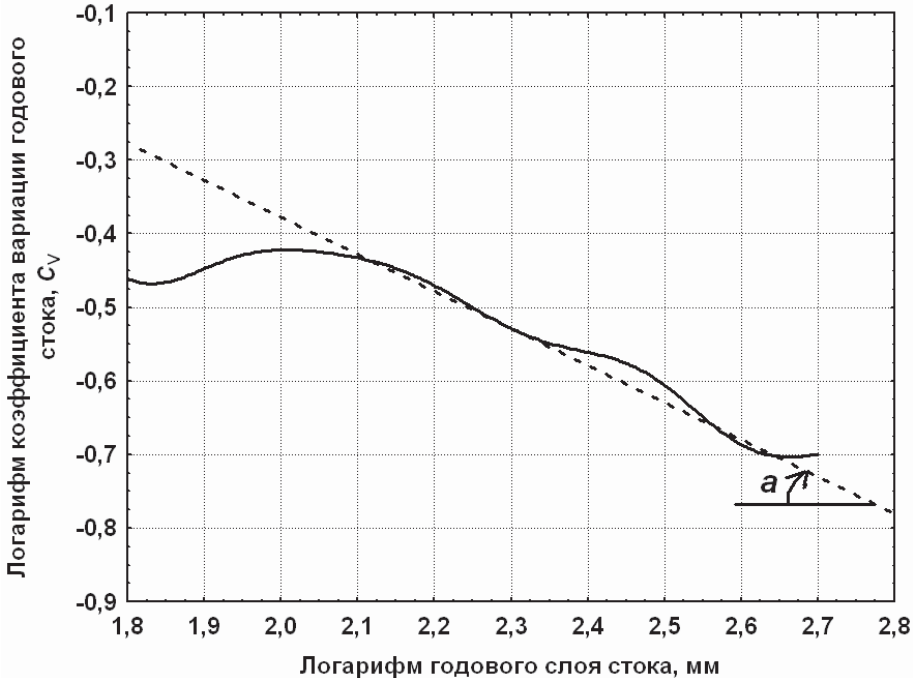
Интересно, что при общем увеличенном значении коэффициентов вариации и асимметрии в бассейне Байкала, коэффициент связи между ними

здесь (1,50) значительно меньше, чем обычно принимавшийся в отечественных гидротехнических расчетах (2,0) и средний для створов мира (1,81).

**Таблица 2.3.3.** Стандарты (в м<sup>3</sup>/с), коэффициенты вариации  $C_V$  и асимметрии  $C_S$  рядов годового, максимального и минимального стока в створах рек бассейна Байкала.

Река	Створ	$\sigma$ год	$C_V$ год	$C_S$ год	$\sigma$ макс	$C_V$ макс	$C_S$ макс с	$\sigma$ мин	$C_V$ мин	$C_S$ мин
В. Ангара	В.Заимка	38,9	0,14	0,23	174,1	0,20	-,16	8,6	0,14	-1,9
Баргузин	Баргузин	32,9	0,27	0,47	125,1	0,37	1,22	-	-	-
Баргузин	Могойто	17,5	0,25	0,91	70,2	0,34	1,06	-	-	-
Инаопос	Инаопос	9,3	0,32	0,16	40,0	0,41	0,72	-	-	-
Турка	Турка	15,8	0,33	1,47	57,0	0,47	2,13	-	-	-
Уда	Улан-Уде	25,9	0,39	0,97	111,9	0,59	1,82	3,8	0,44	0,44
Уда	Хоринск	5,1	0,63	0,85	19,8	0,71	1,07	0,4	0,52	1,28
Худан	Хоринск	7,3	0,55	1,35	20,3	0,52	0,91	0,5	0,88	1,02
Худан	Михайловка	2,9	0,37	0,76	9,4	0,42	0,65	0,2	1,93	3,02
Она	Онинская	3,8	0,42	0,88	16,5	0,56	1,09	0,3	0,91	0,69
Курба	Новая Курба	6,8	0,31	0,59	23,1	0,39	1,46	1,6	0,56	0,28
Курба	Тагда	6,3	0,35	1,74	21,9	0,43	2,57	1,2	0,55	0,98
Хилок	Найластуй	36,5	0,38	0,35	126,6	0,42	0,73	2,5	0,67	0,44
Хилок	Кундалей	34,1	0,42	0,37	106,9	0,40	0,39	2,1	0,98	1,03
Хилок	Хилок	30,2	0,43	0,35	100,7	0,44	0,65	1,5	0,91	1,19
Хилок	Малета	30,3	0,43	0,35	100,4	0,43	0,63	1,5	0,94	1,19
Чикой	Поворот	79,0	0,30	0,60	290,2	0,39	1,19	9,5	0,55	1,37
Чикой	Гремячка	32,0	0,30	0,92	106,9	0,35	1,22	3,6	0,72	1,16
Джида	Джидал	32,7	0,44	1,03	161,9	0,56	1,33	2,2	0,61	1,22
Джида	Намней	12,2	0,34	0,59	60,8	0,42	0,88	0,7	0,71	0,61
Темник	377	7,5	0,26	0,53	45,8	0,48	2,69	0,6	0,39	-,65
Снежная	Снежная	10,8	0,23	0,31	57,7	0,37	1,09	0,8	0,21	0,71
Селенга	Мостовой	211,2	0,23	0,20	744,4	0,30	0,55	31,9	0,38	1,11
Селенга	Кабанск	286,3	0,31	0,19	885,2	0,35	0,52	50,1	0,53	0,66
Селенга	Н.Селенгинск	368,1	1,01	0,18	592,2	0,30	0,80	26,0	0,41	1,57
Селенга	Наушки	125,8	0,34	1,34	522,6	0,51	2,60	18,8	0,49	1,38

Отличительной чертой бассейна Байкала является то, что здесь наблюдается проявление закона «степени минус одна вторая» связи между  $C_V$  годового стока и годовым слоем стока (рис. 2.3.4) – выявляемая обычно только для намного более обширных бассейнов и в глобальном масштабе. Это свидетельствует о том, что, несмотря на все разнообразие природных условий в бассейне Байкала, на этой сравнительно небольшой территории ярко прослеживается общемировая тенденция.



**Рис. 2.3.4.** Сплошная линия – зависимость между коэффициентом вариации годового стока в створах рек бассейне Байкала и годовым слоем стока, осредненным по замыкаемым створами водосборам. В билогарифмических шкалах. Аппроксимация осуществлена по 26 точкам методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Пунктирная прямая обозначает закон степени минус одна вторая (тангенс угла  $a$ )

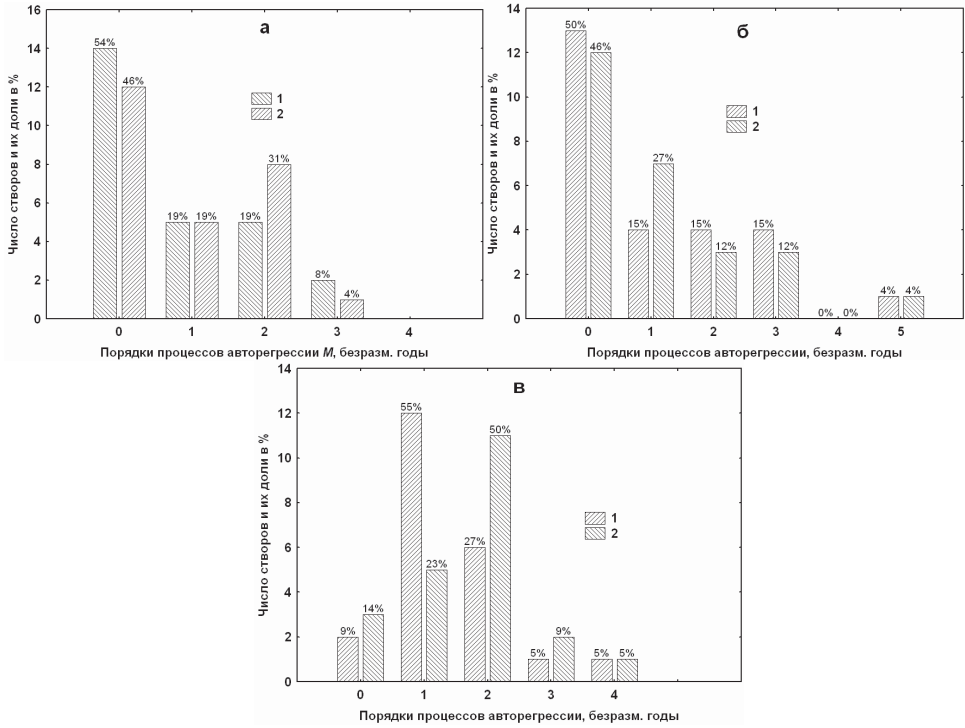
#### 2.3.4. Стохастические модели изменений стока

Вследствие продемонстрированной в одном из предыдущих разделов близости рядов стока в бассейне Байкала к реализациям стационарных случайных процессов, целесообразным представляется их описание методом наибольшей энтропии. Последний сводится к подгонке к рядам реализаций процесса авторегрессии конечного порядка. В таблице 2.3.4 показаны оцененные методами, предложенными в (Добровольский, 2011 а,б), основные параметры модели – порядки процесса авторегрессии. Расчеты проделаны как для рядов годового стока, так и для рядов максимального и минимального стока. Для каждого ряда расчеты проводились в двух вариантах: с использованием исходного ряда и ряда, пересчитанного в выборочные значения гауссовских величин.

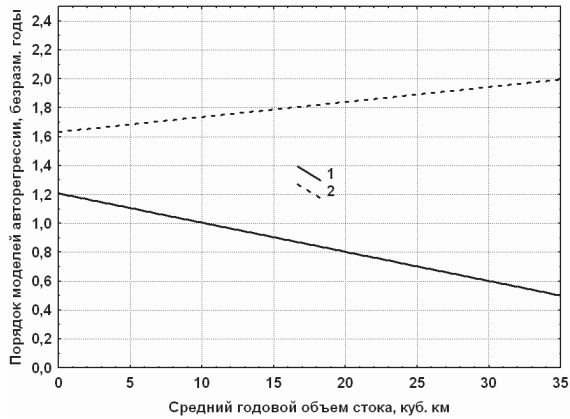
**Таблица 2.3.4.** Порядки  $M$  процессов авторегрессии для описания рядов годового, максимального и минимального стока в их исходном варианте и в варианте с пересчетом в выборочные значения гауссовских величин.

Река	Створ	$M$ ис- ходн. год	$M$ Гаусс год	$M$ ис- ходн. макс.	$M$ Гаусс макс.	$M$ ис- ходн. мин.	$M$ Гаусс мин.
В.Ангара	В.Заимка	1	1	1	1	0	0
Баргузин	Баргузин	0	0	3	1	-	-
Баргузин	Могойто	0	0	0	0	-	-
Инаопос	Инаопос	0	0	1	1	-	-
Турка	Турка	3	2	0	0	-	-
Уда	Улан-Уде	2	2	3	0	3	2
Уда	Хорнинск	3	3	3	3	4	4
Худан	Хоринск	1	1	1	1	1	3
Худан	Михайловка	2	2	2	2	1	1
Она	Онинская	0	0	0	0	1	2
Курба	Новая Курба	0	2	0	0	1	1
Курба	Тагда	1	0	0	0	1	1
Хилок	Найластуй	2	2	5	5	2	2
Хилок	Кундалей	0	2	0	0	1	2
Хилок	Хилок	1	1	3	3	1	1
Хилок	Малета	1	1	0	3	1	3
Чикой	Поворот	0	0	1	1	2	2
Чикой	Гремячка	0	0	0	0	2	2
Джида	Джидал	2	2	2	2	2	2
Джида	Намней	0	0	0	0	1	2
Темник	377	0	0	0	1	1	0
Снежная	Снежная	0	0	0	0	0	0
Селенга	Мостовой	0	0	0	0	2	2
Селенга	Кабанск	0	0	0	0	1	2
Селенга	Н.Селенгинск	0	2	2	2	2	2
Селенга	Наушки	2	1	2	1	1	1

Для более наглядного представления результатов, представленных в таблице 2.3.4, они сведены в гистограммы на рис. 2.3.5. Рисунок показывает, что для многолетних изменений годового и максимального стока преобладающей является модель нулевого порядка («белый шум»). Для описания изменений минимального стока, напротив, предпочтительнее модели первого и более высоких порядков. При этом необходимо заметить, что модели порядков выше первого, как правило, близки к моделям первого порядка – так как соответствующие спектральные плотности совпадают со спектральными плотностями для моделей первого порядка с точностью до доверительных интервалов разумного уровня значимости (последние строились методом наибольшей энтропии с использованием оценок Кромера).



**Рис. 2.3.5.** Гистограммы порядков авторегрессионных моделей рядов годового (а), максимального (б), минимального (в) стока. 1 – расчеты с использованием исходных рядов, 2 – рядов, пересчитанных в выборочные значения гауссовских величин



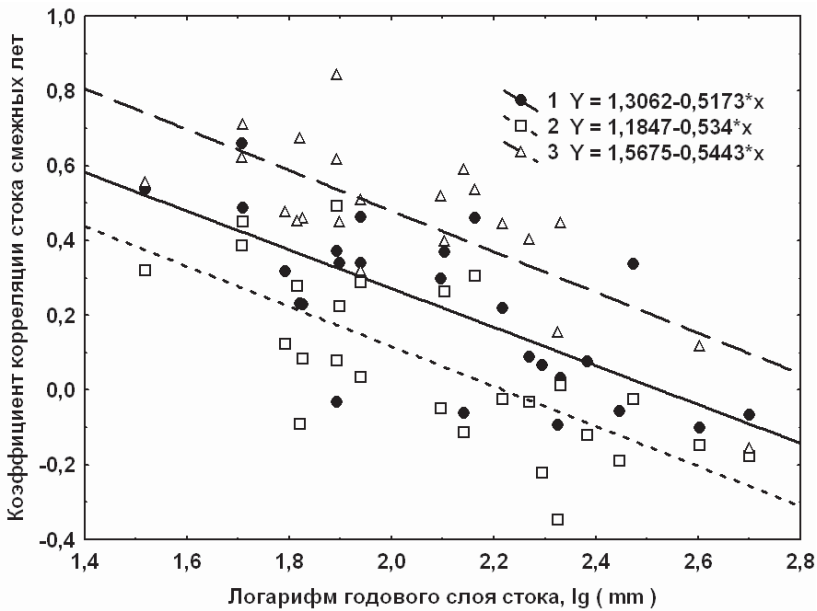
**Рис. 2.3.6.** Изменения порядков моделей авторегрессии, подогнанных к рядам максимального (1) и минимального (2) стока в бассейне Байкала – в зависимости от среднего годового объема стока. Линейная интерполяция осуществлена по 26 точкам методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов



Показателен график изменений средних порядков моделей авторегрессии для рядов максимального и минимального стока в зависимости от средних объемов стока (рис. 2.3.6). Модели изменений максимального стока при переходе к створам с большей водностью реки приближаются к белозумной модели, в то время как модели изменений минимального стока стремятся к модели простой Марковской цепи или к формально более сложным моделям. Такого рода «бифуркация» моделей наблюдается только для крупнейших речных бассейнов мира (Амазонки, Нила, Волги) или для частей света в целом, но не фиксируется четко для меньших по размеру бассейнов. Наличие подобного эффекта в бассейне Байкала уникально.

### 2.3.5. Коррелированность стока смежных лет

Так как модели нулевого и первого порядка играют подавляющую роль при описании многолетних изменений речного стока, оценка первого коэффициента авторегрессии  $R(1)$  (близкого по смыслу к коэффициенту корреляции между величинами стока смежных лет) приобретает принципиальное значение. На рис. 2.3.7 показаны значения  $R(1)$ , оцененные по рядам



**Рис. 2.3.7.** Зависимость коэффициента корреляции между стоком смежных лет в бассейне Байкала от годового слоя стока.. 1 – ряды годового стока, 2 – максимального, 3 – минимального. Линии регрессии построены методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов; соответствующие линейные уравнения приведены в верхнем правом углу

годового, максимального и минимального стока, пересчитанных в ряды выборочных значений гауссовских величин. Значения коэффициентов на рис. 6 развернуты вдоль оси логарифмов средних годовых слоев стока на водосборах, замыкаемых соответствующими створами.

Очевидно расслоение между значениями  $R(1)$  для годового, максимального и минимального стока. Соответственно, четко различаются между собой линии регрессии, аппроксимирующие точки. При этом углы наклона (коэффициенты линейных уравнений на рис. 2.3.6) практически одинаковы и равны  $-1/2$ . Отметим, что закон «степени минус одна вторая» четко просматривается для аналогичных зависимостей в глобальном масштабе (Добровольский, 2011б, рис. 4.3.7г), но редко выделяется на материале данных наблюдений для бассейнов с такой небольшой, по сравнению с глобальной, площадью.

Среднее значение для рядов годового стока составляет в рассматриваемом бассейне величину 0,16, что значительно больше среднего значения по бассейну Енисея (0,07) и для территории РФ (0,13), но близко к среднемировому значению (0,15). В этом также состоит своеобразие бассейна Байкала.

Как было отмечено, не только Байкал можно рассматривать как своего рода «пресноводный океан» планеты, но и водосборный бассейн Байкала в определенном смысле слова можно считать миниатюрным аналогом всей свободной ото льда суши. Действительно, в пределах этого, сравнительно небольшого, по отношению к глобальному масштабу, водосбора наблюдается уникальное сочетание сразу нескольких важнейших закономерностей многолетних изменений стока, которое характерно лишь для крупнейших бассейнов мира (Амазонка, Нил, Волга), для крупных частей материков и для всей суши в целом. А именно:

- Для бассейна Байкала характерен наименьший из всех изученных крупнейших речных бассейнов с достаточным числом створов с длинными рядами, и для мира в целом процент (нулевой) рядов годового стока, не соответствующих гипотезе о стационарности по математическому ожиданию. Соответственно, можно ожидать, что и суммарный ежегодный речной приток в озеро, во всяком случае его естественная составляющая, описываются стационарной последовательностью.
- В изучаемом водосборе выявлена характерная для крупнейших речных бассейнов и для мира в целом структура порядков стохастических (авторегрессионных) моделей многолетних изменений годового, максимального и минимального стока. А именно – резкое преобладание моделей нулевого порядка для описания изменений годового и максимального стока и преобладание моделей порядков выше нулевого для описания изменений минимального стока. Сказанное целиком справедливо, в том числе, для ближайших к устью створов

крупнейшего притока Байкала – Селенги, а в отношении годового стока и для других притока Байкала – р. Баргузин, Турка, Снежная. Таким образом, можно предположить, что суммарные изменения годовых величин притока в озеро близки к модели авторегрессии нулевого порядка («белого шума»).

- Для рек бассейна Байкала характерна также глобальная (но проявляющаяся четко только по данным в крупнейших бассейнах) зависимость основной характеристики изменений стока – коэффициента вариации – от увлажненности территории, описываемой в терминах годового слоя стока. Имеется в виду закон «степени минус одна вторая», связанный с последовательным накоплением независимых по времени порций влаги, попадающей на соответствующие водосборы.
- Наконец, чрезвычайно показательным наличием в бассейне Байкала эффекта «бифуркации» - разделения моделей максимального и минимального стока при переходе от маловодных рек и участков рек к более многоводным. Повторим, что такой эффект выявлен по данным наблюдений только в пределах крупнейших речных бассейнов мира и крупных частей материков.

В пределах бассейна Байкала совершенно четко проявляется закон «степени минус одна вторая» зависимости коррелированности стока смежных лет от среднего годового слоя стока – в чистом виде проявляющийся в среднем глобальном – на материале стока изученных нами в предыдущих работах рядов стока всего мира.

#### **2.4. Сравнительный анализ особенностей изменений стока в пределах важнейших речных бассейнов мира**

Задача, которая была поставлена при подготовке настоящего раздела, – изучение закономерностей длиннопериодных (межгодовых и многолетних) изменений стока в пределах важнейших речных бассейнов мира – и сопоставление закономерностей, исследованных для бассейнов различных размеров, находящихся в различных природных зонах, различающихся по типам питания рек и по степени антропогенного воздействия на изменения речного стока. Необходимо отметить, что подобная задача ставилась впервые. До недавнего времени как в отечественной, так и в мировой научной литературе в принципе отсутствовали работы по изучению количественных закономерностей изменений речного стока в подлинно глобальном масштабе – с привлечением более-менее полного набора данных по речному стоку, находящихся

в международном обмене. Только недавно была завершена и подытожена в монографии «Глобальные изменения речного стока» (Добровольский, 2011) работа по изучению параметров изменчивости годового, максимального и минимального стока примерно в 3000 створов на всех свободных ото льда континентах. Однако, в тот период имелась возможность обобщить и проанализировать только часть обширной информации, которая была собрана автором в глобальной базе данных по стоку.

В частности, совершенно недостаточно был изучен вопрос о сравнении особенностей изменений стока в важнейших речных бассейнах мира. Не были обобщены данные по части бассейнов, важных как с гидрологической точки зрения, так и с точки зрения хозяйственного использования их вод. Наконец, только при таком подходе – сравнительном изучении результатов по бассейнам – принципиально возможно обнаружение ряда важных закономерностей. Применяемый подход позволяет получить своего рода «статистики третьего уровня» (первый уровень – статистики результатов по конкретным створам, второй уровень – по бассейнам рек, третий уровень – по всем значительным бассейнам мира, то есть, «статистики статистик статистик»). Только такой метод позволяет, например, исследовать относительное влияние долей рек различного типа питания на параметры изменчивости речного стока в бассейне, влияние степени антропогенного вмешательства в «гидрологию бассейна» на многолетние изменения стока и ряд других важнейших вопросов.

#### 2.4.1. Исходные данные

В общей сложности был выделен 31 важнейший бассейн мира. Информация о бассейнах содержится в таблице 2.4.1 (бассейны Сыр Дарьи и Аму Дарьи изучаются совместно). В целом, можно выделить 4 основных группы бассейнов по принадлежности их к укрупненным природным зонам (поясам):

- бассейны северной зоны (преимущественно лесотундры и тайги) – Юкон, Макензи, Черчилл, Нельсон, Сев. Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма (всего 10 бассейнов);
- бассейны умеренной зоны (в основном зоны смешанных и широколиственных лесов, редколесья, лесостепей, степей умеренного пояса): Св. Лаврентия, Миссисипи, Колумбия, Парана, Дунай, Рейн, Волга, Дон, Амур (всего 9 бассейнов);
- бассейны засушливой зоны (в основном в поясах пустынь, полупустынь, кутарниковых степей): Колорадо, Рио Гранде, Нил, Муррей-Дарлинг, Сыр Дарьи и Аму Дарьи (всего 6 бассейнов, при этом в пределах бассей-

- нов 2-х последних важную роль играют реки ледникового питания);
- бассейны влажной тропической и экваториальной зон (в основном - влажные тропические и экваториальные леса, саванна): Амазонка, Конго, Вольта, Ганг, Меконг (5 бассейнов).

**Таблица 2.4.1.** Характеристика исследуемых речных бассейнов

Название, номер основной реки	Регион	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Средн.слой стока, мм/год	Основные природные зоны
1. Юкон	С. Америка	854	245	тундра, лесотундра, тайга
2. Макензи	С. Америка	1 805	172	тундра, лесотундра, тайга
3. Черчилл	С. Америка	287	93	тайга, смешанные леса
4. Нельсон	С. Америка	892	80	тайга, смешанные леса, степь
5. Св. Лаврентия	С. Америка	1 344	230	смешанные леса, тайга
6. Миссисипи	С. Америка	2 980	180	степь, лесостепь, широк. леса
7. Колумбия	С. Америка	668	355	степи, полупустыни.
8. Колорадо	С. Америка	637	3-15	полупустыни, пустыни
9. Рио Гранде	С.Америка	608	4-17	полупустыни, пустыни, степи
10. Амазонка	Ю. Америка	7 050	984	экваториальные леса, саванна
11. Парана	Ю. Америка	2 583	186	саванна, степи, лесостепи
12. Конго	Африка	4 015	320	экват.леса, саванна, редколесье
13. Нигер	Африка	2 092	68-129	саванна, степи, пустыни
14. Вольта	Африка	394	87	саванна, экваториальные леса
15. Нил	Африка	3 250	14	пустыни, полупустыни, степи
16. Муррей	Австралия	1 061	8-16	кустарниковые степи
17. Дунай	Европа	817	252	широк. леса, лесостепи, степи
18. Рейн	Европа	161	458	горн. ландшафты, широк. леса
19. Волга	Европа	1 360	183	степь, смеш., хвойные леса
20. Дон	Европа	378	71	широк. леса, лесостепи, степи
21. Сев. Двина	Европа	357	308	тайга
22. Печора	Европа	312	484	тайга, тундра
23. Обь	Азия	2 990	133	лесотундра, тайга, степи
24. Енисей	Азия	2 580	242	лесотундра, тайга, степи
25. Лена	Азия	2 430	223	тундра, лесотундра, тайга
26. Колыма	Азия	526	193	тайга, лесотундра, тундра
27. Амур	Азия	1 855	194	тайга, смеш. леса, степи
28. Сыр Дарья – Амударья	Азия ..	628	101	горн. ландшафты, полупустыни, пустыни
29. Ганг	Азия	1 060	1 263	тропич.леса, саванна, пустыни
30. Меконг	Азия	810	623	саванна, троп. леса, степи

(Особняком выделяется бассейн Нигера – наиболее экзотический в отношении конфигурации и принадлежности к диаметрально противоположным природным зонам).

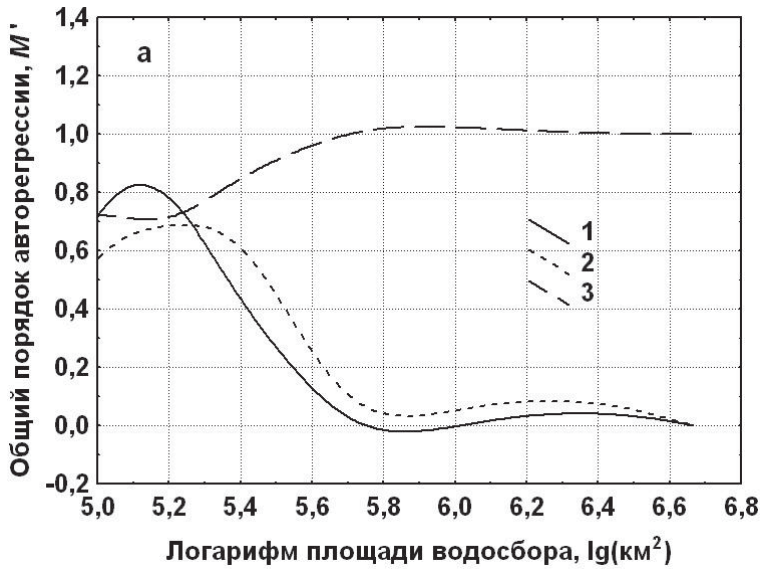
Различие между последними двумя группами бассейнов в основном заключается в резкой разнице в их увлажненности: от 3 до 17 мм в год в группе засушливых бассейнов и от 322 до 1263 мм в год в группе бассейнов влажной тропической и экваториальной зоны. Годовой слой стока в двух первых группах бассейнов принимает промежуточные значения – от 80 до 355 мм; различия между этими двумя группами бассейнов – в основном, в температурном режиме. По признаку степени озерности можно также выделить группу «озерных» бассейнов Северной Америки: Макензи, Нельсон, Св. Лаврентия.

Для характеристики межгодовой и многолетней изменчивости стока в пределах указанных бассейнов был сформирован архив данных по годовому, максимальному и минимальному стоку на базе 5 международных архивов (см. Добровольский, 2011). Суммарное число створов, информация по которым использована в данном исследовании, равнялась 1820. Это около двух третей (63%) от общего количества створов, имеющих в глобальном архиве автора по стоку рек. Исходной информацией для каждого створа была: название реки; название створа; название страны; географические координаты створа; площадь бассейна, замыкаемого створом; среднее многолетнее значение годового стока; средние многолетнее значение стока каждого месяца, среднее многолетнее значение стока наиболее многоводного/маловодного месяца; ряды годового стока, стока наиболее многоводного и наиболее маловодного месяцев каждого года.

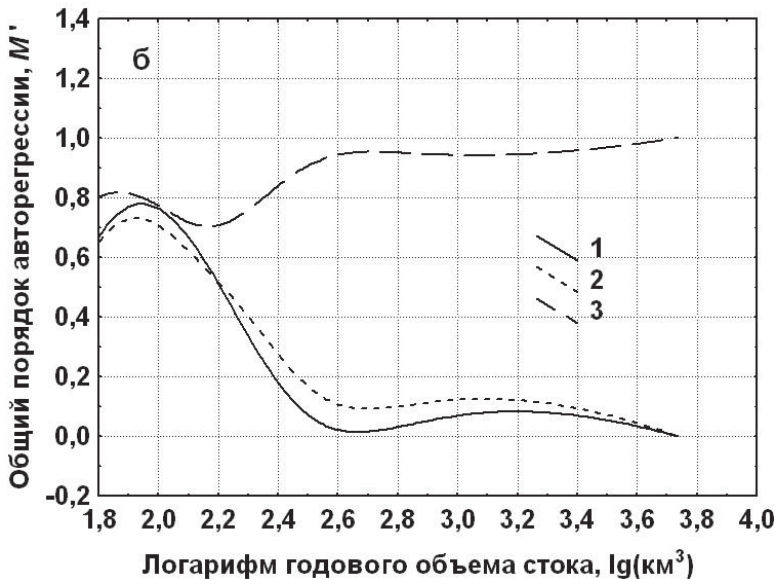
#### 2.4.2. Основные результаты сравнения бассейнов

Интерес представляют прежде всего сопоставления площадей водосборных бассейнов и годового слоя стока. Эти соотношения имеют параметрический характер, так как непосредственно величины не связаны друг с другом, однако характер соотношений четко зависит от того, в каких природных зонах находятся бассейны. Так, в пределах бассейнов 4-й группы (в экваториальных и тропических зонах большой увлажненности) такого рода зависимость практически отсутствует: линия регрессии представляет собой горизонтальную линию, а эллипсы рассеяния имеют горизонтальную ось и близки (в соответствующих масштабах) к окружности. Такая картина в особенности характерна для рек и бассейнов двух самых многоводных бассейнов мира – Амазонки и Конго.

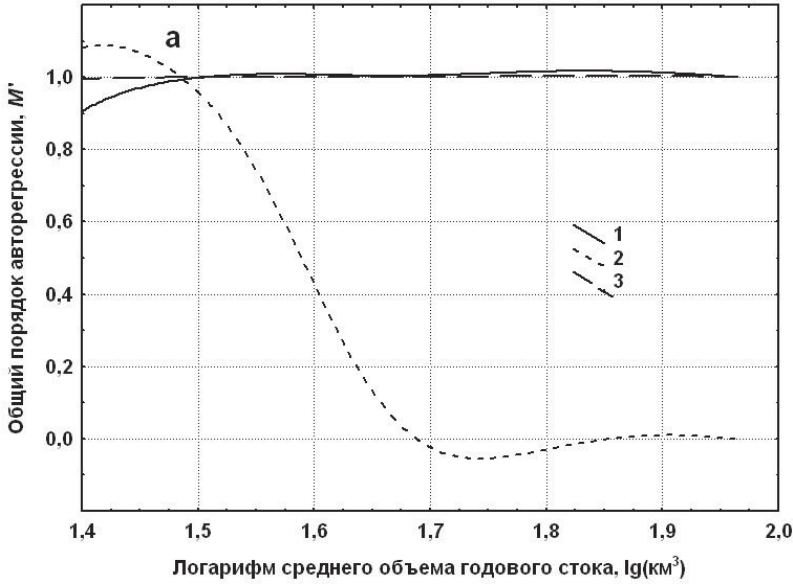
В то же время, и для бассейнов средней увлажненности, но характеризующихся сравнительно равномерными изменениями природных условий в пределах бассейна, характерен такой же тип зависимостей. Напротив, для бассейнов 3-го типа (засушливых) отмечается резкое уменьшение годового слоя стока при увеличении площади бассейна – особенно характерное для бассейна Нила и Муррея-Дарлингга.



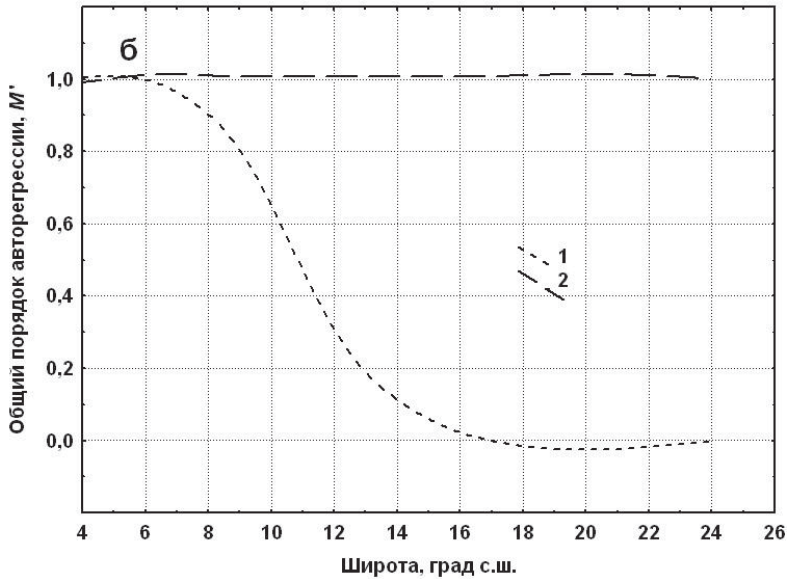
**Рис. 2.4.6а.** Зависимости общих порядков авторегрессии моделей годового (1), максимального (2), минимального (3) стока рек в бассейне Амазонки от логарифмов площадей водосборов



**Рис. 2.4.6б.** То же, что Рис. 2.4.6а, но для зависимостей от логарифмов среднего годового объема стока



**Рис. 2.4.7а.** Зависимости общих порядков авторегрессии моделей годового (1), максимального (2), минимального (3) стока рек в бассейне Нила от логарифмов среднего объема годового стока



**Рис. 2.4.7б.** То же, что Рис. 2.4.7а, но для зависимостей от широты створа



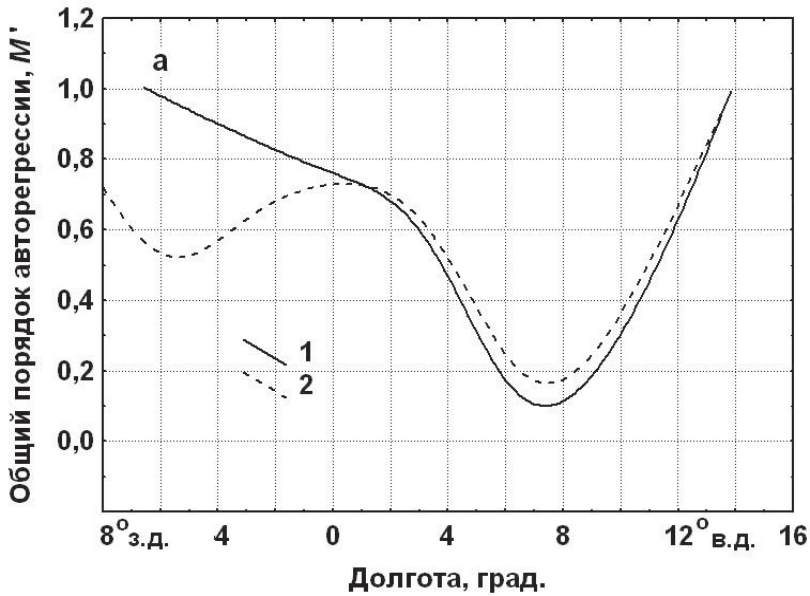


Рис. 2.4.8а. Зависимости общих порядков авторегрессии моделей годового (1), максимального (2) стока рек в бассейне Нигера от долготы створа

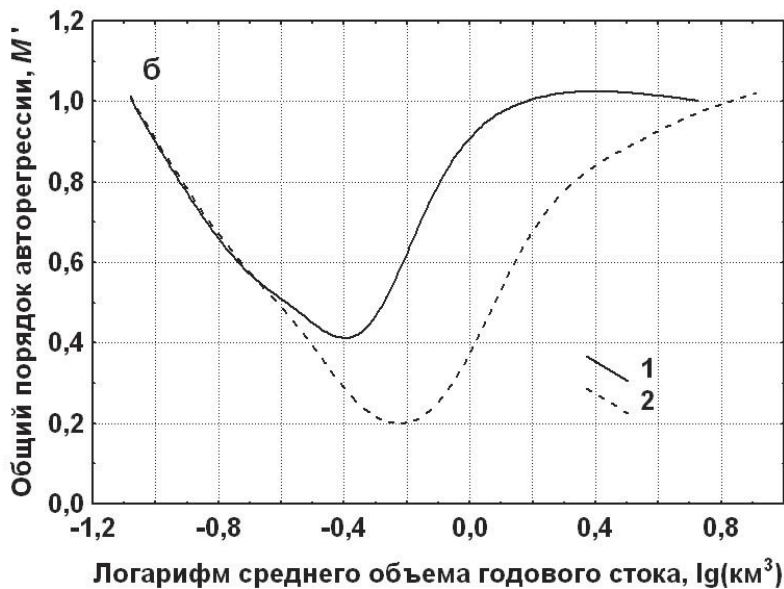


Рис. 2.4.8б. То же, что Рис. 2.4.8а, но для зависимостей от средних объемов годового стока

Другим результатом, отличающим бассейны разных групп, являются параметры, связанные с общей изменчивостью стока, выражающейся прежде всего в коэффициентах вариации. Для бассейнов северной зоны, а также умеренной зоны характерна очевидная выраженность закона «степени минус одна вторая», описывающего связь между коэффициентом вариации, и такими параметрами бассейнов, как площадь бассейна и годовой слой стока. В особенности четко этот закон проявляется в северных неозерных бассейнах, принадлежащих зоне, в основном, тайги: Енисея, Оби, Лены, Юкона.

В определенной степени указанный закон проявляется в изменениях стока в ряде бассейнов умеренной зоны – Параны, Волги, Амура. Наконец, для последних двух групп бассейнов (в экстремально увлажненной и в экстремально засушливой зоне) закон «степени минус одна вторая» проявляется лишь частично – или его проявление неочевидно. Последующие исследования, возможно, позволят выдвинуть гипотезы относительно отмеченных явлений.

Другая интересная и важная особенность изменений стока характерна как раз для экстремально увлажненной и экстремально засушливой зон и менее характерна для северной и умеренной зон. Речь идет о зависимости порядков моделей авторегрессии  $M$  (в особенности «общих порядков авторегрессии»  $M'$ , равных нулю при нулевых значениях  $M$ , и 1 при ненулевых) от основных параметров водосборов – площади бассейна и объема стока. Для таких бассейнов (прежде всего – наиболее увлажненного, Амазонки и наиболее засушливых – Нила, Муррея-Дарлинга) характерно явление, которое мы назвали «бифуркацией» порядков авторегрессии. Оно заключается в том, что средний порядок авторегрессионных моделей минимального стока при увеличении площади и объема стока стремится к единице, максимального стока – к нулю, а годового стока – к тому или другому: к нулю при условии большей увлажненности бассейна и к единице при условии засушливости бассейна.

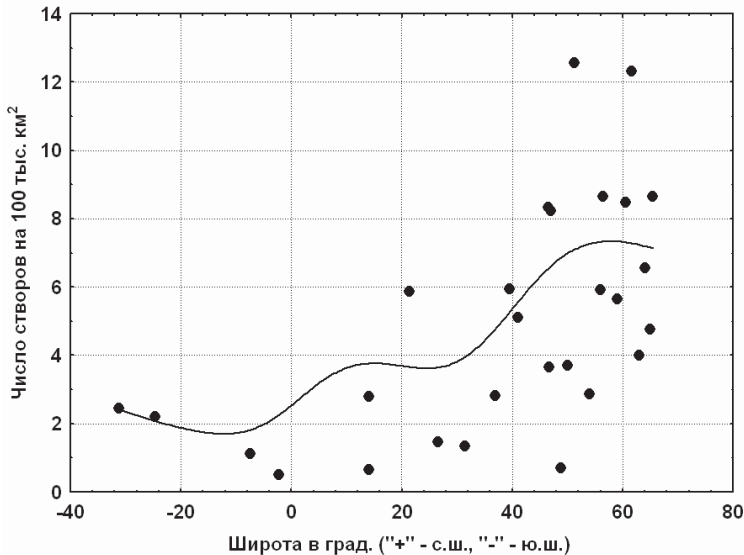
Особый случай представляет поведение графиков («общих»,  $M'$ ) порядков авторегрессии для бассейнов, пересекающих несколько природных зон и как бы «возвращающихся» вдоль течения основной реки к первоначальной зоне. В этом случае графики  $M'$  носят немонотонный характер – также возвращаются к первоначальным значениям. В данном случае речь идет прежде всего о таких бассейнах, как Дунай и Нигер.

Подытоживая сказанное, можно выдвинуть гипотезу о том, что основные исходные параметры бассейнов (площадь, годовой слой стока) для бассейнов северной и умеренной зон связаны в первую очередь с общей изменчивостью стока (коэффициентом вариации), а для наиболее засушливых и наиболее увлажненных бассейнов тропической и экваториальной зон – с характером изменений стока во времени.

Также, подготовка настоящего раздела позволила выявить наиболее общие, глобальные закономерности распределения параметров основных речных бассейнов и параметров изменчивости речного стока в пределах этих бассейнов

нов. Так, об особенностях широтного распределения параметров бассейнов, стока и изменчивости стока позволяют судить графики, построенные по 30 точкам, координатой каждой из которых на горизонтальной оси является средняя взвешенная широта бассейна. Наиболее яркими зависимостями такого рода явились следующие.

1. Пространственная плотность распределения створов, в которых имелись ряды наблюдений за стоком продолжительностью несколько десятилетий (в нашем случае – более 20 лет). Соответствующая кривая (Рис. 2.4.9), построенная методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов (как и рядом других методов) в среднем обнаруживает почти непрерывный рост с юга на север – от широт порядка 30 – 40 градусов южной широты до широт порядка 65 – 70 градусов северной широты.

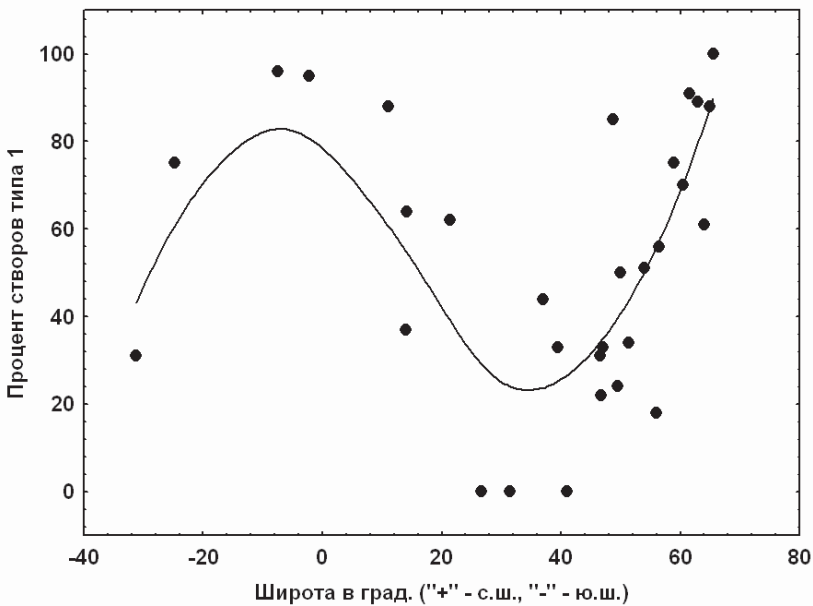


**Рис. 2.4.9.** Средняя пространственная плотность створов по изучаемым 30 важнейшим речным бассейнам мира. В качестве «широты» бассейна бралась средняя взвешенная по карте годового слоя стока широта

2. Совершенно отличен характер широтного распределения процентного числа створов, замыкающих водосборы с ненарушенным (предположительно) характером межгодовой и многолетней изменчивости стока (Рис. 2.4.10). Соответствующая кривая имеет резко выраженный максимум в экваториальном поясе, понижение в области субтропических широт северного и южного полушарий и резкий рост при про-

движении к более северным широтам северного полушария – вплоть до 65 – 70 градусов северной широты.

- Широтное распределение долей створов, замыкающих водосборы с антропогенно-измененным режимом изменений стока почти зеркально симметрично предыдущему типу распределения: имеет минимум вблизи экватора, повышение в области субтропиков южного и северного полушария и умеренных широт северного полушария, сменяющееся резким понижением в высоких широтах северного полушария.



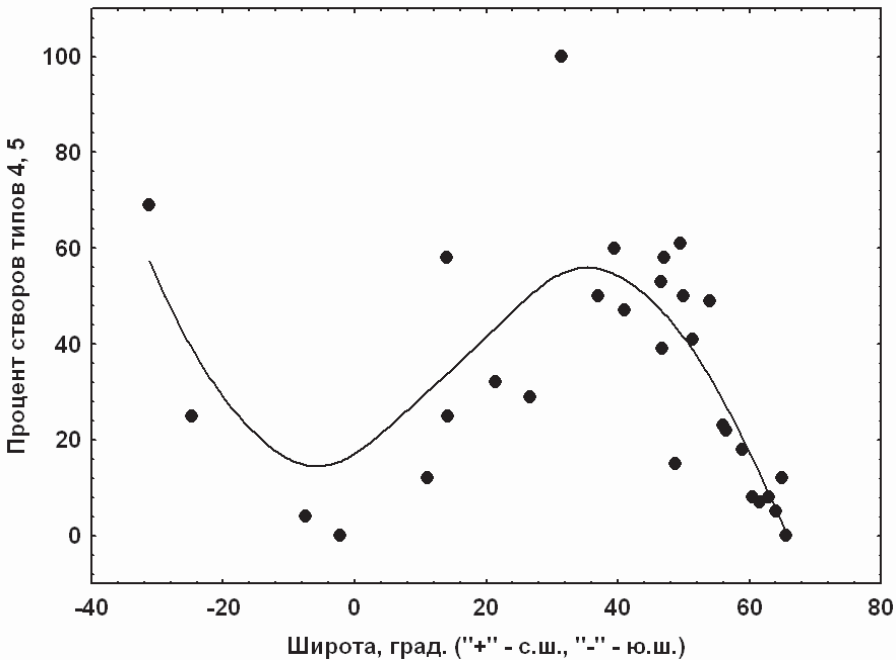
**Рис. 2.4.10.** Распределение по широте процента створов «основного» (первого) типа - замыкающих водосборы неозерных рек дождевого и снегового питания, на режим многолетних изменений которых, предположительно, не оказывают существенного влияния гидротехнические сооружения и хозяйственная деятельность на водосборах

Из других особенностей глобального распределения типов водосборов можно отметить почти непрерывный рост доли водосборов озерных рек в направлении от юга к северу, рост доли рек ледникового питания в горных поясах Евразии и Северной Америки, приходящихся на диапазон широт от примерно 25 – 30 до 45 – 50 градусов северной широты.

Интересной закономерностью глобального распределения параметров изменчивости речного стока является падение многих характеристик в пре-

делах бассейнов наиболее северных рек – в сравнении с бассейнами рек прилегающих средних широт. Такого рода падение наблюдается для:

- коэффициентов вариации среднего годового, максимального и минимального стока и стандартов указанных коэффициентов вариации;
- автокоррелированности каждого из трех упомянутых видов стока и стандартов соответствующих оценок;
- средних порядков моделей процесса авторегрессии годового и максимального стока (в отличие от моделей минимального стока).



**Рис. 2.4.11.** Распределение по широте процента створов «антропогенного» (четвертого) и переходного к «антропогенному» (пятого) типа - замыкающих водосборы неозерных рек дождевого и снегового питания, на режим многолетних изменений которых, предположительно, не оказывают влияние гидротехнические сооружения и хозяйственная деятельность на водосборах

Широтные изменения других параметров изменчивости стока в пределах рассматриваемых бассейнов не обнаруживали отчетливой картины.

Важной особенностью рассматриваемых бассейнов было увеличение «параметра нестационарности»  $I_{SM}$  (см. пояснения в Добровольский, 2011б) при увеличении в бассейнах доли водосборов «естественного» типа (с ненарушенным режимом многолетних изменений стока). Возможно, нестационарность заметной части рядов минимального стока (или так называемая

«перемежающаяся нестационарность») является естественным свойством речного стока, связанным со сравнительно большой влагоемкостью подповерхностных горизонтов, усиливающей эффекты естественной и антропогенно-обусловленной нестационарности климата.

Интересны зависимости стандартов параметров изменчивости стока от доли в рассматриваемых бассейнах водосборов различного типа питания. В частности, очень характерны соответствующие графики для долей водосборов с антропогенно-нарушенным режимом стока. По мере увеличения доли такого рода водосборов в бассейне – существенно растет разнообразие как коэффициентов вариации минимального стока, так и стандартов показателей тренда  $I_{SM}$  – в последнем случае от близкого к теоретическому, «стационарному» значению 1,0 для бассейнов, где антропогенное влияние на сток практически полностью отсутствует – до величины 1,8 для бассейнов с полностью зарегулированным стоком.

В целом, по результатам раздела 2.4 можно попытаться сделать следующие выводы.

1. Характер и закономерности многолетних изменений речного стока в пределах наиболее важных речных бассейнов мира существенно различаются – в зависимости от географического положения бассейна, степени его увлажненности, площади бассейна, степени его озерности, степени воздействия на речной сток хозяйственной деятельности на водосборе (прежде всего – наличия гидротехнических сооружений, гидромелиоративных систем). А именно: для бассейнов рек как в чрезмерно засушливых, так и в чрезмерно увлажненных зонах характерно наличие так называемой «бифуркации» параметров стохастических моделей максимального и минимального стока: порядок соответствующих стохастических моделей (авторегрессии) первых стремится к нулю, вторых – к единице при увеличении площадей водосборов внутри бассейна крупной реки. При этом порядок модели годового стока стремится к нулю в сверхувлажненных бассейнах, к единице – в засушливых бассейнах. Соответствующие изменения характерны и для коэффициентов автокоррелированности годового, максимального и минимального стока со сдвигом 1 год.
2. Наиболее характерной закономерностью, отличающей изменения стока большинства других – промежуточных в отношении увлажненности – бассейнов является закон «степени минус одна вторая» зависимости коэффициента вариации годового стока от среднего слоя годового стока и площади бассейна. Зависимость  $C_V$  годового стока от среднего объема годового стока включает две асимптоты – линии с тангенсом угла наклона  $-1/2$  в билогарифмических шкалах. Одна – в области небольших объемов стока связана с изменениями слоя стока, другая – в области крупных объемов стока – связана с зависимостью от площади водосбора. Представляется, что такого рода закономерности

сти можно использовать для предварительной оценки коэффициента вариации годового стока в пределах территорий, не охваченных прямыми наблюдениями за стоком.

3. Важным свойством рассматриваемых бассейнов явились зависимости стандартов параметров изменчивости стока от доли в рассматриваемых бассейнах водосборов различного типа питания. В частности, очень характерны соответствующие графики для долей водосборов с антропогенно-нарушенным режимом стока. По мере увеличения доли такого рода водосборов в бассейне – существенно растет разнообразие как коэффициентов вариации минимального стока, так и стандартов показателей тренда  $I_{SM}$  – в последнем случае от близкого к теоретическому, «стационарному значению 1,0 для бассейнов, где антропогенное влияние на сток практически полностью отсутствует – до величины 1,8 для бассейнов с полностью регулируемым стоком.

## Литература к главе 2

- Бухаров А.А. Байкал в цифрах. Иркутск: Макаров С.Е., 2001. 72 с.
- Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. М.: Издательский центр «Академия», 2008, 320 с.
- Водные ресурсы России и их использование. Ред. И.А.Шикломанов. СПб: Государственный гидрологический институт, 2008, 599 с.
- Георгиевский В.Ю. Изменения стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук, СПб, 2005, 39 с.
- Добровольский С.Г. О междугодичных изменениях составляющих мирового водного баланса и запасов воды на суше // Водные ресурсы, 1981, № 5, 165 – 169.
- Добровольский С.Г. Эвстатические колебания уровня океана и изменчивость составляющих мирового водного баланса. Вопросы географии. 1984. Т. 125. С. 122 – 130.
- Добровольский С.Г. Об изменениях увлажненности крупных регионов, связанных с изменениями климата // Особенности и закономерности формирования вод суши. Процессы водообмена. М.: Институт водных проблем, Международная программа геологической корреляции, 1986. С. 103 – 123.
- Добровольский С.Г. Аномалии глобального тепловлагообмена. М.: Советский геофизический комитет, 1991, 128 с.

Добровольский С.Г. Стохастический анализ изменчивости компонентов водного баланса для различных природных зон Европейской территории России. // Взаимодействие вод суши и атмосферы. М.: Наука, 1993.

Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера». М.: Геос, 2002, 236 с.

Добровольский С.Г. Изменения климата и составляющих водного баланса // Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003. С. 119 – 130.

Добровольский С.Г. Процессы в системе «океан-атмосфера-поверхность суши» и их детерминистические модели. // Современные глобальные изменения природной среды. Том 1. М.: Научный мир, 2006. С. 282 – 287, 366 – 374.

Добровольский С.Г. Проблема глобального потепления и изменений стока российских рек. Водные ресурсы, 2007, Т.34, № 6, 643 – 655.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011. 660 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006, 256 с.

Добровольский С.Г., Клиге Р.К. Современные изменения климата и мировой водный баланс // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1985. № 1. С. 31 – 38.

Журбенко И.Г., Кожевникова И.А. Стохастическое моделирование процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990, 148 с.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1974, 638 с.

Привальский В.Е. Климатическая изменчивость. (Стохастические модели, предсказуемость, спектры). М.: Наука, 1984, 184 с.

Привальский В.Е., Панченко В.А., Асарина Е.Ю. Модели временных рядов. СПб, 1992, 226 с.

Пространственно-временные колебания стока рек СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1988, 376 с.

Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1976, 256 с.

Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003, 352 с.

Сахарюк А.В. Оценка стационарности многолетних колебаний речного стока // Тр. Гос. гидрол. ин-та. Л.: Гидрометеоздат, 1981, №282, 78 – 87.

Семенов В.А., Алексеева А.К., Дегтяренко Т.Н. и др. Климатические изменения стока рек СССР // Тр. ВНИИ гидромет. инф. М.: Гидрометеоздат, 1986, № 133, 59 – 84.

Синюкович В.Н., Сизова Л.Н., Шимарев М.Н. и др. Особенности современных изменений притока воды в оз. Байкал // География и природные ресурсы, 2013. № 4. С. 57 – 63.

Смахтин В.К. Влияние изменения климата на гидрологический режим рек Забайкалья. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Чита, 2015. 131 с.



Фролов А.В. Динамико-стохастические модели многолетних колебаний проточных озер. М.: Наука, 1985, 103 с.

Эдельштейн К.К. Гидрология материков. М.: Академия, 2005, 304 с.

Яглом А.М. Введение в теорию стационарных случайных функций // Успехи математических наук, 1952. Е. 7. Вып. 5 (51). С. 3 – 168.

Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций. Л.: Гидрометеиздат, 1981, 280 с.

Baggeroer A.B. Confidence intervals for regression (MEM) spectral estimates // IEEE Trans. Inform. Theory. 1976. Vol. IT-22, 218-224.

Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time series analysis: forecasting and control. Prentice Hall, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994, 498 pp.

Chiew F.H.S., McMahon T.A. Trends and changes in historical annual streamflow volumes and peak discharge of rivers in the world // Proc. Int. Congr. on modelling and simulation, Nov. 1995. Newcastle, Australia, 1995, 140.

Dai A., Qian T., Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in continental freshwater discharge from 1948 – 2004 // J. Climate, 2009. Vol. 22, 2773 – 2791.

Dzharparidze K.O., Yaglom A.M. Spectrum parameter estimation in time series analysis // Developments in statistics, Acad. Press, 1983, N.Y., Vol. 4, 1 – 96.

Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. Amsterdam et al.: Elsevier, 1992, 280 p.

Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. Springer; Heidelberg; Berlin et al., 2000. 296 p.

Dobrovolski S.G., Coudhury B.J. Temporal climatic variabilities of global atmospheric, oceanic, and land surface parameters. Atmosfera. Vol. 9. № 4. P. 273 – 289.

Dobrovolski S.G., Reynaud L. Statistical analysis of glacier mass balance // Studies and Reports in Hydrology. 1998, Vol. 55, 73-83.

Dobrovolski S.G., Rybak O.O. Incorporation of hydrological cycle elements into the dynamic stochastic climate model. GeoJournal, 1992. Vol. 27. № 3. P. 247 – 254.

Earth Google, 2009. Сайт в Интернете: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com).

GRDC: Global river discharge center, 2009. Сайт в Интернете: <http://www.grdc.com>.

Hasselmann K (1976) Stochastic climate models. Part 1. Theory // Tellus 28: 473-485.

Hasselmann K (1981) Construction and verification of stochastic climate models. // Berger A. (ed) Climatic variations and variability: facts and theories. D Reidel, Dordrecht pp 481-497.

Haykin S. Non-linear methods of spectral analysis // Top Appl. Phys., 1997, Vol. 34, 247.

Imkeller P., Storch J.-S., eds. Stochastic climate models. Birkhauser, Basel, 2001, 432 p.

ISLSCP: International Satellite Land Surface Climate Project. 5-CD set, NASA, GSFC, Greenbelt, MD, 1996.

Marple S.L., Jr. Digital spectral analysis with applications. Prentice Hall, 1987, Englewood Cliffs, N.Y., 584 pp.

Microsoft Database 5-CD data set. Tulsa, OK, 2005.

Privalsky V.E., Jensen D.T. Time series analysis package. Autoregressive time and frequency domains analysis of scalar and multi-variate time series. Logan: Utah climate center, Utah State University, 1992, 61 p.

SAGE River Discharge Database. 2010. Center for Sustainability and the Global Environment. University of Wisconsin. Сайт в Интернете: [http://www.sage.wisc.edu/river\\_data](http://www.sage.wisc.edu/river_data).

Schaedler B. Long water balance time series in the upper basins of four important rivers in Europe – indicators for climatic changes? //IAHS Publ., 1987. No. 168, 209 – 219.

Shiklomanov I.A., Rodda J.C. (Eds). World water resources at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. Cambridge Univ. Press, 2003, 435 p.

Ulrych T.J., Bishop T. Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition //Rev. Geophys. and Space Phys., 1975, Vol. 13, 183-200.

Vorosmarty C.J., Fekete B.M., Tucker B.A. Global river discharge database. 1998. Vol. 1.1. Сайт в Интернете: <http://www-eosdis.ornl.gov>.

Yaglom A.M. Correlation theory of stationary and related random functions. V. 1. Springer, Heidelberg et al., 1987. 526 p.

Yevjevitch V. Fluctuations of wet and dry years: an analysis of variance spectrum. Denver, CO: Colorado State University, 1977, 94 p.

## Глава 3. Экстремальные гидрологические явления: наводнения и засухи

### 3.1. Понятие «наводнение»

Наводнениям на реках и в речных бассейнах посвящено большое количество работ - см., например, библиографию в (Авакян, Истомина, 2002) или статьи и библиографии к ним в трудах представительной международной конференции «Экстремальные гидрологические события» (Экстремальные, 2003). В основном это труды, посвященные наводнениям на конкретных реках, в отдельных регионах или посвященные отдельным аспектам наводнений. Лишь немногие капитальные исследования наводнений имели своей целью изучение этого явления в масштабах России или всего мира – и это были работы в основном описательного плана (хотя и очень важные и содержательные), такие как (Таратунин, 2000; 2011; Ward, 1978). Несколько лет назад авторы попытались восполнить этот пробел в научной литературе, издав книгу «Наводнения мира» (Добровольский, Истомина, 2006), в которой имеющаяся количественная информация о наводнениях впервые анализировалась в глобальном масштабе по сопоставимым параметрам. Позже работа по изучению наводнений в мире и в РФ была продолжена авторами, и в настоящий момент есть возможность представить намного более детальную, по сравнению с последней из упомянутых монографий, комплексную количественную картину наводнений мира – их генезиса, особенностей, отрицательных последствий. Имелась также возможность изучения закономерностей наводнений паводочного типа с более детальным пространственным разрешением – в пределах каждого из основных ареалов наводнений такого рода. Принципиальное отличие базы данных, анализируемых в настоящей монографии – и той, которая была использована в монографии (Добровольский, Истомина, 2006), заключалось в основном в следующем.

- Анализируемый период времени был увеличен почти в 2,5 раза: он простирался с конца 1997 г. до начала 2009 г.
- В большей пропорции увеличилось число анализируемых наводнений.
- Было увеличено число исследуемых для каждого наводнения параметров.
- Осуществлялась более тщательная проверка данных.
- В отличие от работы (Добровольский, Истомина, 2006) целиком осуществлено оцифровывание данных.
- Образована иерархия электронных таблиц (в формате программы фирмы StatSoft) для мира в целом, для каждого из макрорегионов, для каждого из

генетических типов наводнений, для регионов мира с разным уровнем экономического развития.

Более подробно процесс создания базы данных будет описан в следующем разделе.

В связи с постановкой задачи настоящего исследования, целесообразно упомянуть проблему самого понятия «наводнение». В общем плане мы придерживаемся здесь определения, близкого к пониманию этого явления в работах (Авакян, Истомина, 1999; 2001; 2002; Нежиховский, 1988): считаем наводнением *временное затопление территории, освоенной человеком для различных целей, вызывающее отрицательные последствия социального или экономического характера*. (Заметим, что в будущем в рамках более детальных исследований, возможно, целесообразно будет включать в разряд наводнений и те затопления, которые вызывают нежелательные экологические последствия).

Перед тем, как перейти непосредственно к деталям и результатам исследования, отметим важность изучения наводнений в масштабах крупных территорий и глобальном. Разумеется, такой подход не дает возможности непосредственно разрабатывать хронологический прогноз возникновения и развития наводнения на конкретной реке. Однако, обобщающие исследования позволяют ставить важные вопросы стратегии борьбы с наводнениями и их изучения – путем поиска общих количественных закономерностей, которые объединяют многие катастрофические явления на реках и в речных бассейнах, возникающие зачастую в совершенно разных условиях.

### 3.2. Исходная информация о наводнениях

Проблема получения и анализа достоверной и однородной информации в отношении наводнений стоит намного более остро, чем в отношении многих других гидрологических явлений и процессов. Это связано как с объективными причинами (с эпизодическим и катастрофическим характером самого явления), так и с организационными причинами – с отсутствием в России единого научного центра или постоянно действующей программы, в рамках которых по единому плану был бы организован научный мониторинг информации о наводнениях в стране и мире, скажем, по примеру Дартмутской Обсерватории наводнений в США.

До последнего времени надежный профессиональный мониторинг наводнений в масштабе крупных регионов, тем более в мировом масштабе, фактически не велся, поэтому информация о наводнениях черпается в значительной степени из *средств массовой информации* (СМИ). При этом как в отечественных, так и в зарубежных СМИ наибольшее внимание уделяется

большим и катастрофическим наводнениям. При описании таких событий, как правило, указывается число погибших и названия населенных пунктов (городов, поселков, деревень), которое подверглось стихийному бедствию. Что же касается информации о деталях понесенного ущерба, то она зачастую сводится лишь к перечислению пострадавшего или уничтоженного имущества, поврежденных или разрушенных объектов инфраструктуры. В ряде случаев материальный ущерб приводят в денежном эквиваленте с указанием суммы, иногда указывается лишь порядок цифр (несколько сотен, тысяч, миллионов или миллиардов долларов США или денежных единиц другой страны). Данные о площади затопления зачастую ограничиваются лишь площадью, на которой погиб или пострадал урожай, либо вообще не приводятся.

*В научных и научно-популярных статьях*, посвященных крупным наводнениям, произошедшим за последнее время, в ряде случаев приводятся уже более точные (итоговые) данные по причиненному ущербу, однако, даже в таких работах авторы зачастую дают ссылку на СМИ.

Неоднородность представленной информации по наводнениям, выражающаяся в различии перечня причиненных потерь (особенно для различных регионов), а также в наличии самих данных, затрудняет их сравнительную оценку, даже если эти сведения приводятся по одной стране.

*В отечественных научных публикациях* основное внимание, как правило, уделяется процессам формирования максимального стока, а также вопросам пропуска паводковых вод через гидротехнические сооружения, лишь мимолетно упоминается о социальных и экономических последствиях. Например, в статье российских авторов, посвященной нескольким катастрофическим наводнениям 2002 г. в Южном ФО, приводятся такие сведения (Тарасов и др., 2003): «Во время июньского наводнения на реках Северного Кавказа максимальный приток к Невинномысскому гидроузлу составил 3000-3500 м<sup>3</sup>/с, значительно превысив его пропускную способность и вызвав перелив через гребень плотины с размывом ее земляной части тела. Максимальный приток к Краснодарскому водохранилищу достиг 2070 м<sup>3</sup>/с, что почти соответствовало расходу 1%-ной обеспеченности. Заблаговременный сброс воды из водохранилища позволил создать в нем резервный объем и принять паводковый сток, не увеличивая сброс воды в нижний бьеф сверх 1300 м<sup>3</sup>/с, предотвратив тем самым катастрофу в низовьях р. Кубани». В статье указывается, что «разрушения и ущербы от этого наводнения огромны. Наиболее крупные - в Карачаево-Черкесии, Краснодарском крае, Республике Дагестан».

*В обобщающих научных работах*, где наводнения рассматриваются среди других стихийных бедствий, можно почерпнуть сведения о числе наводнений за определенные периоды времени, количестве погибших и экономическом ущербе. Данные могут быть указаны как по одной стране, так и по миру в целом. Однако такого рода публикации ограниченно трактуют сами наводнения и их последствия; во многих случаях возникают вопросы относительно достоверности цифр по сопоставлению количеств природных катастроф различного происхождения.

Цельной картины, дающей представление о наводнениях и причиненном ими ущербе в масштабе Земного шара за прошлые годы, нет ни в одном литературном источнике. Одним из использованных нами источников был Глобальный кадастр наводнений Дартмутской обсерватории при Гановерском колледже в США (Dartmouth..., 2012). Начиная с 1985 г. и по настоящее время сотрудники этой обсерватории собирают фактические сведения о наводнениях в долинах рек и озер, используя самые разные источники: официальные правительственные сообщения, данные метеорологических служб, теле- и радио-новости, газетные и журнальные материалы. Следует отметить, что в кадастр Дартмутской обсерватории вошли только наиболее значимые наводнения, поскольку учет небольших событий (без человеческих жертв и большого материального ущерба) ведется нерегулярно и далеко не во всех странах (Авакян, Истомина, 1999; 2001). Мы использовали данные Дартмутской Обсерватории в следующем виде. Были отобраны сведения за основные рассматриваемые 1998-2008 гг., включающие страну, где произошло наводнение; время его начала и окончания; причину наводнения; число погибших и эвакуированных, ущерб в денежном выражении, площадь затопления и площадь пострадавшего региона. Данные за 1985-1997 гг. также представляют, с нашей точки зрения, интерес – для анализа числа наводнений и картины их возникновения – как дополнение к основному рассматриваемому периоду.

Среди отечественных публикаций, посвященных сбору сведений о наводнениях на территории России, необходимо отметить первое и второе издание монографии А.А.Таратунина «Наводнения на территории Российской Федерации» (Таратунин, 2000, 2008), в которой, наряду с гидрологическими сведениями, приводятся наиболее полные данные об ущербах, причиненных наводнениями на берегах рек, озер и морей нашей страны. Исторические сведения из архивных и литературных источников, материалы, накопленные в ходе выполнения полевых и других работ, впервые сгруппированы автором по экономическим районам (регионам) России. Для каждого из них дается ориентировочный среднескользящий годовой ущерб и приводится его распределение по отраслям экономики.

Обработке нами данных за 1985-2001 гг. из (Таратунин, 2000, 2008) предшествовала работа по сбору материалов по наводнениям в РФ за 1998-2002 и далее за 2003-2008 гг. из различных источников, включая средства массовой информации.

В частности, нами были изучены оперативные сведения *пресс-службы Министерства по чрезвычайным ситуациям (ЧС) России* (МЧС РФ, 2002). Хотелось бы высказать следующие соображения относительно данных МЧС. Хотя ежедневные справки о ЧС, вызванных наводнениями, содержат информацию о времени и месте наступления события, о числе погибших (пропавших без вести), эвакуированных и пострадавших, количестве подтопленных и затопленных жилых домов и зданий, поврежденных и разрушенных объектов инфраструктуры (школ, больниц, магазинов, складов и т.п.), железных, автомобильных дорог и мостов, линий электропередачи и связи, водо-

проводов, нефте- и газопроводов и т.д., они не дают возможности полностью охарактеризовать социально-экономический ущерб. К сожалению, практически отсутствуют данные по ущербу в стоимостных показателях. В лучшем случае приводится предварительная оценка материального ущерба без последующего уточнения. Также практически не указывается площадь затопления. Публикуемые анализы чрезвычайных ситуаций за год носят очень формальный характер и малоинформативны. В них отсутствуют научные и практические выводы. Нам представляется, что сведения по каждому наводнению следует систематизировать, анализировать и ежегодно публиковать в сводных отчетах МЧС отдельными изданиями.

Отметим, что, по сравнению со справками за 1998-2002 гг. данные МЧС по наводнениям за 2003-2008 гг., по некоторым сообщениям из СМИ, стали конфиденциальными: сведения по весенним половодьям были предоставлены по ряду позиций в сжатом виде (по регионам, а не по областям), данные по паводкам в летне-осенний период частично или полностью отсутствовали. Справки буквально стали «белыми» ввиду целенаправленного урезания, как нам видится, с целью не афишировать объективную информацию по количеству наводнений и причиненному социально-экономическому ущербу. Данные по наводнениям, особенно за 2003-2008 гг., по крупницам пришлось восполнять, используя электронные публикации российских средств массовой информации, представленных в Интернете: *сайты телевизионных каналов «ОРТ» и «НТВ»; информационные справки РИА «Новости» и других региональных агентств, а также новостные ленты – «Вести.ру», «Газета.ру», «Аккумулятор новостей», «Катастрофы недели», «Катастрофы, стихийные бедствия, аварии, эпидемии», и др.*

Также, в поле нашего зрения оказался сайт, где в табличной форме представлен полный хронологический список наводнений в Санкт-Петербурге (2012). Нами были использованы сведения по нагонным наводнениям на р. Неве, относящимся к категории «очень опасные».

Существенная информация была почерпнута на сайтах Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Государственные доклады «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации», 2007, 2008 гг.) и Федерального агентства водных ресурсов (Оперативная информация о водохозяйственной обстановке на территории Российской Федерации, 2007, 2008 гг.).

В конечном итоге, вся собранные данные о наводнениях в России за 1998-2002 гг. и далее за 2003-2008 гг. были нами систематизированы и также представлены в табличной форме. Для каждого наводнения, по возможности, оценивались и заносились в электронную базу следующие количественные параметры:

1. Номер наводнения в нашей классификации.
2. Номер региона.

3. Генетический тип наводнения, формализованный путем присвоения наводнениям различного происхождения соответствующих номеров (в случае смешанного генезиса выделялась ведущая причина возникновения наводнения, давшая толчок развитию явления).
4. Ширина центра региона наводнения в градусах и их десятичных долях.
5. Долгота центра региона наводнения в этих же единицах.
6. Дата начала наводнения в календарных (полных) месяцах и их десятичных долях.
7. Продолжительность наводнения в днях.
8. Площадь непосредственно затопленных в результате наводнения территорий в га.
9. Суммарная площадь административно-экономических регионов, затронутых явлением наводнения в квадратных километрах.
10. Население этих регионов в тыс. чел.
11. Количество зданий, подвергшихся затоплению (повреждению).
12. Число временно эвакуированных вследствие наводнения людей.
13. Общее число пострадавших в результате наводнения людей.
14. Число погибших.
15. Материальный ущерб от наводнения в финансовом выражении в сопоставимых единицах – в долларах США (с учетом инфляции).

### 3.3. Общая характеристика наводнений мира

Таким образом, нами анализировалась информация по 2 437 наводнениям на всех обитаемых континентах мира в период с конца 1997 г. по конец 2008 г. (немногим более 11 лет). Вначале целесообразно охарактеризовать наводнения в их совокупности – без разделения на генетические типы и географические ареалы. Для такого подхода есть определенные основания. Прежде всего, населению и народному хозяйству стран не так важны детальные причины наводнений, сколько их последствия – и они не становятся менее драматичными в зависимости от того, какова именно была непосредственная причина катастрофы. Кроме того, решение проблемы часто упоминаемого гипотетического «усиления катастрофичности» природных явлений вследствие антропогенного потепления климата требует рассмотрения всей массы наводнений.

Самые общие сведения о наводнениях мира за рассматриваемый период сведены нами в Таблице 3.3.1. Для отображения в таблице были выбраны наиболее репрезентативные показатели – те, по которым имелась наиболее подробная информация, заслуживающая определенного доверия. Следует, однако, заметить, что приведены цифры только для тех наводнений, для которых соответствующие показатели фиксировались; средние по наводне-



ниям величины рассчитывались, исходя именно из этого количества наводнений. Если в большинстве случаев «выборка» была многочисленной – составляла не менее 75% от общего числа наводнений, то по показателю «поврежденные здания» имелись сведения только для 517 наводнений. Однако, мы оперировали и значениями этого показателя, так как он отмечался, очевидно, для наиболее крупных наводнений – следовательно, охватил наибольшее количество поврежденных зданий. Последнее замечание перед тем, как перейти к анализу таблицы: финансовый ущерб оценивался путем пересчета курсов национальных валют на год наводнения в доллары США, а в курсе последних учитывалась долларовая инфляция.

**Таблица 3.3.1.** Основные параметры наводнений мира за 1998 - 2008 гг.

Параметр наводнений	Среднее для одного наводнения	Коэффициент асимметрии	Суммарно за весь период 1998 - 2009	Среднее за год
Длительность, дни	11,7	3,32	-	-
Площадь регионов наводнений, км <sup>2</sup>	80 652	5,17	194 371 030	17 670 093
Количество поврежденных зданий	9 851	17,91	4 953 243	450 295
Финансовый ущерб, млн долл. США *	162,2	25,17	246 606	22 419
Число эвакуированных	149 601	21,18	298 155 568	27 105 059
Число погибших	187	32,19	354 426	32 221

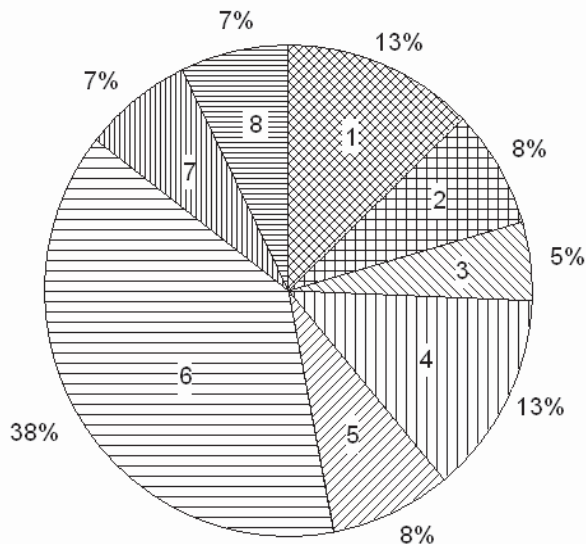
\* в пересчете на курс доллара США по состоянию на начало 1998 г.

При рассмотрении таблицы прежде всего обращает на себя внимание впечатляющие цифры масштабов наводнений. В первую очередь это относится к площадям и суммарным площадям регионов, охваченных явлением наводнения. Суммарная (за 11 лет) площадь регионов наводнений превышает площадь суши Земли, а среднее годовое значение этой величины превышает площадь крупнейшей страны мира – России. Разумеется, многие регионы были охвачены явлением наводнения неоднократно, однако в целом приведенные цифры наглядно говорят о глобальности явления наводнений.

Примечательно и число эвакуированных в результате наводнений (предпоследняя строка в таблице). Общее число эвакуированных за 11 лет составило величину, примерно равную населению крупнейшей страны – США (третьей по численности населения в мире). Число же эвакуированных в среднем за год близко к численности населения крупной европейской страны вроде Польши или Румынии. Разумеется, и здесь необходима та оговорка, что в ряде случаев одни и те же группы людей были эвакуированы несколько раз.

Наконец, гибель людей в результате наводнений – абсолютна нетерпимое явление, и приведенные цифры числа погибших говорят о том, что необходимы срочные меры по уменьшению смертности в результате наводнений – в первую очередь, организационного и даже просветительского плана (см. информацию о роли школьницы Тилли Смит в спасении людей во время Индоокеанского наводнения 2004 года в (Добровольский, Истомина, 2006)).

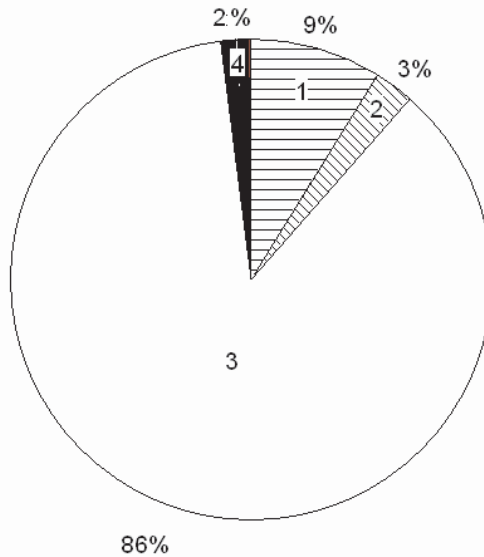
Обращает на себя внимание большая асимметрия плотности распределения параметров наводнений – то есть, крайняя неравномерность вероятности появления соответствующих величин. Как будет показано ниже, распределения параметров практически во всех случаях в первом приближении близки к паретовским. Вместе с тем, более детальное рассмотрение распределений, показывает, что коэффициент асимметрии варьирует в широком диапазоне в зависимости от конкретного параметра. Примечательно также, что



**Рис. 3.3.1.** Распределение количеств наводнений за 1998 – 2008 гг. по регионам мира. 1 – Северная Америка, 2 – Южная Америка, 3 – Австралия и Океания, 4 – Африка, 5 – Зарубежная Европа, 6 – Зарубежная Азия, 7 – Европейская территория России, 8 – Азиатская территория России

$C_S$ , в общем, растет с увеличением степени «опасности» параметра для людей. Так, для продолжительности наводнений и площади регионов наводнений, которые являются лишь предпосылками материальных и гуманитарных ущербов, асимметрия составляет несколько единиц. Для количества поврежденных зданий, числа эвакуированных и материального ущерба асимметрия имеет порядок уже 20 единиц. Наконец, асимметрия параметра, связанного с наиболее трагическими событиями – гибелью людей – составляет более 32.

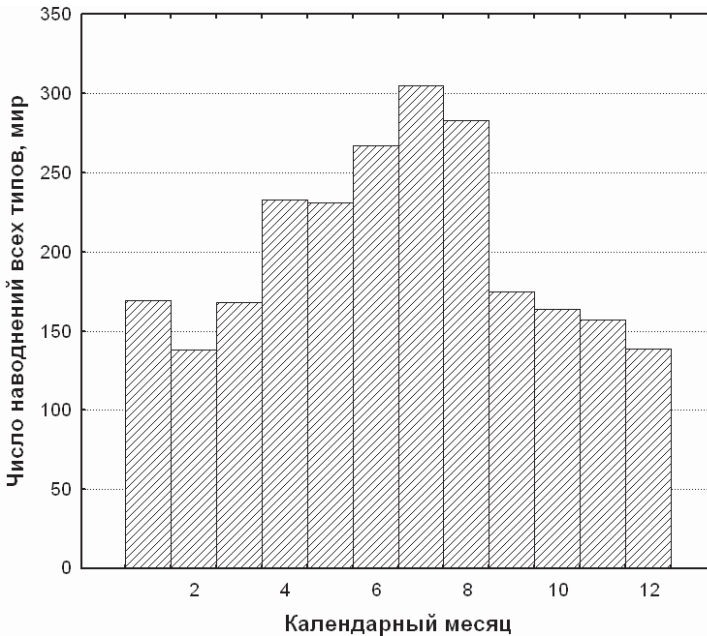
На Рис. 3.3.1 показано распределение числа наводнений, за исследуемый период, по макрорегионам мира. Обращает на себя внимание значительная доля наводнений, приходящихся на территорию Зарубежной Азии. Примечательно также то, что число наводнений на ЕТР и АТР одинаково – не смотря на значительное преобладание площади АТР над площадью ЕТР.



**Рис. 3.3.2.** Распределение количеств наводнений за 1998 – 2008 гг. в мире по укрупненным генетическим типам. 1 – наводнения вследствие таяния снежного покрова, 2 – наводнения вследствие заторов и зажоров льда, 3 – наводнения вследствие экстремальных осадков в жидкой фазе, 4 – другие типы наводнений

На Рис. 3.3.2 показано распределение числа наводнений за анализируемый период по укрупненным генетическим типам наводнений. Очевидна подавляющая роль наводнений вследствие экстремальных дождей – 86%. На наводнения, связанные со снегом и льдом, приходится всего 12% от общего числа наводнений; они сосредоточены на территории России, Зарубежной Европы, Канады и США. Обращает на себя внимание чрезвычайно малая доля (2%) числа наводнений всех других типов, вместе взятых – вследствие прорывов дамб, наводнений типа грязевых потоков и селей, наводнений сгонно-нагонного типа, вследствие цунами. Однако, по отдельным чрезвы-

чайно важным показателем доля наводнений таких типов, как сгонно-нагонные и вследствие цунами, многократно превосходит формальную долю количеств наводнений таких типов в общем числе наводнений. Так, на одно только Индоокеанское наводнение (цунами) декабря 2004 года приходится 43% всех смертельных случаев в наводнениях всех типов за весь рассматриваемый период. Доля же материальных ущербов от Новогоорлеанского наводнения (нагонного типа) 2005 года составляет 21% от ущербов от наводнений всех типов за весь период.



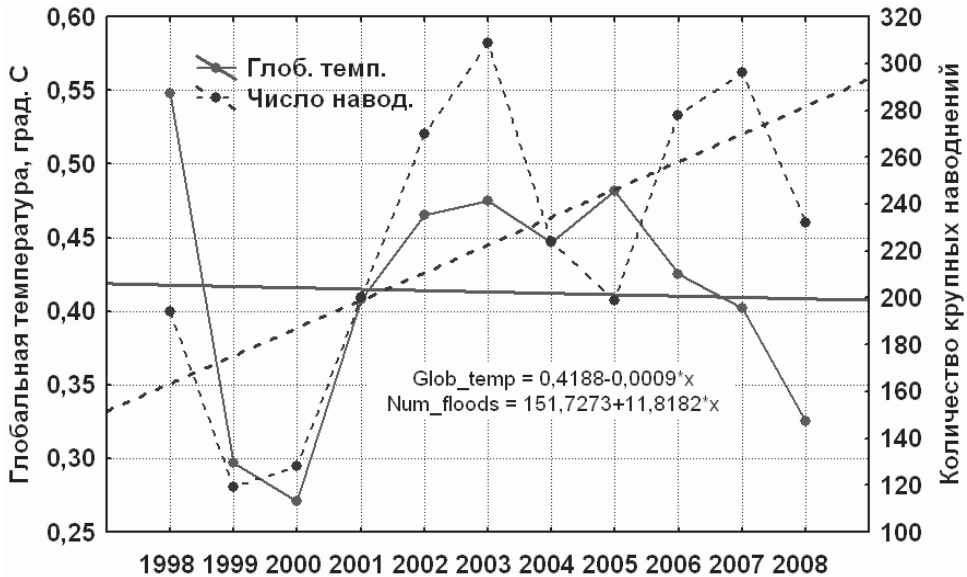
**Рис. 3.33.** Гистограмма распределения числа наводнений мира всех типов по месяцам

На Рис. 3.3.3 показано распределение числа наводнений всех типов по месяцам. Очевидно увеличение числа наводнений в середине лета северного полушария (совпадающее с сезоном увеличения числа осадков в северном полушарии). Незначительный вторичный максимум наблюдается в январе — очевидно, за счет суммарного эффекта роста осадков летом южного полушария и в районах зимних муссонов и районов средиземноморских типов климата северного полушария.

### 3.4. Динамика параметров наводнений

Кардинальный вопрос, связанный с изучением наводнений — динамика их параметров во времени. Широко распространено мнение, поддержи-

ваемое как средствами массовой информации, так и рядом научных сотрудников, что по мере общего потепления климата, происходящего предположительно за счет увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере, увеличивается количество и размах природных катастроф на планете – прежде всего это мнение относится к наводнениям. В рамках настоящей монографии этот вопрос изучался со всей возможной тщательностью.

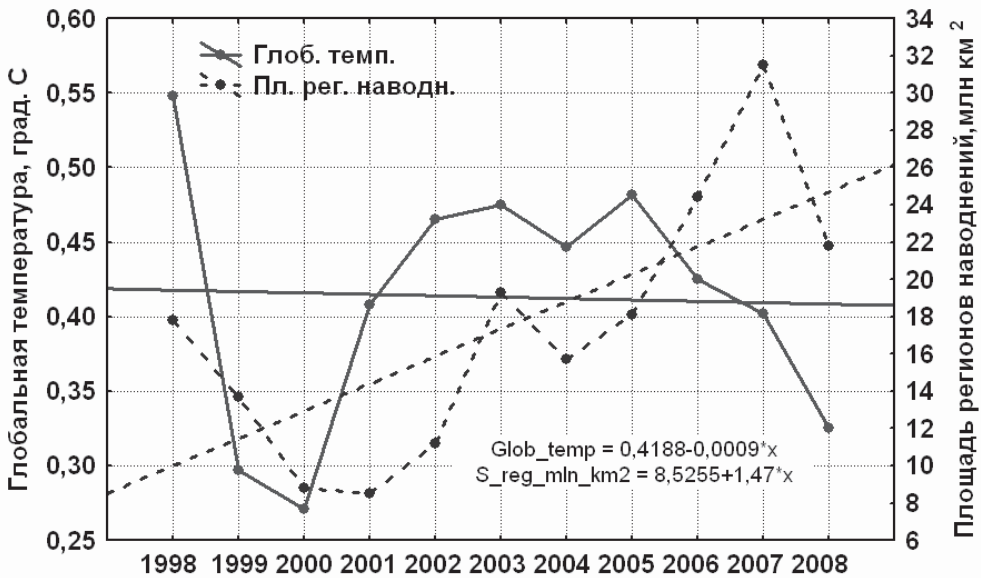


**Рис. 3.4.1.** Изменения годовых значений средней глобальной температуры (сплошная ломаная линия)(CRU, 2011) и годовых количеств наводнений мира всех типов (пунктирная линия). Соответствующие прямые линии – линейные аппроксимации, построенные методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

Проблема динамики параметров наводнений состоит из двух составляющих. Первый вопрос заключается в том, как меняется во времени количество наводнений (следовательно, и суммарные параметры наводнений). Вторая проблема – как, в среднем, изменяется интенсивность наводнений. Ответ на первый вопрос дают графики на Рис. 3.4.1 и 3.4.2. Рассматривая Рис. 3.4.1, отметим прежде всего, что вопреки распространенному мнению, глобальная температура в рассматриваемые годы в среднем не росла. Соответствующая линейная аппроксимация (прямая сплошная линия на Рис. 3.4.1) обнаруживает не рост, а слабое падение. Напротив, для изменений годовых количеств наводнений всех типов характерен заметный рост (аппроксимирующая пунктирная прямая линия). Вывод, который естественно следует из этого рассмотрения: изменения количеств наводнений, в общем, не следуют изменениям глобальной температуры, но вызваны в основном другими факторами. С нашей точки зрения, такими факторами могут быть: увеличение объема

информации о наводнениях за счет развития СМИ – прежде всего, в странах «третьего мира» - и продолжающееся хозяйственное освоение и заселение паводкоопасных территорий.

Об этом свидетельствуют и графики на Рис. 3.4.2. Здесь, совместно с ходом глобальной температуры, показаны изменения годовых площадей административных регионов, охваченных явлениями наводнений. На этом рисунке еще более очевиден контраст между небольшим падением глобальной температуры и резким общим ростом площади регионов наводнений.



**Рис. 3.4.2.** Изменения годовых значений средней глобальной температуры (сплошная ломаная линия) (CRU, 2011) и годовых сумм площадей административных регионов, охваченных явлениями наводнений (пунктирная линия). Соответствующие прямые линии – линейные аппроксимации, построенные методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

Перейдем к характеристике динамики средних параметров наводнений – предваряя ее описанием плотности вероятности соответствующих параметров. Следует начать с наиболее часто (но не всегда точно) определяемого параметра – длительности наводнений. На Рис. 3.4.3 показана диаграмма плотности вероятности длительностей наводнений всех типов (в сутках, логарифмическая шкала). Асимметрия распределения настолько велика, что даже логарифмы длительностей наводнений выглядят положительно скошенными. Количественно распределение удовлетворительно описывается экстремальным распределением (фактически – логэкстремальным распределением – сплошная кривая).

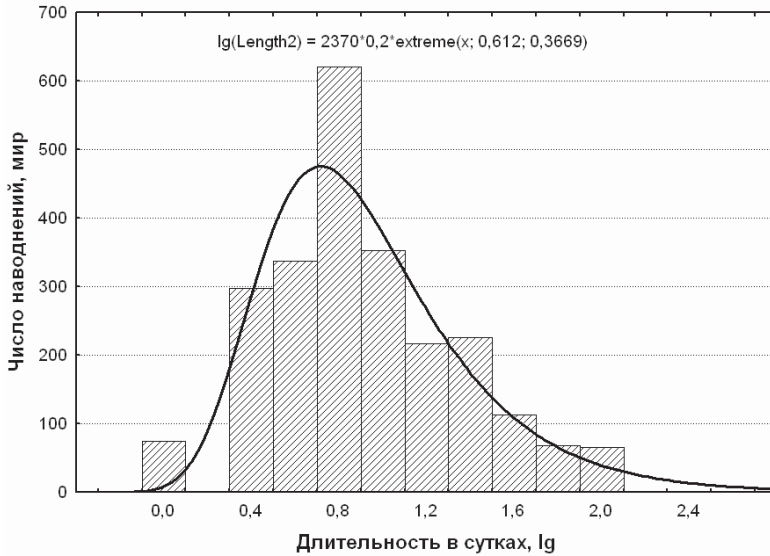


Рис. 3.4.3. Плотность вероятности длительности наводнении, в сутках (десятичные логарифмы)

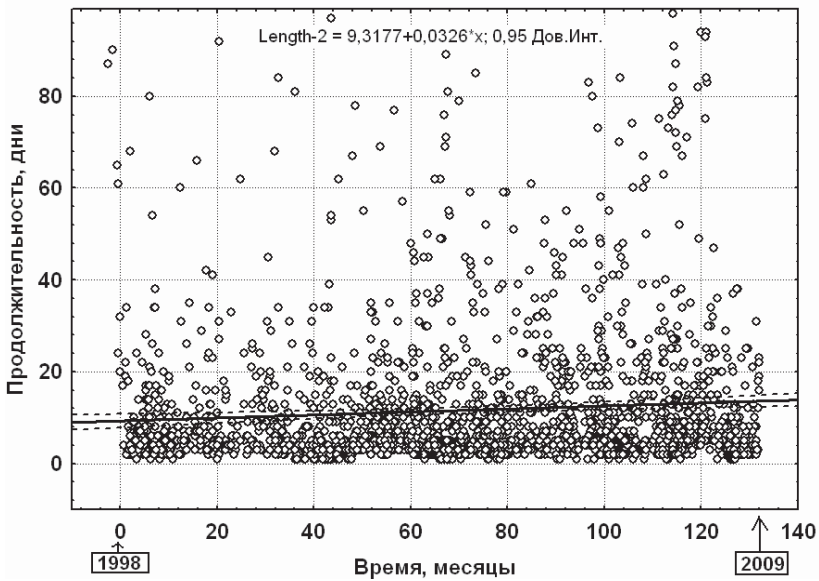


Рис. 3.4.4. Изменения продолжительности наводнений во времени. Сплошная прямая – линейная аппроксимация, пунктирные линии – 95%-ные доверительные интервалы линии регрессии.

На Рис. 3.4.4 показаны изменения во времени этого параметра. Аппроксимирующая прямая имеет небольшой положительный наклон, однако в целом и горизонтальная прямая находится в пределах 95%-ных доверительных интервалов линии регрессии. Таким образом, график не свидетельствует о статистически значимом увеличении продолжительности наводнений за рассматриваемые годы.

На Рис. 3.4.5 и 3.4.6 аналогичные графики представлены для изменений во времени площадей физических затоплений во время наводнений мира всех типов. Плотность вероятности на Рис. 3.4.5 описывается при помощи обратного билогнормального распределения (со смещением). В хронологических изменениях средних площадей затоплений (Рис. 3.4.6) не только не отмечается роста, напротив – имеет место небольшое уменьшение, впрочем, не выходящее за пределы доверительных интервалов разумных уровней значимости. Следует заметить, что на Рис. 3.4.6 параметр наводнений (как и во всех остальных случаях на Рис. 3.4.8, 3.4.10, 3.4.12, 3.4.14, 3.4.16 – кроме Рис. 3.4.4) дан для наглядности в логарифмах. Однако, тенденции роста или падения (скорее – практическое отсутствие таких тенденций) в каждом случае характерны и для соответствующих графиков, построенных для исходных значений параметров.

Качественно сходна с графиком на Рис. 3.4.5 и плотность вероятности площадей регионов наводнений (Рис. 3.4.7). Более точным в данном случае оказывается не двойное логнормальное распределение, а логэкстремальное распределение (также – обратное, со сдвигом значений). Сходна с графиком Рис. 3.4.6 и тенденция изменений средних площадей регионов наводнений (Рис. 3.4.8): небольшое уменьшение, не имеющее статистической значимости.

Большой, по сравнению с двумя предыдущими параметрами, асимметрией обладает такой важный параметр ущербов от наводнений, как число затопленных (поврежденных) зданий (Рис. 3.4.9). Плотность вероятности в этом случае описывается логэкстремальным распределением. Изменения средних количеств затопленных зданий (Рис. 3.4.10) обнаруживают (статистически незначимое) небольшое увеличение во времени.

В логарифмическом масштабе плотность вероятности ущербов от наводнений (Рис. 3.4.11) производит впечатление как бы произведения плотностей вероятности положительно скошенной плотности числа поврежденных зданий (Рис. 3.4.9) на отрицательно скошенные плотности вероятности площадей наводнений (Рис. 3.4.5, 3.4.7). Результатом является почти симметричная, в логарифмическом масштабе, гистограмма плотности вероятности финансовых ущербов от наводнений. Можно предположить, что финансовые ущербы складываются из ущербов от повреждения зданий и находящегося в них имущества – и ущербов от повреждения инфраструктуры, которые связаны с площадями наводнений. Так же, как и в предыдущих случаях, изменения средних финансовых ущербов за рассматриваемый период времени (конец 1997 – конец 2008 гг.) крайне незначительны.



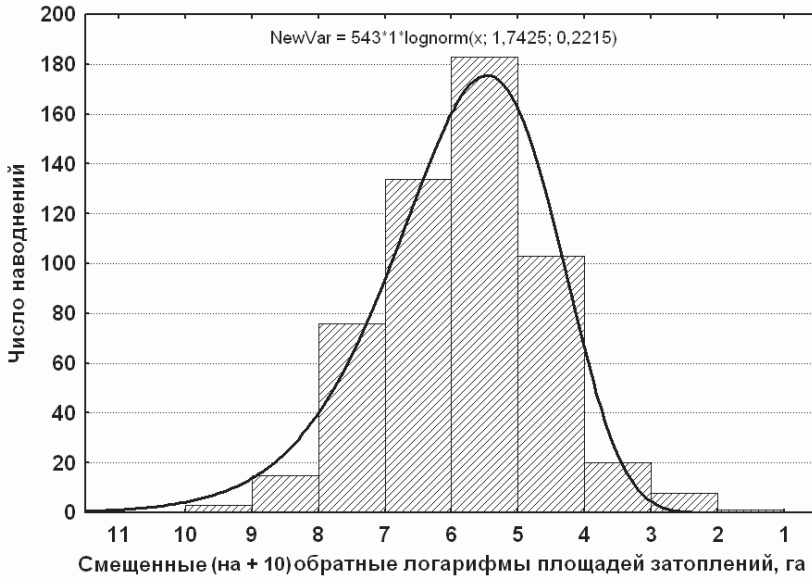


Рис. 3.4.5. Плотность вероятности площадей физических затоплений, в га (смещенные обратные десятичные логарифмы)

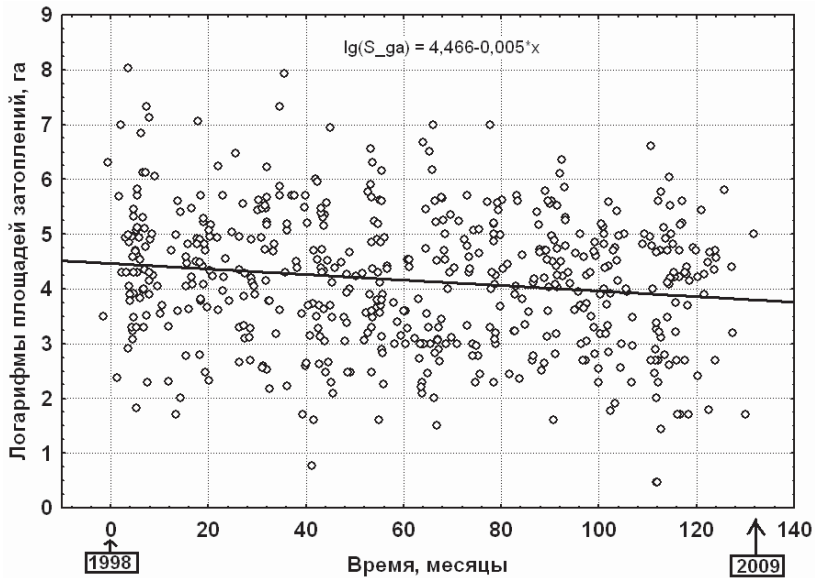


Рис. 3.4.6. Изменения физических площадей наводнений всех типов, в га (десятичные логарифмы) Сплошная прямая – линейная аппроксимация

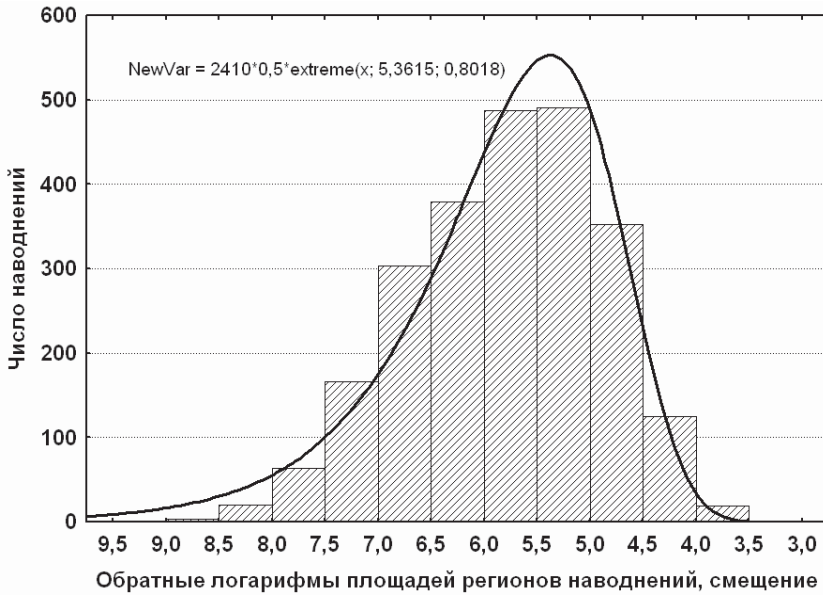


Рис. 3.4.7. Плотность вероятности площадей регионов наводнений, в км<sup>2</sup> (смещенные обратные десятичные логарифмы)

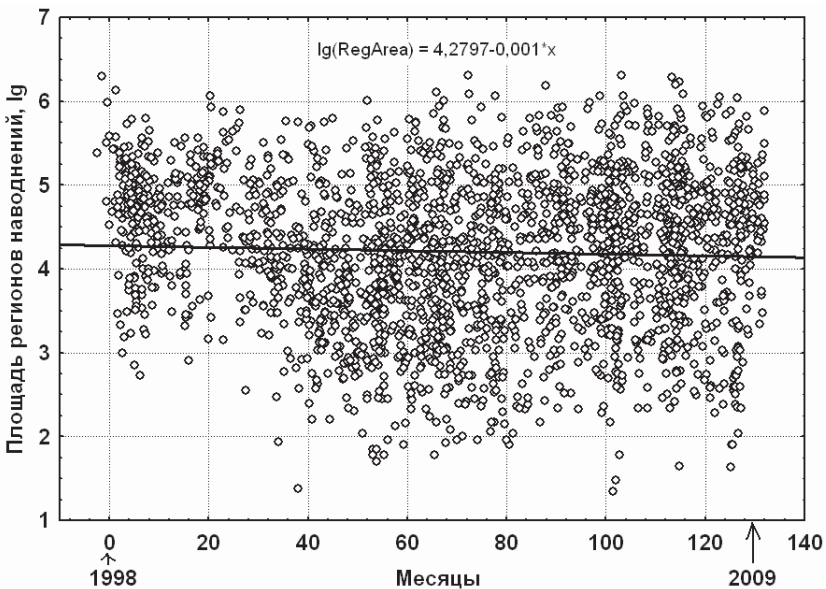


Рис. 3.4.8. Изменения площадей регионов наводнений всех типов, в км<sup>2</sup> (десятичные логарифмы) Сплошная прямая – линейная аппроксимация

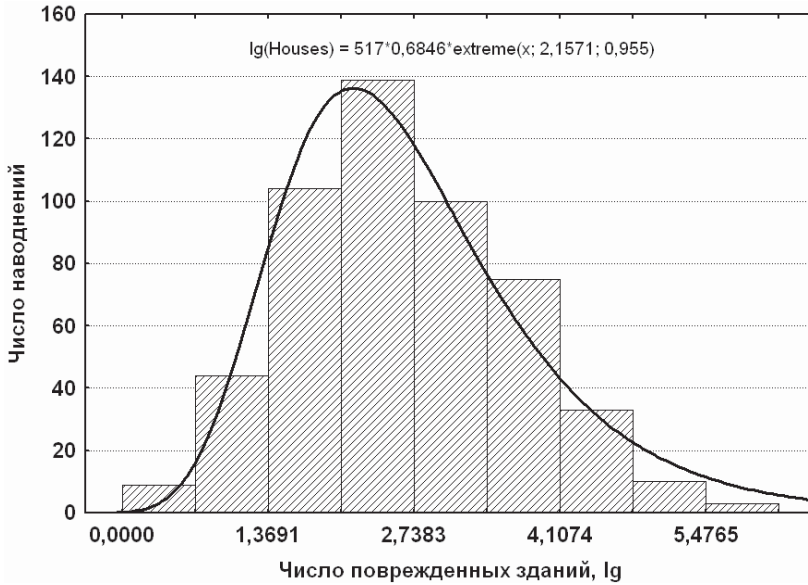


Рис. 3.4.9. Плотность вероятности числа затопленных наводнениями всех типов зданий, десятичные логарифмы

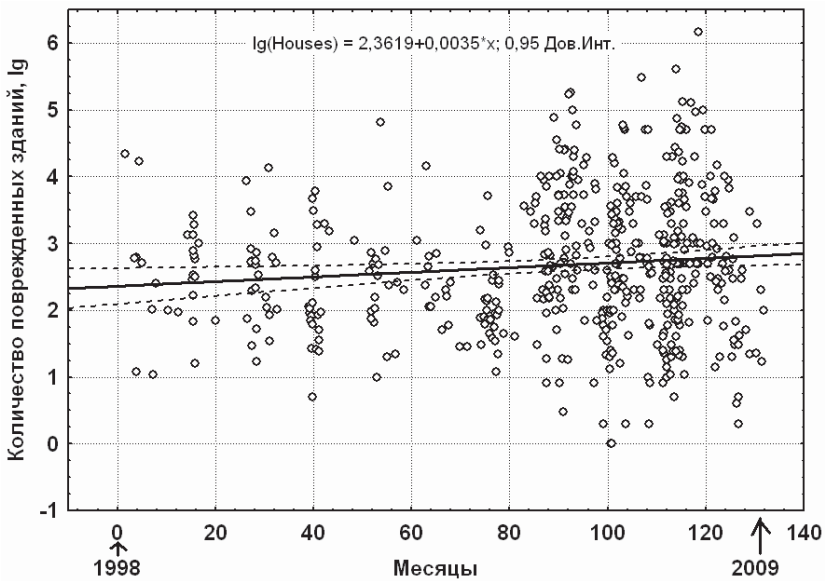
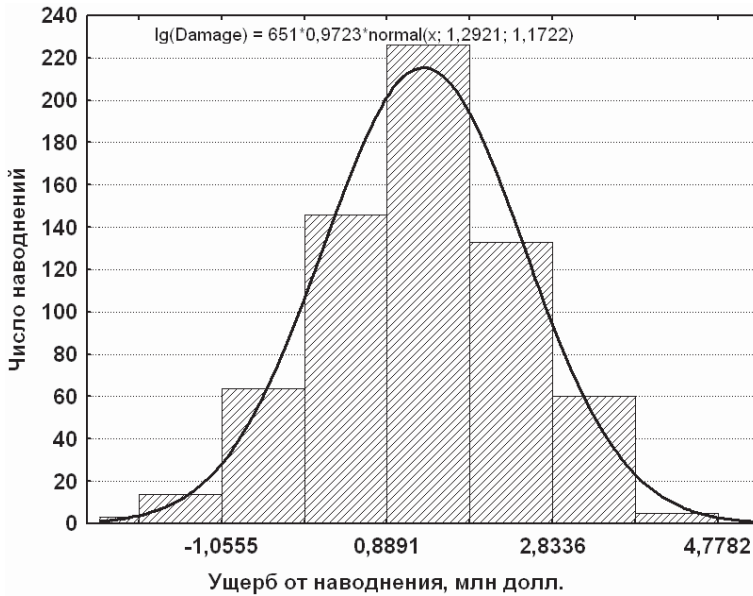
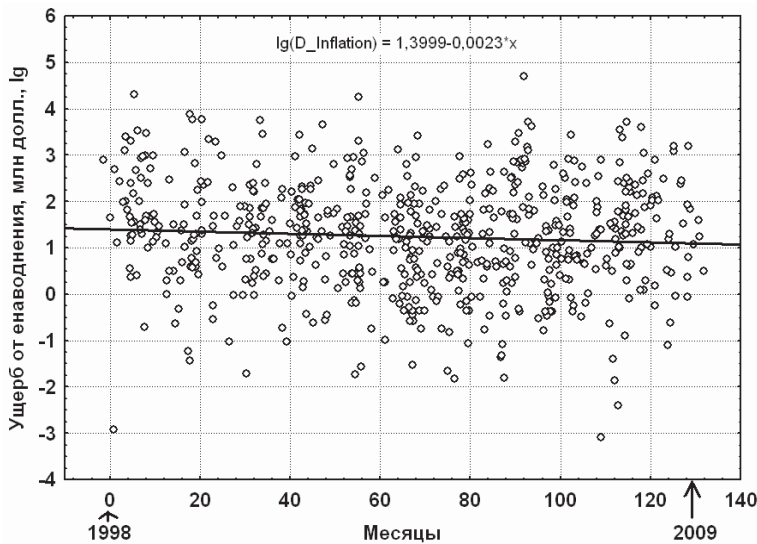


Рис. 3.4.10. Изменения числа затопленных наводнениями всех типов зданий, десятичные логарифмы Сплошная прямая – линейная аппроксимация, пунктирные линии – ее 95%-ные доверительные интервалы



**Рис. 3.4.11.** Плотность вероятности ущербов (с учетом инфляции) от наводнений мира всех типов, в млн долл. США в пересчете на курс начала 1998 года. Горизонтальная ось – в десятичных логарифмах



**Рис. 3.4.12.** Изменения во времени ущербов (с учетом инфляции) от наводнений мира всех типов, в млн долл. США в пересчете на курс 1998 года. Вертикальная ось – в десятичных логарифмах. Сплошная прямая линия – линейная аппроксимация методом наименьших средних квадратов

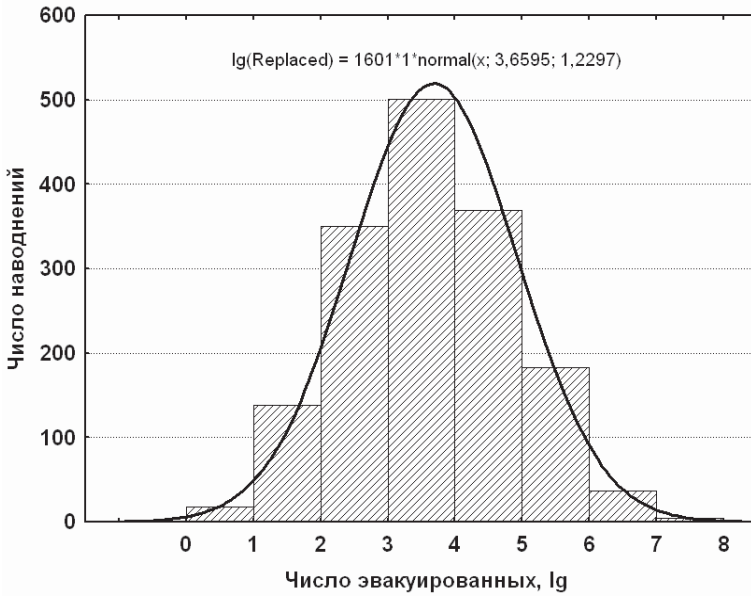


Рис. 3.4.13. Плотность вероятности числа эвакуированных вследствие наводнений мира всех типов, в десятичных логарифмах

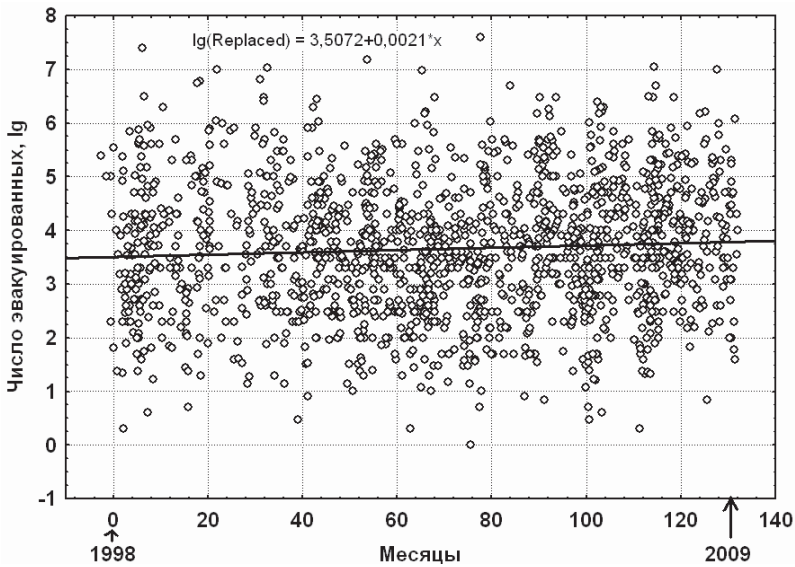


Рис. 3.4.14. Изменения во времени числа эвакуированных вследствие наводнений мира всех типов. Вертикальная ось – в десятичных логарифмах. Сплошная линия – линейная аппроксимация.

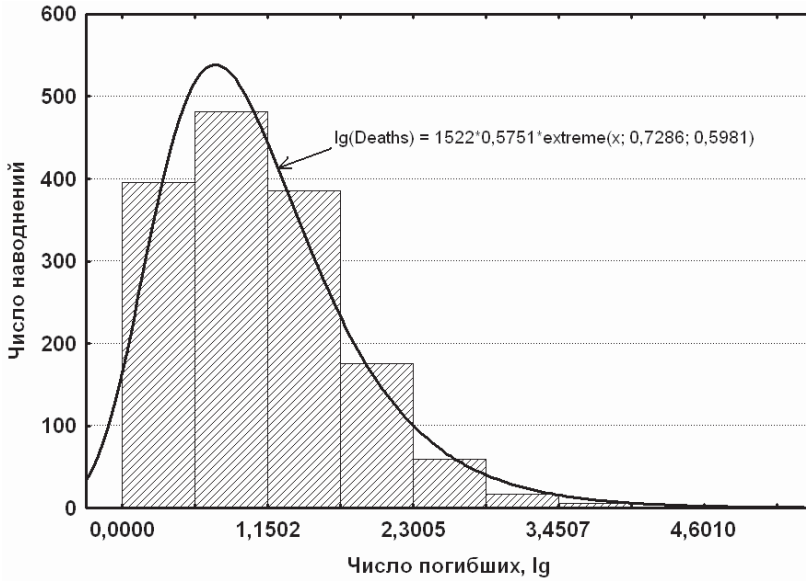


Рис. 3.4.15. Плотность вероятности числа погибших вследствие наводнений мира всех типов, в десятичных логарифмах

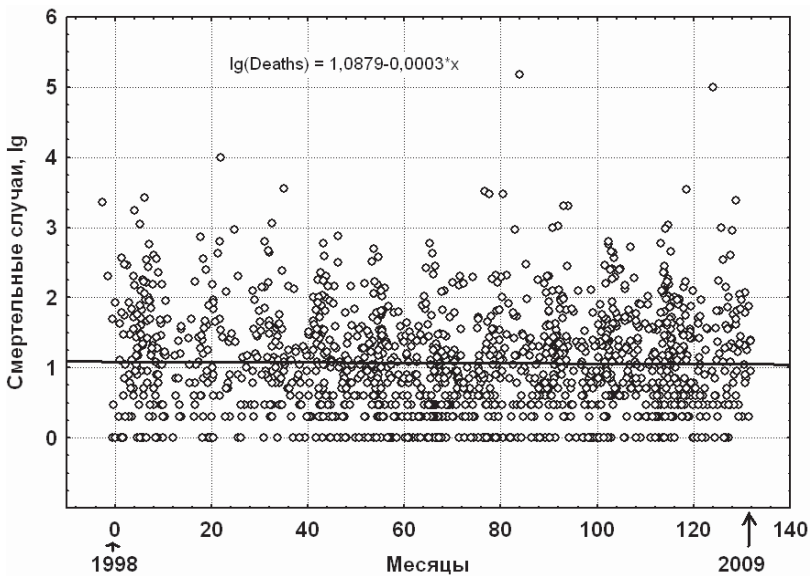


Рис. 3.4.16. Изменения во времени числа погибших вследствие наводнений мира всех типов. Вертикальная ось – в десятичных логарифмах. Сплошная линия – линейная аппроксимация

Интересно, что гистограмма плотности вероятности числа эвакуированных вследствие наводнений сходна с гистограммой плотности вероятности финансовых ущербов (логнормальная – Рис. 3.4.13). Сходна и тенденция изменений по времени: небольшое, статистически незначимое увеличение среднего числа эвакуированных.

Наконец, параметр, характеризующий наиболее трагические последствия наводнений – число смертельных случаев – обнаруживает наибольшую асимметрию плотности вероятности, описываемую логэкстремальным распределением (Рис. 3.4.15).

Изменения среднего числа смертельных случаев не обнаруживают изменений во времени (Рис. 3.4.16).

### 3.5. Особенности параметров основных генетических типов наводнений

Представляет интерес и большую важность сравнение характеристик наводнений различных генетических типов. Как отмечалось выше, по количеству наводнений «лидируют» три основных их типа: наводнения вследствие аномальных осадков в жидкой фазе (86% всех наводнений мира за рассматриваемый период), наводнение вследствие таяния снега и льда (9%) и наводнения вследствие заторов и зажоров на реках (3%). На наводнения всех прочих типов приходится всего 2% случаев, хотя в эту небольшую долю укладываются два катастрофических наводнения – Индокитайское цунами 2004 года и Новорлеанское наводнение 2005 года. Однако, такого рода исключительные и крайне редкие наводнения не образуют «статистик» в своих генетических группах, и их целесообразно рассматривать отдельно. Ниже мы сосредоточимся на намного более многочисленных наводнениях первых трех групп.

В Таблице 3.5.1 помещены данные о средних, на одно наводнение, значениях основных параметров, рассчитанных для всех наводнений мира в целом (второй столбец) и для каждого из первых трех типов наводнений (столбцы 3, 4, 5). В первую очередь обращает на себя внимание примерное равенство средних значений «природных» параметров наводнений (продолжительность и площадь регионов наводнений) для всех трех типов – они варьируют не более, чем в полтора раза. Однако, в отношении материальных и гуманитарных потерь наводнения, связанные со снегом и льдом, представляют собой разительный контраст по сравнению с наводнениями вследствие аномальных дождей – соответствующая разница составляет один – полтора – два порядка. Очевидно, основными причинами этого контраста являются следующие.

Таблица 3.5.1. Основные параметры наводнений разных генетических типов

Параметр	Среднее по всем наводнениям	Наводнения вследствие снеготаяния	Наводнения вследствие заторов, зажоров льда	Наводнения вследствие аномальных осадков
Продолжительность, сут.	11,7	14,8	10,8	11,5
Площадь регионов Наводнений, км <sup>2</sup>	80 652	74 792	67 722	82 714
Количество поврежденных зданий	9 851	993	901	13 720
Финансовый ущерб, Млн долл. США*	162,2	17	21	132
Число эвакуированных	149 601	2 521	3 167	160 616
Число погибших	187	4	2	228

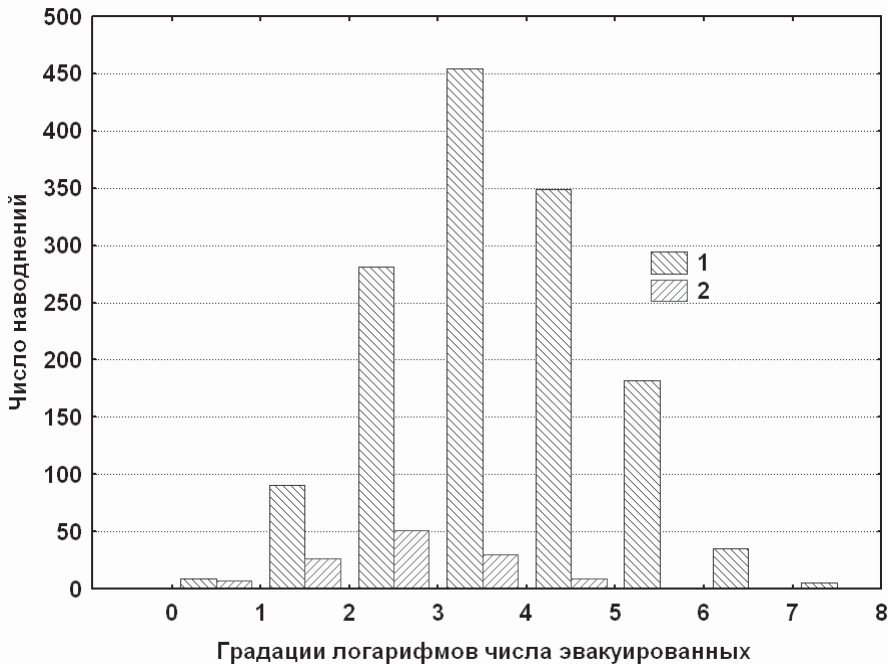
\* в пересчете на курс доллара США по состоянию на начало 1998 г.

- Приуроченность наводнений первых двух типов к традиционным участкам русел рек – по сравнению с намного большим разнообразием ареалов дождевых паводков.
- Вследствие этого – намного лучшая предсказуемость наводнений первых двух типов.
- Сконцентрированность наводнений вследствие экстремальных осадков в сравнительной близости от океанов с присущими этим регионам ливнями штормового типа и муссонными дождями (и вообще – с большей увлажненностью) – по контрасту с регионами с континентальным или переходным к континентальному климатом, к которым в основном приурочены весенние половодья.
- Более высокая плотность населения в странах субтропического, тропического и экваториального поясов, на которые приходится большая часть наводнений вследствие аномальных дождей.
- Меньшая экономическая развитость указанных регионов по сравнению с северными регионами (в основном, в Северной Америке, Се-



верной и Центральной Европе и в России), к которым приурочены наводнения, связанные со снегом и льдом.

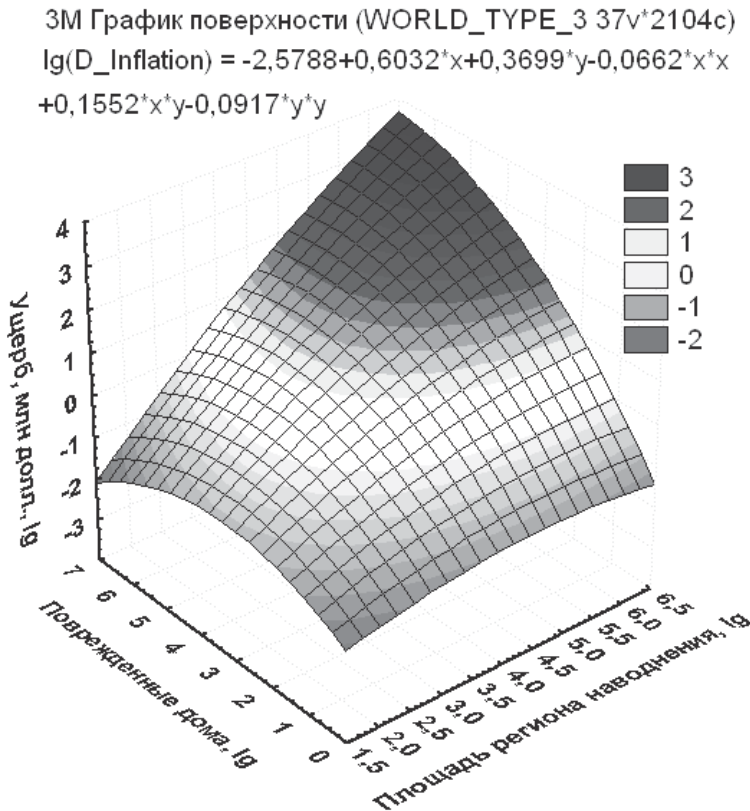
Проиллюстрируем также контраст между параметрами наводнений двух основных типов – половодий и наводнений вследствие экстремальных осадков – сравнением плотностей вероятностей. На Рис. 3.5.1 показаны совмещенные плотности вероятности числа эвакуированных вследствие наводнений ливневого происхождения (1) и наводнений снеготаяния (2). Очевидна, прежде всего, смещенность моды (близкой к среднему значению) наводнений снеготаяния в сторону меньших (на порядок и более) значений. Впечатляет также разница в общем количестве наводнений двух типов. Примерно так же – качественно – выглядят совмещенные графики для других «параметров ущерба» двух типов наводнений – количества затопленных домов, финансовых ущербов, числа смертельных случаев. Напротив, гистограммы плотности вероятности для «природных» параметров наводнений двух типов (длительность наводнений, площади физических затоплений, площади регионов наводнений) выглядят примерно одинаково (за исключением разницы в абсолютной высоте столбцов гистограмм).



**Рис. 3.5.1.** Плотности вероятности числа эвакуированных (в десятичных логарифмах). 1 - наводнения мира вследствие экстремальных осадков в жидком виде; 2 – наводнения мира вследствие таяния снега и льда.

### 3.6. Взаимосвязи между различными параметрами наводнений

Как было показано в (Добровольский, Истомина, 2006; 2009), наиболее репрезентативным и наиболее часто фиксируемым параметром, отражающим степень пространственного охвата территорий наводнениями, является общая площадь региона, охваченного явлением наводнения. В свою очередь, наиболее легко фиксируемым параметром ущербов от наводнений является число затопленных (или подтопленных, поврежденных) зданий – по ним также имеется довольно обширная статистика. Целесообразно, следовательно, попытаться выявить связи между другими параметрами наводнений и указанными двумя. Для этой цели нами строились трехмерные графики соответствующих зависимостей (Рис. 3.6.1 – 3.6.9).



**Рис. 3.6.1.** Зависимость финансовых ущербов (в млн долл. США) вследствие наводнений мира дождевого происхождения от площадей регионов наводнений (в км<sup>2</sup>, ось X) и количеств поврежденных зданий (шт., ось Y). Все оси – в десятичных логарифмах. Аппроксимация методом линейных квадратичных уравнений

Графики строились тремя независимыми методами: методом квадратичной интерполяции (аппроксимация линейными уравнениями не более второй степени), методом сплайнов и методом «отрицательных экспонент». Как будет показано, в каждом случае все три метода приводили к сходному виду аппроксимирующей поле точек поверхности. Это означает, что зависимости устойчивы к типу аппроксимации и заслуживают определенного доверия. Кроме того, полученные зависимости имеют разумный вид (если можно говорить о «разумном виде» зависимостей, описывающих такие трагические события, как гибель людей в наводнениях): общий рост материальных и гуманитарных ущербов с ростом площади регионов наводнений и количества затопленных зданий.

Так, на Рис. 3.6.1 - 3.6.3 показаны зависимости финансовых ущербов от наводнений (в млн долл. США по курсу начала 1998 года) от площадей регионов наводнений и количества затопленных зданий, построенные тремя указанными выше методами. Эти и последующие зависимости строились для наводнений основного типа – вследствие экстремальных осадков; аналогичные графики могут быть построены и для других типов наводнений, для отдельных макрорегионов и стран.

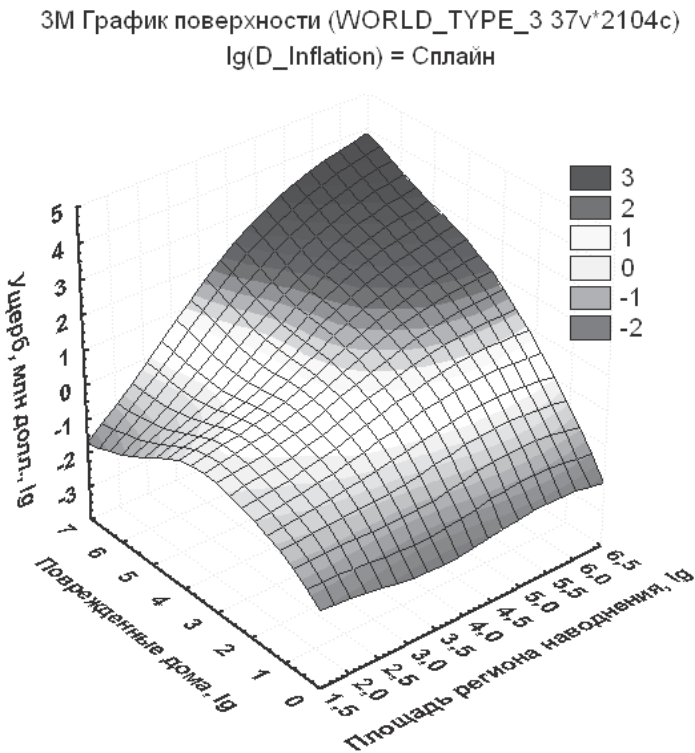
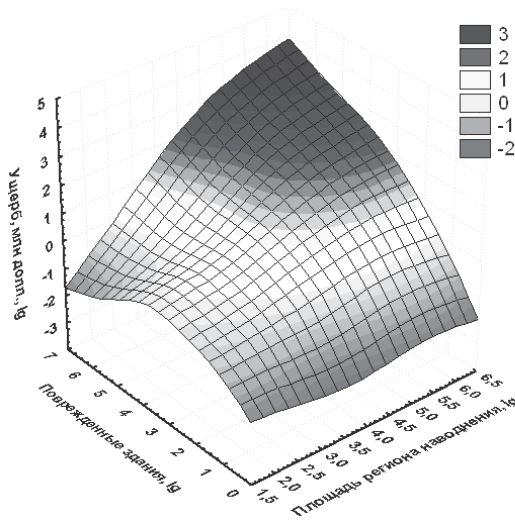


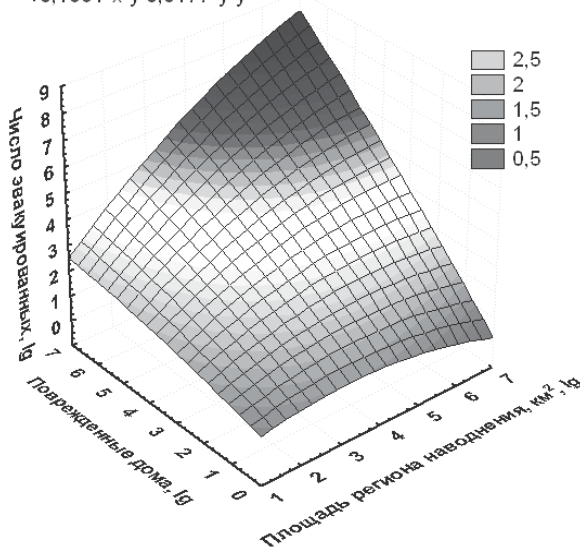
Рис. 3.6.2. То же, что Рис. 3.6.1, но аппроксимация методом сплайнов

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v'2104c)  
 $\lg(D\_Inflation) =$  Отрицательное экспоненциальное сглаживание



**Рис. 3.6.3.** То же, что Рис. 3.6.1, но аппроксимация методом отрицательных экспонент

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v'2104c)  
 $\lg(Replaced) = 0,4891+0,4727^*x+0,1976^*y-0,0735^*x^*x$   
 $+0,1551^*x^*y-0,0177^*y^*y$



**Рис. 3.6.4.** Зависимость числа эвакуированных вследствие наводнений мира дождевого происхождения от площадей регионов наводнений (в км<sup>2</sup>, ось X) и количества поврежденных зданий (шт., ось Y). Все оси – в десятичных логарифмах. Аппроксимация методом линейных квадратичных уравнений

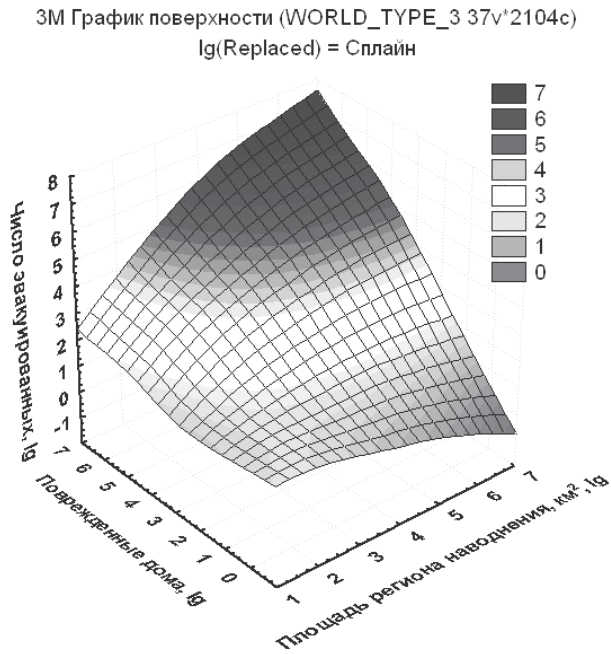


Рис. 3.6.5. То же, что Рис. 3.6.4, но аппроксимация методом сплайнов

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v+2104с)  
lg(Replaced) = Отрицательное экспоненциальное сглаживание

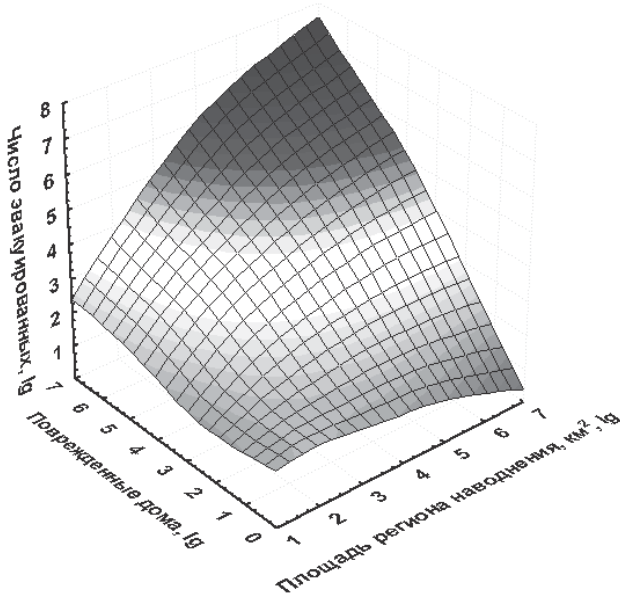
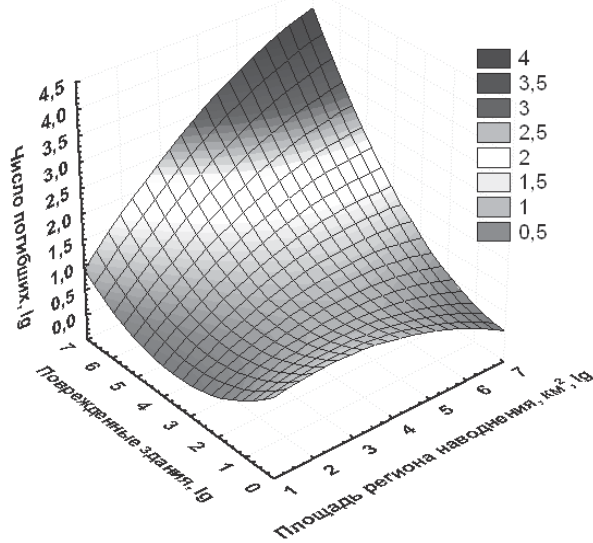


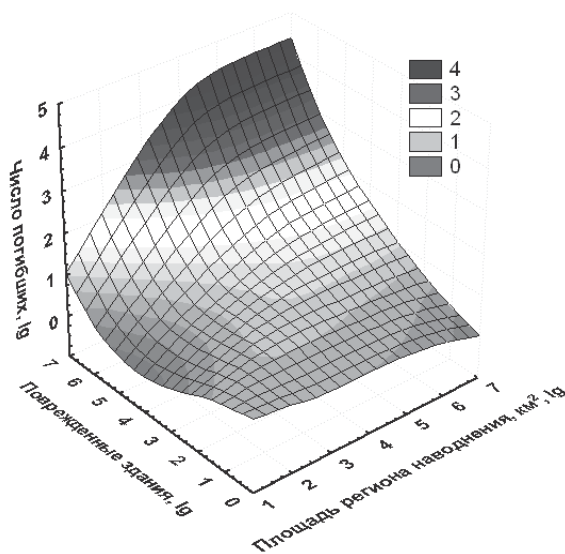
Рис. 3.6.6. То же, что Рис. 3.6.4, но аппроксимация методом отрицательных экспонент

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v'2104с)  
 $\lg(\text{Deaths}) = 0,8797 + 0,2482 \cdot x - 0,6443 \cdot y - 0,0512 \cdot x \cdot x + 0,1 \cdot x \cdot y + 0,0744 \cdot y \cdot y$



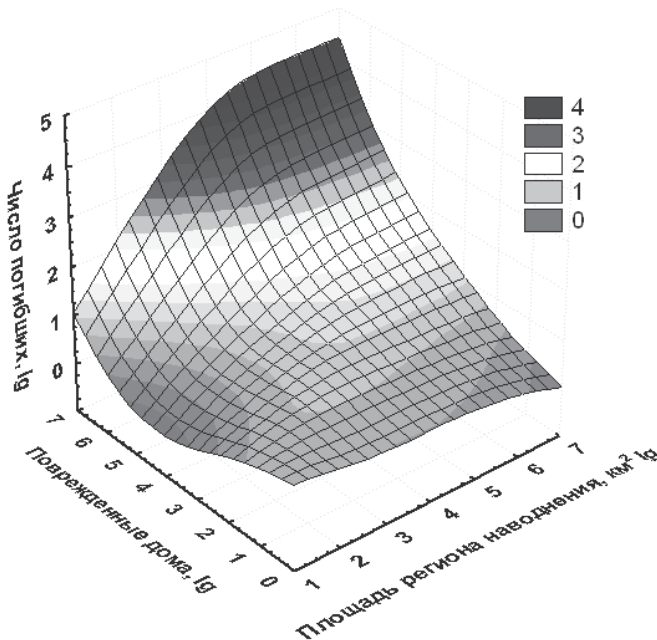
**Рис. 3.6.7.** Зависимость числа погибших вследствие наводнений мира дождевого происхождения от площадей регионов наводнений (в км<sup>2</sup>, ось X) и количеств поврежденных зданий (шт., ось Y). Все оси – в десятичных логарифмах. Аппроксимация методом линейных квадратичных уравнений

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v'2104с)  
 $\lg(\text{Deaths}) = \text{Сплайн}$



**Рис. 3.6.8.** То же, что Рис. 3.6.7, но аппроксимация методом сплайнов

3М График поверхности (WORLD\_TYPE\_3 37v\*2104с)  
 $\lg(\text{Deaths}) = \text{Отрицательное экспоненциальное сглаживание}$



**Рис. 3.6.9.** То же, что Рис. 3.6.7, но аппроксимация методом отрицательных экспонент

Каждый из Рисунков 3.6.1 – 3.6.3 демонстрирует отсутствие зависимости ущерба от площади региона наводнения и количества затопленных зданий или неопределенность таких зависимостей при небольших значениях двух последних параметров – примерно вплоть до  $1000 \text{ км}^2$  и до немногих десятков зданий. По-видимому, в таких диапазонах параметров велика доля случайностей и разнообразных привходящих обстоятельств. Однако, для значительных величин затопленных зданий и площадей регионов наводнений на всех трех графиках прослеживается устойчивая тенденция к росту ущерба с ростом двух факторов. Так как в этих диапазонах параметров аппроксимации различными методами сходны, для ориентировочной оценки ущерба в первом приближении можно использовать выражение в верхней части Рис. 3.6.1. Аналогичные зависимости можно построить и для других типов наводнений, для отдельных крупных стран и макрорегионов и использовать для предварительной оценки ущерба.

На Рис. 3.6.4 – 3.6.6 показаны зависимости для числа эвакуированных, на Рис. 3.6.7 – 3.6.9 – для числа погибших. В последнем случае показательно, что рост числа погибших происходит при очень больших количествах затопленных зданий – свыше величин порядка тысяч зданий.

### 3.7. Особенности наводнений в макрорегионах мира с различным уровнем экономического развития

Представляет интерес сопоставление природных и социально-экономических (в том числе «гуманитарных») параметров наводнений в различных регионах Земли. Прежде всего, важно такого рода сопоставление для макрорегионов с различным уровнем экономического развития. В первом приближении в настоящей работе для такого рода сравнения нами были выделены «богатый регион» (так называемый «золотой миллиард») и «бедный регион» (остальные страны). В «богатый регион» мы включали США, Канаду, Зарубежную Европу, Японию, Австралию и Новую Зеландию. В «бедный регион» - все остальные страны (кроме России, которая рассматривается отдельно).

Разумеется, такое разделение грубо и не учитывает многие детали экономического развития стран. Так, в «богатый» регион не включен ряд стран «третьего мира», которые получают сравнительно большие доходы от добычи углеводородного сырья. Также, не включены в «богатый» регион некоторые, так называемые «молодые драконы» азиатской экономики. Не выделялась группа стран с так называемой «переходной экономикой», так как это понятие представляется нам условным и достаточно неопределенным. Наконец, мы в принципе ограничивались только странами, обладающими сколько-нибудь заметной площадью и населением (всего рассматривались 159 стран) – следовательно, не рассматривали многие малые, в основном островные, государства, ситуация в которых не меняет заметно общую картину. Не учитывались, естественно, Антарктида и Гренландия. С учетом всех этих оговорок, однако, полученная картина, как нам представляется, отражает основные особенности параметров наводнений и их последствий в регионах с разным уровнем экономического развития.

В Таблице 3.7.1 сведены данные по основным показателям стран мира в целом. Информация взята из базы данных фирмы Майкрософт (Microsoft, 2009), в которой, в свою очередь, использовались основные базы данных – ООН, Международного агентства по сотрудничеству и развитию, Статистического Бюро США и др. Данные относятся, для разных параметров и стран, к 2006 – 2008 годам, то есть, отражает картину на конец изучаемого нами периода – на последние предкризисные годы мировой экономики. Расчеты медианного значения (как и других преобразованных параметров) велись при помощи программы Statistica 6.1. фирмы StatSoft.

В Таблице 3.7.2 приведены те же данные, но для так называемого «золотого миллиарда» - стран, отличающихся более высоким уровнем развития. Кстати сказать, по нашим оценкам, суммарная численность населения этих



Таблица 3.7.1. Основные параметры стран мира.

Параметр	Среднее	Медиана	Сумма	Максимум
Площадь, км <sup>2</sup>	839 504	238 391	133 481 183	17 075 200
Население, тыс. чел.	41 429	9 931	6 587 275	1 330 045
Душевой ВВП, долл. США в год	10 392	3 121	-	89 779
Суммарный ВВП, млн долл. США в год	309 861	21 186	48 028 455	13 358 862

Таблица 3.7.2. Основные параметры «богатого» региона.

Параметр	Среднее	Медиана	Сумма	Максимум
Площадь, км <sup>2</sup>	775 000	90 353	34 104 842	9 984 570
Население, чел.	24 516 774	7 893 527	1 078 738 063	303 824 650
Душевой ВВП, долл. США в год	25 897	24 400	-	89 779
Суммарный ВВП, млн долл. США в год	805 419	133 826	35 438 443	13 358 862

стран (в нашей таблице в количестве 44-х) близка к одному миллиарду. Эти страны занимают всего около четверти площади обитаемой суши (25,5%), в них сосредоточена лишь одна шестая населения планеты (16,4%), однако суммарный ВВП этих стран составляет около трех четвертей всего валового внутреннего продукта планеты (73,8%). ВВП на душу населения этих стран более чем в 6 раз превышает аналогичный показатель для «бедного» региона (точнее в 6,1 раза).

**Таблица 3.7.3.** Основные параметры «бедного» региона

Параметр	Среднее	Медиана	Сумма	Максимум
Площадь, км <sup>2</sup>	730 535	287 100	81 919 925	9 571 300
Население, чел.	47 865 921	10 901 046	5 360 982 124	1 330 044 000
Душевой ВВП, долл. США в год	4 257	1 451	-	52 240
Суммарный ВВП, млн долл. США в год	107469	13 328	11 606 601	2 681 370

Данные для «бедного» региона приведены в Таблице 3.7.3. Показательно то, что асимметрия (расслоение) в доходах «бедной части» Земли намного превышает асимметрию «богатой» части: медианный средний ВВП на душу населения последней в 17 раз превышает медианный средний ВВП «бедной» части мира.

Обратимся к различиям в абсолютных и относительных значениях параметров наводнений в рассматриваемых регионах.

**Таблица 3.7.4.** Основные параметры ущербов вследствие наводнений в мире

Параметр	Среднее	Стандарт	Сумма	Максимум
Число затопленных зданий, шт.	9 581	69 449	4 953 243	1 449 157
Ущерб, млн долл. США	162	1 569	246 606	50 806
Число эвакуированных	149 601	1 279 446	298 155 601	40 000 000
Число погибших	187	4 153	354 426	150 000

Основные параметры ущербов от наводнений для различных регионов мира приведены в Таблицах 3.7.4 – 3.7.6. В Таблице 3.7.4 сведены данные о наводнениях в глобальном масштабе и частично они повторяют приведенные в начале раздела цифры. Обращает на себя внимание то, насколько стандарты величин превышают средние значения: по числу затопленных зданий – в 7 раз, по ущербам в финансовом выражении и по числу эвакуированных – примерно на порядок, по числу погибших – в 22 раза. Эти цифры подтверждают сформулированное ранее утверждение о том, что по мере усиления «негативного характера» параметра ущербов, в общем, растет асимметрия распределения вероятности соответствующего параметра.

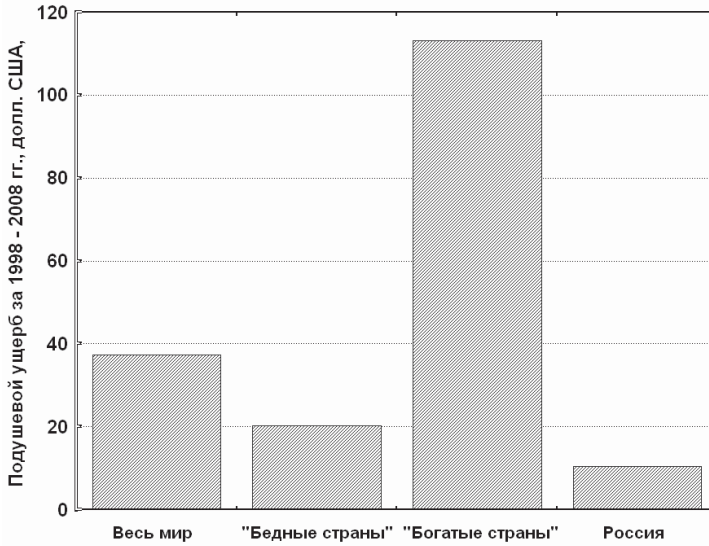
**Таблица 3.7.5.** Основные параметры ущербов вследствие наводнений в «бедном» регионе

Параметр	Среднее	Стандарт	Сумма	Максимум
Число затопленных зданий, шт.	22 078	110 248	4 415 623	1 449 157
Ущерб, млн долл. США	110	793	111 270	20 613
Число эвакуированных	226 026	1 581 812	292 703 803	40 000 000
Число погибших	258	4 954	342 397	150 000

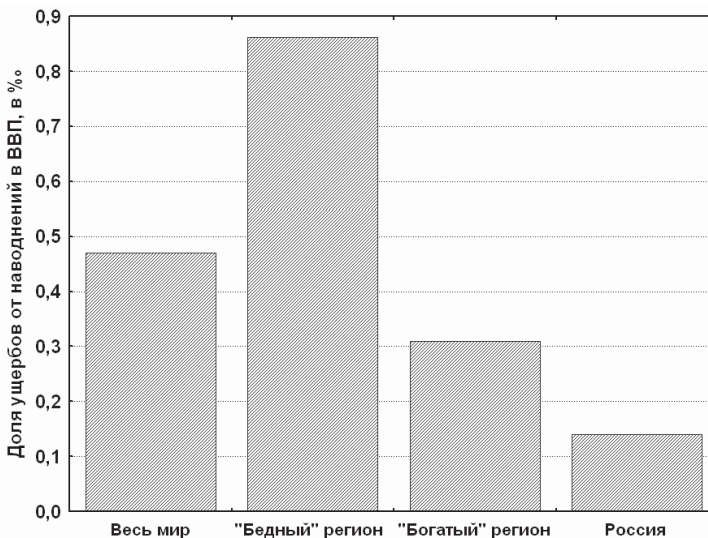
**Таблица 3.7.6.** Основные параметры ущербов вследствие наводнений в «богатом» регионе

Параметр	Среднее	Стандарт	Сумма	Максимум
Число затопленных зданий, шт.	3 785	14 044	204 363	100 000
Ущерб, млн долл. США	324	2 839	122 009	50 807
Число эвакуированных	5 921	34 670	2 480 971	500 000
Число погибших	6	50	2 938	1 053

Эти данные делаются более наглядными, будучи представлены в графической форме – на Рис. 3.7.1 – 3.7.4. Так, на Рис. 3.7.1 – 3.7.2 показаны в сопоставлении ущербы от наводнений на душу населения – и доли ущербов



**Рис. 3.7.1.** Ущерб от наводнений на душу населения целиком по миру, в «бедном» и «богатом» регионах мира и в России за 1998 – 2008 гг.



**Рис. 3.7.2.** Доля ущербов от наводнений в ВВП для всего мира, «богатого» и «бедного» регионов мира и для России – среднее за период 1998 – 2008 гг.

от наводнений в ВВП для указанных регионов мира, всего мира в целом и для России. Очевидна противоречивость ситуации: подушевые ущербы от наводнений в «богатом» регионе намного (почти в 6 раз) превышают подушевые ущербы в «бедном регионе», однако доля ущербов в ВВП распределена по этим двум группам стран прямо противоположным образом. По-видимому, первое обстоятельство определяется большей стоимостью недвижимого и движимого имущества, основных фондов, инфраструктуры и т.п. в более развитых странах мира. Второе же обстоятельство связано очевидно с более адекватным использованием потенциально затапливаемых территорий в развитых странах.

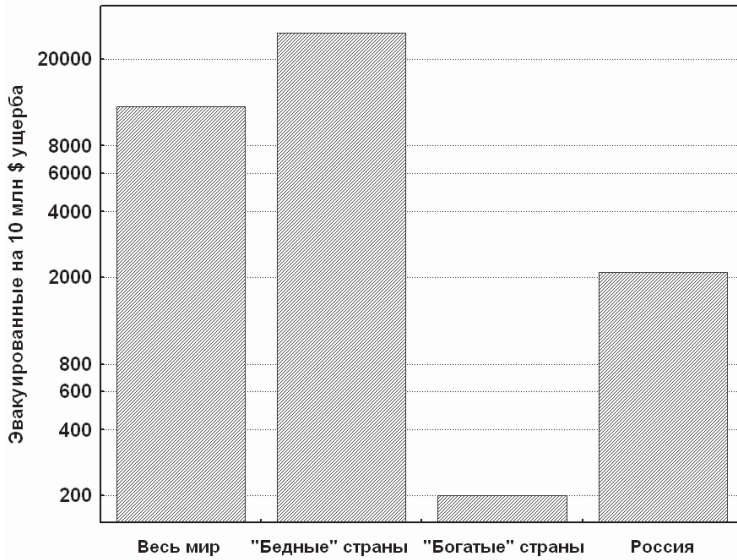
Эти результаты, наряду с приведенными выше, свидетельствуют о том, что абсолютное увеличение ущербов от наводнений, по мере экономического роста – объективная тенденция, которая смягчается уменьшением доли потерь от наводнений в целом в экономике страны. Такой вывод сделан соавторами раздела ранее в монографии (Добровольский, Истомина, 2006), в настоящей работе он подтвержден на основе намного более обширного и более достоверного материала.

Заметим, что оба рисунка свидетельствуют о сравнительно благополучной ситуации с ущербами от наводнений в России. Несмотря на то, что данные по России были, в рамках настоящего исследования, более подробными, чем по другим странам, по обоим показателям наша страна находится в более благоприятной ситуации, чем в среднем «богатые», «бедные» страны и мир в целом.

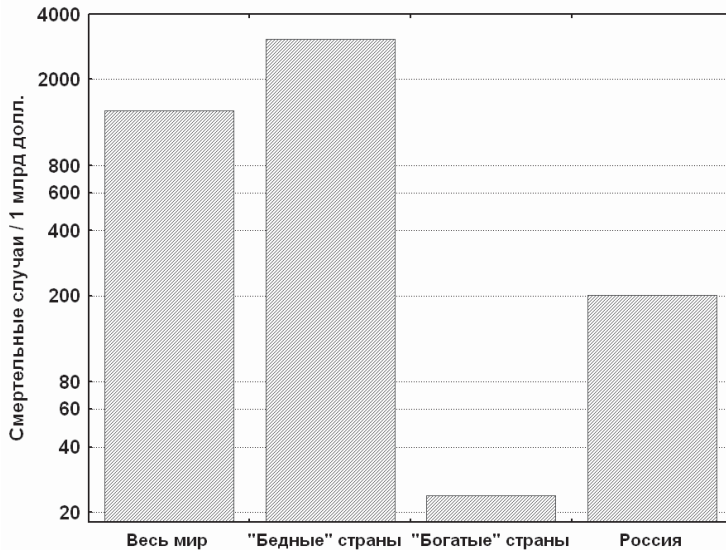
По-видимому, в значительной степени это объясняется благоприятным географическим положением страны с точки зрения уязвимости для наводнений. Действительно, Россия – страна с наиболее «континентальным» (по сравнению с большинством других государств) климатом страны мира. Средний годовой слой осадков здесь составляет две трети среднего годового слоя осадков по миру. Кроме того, основная доля наводнений на территории России – наводнения вследствие весеннего снеготаяния, отличающиеся (как было указано выше) сравнительно малыми ущербами. Ввиду отсутствия выхода широким фронтом к открытому океану, в зоне умеренных широт экономически развитой части страны, Россия сравнительно мало подвержена эффектам штормовых нагонов, цунами и других типов наводнений в прибрежной зоне. Наконец, на территории России практически не наблюдаются тропические штормы и ураганы. Все это, в сочетании с малой (в среднем) плотностью населения, приводит к тому, что в целом Россия – одна из наименее уязвимых для наводнений страна мира.

Тем не менее, как представляется, в стране существуют резервы для уменьшения ущербов от наводнений. В первую очередь речь идет об уменьшении наиболее нетерпимых – социальных или «гуманитарных» ущербов от наводнений – ущербов, непосредственно связанных с физическими, моральными страданиями населения и со смертельными случаями. В связи с этим

целесообразно рассмотреть параметры соотношения материальных (выражающихся в финансовых единицах) и гуманитарных ущербов.



**Рис. 3.7.3.** Соотношение числа эвакуированных и материальных ущербов от наводнений в целом по миру, в «бедном», «богатом» регионах и в России



**Рис. 3.7.4.** Соотношение числа смертельных случаев и материальных ущербов от наводнений в целом по миру, в «бедном», «богатом» регионах и в России

На Рис. 3.7.3 показано соотношение числа эвакуированных и материальных ущербов от наводнений в разных регионах. Очевидно громадное превышение этого соотношения в менее развитых странах по сравнению с более развитыми. Ситуация в РФ – промежуточная: рассматриваемый показатель в РФ на порядок «лучше», чем в «бедном регионе», но на порядок «хуже», чем в странах «золотого миллиарда». Аналогична ситуация в отношении числа погибших от наводнений и материальных ущербов (Рис. 3.7.4).

### **3.8. Наводнения в пределах отдельных макрорегионов и материков**

Ниже будут рассмотрены территории РФ, Зарубежной Европы, Северной и Южной Америк, Австралии. Зарубежная Азия и Африка менее равномерно освещены данными о наводнениях и связанными с ними данными. Поэтому два последних макрорегиона будут рассмотрены в разделе 3.9.

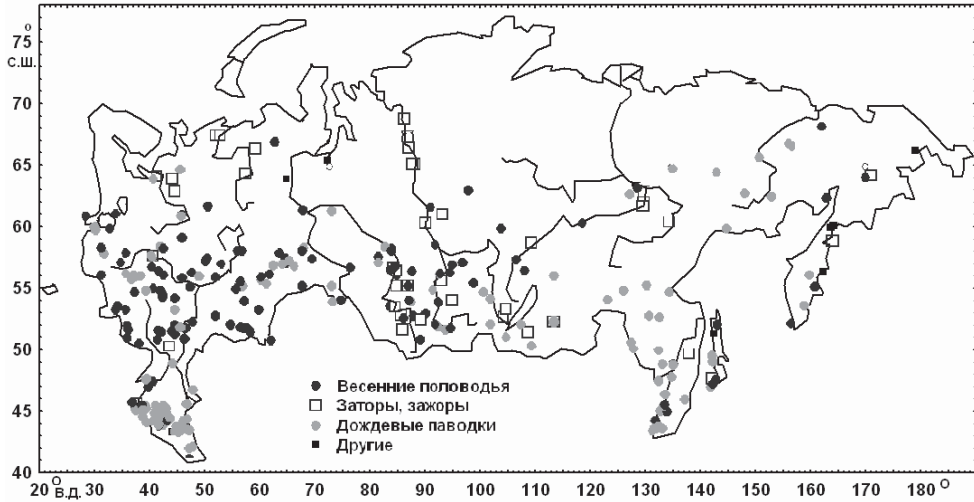
#### **3.8.1. Российская Федерация**

Анализ наводнений на территории России достаточно полно освещен в предыдущих работах соавторов. Отметим здесь лишь наиболее важные и интересные особенности. В настоящее время авторам доступна информация по 354 наводнениям на территории России за период 1998 – 2008 гг. – примерно в 3 раза большее количество наводнений, чем то, которое анализировалось в наших работах 2005 – 2009 годах (Добровольский, Истомина, 2006; Добровольский, Истомина, 2009). В связи с этим возникла возможность намного более полно охарактеризовать наводнения на территории РФ, в частности, уточнить ареалы наводнений различных генетических типов, выявить закономерности их приуроченности к конкретным территориям и т.п.

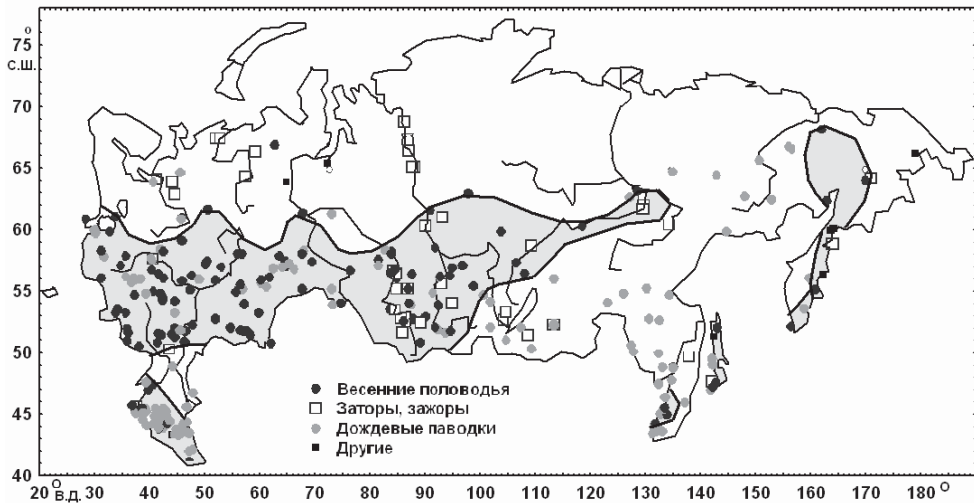
Наиболее часто встречающийся тип наводнений на территории РФ – наводнения вследствие снежных и ледовых явлений: 179 наводнений или 51% от общего числа. В свою очередь, наводнения этого типа делятся на два подтипа: наводнения вследствие снеготаяния (134 явления или 38%) и наводнения вследствие заторов и зажоров льда (45 явлений или 13%). Наблюдено 157 наводнений вследствие аномальных осадков в жидком виде (44% от общего числа). На наводнения всех остальных генетических типов вместе взятых (нагоны, сели, наводнения техногенных причин) приходится всего 5% от общего числа (18 явлений). При этом следует оговориться, что ввиду сложности трактовки наводнений смешанного типа типизация наводнений проводилась по «первопричине» каждого наводнения.

Обращает на себя существенная разница в части природных параметров и параметров социально-экономических последствий наводнений различных генетических типов. Так, средняя продолжительность наводнений вследствие снеготаяния (тип 1 по нашей классификации, 13,6 суток) и вслед-

ствие заторов и зажоров льда (тип 2, 10,6 суток) в два и более раз превосходит среднюю продолжительность наводнений вследствие экстремальных дождей (5,7 суток, что близко к характерному синоптическому периоду).



**Рис. 3.8.1.** Картодиаграмма расположения центров регионов наводнений на территории РФ в период 1998 – 2008 гг. Условными знаками обозначены различные генетические типы наводнений. Границы (как и на Рис. 3.2.8) – по состоянию на 2008 г.



**Рис. 3.8.2.** Картограмма основных ареалов (обозначены серым цветом) крупных наводнений вследствие таяния снежного покрова на территории Российской Федерации в период 1998 – 2008 гг. Выделяются: (а) Северокавказский ареал; (б) арктической зоны; (в) дальневосточный ареал; (г) сахалинский ареал; (д) камчатский



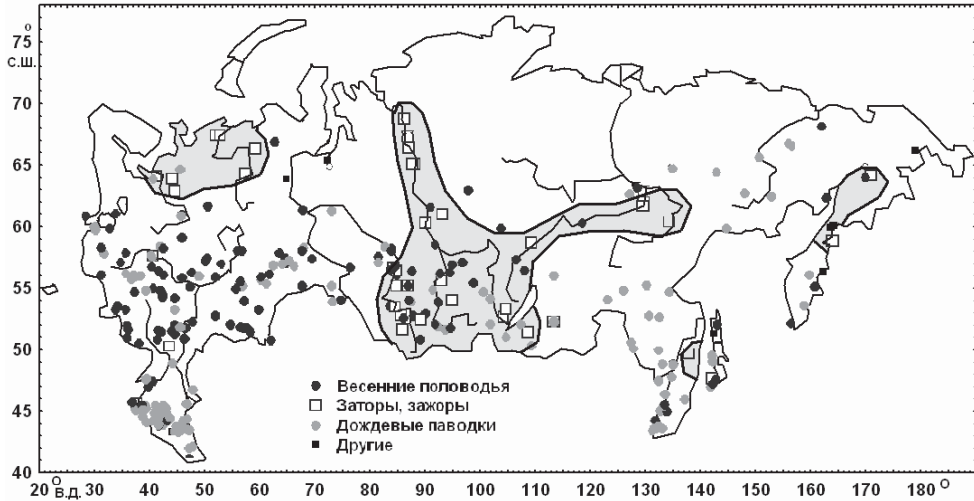
Средняя площадь физических затоплений для наводнений типов 1 – 3 составляет соответственно 53, 13 и 29 тыс. га. Средняя площадь регионов наводнений – 43, 84 и 25 тыс. км<sup>2</sup>. Существенна и разница в среднем населении регионов наводнений: 265, 116 и 908 тыс. чел. Не очень велика разница в среднем количестве затопленных зданий: 839, 917 и 1264. Однако весьма существенно различие в средних материальных ущербах от наводнений: соответственно 4,5; 80,8 и 34,6 млн долл. США. В итоге число эвакуированных (параметр, наиболее полно отражающий «гуманитарные», самые болезненные потери от наводнений) в сумме нарастает при переходе от наводнений первого типа ко второму и к третьему: соответственно 45, 90 и 176 тыс. человек.

Географическое положение центров регионов наводнений за 1998 – 2008 гг. показано на Рис. 3.8.1. Способом картодиаграммы на этой карте показаны также генетические типы соответствующих наводнений. Обращает на себя внимание прежде всего увеличенное количество наводнений в южной части страны – особенно в южной половине ЕТР и в южной части бассейнов Оби, Енисея и Лены (а также на юге Дальнего Востока) и сравнительно небольшое количество наводнений в пределах северных территорий страны. Почти полностью отсутствуют сведения о количественных параметрах наводнений в междуречье Енисея и Лены и в междуречье Лены и Колымы севернее примерно 65 градусов с.ш.

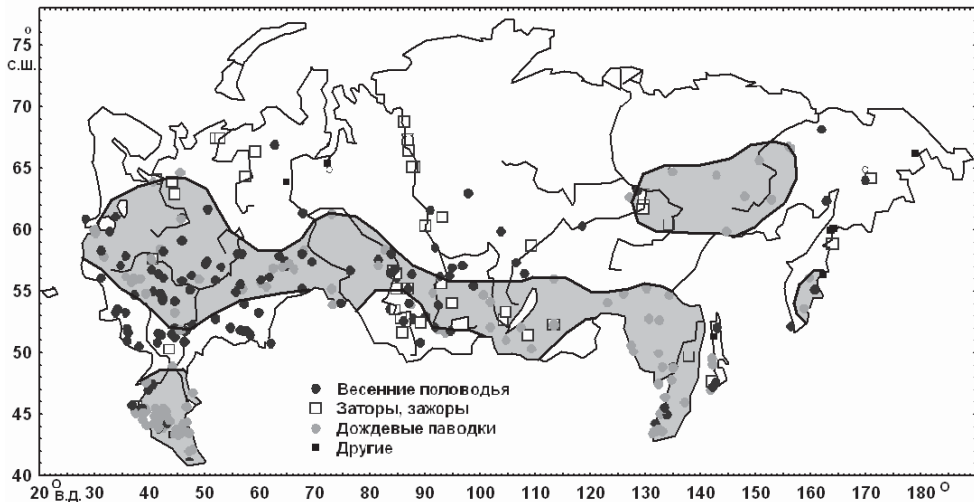
На картограмме на Рис. 3.8.2 показаны серым цветом основные ареалы регионов наводнений вследствие таяния снега. Вне этих ареалов находятся лишь единичные наводнения. Основным – как по площади, так и по количеству наводнений – является ареал, который можно условно назвать «ареалом умеренного пояса». Он простирается от западных границ РФ до среднего течения Лены и между широтами 50 и 64 градусов с.ш. Остальные ареалы значительно меньше по площади и количеству наводнений: Северо-Кавказский, Южно-Дальневосточный, Сахалинский, Камчатский.

Еще более немногочисленны и индивидуальны в своих пространственных очертаниях ареалы наводнений вследствие заторов и зажоров льда. На Европейской территории России выделяется Северодвинско-Печорский ареал (при этом крупные заторы и зажоры льда наблюдаются в среднем и нижнем течении этих рек). Намного более значительную площадь занимает «Сибирский» ареал. Он включает в себя территории в верхнем течении Оби, практически весь бассейн Енисея, а также верхнее и среднее течение Лены. Единичные случаи заторов и зажоров льда наблюдаются на юге Дальнего Востока и на севере Камчатки и на примыкающих к полуострову материковых территориях.

Наконец, на Рис. 3.8.4 изображены основные ареалы крупных наводнений вследствие аномальных осадков в жидком виде. Так же, как и в случае с ареалами половодий, существует «основной» ареал паводков, имеющий широтную направленность и расположенный в средних широтах. В отличие



**Рис. 3.8.3.** Картограмма основных ареалов (обозначены серым цветом) крупных наводнений вследствие заторов и зажоры льда. Данные за 1998 – 2008 гг. Выделяются Северодвинско-Печорский ареал, Сибирский ареал, Дальневосточный и Камчатский ареалы. Границы здесь и на Рис. 3.8.4 – по состоянию на 2008 г.



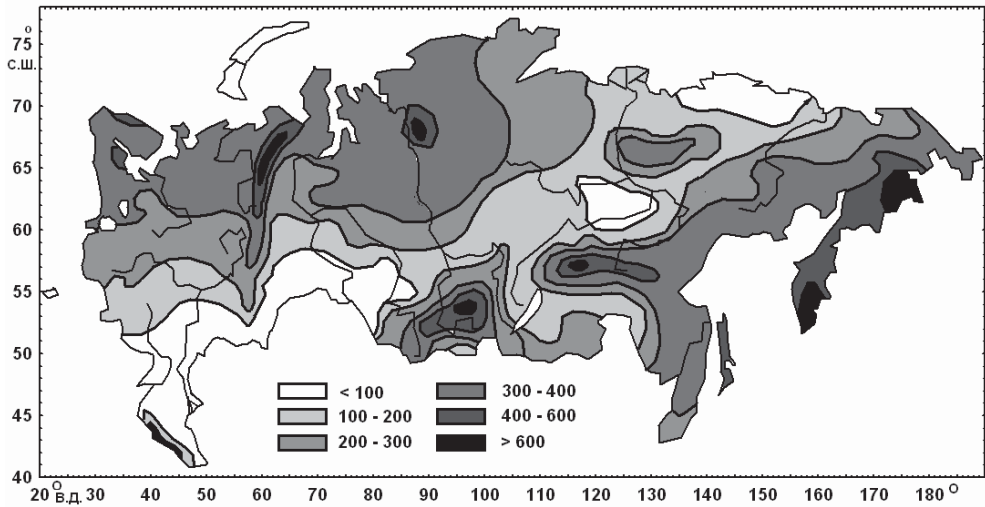
**Рис. 3.8.4.** Картограмма основных ареалов (обозначены серым цветом) крупных наводнений вследствие аномальных дождей. Данные за 1998 – 2008 гг. Выделяются вытянутый в широтном направлении основной ареал («ареал умеренной зоны»), Северо-Кавказский ареал, ленско-Колымский ареал и Камчатский ареал

от основного ареала половодий, в пределах Европейской территории России он расположен севернее, однако в пределах Сибири занимает более южные широты и простирается непрерывно вплоть до южной части Дальнего Востока. Как и в случае половодий, выделяется сравнительно небольшой Северо-Кавказский ареал. Можно также выделить Камчатский ареал и «Ленско-Колымский» ареал, охватывающий регион от среднего течения Лены до верхнего течения Колымы.

Представляет интерес вопрос о причинах отмеченной конфигурации ареалов наводнений – прежде всего, наводнений двух основных типов, паводков и половодий. На Рис. 3.8.5 помещена карта средних значений слоя стока на территории страны. Обнаруживается некоторое (очень относительное) сходство изолиний ареала половодий с изолинией, примерно, 200 мм годового слоя стока: эта область протянулась на карте слоя стока от западных и юго-западных территорий России в общем направлении на восток и на восток-северо-восток вплоть до среднего течения Лены. Таким образом, основная область весенних половодий приурочена к сравнительно мало увлажненной части территории России (за исключением территории Забайкалья и областей верхнего течения Лены, Яны, Индигирки, Колымы, где наводнений типа весенних половодий не наблюдалось).

Вместе с тем, очертания ареалов наводнений типа дождевых паводков имеют меньше сходства с очертанием изолиний карты годового слоя стока. На Рис. 39 изображены ареалы наибольшей плотности населения на территории России. Очевидно, что распределение центров регионов наводнений типа дождевых паводков имеет определенное сходство с последней картой – более существенное, чем с картой слоя стока. На Рис. 3.8.6 четко выделяется «основная», протяженная в широтном направлении зона повышенных значений, а также Северо-Кавказский ареал и Юго-Дальневосточный ареал. Такое сходство подтверждает представление о наводнениях как о явлениях не только природного, но и социально-экономического плана – причем, очевидно, что это суждение относится в большей степени к наводнениям паводкового типа, чем к наводнениям половодного типа. Вспомним также, что именно для наводнений паводкового типа характерны наибольшие материальные и гуманитарные ущербы от наводнений.

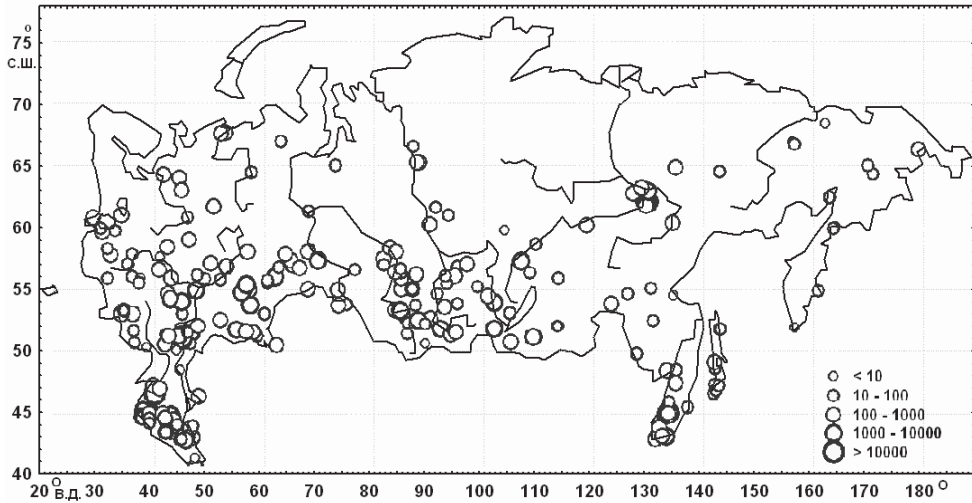
Материальные и гуманитарные потери от наводнений иллюстрируются картодиаграммами на Рис. 3.8.7 и 3.8.8. Очевидно очень большое сходство между двумя картами. Действительно, большинство зданий, фигурирующих в отчетах и на Рис. 3.8.7, это небольшие жилые дома в сельской местности или в пригородах городов, затопление которых ведет к эвакуации людей, потере ими части имущества, иногда – к ранениям и к ухудшению здоровья, в исключительных случаях – к смертельному исходу. Кроме отдельных регионов «основной» зоны наводнений в полосе умеренных широт очевидно также скопление участков повышенных количеств затопленных зданий и повышенных чисел пострадавших людей в регионе Северного Кавказа, в среднем течении Лены и на юге Дальнего Востока. По-видимому, первый регион



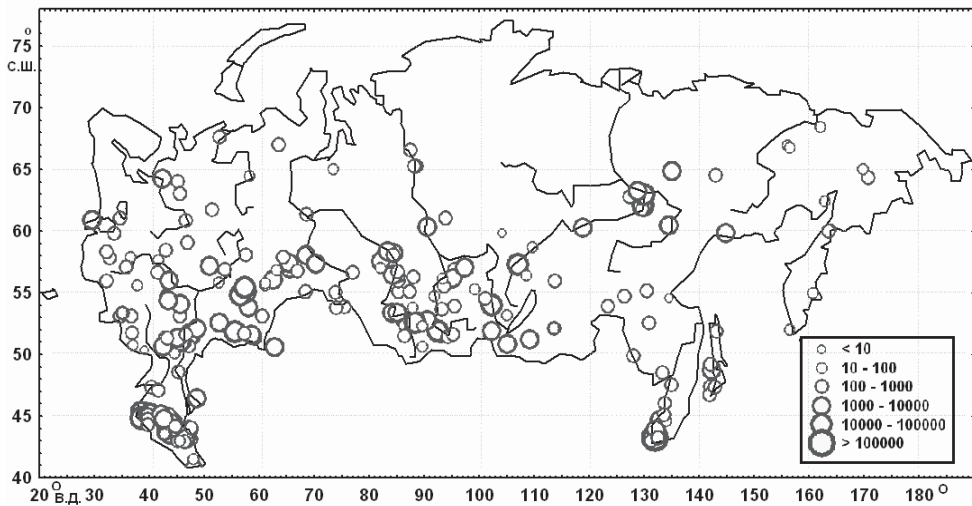
**Рис. 3.8.5.** Распределение среднего годового слоя стока (в мм) по территории РФ. По данным (Добровольский, 2011б). Состояние границ – на 2011 г.



**Рис. 3.8.6.** Ареалы наибольшей плотности населения на территории Российской Федерации. Составлено с использованием карты плотности населения из электронного атласа (Microsoft, 2009). Состояние границ соответствует 2009 году.



**Рис. 3.8.7.** Картодиаграмма количества зданий, затопленных (поврежденных) в результате наводнений на территории Российской Федерации. По данным и по состоянию границ за период 1998 – 2008 гг.

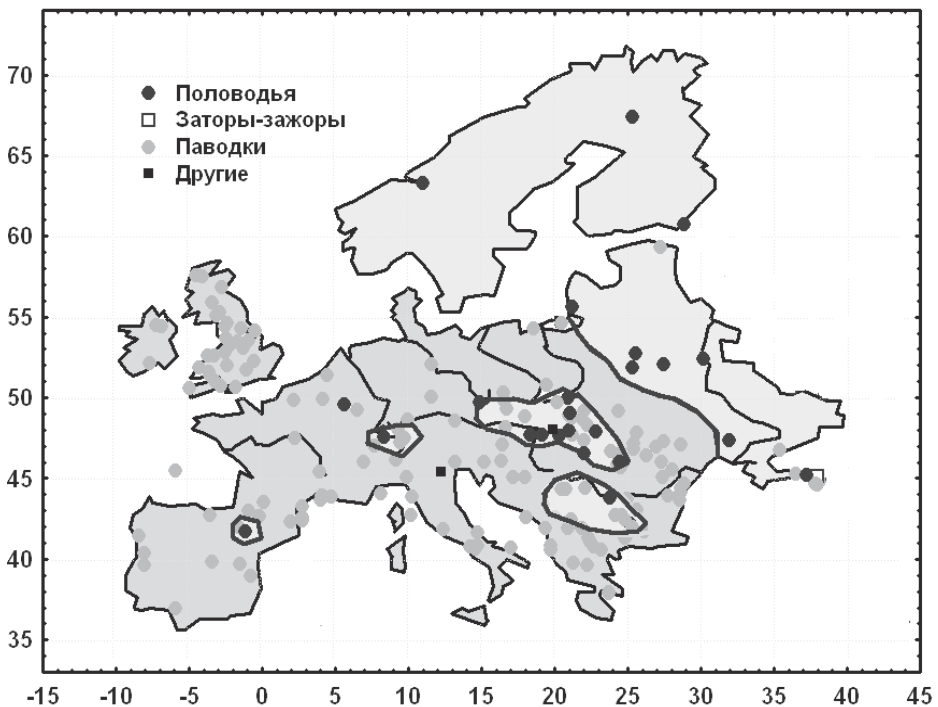


**Рис. 3.8.8.** Картодиаграмма числа людей, пострадавших в результате наводнений на территории Российской Федерации. Число людей обозначено значками разного размера (см. легенду). По данным и по состоянию границ за период 1998 – 2008 гг.

выделяется в связи с высокой плотностью населения и застройки (см. Добровольский, Истомина, 2009), во втором случае сказываются повышенные риски, связанные с наводнениями типа заторов-зажоров льда, а южная часть Дальнего Востока находится на пути штормов северной части Тихого океана – и также имеет сравнительно высокую плотность населения.

### 3.8.2. Зарубежная Европа

Расположение центров регионов наводнений на территории Зарубежной Европы показано на Рис. 3.8.9 и 3.8.10. Число зафиксированных крупных наводнений значительно меньше в Скандинавии и на территории Украины и Белоруссии – в первом случае, вероятно, по природным причинам и вследствие относительно малой плотности населения, во втором случае – из-за недостатка информации. На Рис. 3.8.9 светлым цветом показана зона максимального распространения наводнений вследствие таяния снега. Она четко делится на отдельные ареалы: Скандинавию, северо-восточную часть



**Рис. 3.8.9.** Центры регионов наводнений и генетические типы наводнений Зарубежной Европы. Светлым фоном обозначены ареалы наводнений вследствие таяния снега, темным – наводнения вследствие экстремальных осадков в жидкой фазе. Данные и состояние границ – за период 1998 – 2008 гг.

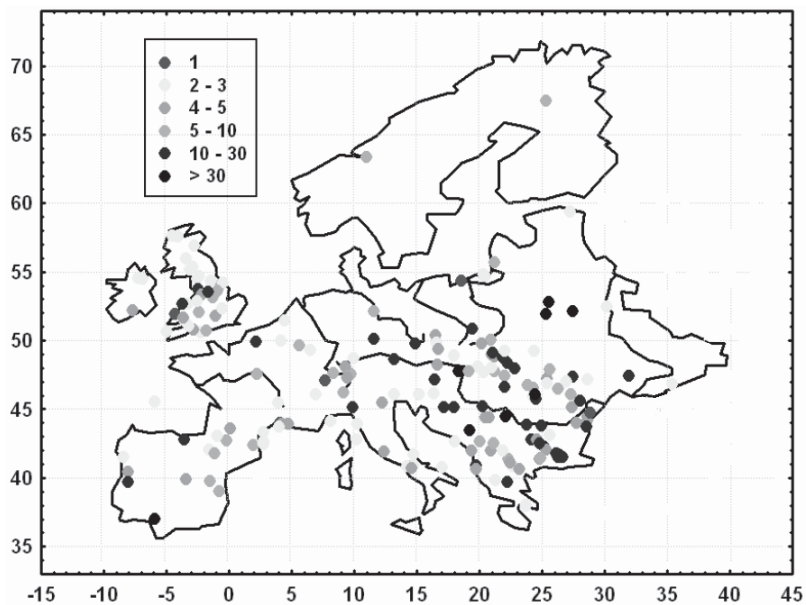


Рис. 3.8.10. Картодиаграмма длительности наводнений в сутках.

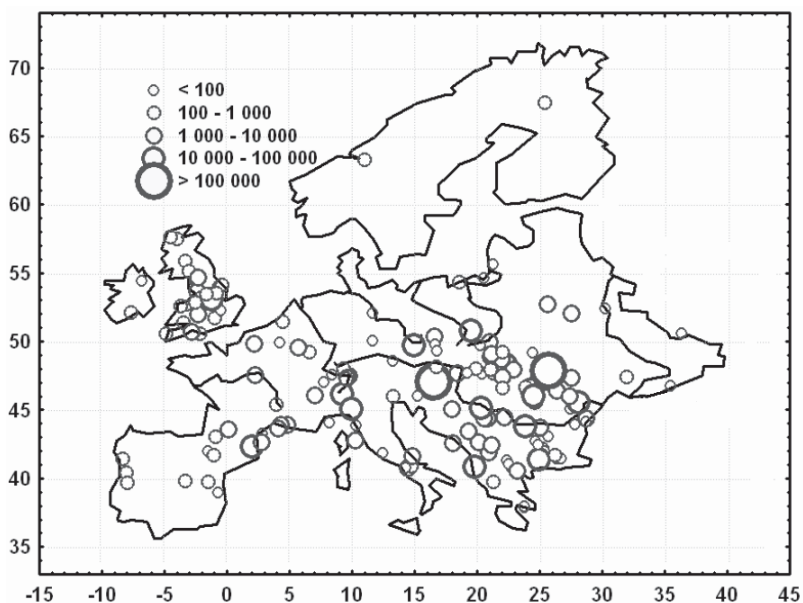


Рис. 3.8.11. Картодиаграмма числа эвакуированных вследствие наводнений на территории Западной Европы за период 1998 – 2008 гг.

Зарубежной Европы (прибалтийские государства, часть территории Украины и Белоруссии. Также в эту зону входят сравнительно небольшие по площади ареалы горных территорий – Пиреней, Альп, Карпат и гор Балканского полуострова. Вне отмеченных ареалов наблюдались лишь единичные наводнения вследствие таяния снега. Темным цветом на Рис. 3.8.9 окрашена остальная территория Зарубежной Европы – это территория почти исключительно наводнений вследствие экстремальных осадков в жидком виде.

Представляет интерес картодиаграмма на Рис. 3.8.10, показывающая длительность каждого зафиксированного в базе данных наводнения. Примечательно то, насколько мозаична картина длительности наводнений – очевидно, связанная с мозаичностью физико-географических условий, сложностью рельефа и изрезанностью береговой линии Зарубежной Европы. Как будет показано ниже, противоположную картину представляет такой макрорегион, как Австралия, где длительность наводнений четко связана со слоем стока и имеет вид концентрических колец, окружающих центральные пустынные части материка.

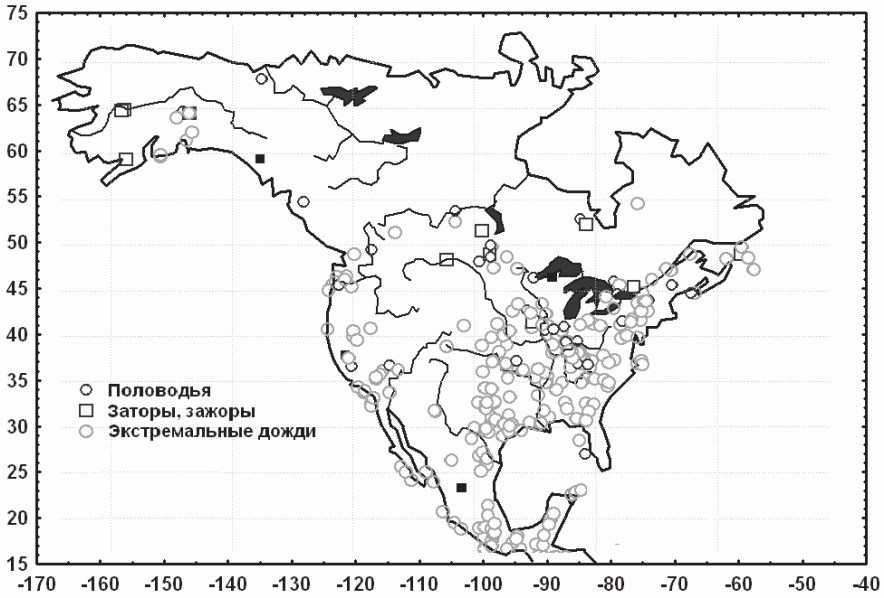
Наконец, на картодиаграмме на Рис. 3.8.11 показаны числа эвакуированных вследствие наводнений на территории Зарубежной Европы в рассматриваемый период. Очевидно повышенное число эвакуированных в бассейне Дуная – крупнейшей реки Зарубежной Европы. Здесь наблюдались два крупнейших наводнения с числом эвакуированных более 100 тыс. человек в каждом. Обращает на себя также большое количество наводнений с эвакуациями (хотя и не очень значительными по масштабу) на территории Англии.

### **3.8.3. Северная Америка**

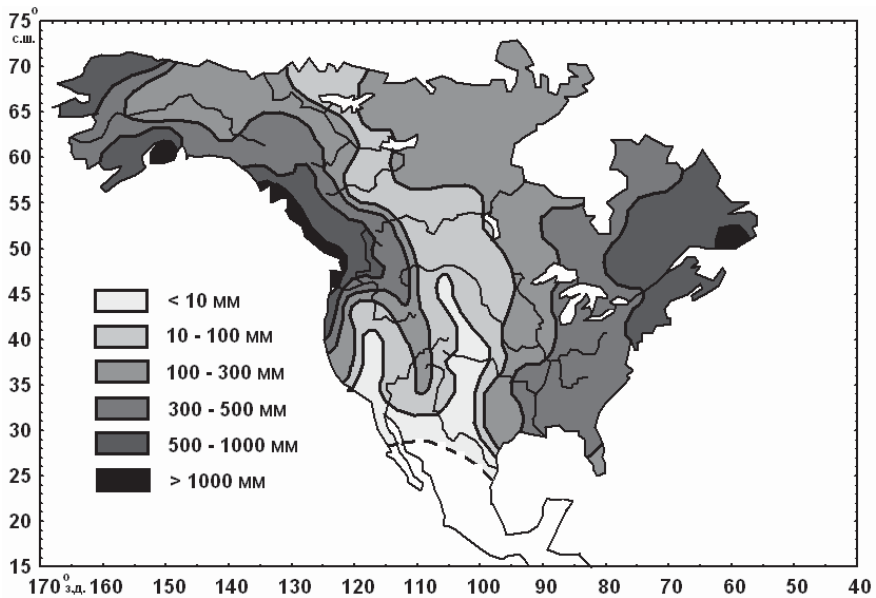
Северная Америка – наиболее близкий аналог территории Российской Федерации в том, что связано с природными условиями, в том числе со стихийными бедствиями. На территории Северной Америки наблюдаются все три основных генетических типа наводнений – вследствие таяния снега, заторов-зажоров льда и вследствие аномальных осадков в жидкой фазе (Рис. 3.8.12). В то же время, вследствие того, что основная территория США, южная часть Канады и Мексика заселены более плотно, чем территория РФ, пространственное распределение наводнений в этих зонах обнаруживает больше сходства с картой слоя стока (Рис. 3.8.13). А именно, зона Центральных равнин США, засушливых склонов Кордильер менее подвержены наводнениям, чем другие территории.

На Рис. 3.8.14 показана линия максимального южного распространения наводнений на территории Северной Америки в 1998 – 2008 гг. вследствие таяния снежного покрова. Для наглядности территория материка севернее этой линии закрашена светлым цветом, однако это не означает, что везде

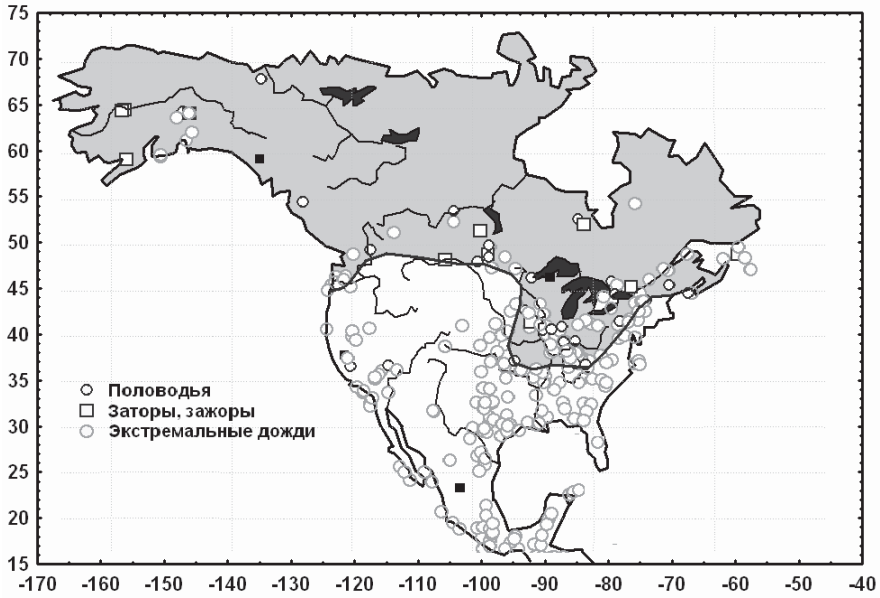




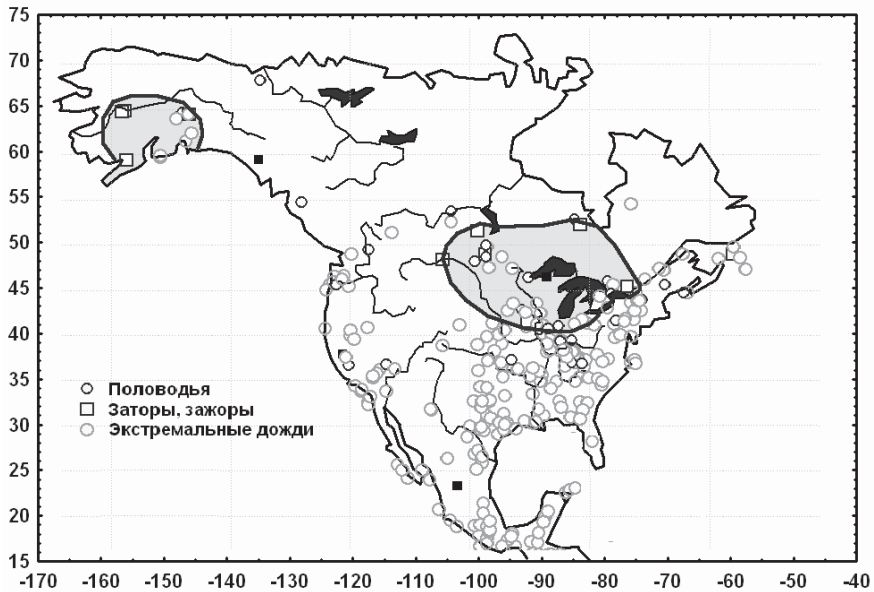
**Рис. 3.8.12.** Картодиаграмма расположения центров регионов наводнений, генетические типы наводнений на территории Северной Америки в 1998 – 2008 гг.



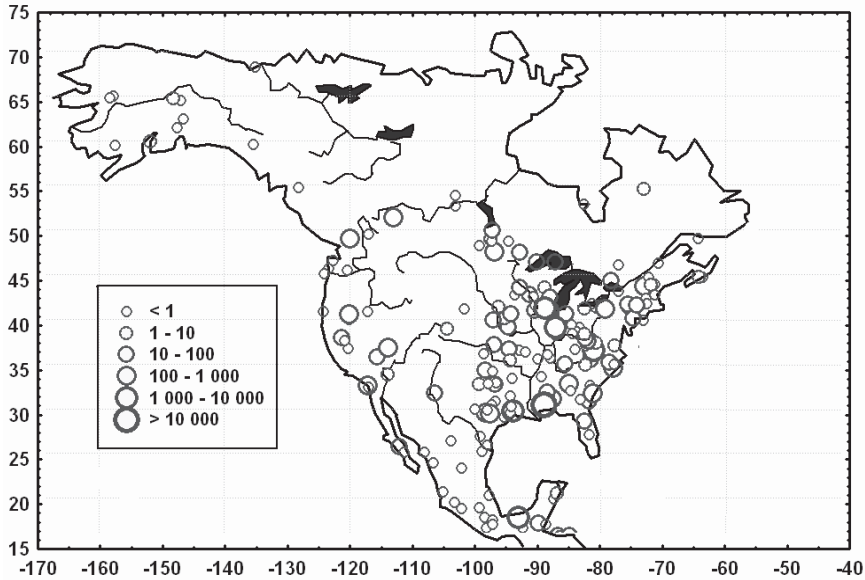
**Рис. 3.8.13.** Карта среднего годового слоя стока на территории Северной Америки. По (Добровольский, 2011б)



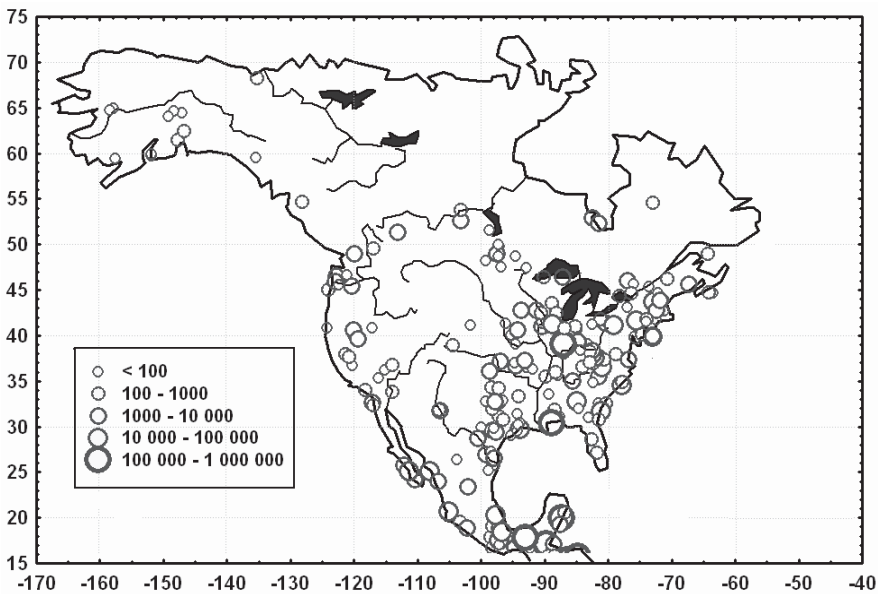
**Рис. 3.8.14.** Линия наиболее южного расположения центров регионов наводнений вследствие таяния снега на территории Северной Америки



**Рис. 3.8.15.** Ареалы наводнений вследствие заторов и зажоров льда на территории Северной Америки в 1998 – 2008 гг.



**Рис. 3.8.16.** Картодиаграмма ущербов от наводнений на территории Северной Америки за 1998 – 2009 гг., в млн долл. США (с учетом инфляции)



**Рис. 3.8.17.** Картодиаграмма чисел эвакуированных в результате наводнений на территории Северной Америки за 1998 – 2008 гг.

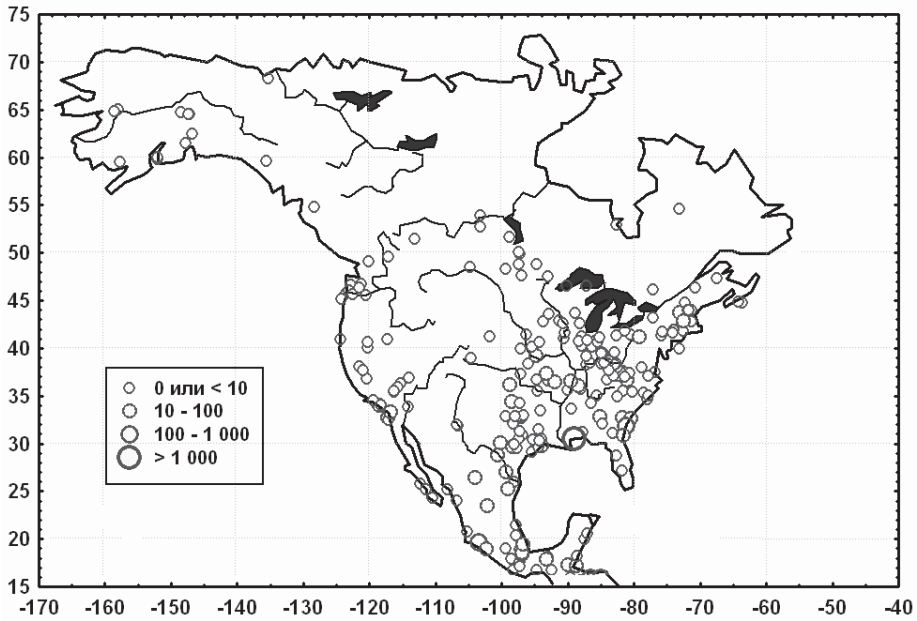


Рис. 3.8.18. Картодиаграмма числа смертельных случаев в результате наводнений на территории Северной Америки за 1998 – 2008 гг.



Рис. 3.8.19. Карта природных зон Северной Америки. Условными значками обозначены створы наблюдений за речным стоком (Добровольский, 2011б)

севернее отмеченной линии могут наблюдаться наводнения такого типа. Это скорее «потенциальная зона» наводнений первого типа (по нашей классификации). Отметим, что здесь же встречаются и наводнения ливневого типа. Интересно то, что зона половодий в Северной Америке спускается намного южнее, чем в Евразии – в частности, на территории России и Зарубежной Европы. Здесь зона половодий начинается с широты примерно мыса Гатеррас (южнее Вашингтона – широта примерно 37 градусов с.ш.).

Карта ареалов наводнений вследствие заторов и зажоров льда представлена на Рис. 3.8.15. Имеются 2 основных ареала этого типа: в районе вокруг Великих озер и на Аляске. Первый ареал, как и ареал половодий, расположен намного южнее, чем аналогичные ареалы в Евразии. Причиной этому являются более холодные весны по сравнению с веснами на тех же широтах на территории России и в Зарубежной Азии (в Зарубежной Европе наводнения типа заторов и зажоров льда не наблюдались в рассматриваемый период).

Северная Америка, в особенности территория США и Канады – регион, ущербы от наводнений в котором наиболее полно документированы. Поэтому представляет особый интерес картодиаграмма ущербов от наводнений всех типов на Рис. 3.8.16. Очевидно, что наибольшие ущербы приурочены к «углу» территории Северной Америки, ограниченному примерно долготой 100 градусов з.д. с запада, зоной Великих озер и реки Святого Лаврентия с севера, побережьем Атлантического океана с Востока и побережьем Мексиканского залива с юга. К востоку от этого региона находится территория Великих равнин, затем засушливых склонов Кордильер. Некоторое увеличение ущербов от наводнений наблюдается вблизи западного побережья США, в сельскохозяйственном поясе Канады, в прибрежных районах Мексики, Центральной Америки. Резко выделяется по своим ущербам Новоорлеанское наводнение 2005 года.

Картина «гуманитарных ущербов» от наводнений – в первую очередь, числа эвакуированных (Рис. 3.8.17) и смертельных случаев (Рис. 3.8.18) – сходна с картиной географического распределения материальных ущербов: очевидно выделяется указанный выше «угол» территории США. По числу смертельных случаев (более 1000 человек) не имеет себе равных Новоорлеанское наводнение 2005 года.

Карта природных зон Северной Америки (Рис. 3.8.19) помогает понять закономерности распределения наводнений и ущербов от них на территории Северной Америки. Так, зона наводнений вследствие снеготаяния приурочена в основном к зонам смешанных лесов, широколиственных лесов и тайги. По южным границам этих зон проходит основная граница между ареалами двух основных типов наводнений – паводков и половодий. В свою очередь, основной ареал наводнений в результате заторов и зажоров льда концентрируется вокруг Великих озер, то есть, в центре его лежит зона смешанных лесов.

Очевидно, что наибольшие ущербы от наводнений приходятся на наиболее развитые – восточные регионы США, приходящиеся на регионы,

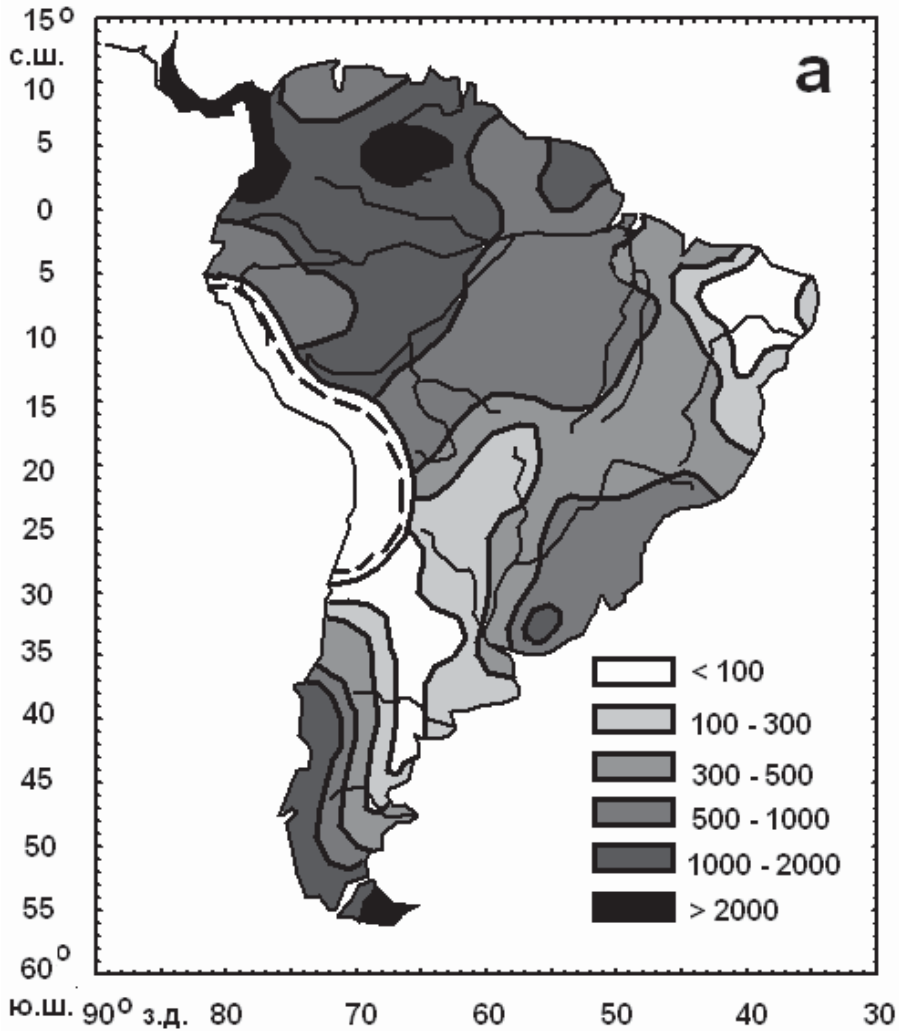
наиболее благоприятные для жизни людей. В основном это территории, изначально занятые зонами лесов – смешанных лесов (вокруг Великих озер и вдоль верхнего течения Реки Святого Лаврентия), расположенных к югу от этой зоны полосы широколиственных лесов и – еще южнее – зоны влажных и смешанных лесов. Частично зона основных наводнений и основных ущербов от наводнений захватывает сельскохозяйственные районы США в зонах лесостепей и степей умеренного пояса, а также в зоне лесостепей на юге Канады.

#### 3.8.4. Южная Америка



**Рис. 3.8.20.** Расположение центров (темные кружки) регионов крупнейших наводнений Южной Америки и карта природных зон континента.

Материк Южной Америки представляет особый интерес – в связи с тем, что это, в среднем, наиболее увлажненный материк мира, на котором расположена величайшая речная система мира – бассейна Амазонки. Южная Америка, наряду со своим антиподом – самым засушливым континентом мира Австралией – может, таким образом, служить моделью и «предельным вариантом» картины мировых наводнений, иллюстрирующим основные закономерности этого явления.

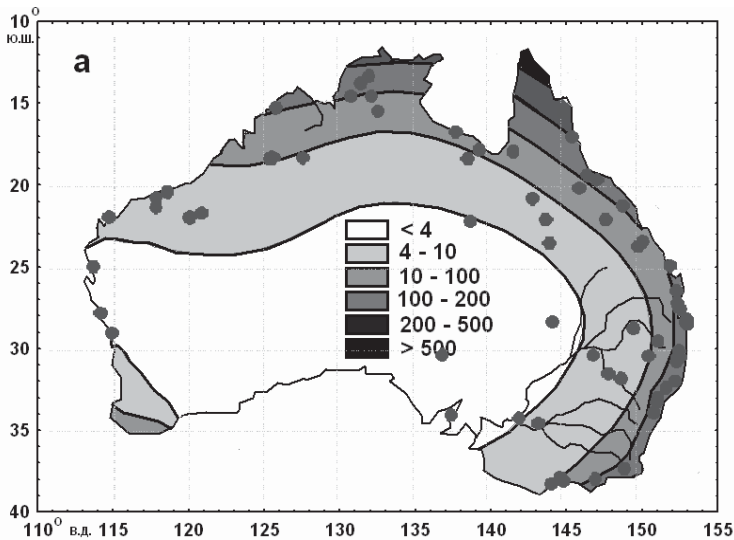


**Рис. 3.8.21.** Карта средних годовых значений слоя стока Южной Америки (в мм в год). Пунктирной линией обозначена территория, слабо освещенная данными наблюдений либо характеризующаяся значениями слоя стока менее 100 мм в год

Центры регионов наводнений показаны на Рис. 3.8.20. На этой же карте показаны природные (экологические) зоны континента. Весьма характерно то, что число наводнений в пределах самой увлажненной части материка – зоны влажных экваториальных лесов – минимально и составляет всего 5 – 6 наводнений (менее 3% от 190 наводнений нашей базы данных). Этот эффект, с одной стороны, является следствием слабой хозяйственной освоенности региона Амазонии, с другой стороны – почти постоянным избытком влаги («наводнение» как бы имеет место «всегда»). Наиболее частые наводнения на материке отмечаются в прибрежных зонах, а также вблизи границ полупустынь и более увлажненных зон. Сравнительно часты наводнения в зоне лесостепей, занимающих в Южной Америке сравнительно небольшую территорию к югу от зоны саванны и редколесья.

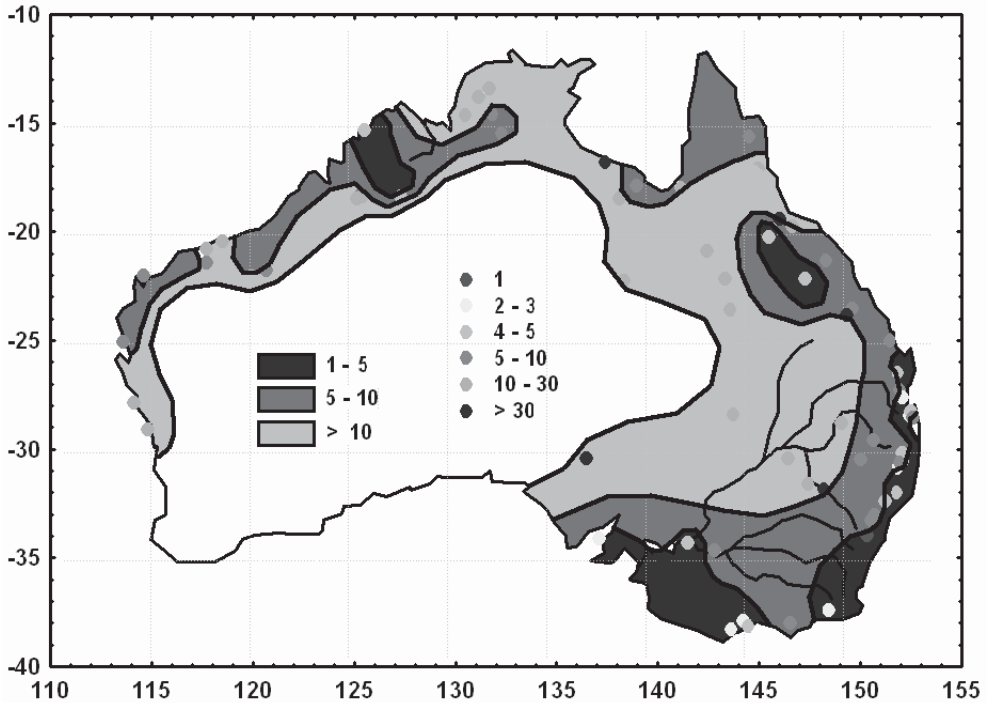
Представляет интерес сопоставление карты пространственного распределения наводнений с картой средних годовых слоев стока (Рис. 3.8.21). Основная зона увлажнения - территория с годовым слоем стока свыше 1000 мм характеризуется очень малым числом наводнений. С другой стороны, они не отмечаются и на наиболее засушливых территориях – со слоем стока менее 100 мм в год. Наибольшее число наводнений встречается на территориях с промежуточными условиями увлажненности – от 100 до 1000 мм в год.

### 3.8.5. Австралия



**Рис. 3.8.22.** Расположение центров регионов наводнений (темные кружки) на территории Австралии в 1998 – 2008 гг. На карте показаны также изолинии (по Добровольский, 2011б) среднего годового слоя стока в мм





**Рис. 3.8.23.** Карта длительностей наводнений (в сутках) на территории Австралии в 1998 – 2008 гг.

Как уже отмечалось, Австралия, наряду с Южной Америкой, представляет особый интерес в отношении природных факторов и параметров наводнений. Будучи наиболее засушливым материком мира, имея сравнительно небольшие размеры и сравнительно однородную по рельефу территорию, Австралия может служить своего рода «моделью» для изучения наводнений.

На Рис. 3.8.22 показано расположение центров наводнений на территории Австралии в 1998 – 2008 гг. – вместе с изолиниями среднего годового слоя стока. Очевидна «кольцевая» конфигурация зон наводнений вокруг пустынного центра материка, причем чем ближе к окраинам материка и чем больше увлажненность территории, тем больше, в среднем, количество наводнений.

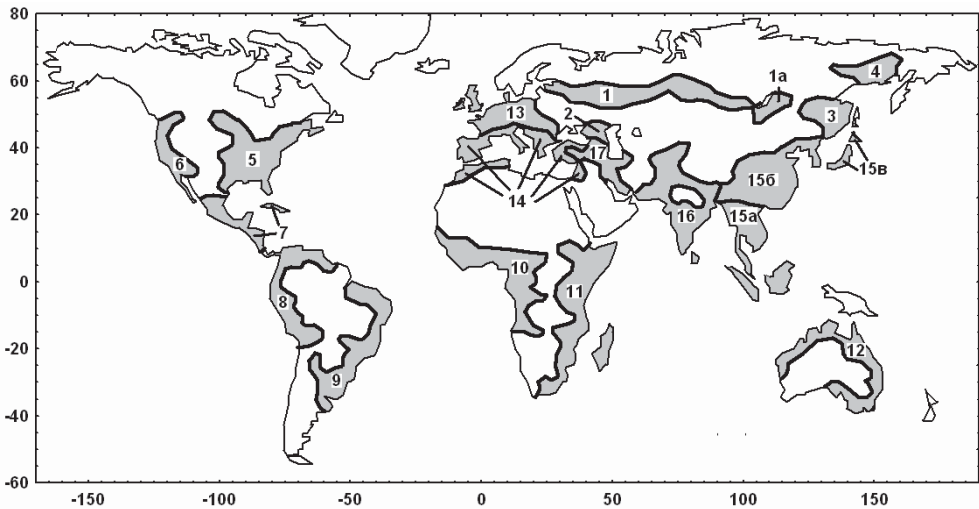
Любопытна карта на Рис. 3.8.23. Она демонстрирует тот факт, что в ближайшем к пустынному центру материка «кольце» наводнения хотя и редки, но более продолжительны, в то время как наводнения вблизи более увлажненных окраин материка более многочисленны, но менее продолжительны.

Наводнения Зарубежной Азии рассмотрены в следующем разделе.

### 3.9. Ареалы паводковых («ливневых») наводнений. Количественные особенности параметров наводнений и их динамика

#### 3.9.1. Общая картина ареалов наводнений паводкового (ливневого) типа

Наводнения паводкового (ливневого) происхождения – наиболее часто встречающиеся в мире; в России частота их возникновения примерно равна частоте наводнений половодного типа, однако и в нашей стране (как и во всем мире) на долю наводнений ливневого типа приходится подавляющая доля ущербов. Отметим также, что наводнения ливневого типа группируются в сравнительно четко выделяемые пространственные ареалы. На карте на Рис. 3.9.1, составленной в квадратной цилиндрической проекции, показаны очертания этих регионов наводнений; вне ареалов наблюдались лишь единичные события. (Ареалы наводнений в настоящем разделе более детализированы, чем в предыдущих).



**Рис. 3.9.1.** Основные ареалы наводнений вследствие экстремальных осадков в жидкой фазе. 1 – зональный российский; 1а – байкальский; 2 – северокавказский; 3 – дальневосточный; 4 – колымский; 5 – восточно-североамериканский; 6 – западно-североамериканский; 7 – карибский; 8 – западный южноамериканский; 9 – восточный южноамериканский; 10 – западно-африканский; 11 – восточно-африканский; 12 – австралийский; 13 – зарубежный европейский; 14 – средиземноморский; 15а – юго-восточный азиатский; 15б – восточно-азиатский; 15в – японский; 16 – индийский; 17 – средневосточный.

Из картосхемы на Рис. 3.9.1 видно, что 6 из 20 ареалов, №№ 1 – 3 и 5 – 6, расположены в пределах умеренной климатической зоны, колымский (№ 4) – в переходной к субполярной зоне, ареалы 15 а, б, в – в зоне муссонного климата, остальные – в субтропической, тропической и экваториальной зонах. Обращает на себя внимание вытянутость в широтном направлении основного ареала наводнений России (№1). Для дальнейшего обсуждения результатов анализа ущербов от наводнений будет существенно то, что ареалы наводнений расположены в пределах регионов с разным уровнем экономического развития: Ареалы 6, 5, 12, 13, 15в приходятся на страны с высоким уровнем развития экономики, остальные ареалы – на страны развивающейся экономики (ареал 14 включает территории как тех, так и других стран). С точки зрения социально-экономических последствий наводнений, особый интерес для отечественных читателей представляют ареалы 1 – 4, находящиеся в пределах РФ..

**Таблица 3.9.1.** Средние значения и среднеквадратичные отклонения (в скобках) параметров наводнений вследствие экстремальных осадков в пределах их основных ареалов. Жирным шрифтом выделены максимальные и минимальные значения

Ареал	Дата начала, календарн. месяц	Длительность, сутки	Ущерб, млн долл. США	Число эвакуированных, тыс	Число погибших
Зональный РФ	6,0 (1,0)	4,0 (6,0)	<b>0,5</b> (1,0)	<b>0,09</b> (0,17)	<b>1</b> (1)
Северный Кавказ	6,3 (2,0)	5,9 (8,0)	42 (133)	4,1 (19,6)	33 (54)
ДВ РФ	6,6 (1,3)	7,2 (7,6)	12 (17)	2,1 (7,7)	3 (4)
Прибайкалье	6,3 (0,7)	9,1 (9,9)	*	4,5 (8,7)	16 (7)
Колымский	<b>8,6</b> (0,8)	<b>1,5</b> (1,5)	6,9 (2,0)	0,2 (0,3)	–
Восток США	6,1 (2,7)	7,4 (6,4)	1188 (6802)	12,5 (58,9)	14 (93)
Запад США	7,3 (4,2)	8,5 (12)	217 (179)	1,7 (1,7)	3 (5)
Карибский	6,6 (1,3)	7,6 (6,9)	539 (1316)	48,3 (120,4)	136 (542)
Запад Ю. Амер.	5,1 (4,0)	<b>21</b> (28)	208 (464)	75,3 (175,7)	25 (47)
Восток Ю. Ам.	5,0 (4,0)	21 (25)	295 (660)	46,9 (110)	20 (31)
Запад Африки	7,0 (2,7)	19 (24)	12 (24)	35,5 (85,6)	19 (35)
Восток Африки	5,9 (4,0)	17 (21)	79,2 (177)	68,1 (168,5)	69 (353)
Австралийский	<b>4,0</b> (4,0)	11 (10)	98 (167)	1,2 (1,8)	1 (2)
Зарубеж. Европа	6,4 (2,6)	7,2 (7,1)	<b>1387</b> (3418)	11,6 (39,6)	7 (12)
Средиземн.	7,0 (3,5)	6,3 (9,8)	148 (419)	5,1 (14,3)	14 (72)
ЮВ Азии	6,6 (3,5)	11 (15)	101 (365)	137 (363)	<b>344</b> (5512)
Индия	7,0 (2,0)	17 (21)	701 (1354)	<b>1463</b> (4807)	186 (493)
Сред. Восток	5,1 (3,2)	5,8 (7,3)	471 (1453)	3,3 (4,8)	27 (90)
КНР и Корея	6,0 (1,0)	11 (14)	596 (2392)	310 (736)	84 (185)
Япония	7,4 (1,1)	4,3 (2,2)	33 (98)	30,8 (66,3)	15 (17)

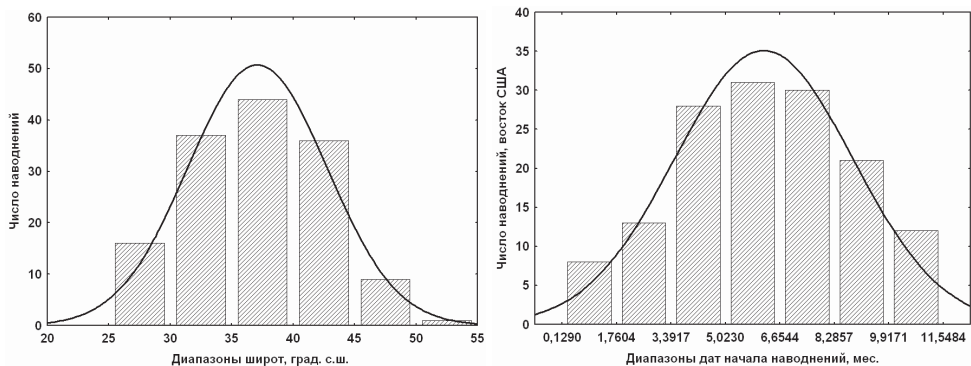
\* недостаточно данных для оценки; «–» - не зарегистрировано

В таблице 3.9.1 показаны средние значения и стандартные отклонения, в пределах каждого ареала, части параметров наводнений. В таблице обращает на себя внимание громадные, на 2 – 3 порядка, различия в показателях социально-экономических ущербов при намного меньших различиях в важнейшем природном параметре наводнений – их длительности.

### 3.9.2. Природные параметры ливневых (наводковых) наводнений

Остановимся более подробно на «природных» параметрах ливневых наводнений. К ним в настоящей работе относятся координаты центров регионов наводнений: даты начала наводнений, их длительность, площадь физических затоплений. Условно к природным параметрам отнесена и общая площадь региона, охваченного наводнением. Площадь такого рода региона по существу является «природно-административной» – технически подсчитывается путем суммирования площадей наименьших в иерархии административно-территориальных единиц, затронутых наводнением.

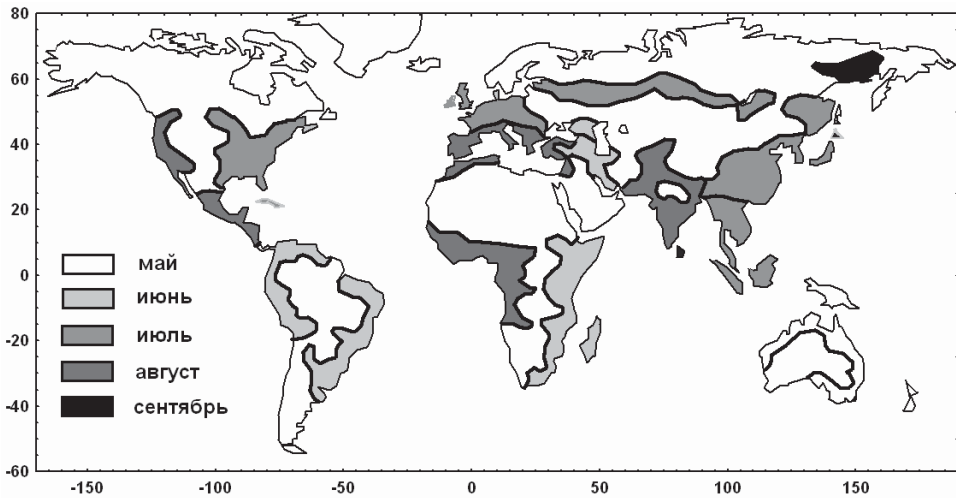
Вследствие того, что выделенные на Рис. 3.9.1 ареалы имеют различную площадь и конфигурацию, а число наводнений в каждом регионе неодинаково, характер гистограмм координат центров регионов наводнений может заметно варьировать. Однако в тех случаях, когда в регионе зарегистрировано сравнительно большое число наводнений, распределения центров координат по широтам и долготам тяготеет к симметричному. Это, кстати сказать, косвенным образом свидетельствует и о сравнительно адекватном выделении регионов наводнений.



**Рис. 3.9.2.** Гистограммы плотностей вероятности распределения числа наводнений по широтам (слева) и по датам начала наводнений (справа) для восточно-североамериканского ареала. Сплошная кривая соответствует плотности нормального распределения

В качестве примера на Рис. 3.9.2 (левый) показано распределение по широтам координат центров наводнений в восточно-североамериканском ареале – мы будем зачастую прибегать к данным по этому ареалу как к самым надежным.

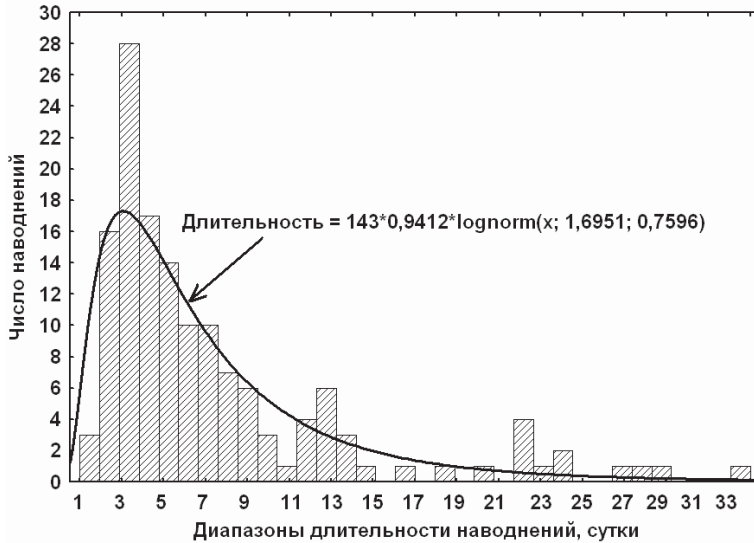
Сказанное о типах распределения координат относится и к распределениям дат начала наводнений: для ареалов с большим числом событий такие распределения тяготеют к нормальным (см. Рис. 3.9.2 правый). Более наглядно, чем в Таблице 3.9.1 (хотя и с меньшей точностью) данные по датам наводнений представлены на картограмме на Рис. 3.9.3. Картограмма свидетельствует о том, что по направлению с юга на север даты наступления наводнений, в общем, растут.



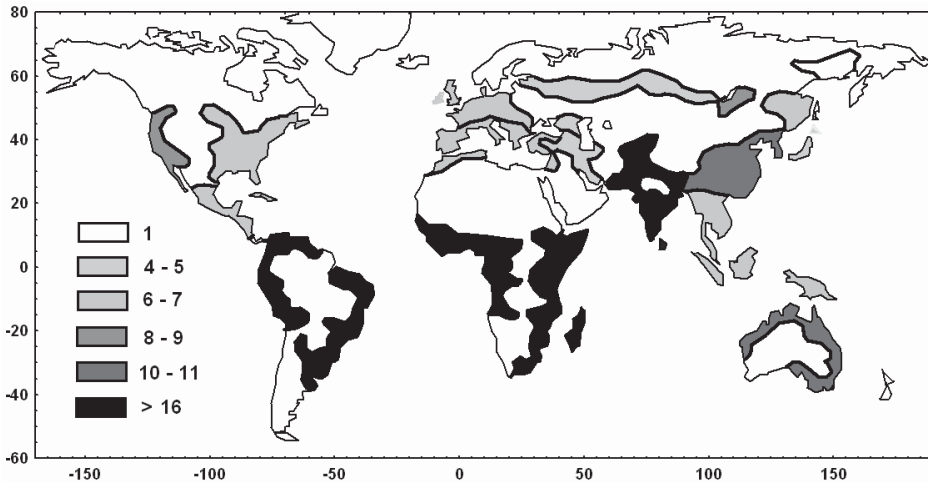
**Рис. 3.9.3.** Картограмма дат наводнений, осредненных по основным ареалам.

В отличие от координат районов наводнений и дат их начала, длительность наводнений распределена во всех ареалах резко асимметрично. Преобладающими типами распределений, удовлетворительно описывающими данные наблюдений, являются логнормальное и логэкстремальное. В качестве примера на Рис. 3.9.4 показано логнормальное распределение, подогнанное к гистограмме плотности вероятности длительности ливневых наводнений в восточно-североамериканском ареале. Вместе с тем, и среднее значение длительностей наводнений по ареалам – информативно и позволяет сделать определенные выводы. А именно, пространственное распределение этого параметра (см. картограмму на Рис. 3.9.5) свидетельствует об общем увеличении длительности наводнений в экваториальной и тропической зонах. Более того: построенный по пространственно-взвешенным координатам центров ареалов график зависимости длительности наводнений от широты сходен по форме с аналогичным графиком для стандартов этой характеристики –

Рис. 3.9.6а. Очевидно, что это сходство связано с ярко выраженной (линейной) зависимостью стандартов длительностей от самих длительностей (Рис. 3.9.6б). Коэффициент вариации длительностей наводнений, таким образом, в первом приближении является параметром, инвариантным по отношению к расположению, форме и площади ареалов; в среднем он составляет 1,3.



**Рис. 3.9.4.** Гистограмма длительностей наводнений паводочного типа в восточно-североамериканском ареале. Сплошная кривая – плотность вероятности логнормального распределения



**Рис. 3.9.5.** Картограмма средних длительностей наводнений ливневого типа для различных ареалов наводнений.

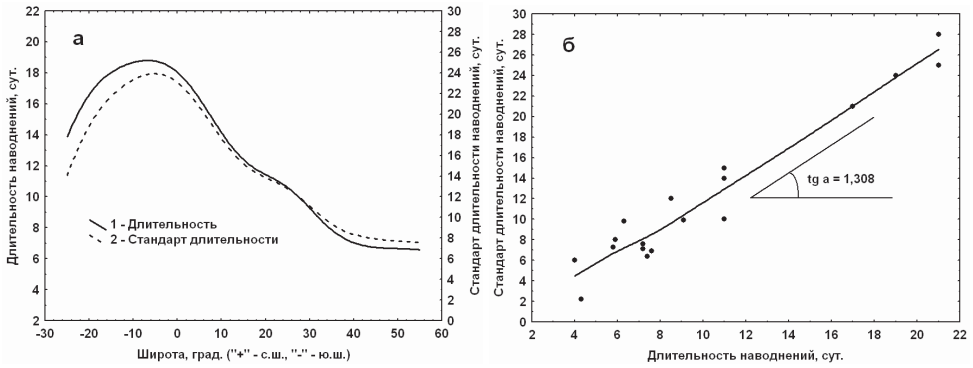


Рис. 3.9.6. а – зависимость средней длительности наводнений и ее стандарта от широты (график построен по данным для 20 ареалов. б – зависимость стандарта длительности от средней длительности. Кривые на рис. а, б построены путем осреднения по 20 ареалам методом наименьших средних квадратов

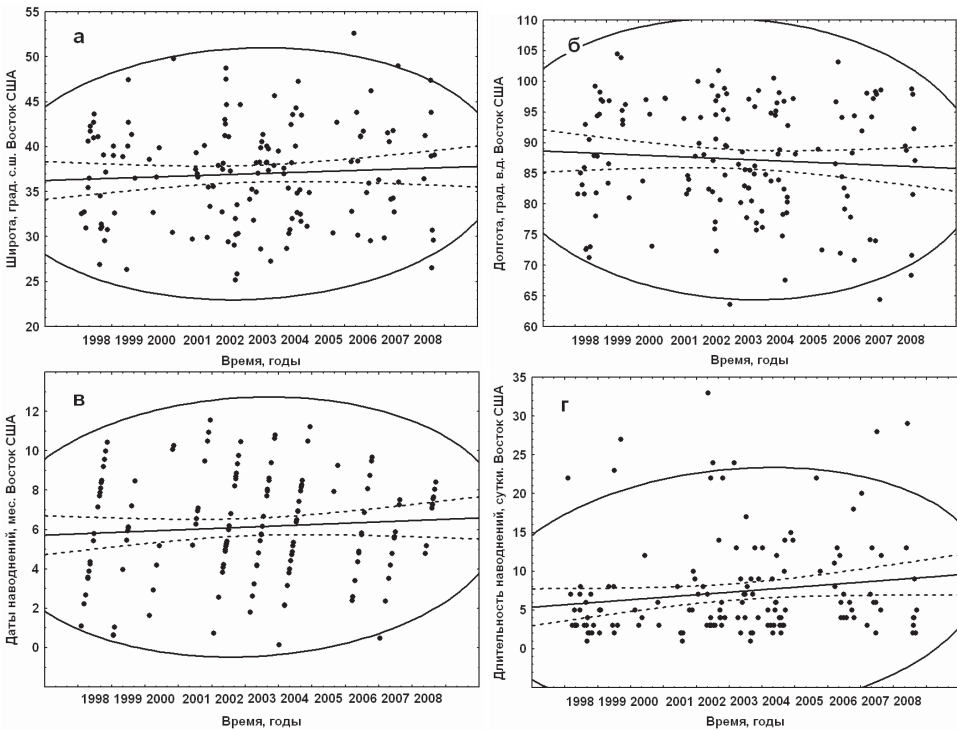
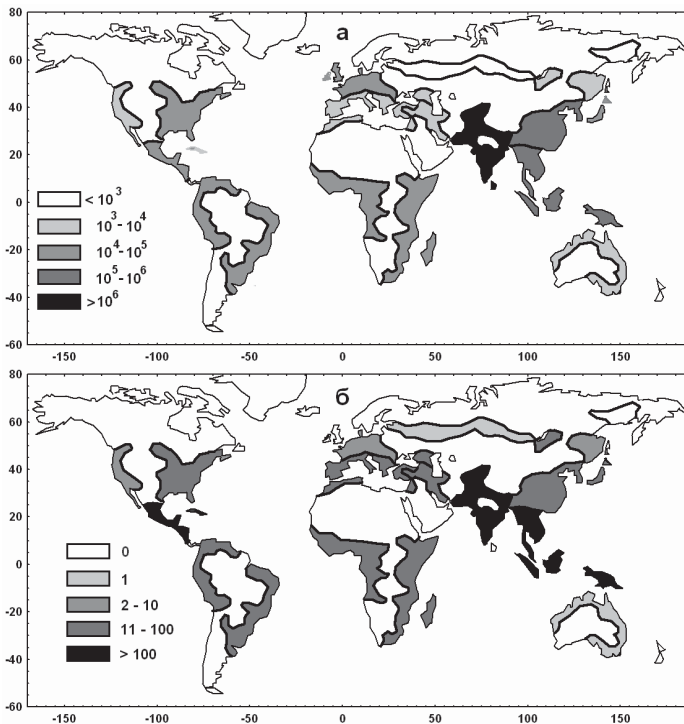


Рис. 3.9.7. Изменения во времени: а, б – координат центров регионов наводнений, в – дат начала наводнений, г – длительностей наводнений. Сплошные прямые – линейные аппроксимации, пунктирные – 95%-ные доверительные интервалы для них. Овалами обозначены 95%-ные эллипсы рассеяния. По данным для восточно-североамериканского ареала

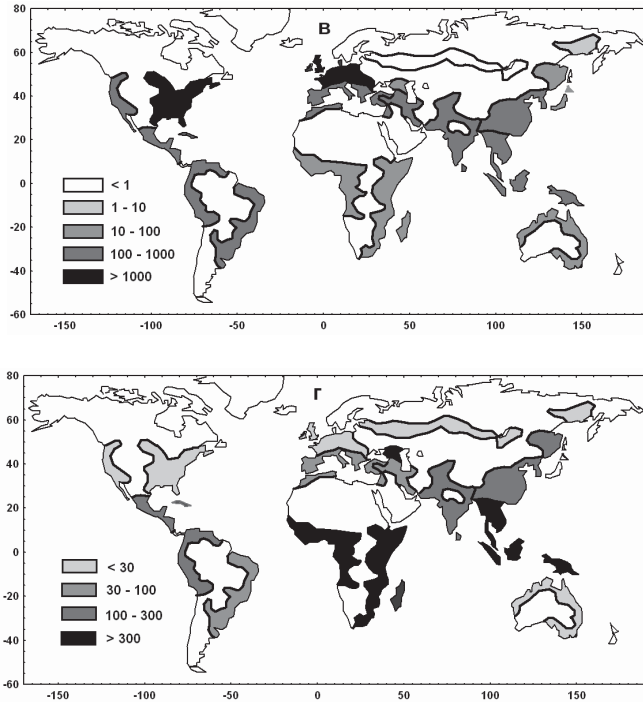
Существенный интерес представляют изменения параметров наводнений во времени. В последние десятилетия получили широкое распространение представления о существенном изменении характеристик природных катастроф, в том числе наводнений, вследствие антропогенного парникового эффекта. Наши данные, однако, не подтверждают эти предположения. В (Istomina, Dobrovolski, 2016) было показано, что изменения во времени различных характеристик наводнений, осредненных глобально, не демонстрируют статистически значимого монотонного роста или уменьшения. Результаты настоящей работы свидетельствуют о том, что и характеристики наводнений в отдельных ареалах не обнаруживают значимых изменений во времени. В качестве примера на Рис. 7 приведены хронологические графики четырех «природных» параметров наводнений для восточно-североамериканского ареала. Очевидно, что ширина эллипсов рассеяния и доверительные интервалы линий регрессии не позволяют говорить о «парниковых» или каких-либо других трендах характеристик наводнений.

### 3.9.3. Зависимости характеристик социально-экономических ущербов от природных параметров наводнений ливневого типа

Ущерб от наводнений рассматриваемого типа по основным ареалам (в среднем на одно наводнение) показаны на картограмме на Рис. 3.9.8.





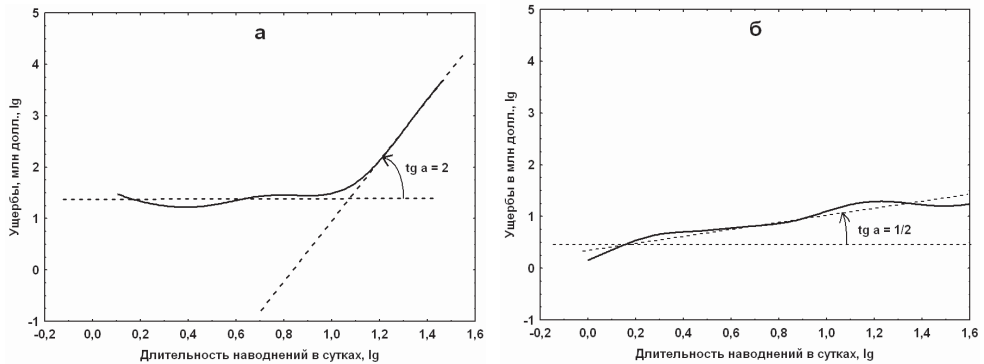


**Рис. 3.9.8.** а – число эвакуированных; б – число смертельных случаев; в – материальные ущербы в млн. долл.; г – число смертельных случаев на 100 млн. долл. ущерба.

Рисунок показывает, что наибольшие гуманитарные ущербы от наводнений характерны для ареалов, находящихся в тропическом и субтропическом поясах и приходящихся на страны развивающихся экономик. В то же время, характер пространственного распределения материальных ущербов от наводнений противоположен: наибольшие материальные ущербы, в расчете на одно наводнение, наблюдаются в экономически развитых регионах – в пределах США и зарубежной Европы. Различия в соотношении материальных и гуманитарных ущербов, между ареалами, наглядно видны на Рис. 3.9.8г, иллюстрирующем число погибших от наводнений ливневого характера в расчете на 100 млн. долл. ущербов.

Представляет интерес анализ зависимостей ущербов от основных природных параметров наводнений – их длительности и общей площади региона, охваченного явлением наводнения. Необходимо, прежде всего, отметить, что все показатели ущербов почти во всех ареалах обнаруживают статистически значимые зависимости как от длительности наводнений, так и от площади охваченных ими регионов. В большинстве случаев двумерные зависимости такого рода, в билогарифмических шкалах, описываются близкими к линейным или кусочно-линейным функциям (соответствующими степен-

ным или кусочно-степенным функциям в исходных шкалах). В то же время, различные параметры ущербов по-разному реагируют на длительность и площадь регионов наводнений в различных ареалах.



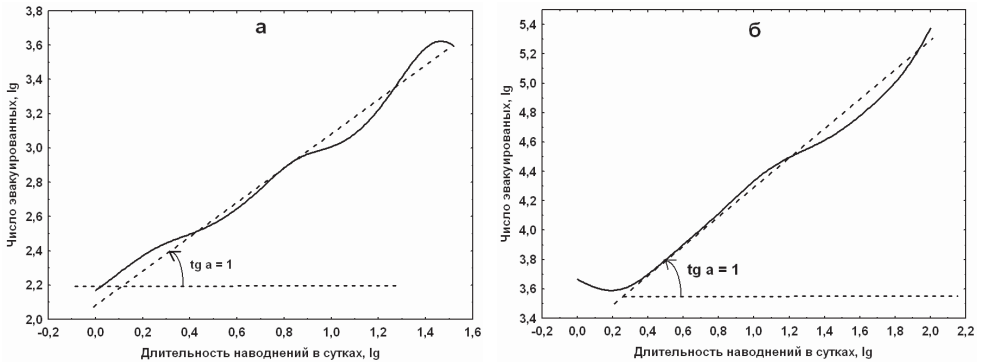
**Рис. 3.9.9.** Графики зависимостей ущербов в финансовом выражении от длительности наводнений. а – восточно-североамериканский ареал; б – юго-восточный азиатский ареал. Осреднение по всем наводнениям соответствующего ареала сделано методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов (сплошная линия)

Так, для графиков зависимости финансовых ущербов от наводнений в большинстве ареалов характерен медленный (с тангенсом угла наклона в билогарифмических шкалах менее единицы) рост ущербов с увеличением продолжительности наводнений. В то же время, в наиболее экономически развитых регионах зависимость ущербов от длительности наводнений практически не наблюдается вплоть до некоторых пороговых значений (порядка одной декады); при больших длительностях начинается быстрый рост ущербов – по закону, близкому к степенному, причем величина степени намного превосходит единичное – в восточно-североамериканском регионе близка к 2 (Рис. 3.9.9).

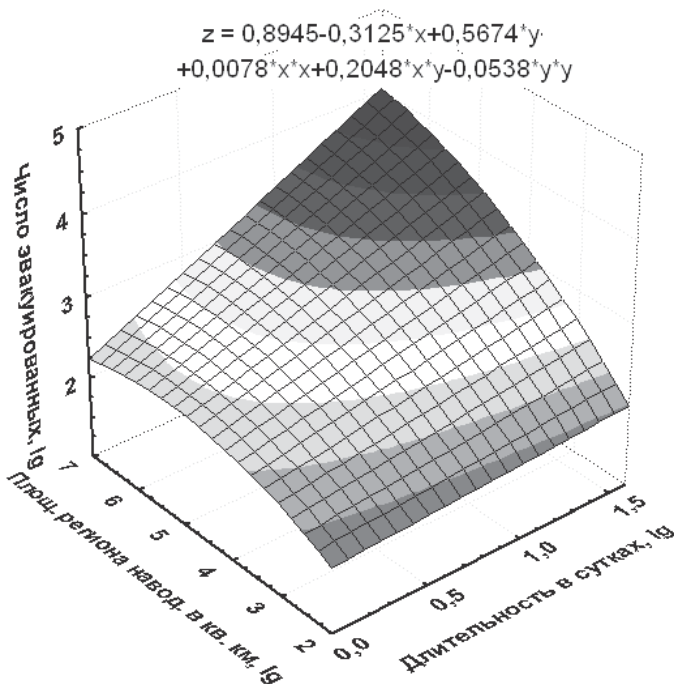
Иначе ведут себя зависимости гуманитарных ущербов от длительностей наводнений. В этом случае практически во всех регионах – в том числе расположенных в пределах наиболее экономически развитых стран – рост эвакуации начинается с наименьших длительностей наводнений, а характер кривых близок к линейному в билогарифмических масштабах. Различия между развивающимися и развитыми странами здесь заключаются в том, что аппроксимирующая линия во втором случае располагается намного ниже.

Линейными в билогарифмических – и степенными в исходных шкалах – характеризуются в большинстве ареалов и зависимости параметров ущербов от площадей регионов наводнений. Вместе с тем, между основными природными параметрами наводнений также существует положительная

связь. Таким образом, более полную картину взаимозависимостей природных параметров наводнений и характеристик социально-экономических ущербов



**Рис. 3.9.10.** Графики зависимостей числа эвакуированных от длительности наводнений. а – восточно-североамериканский ареал; б – юго-восточный азиатский ареал. Осреднение по всем наводнениям соответствующего ареала сделано методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов (сплошная линия)



**Рис. 3.9.11.** Зависимость числа эвакуированных от длительности наводнений и площади регионов наводнений (в логарифмических шкалах)

Линейными в билогарифмических – и степенными в исходных шкалах – характеризуются в большинстве ареалов и зависимости параметров ущербов от площадей регионов наводнений. Вместе с тем, между основными природными параметрами наводнений также существует положительная связь. Таким образом, более полную картину взаимозависимостей природных параметров наводнений и характеристик социально-экономических ущербов дают трехмерные графики указанных зависимостей.

Вследствие ограниченного объема статьи приведем график такого типа лишь для одного, но обладающего наиболее достоверной информацией ареала: восточно-североамериканского (Рис. 3.9.11). Аппроксимация значений гуманитарного параметра осуществлена методом полиномов второй степени; другие способы аппроксимации (методом наименьших средних квадратов, методом сплайнов и др.) давали сходный вид поверхности. Рисунок наглядно показывает, что зависимость параметра гуманитарных ущербов от каждого из аргументов делается более значимой при росте другого аргумента.

Укажем также на возможные направления будущих исследований наводнений. Представляется желательным осуществить аналогичный описанному выше анализ наводнений других генетических типов: половодий (основы такого анализа рассмотрены в (Добровольский, Истомина, 2006)), сгонно-нагонных (см. Гордеева, Малинин, 2012; Малинин и др., 2013) и других. Желателен совместный анализ социально-экономических последствий наводнений и других важнейших природных катастроф, связанных с водой, - засух. Предварительные оценки показывают, что эти, на первый взгляд противоположные, явления, объединяют некоторые общие закономерности, связанные с ролью этих катастроф в экономике и состоянии общества в регионах, отличающихся разным уровнем экономического развития.

### **3.10. Наводнения вследствие ледовых явлений на реках. Особенности динамики**

Наводнения вследствие ледовых явлений на реках (заторов, зажоров, наледей) не являются самыми многочисленными на территории России (занимают по частоте возникновения третье место после наводнений половодного и паводкового типа), однако, наряду с последними из перечисленных, представляют наибольшую опасность в отношении социально-экономических ущербов, приходящихся на каждое наводнение. Для того, чтобы сформулировать концепцию стратегии борьбы с последствиями наводнений в масштабе страны, необходимо иметь представление об общей картине наводнений каждого из основных генетических типов – в том числе наводнений вследствие ледовых явлений. В работе (Добровольский, Истомина, 2006)) были впервые приведены результаты анализа параметров навод-

нений рассматриваемого типа в масштабах РФ и в глобальном. В настоящем исследовании для расчетов привлечен намного (на порядок) больший объем информации, более детально анализируются закономерности параметров и их взаимосвязей.

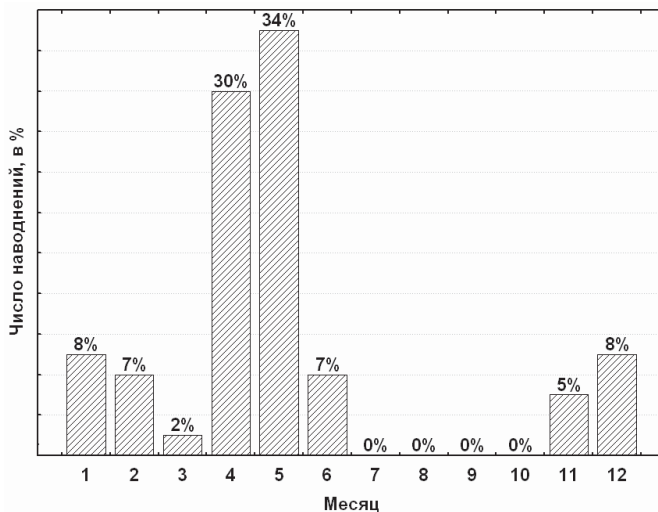
### 3.10.1. Природные параметры наводнений вследствие ледовых явлений

Наводнения вследствие ледовых явлений на реках составляют лишь около 3% от общего числа наводнений в мире, однако ущербы от наводнений рассматриваемого типа в России весьма существенны: так, за 1998 – 2010 гг. общее число пострадавших от них составило более 200 000 человек, а число затопленных и поврежденных зданий превысило 30 тысяч. На рис. 3.8.3 была приведена карта наводнений «ледового» типа на территории РФ за указанный период времени.

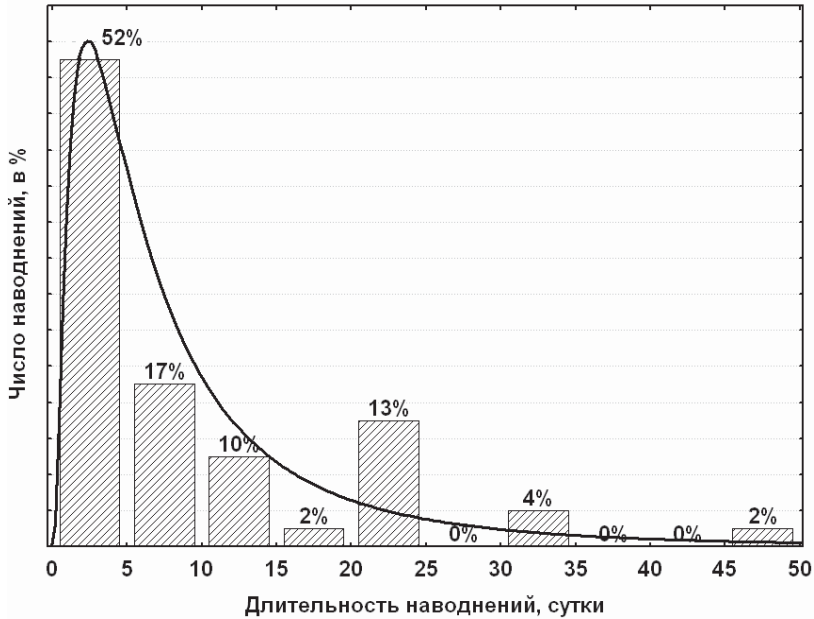
Основными ареалами наводнений вследствие ледовых явлений на реках были: 1 – «северо-западный» ареал европейской территории РФ, 2 – ареал верхних частей бассейнов Оби, Енисея и Лены, 3 – среднее и нижнее течение Енисея, 4 – средняя часть бассейна Лены. Вне отмеченных ареалов наблюдались лишь единичные наводнения рассматриваемого типа.

На Рис. 3.10.1 показана гистограмма сезонного распределения числа наводнений. Очевидно, что подавляющая часть наводнений приходится на апрель и май (64%), почти втрое меньший пик частоты наводнений наблюдается в зимние месяцы (23%).

Представляет интерес плотность вероятности длительностей наводнений (Рис. 3.10.2). В первом приближении она аппроксимируется логнормальным распределением (сплошная кривая на графике).



**Рис.3.10.1.** Гистограмма сезонного хода частот наводнений вследствие ледовых явлений



**Рис.3.10.2.** Плотность вероятности длительности наводнений ледового типа. Оценка по всем событиям 1998 – 2010 гг.

### 3.10.2. Параметры социально-экономических ущербов

**Таблица 3.10.1.** Параметры наводнений на территории РФ в 1998 – 2010 гг. вследствие ледовых явлений (заторы, зажоры, наледи)

Параметр	n	Среднее	Медиана	Максимум	Стандарт	Cs
Длительность, сут.	62	10,6	7,0	35	9,1	1,05
Площадь региона наводнения, кв. км	61	73550	13470	617000	120131	2,56
Население региона наводнения, чел.	61	131321	39000	1739611	264638	4,31
Затопленные здания	49	754	70	16775	2542	5,63
Число эвакуированных	42	2154	64	51595	8312	5,51
Число пострадавших	49	4672	275	96121	15519	5,02

Примечание. n – число событий, для которых имеется соответствующая информация

Наконец, в таблице 3.10.1 приведены статистические оценки не только основных «природных» характеристик, но и параметров социально-экономических ущербов от рассматриваемых наводнений. Обращает на себя внимание та же закономерность, которая характерна и для наводнений других типов: почти непрерывный рост коэффициента асимметрии при переходе от рассмотрения природных параметров наводнений к параметрам, являющимся предпосылками возможных ущербов (население региона наводнений) и собственно материальным (затопленные здания) и гуманитарным (эвакуации, общее число пострадавших).

Приведем также характерную зависимость числа эвакуированных от количества затопленных зданий (рис. 3.10.3). Представляется, что она может быть использована для экспресс-оценки гуманитарных ущербов – с использованием быстро оцениваемого параметра – числа затопленных зданий.

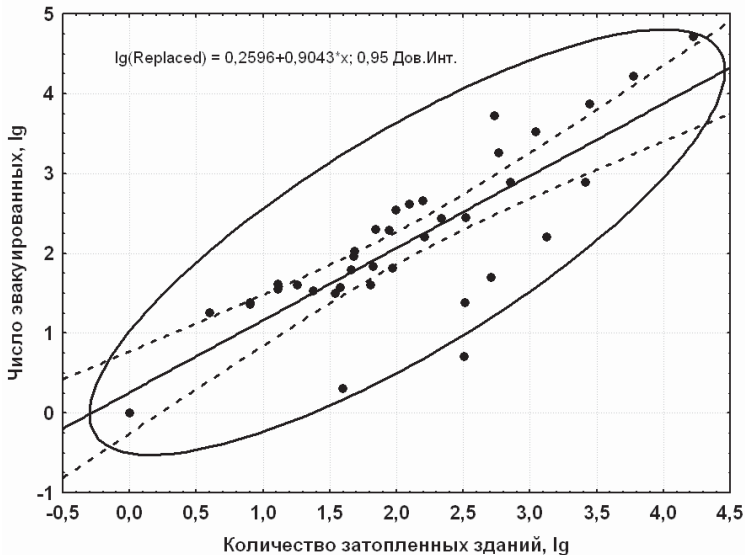


Рис.3.10.4. Зависимость числа эвакуированных от количества затопленных зданий

### 3.11. Понятие «засуха». Метеорологические и гидрологические засухи

Засухи, наряду с другими экстремальными явлениями естественного происхождения (наводнениями, землетрясениями, извержениями вулканов, штормами) относятся к числу наиболее опасных для человека явлений. Так,

по нашим оценкам за неполные 30 лет (с 1980 г. по 2008 г.) число людей, пострадавших от крупных засух во всем мире, превысило полтора миллиарда человек, а общие финансовые ущербы от крупных засух оценивались суммой порядка 800 миллиардов долларов.

В целом, засухам и маловодьям посвящено сравнительно большое количество научных работ. Можно в этой связи упомянуть объемистые труды представительной международной конференции «Экстремальные гидрологические события...» (Экстремальные..., 2003), издание «Экстремальные гидрологические ситуации» (Экстремальные..., 2010), работы (Domonkos et al., 2001; Dos Santos et al., 1999; Nicholls, 2004) и др. Однако, в основном перечисленные и другие работы посвящены засухам и маловодьям в пределах отдельных регионов и речных бассейнов. Вместе с тем, представляется, что в глобальном масштабе (в особенности в такой части мира, как развивающиеся страны) – изучены совершенно недостаточно.

Прежде всего, отличается неопределенностью сам термин «засуха». Существуют, по крайней мере, четыре его толкования: «сельскохозяйственная засуха» (связанная с уменьшением или гибелью урожая, с потерями домашних животных); «метеорологическая засуха» - уменьшение влажности поверхности суши, оцениваемое по метеорологическим параметрам; «гидрологическая засуха» (логически пересекающаяся с понятием «маловодье») – уменьшение влажности рек, озер и других гидрологических объектов. Однако, в большинстве случаев и в имеющихся базах данных о засухах, и в литературе используют скорее интуитивное понятие «засуха», фактически совмещающее в себе все три предыдущих варианта, но все-таки находящееся ближе к понятию «сельскохозяйственная засуха».

Уже сама множественность понятий «засуха» говорит о том, что нет четких критериев того, какое уменьшение увлажненности поверхности суши можно причислять к засухам. Целесообразно, на наш взгляд, использовать здесь опыт изучения «противоположных» (кстати, несколько лучше изученных) экстремальных явлений – наводнений (Добровольский, Истомина, 2006; 2009; 2016). Так же, как в случае с наводнениями, засухи имеет смысл рассматривать не столько, как естественное явление, сколько как комплексное природно-социальное явление. Иными словами, уточнением интуитивного понятия «засуха», на наш взгляд, может быть следующее описание этого явления: *«временное уменьшение увлажненности, приводящее к социально-экономическим ущербам»*. При этом под социально-экономическими ущербами естественно понимать повреждение или уничтожение материальных объектов, соответствующие финансовые ущербы, но в особенности – социальные и гуманитарные ущербы, выражающиеся в вынужденном переселении людей, в сопутствующих психологических травмах, а также в вызванных недоеданием и недостаточностью питьевой воды болезнях и смертях людей.

Нетрудно заметить, что и в такой трактовке, хотя и сужающей понятие «засуха» и делающей его несколько более четким, точная идентификация явления и точная оценка ущербов от него крайне затруднена. В развиваю-



щихся странах гуманитарные ущербы от засух зачастую трудно отделить от ущербов вследствие других событий: упадка экономики, войн, миграций населения, антисанитарного состояния поселений, эпидемий и т.д.

Изучение засух чрезвычайно затруднено вследствие крайне недостаточной информацией о явлении. В настоящей работе мы попытались осуществить комплексный подход к получению и анализу информации о засухах. А именно, для исследования засух в каждом из их трех основных аспектов, целесообразно проанализировать наиболее полные архивы соответствующих данных. Так, для анализа засух в интуитивном (скорее – «сельскохозяйственном») понимании явления мы использовали архив крупнейших засух Лувенского университета (International..., 2017), по возможности дополнив его. Для исследования динамики «метеорологических засух» и их связи с изменениями речного стока мы использовали данные по наиболее известному и рассчитанному в глобальном масштабе «индексу засух Пальмера» (PDSI) (Dai et al., 2004). Наконец, для изучения гидрологических засух и маловодий по данным наблюдений за речным стоком, мы использовали созданный нами архив данных по минимальному стоку, описанный в (Добровольский, 2011а,б).

В заключение вводной части отметим, что для соавторов раздела основной интерес представлял вопрос о динамике засух – то есть, об изменениях количественных параметров засух на протяжении последних лет и десятилетий. Методы анализа закономерностей изменчивости параметров во времени подробно описаны в двух последних упомянутых выше работах. Во многих публикациях как в научной, так и в научно-популярной литературе и в СМИ в последние годы часто фигурирует мнение об увеличении количества и увеличении ущербов от таких явлений, как засухи и наводнения, причем причина этого роста зачастую видится в глобальном парниковом эффекте и увеличении, вследствие этого, глобальной температуры воздуха. Одной из основных задач настоящего исследования была проверка, на основе количественных данных, этого предположения. В более общем аспекте целью работы было выявление наиболее значимых закономерностей количественных изменений параметров засух и маловодий во времени. Заметим, что в данной работе мы практически не касались такой, также чрезвычайно дискуссионной проблемы, как опустынивание. Временные масштабы опустынивания скорее всего превышают те масштабы времени, которые исследуются в настоящей работе, а сам процесс опустынивания нуждается в использовании в большей степени биогеографических и биолого-почвенных методов. Заметим также, что формальное отличие опустынивания от засух и маловодий заключается в постоянном, а не временном, кардинальном уменьшении увлажненности.

### ***3.11.1. Метеорологические засухи: изменения во времени индекса засух Пальмера в сопоставлении с изменениями речного стока***

Индекс засух Пальмера принадлежит к числу наиболее известных индексов, отражающих засушливость поверхности суши (Alley, 1984; Palmer,

1965). Его значения были рассчитаны в (Dai et al., 2004) для периода 1901 – 2000 гг., при помощи данных о метеорологических параметрах – как для всей поверхности суши, так и для крупнейших и наиболее характерных речных бассейнов мира (будучи осредненным по площади этих бассейнов).

Связь гидрологических засух с изменениями во времени степени засушливости в терминах «метеорологических» засух, таким образом, исследовалась нами путем сопоставления рядов стока в характерных речных бассейнах и рядов значений Индекса степени засушливости Пальмера (PDSI), осредненных по площади соответствующих бассейнов (данные из (Dai et al., 2004). Также, нами рассчитывались параметры изменений PDSI при помощи разработанных нами методов анализа временных рядов (Добровольский, 2011б).

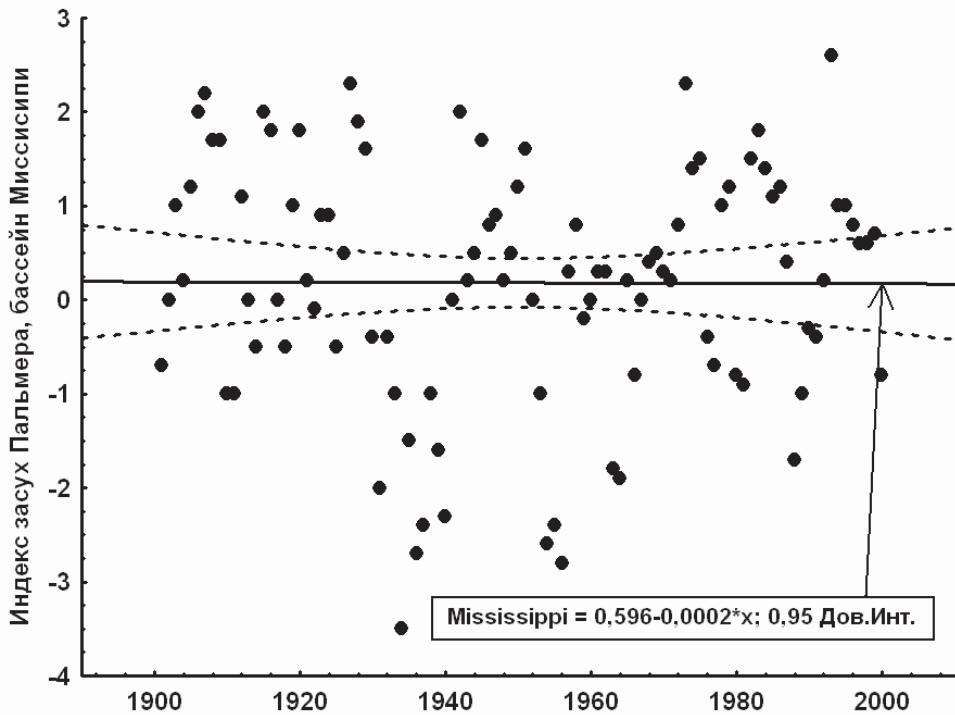
Для анализа были взяты бассейны, расположенные в различных природных зонах: от зоны влажных тропических лесов, саванны и редколесья (бассейны Амазонки, Ориноко, Конго и, в значительной степени Параны) до зоны тайги (Северная Двина, Лена). Кроме того, анализировалась информация по бассейнам умеренных широт: Миссисипи, Колумбии, Саскеханна, Янцзы и Ваерн-Готы. Прежде всего, необходимо отметить, что наблюдается существенная коррелированность между рядами PDSI и рядами годовых объемов речного стока: минимальное значение составляет 0,61 (для Лены), максимальное 0,82 (Саскеханна), среднее 0,725 при очень небольшом среднеквадратичном отклонении (0,06).

Имеется определенное сходство и между параметрами стационарности/нестационарности рядов стока и рядов индекса засух по средним значениям. Так, только один из исследованных бассейнов (Конго) обнаружил нестационарность, во введенных в (Добровольский, 2011б) терминах, что эквивалентно 6% случаев статистически значимой нестационарности. В то же время, средний эквивалентный процент нестационарных рядов PDSI составил 4%, что также не превышает ошибок метода. Не отмечается существенная нестационарность рядов PDSI и по стандартам, и по автокоррелированности.

В то же время, ряды PDSI отличаются от соответствующих рядов годового стока значениями коррелированности членов ряда смежных лет. Для стока изучаемых рек средняя величина составила 0,22, для рядов Индекса засух 0,53 при очень небольшом среднеквадратичном отклонении (0,10). Соответственно, абсолютно преобладают, при анализе рядов PDSI, модели авторегрессии первого и более высоких порядков. Сказанное свидетельствует о том, что в региональном масштабе, в отличие от глобального (рассмотренного в предыдущем разделе) засушливость территории может быть намного более инерционна во времени.

В качестве примера на Рис. 4.2.1 показаны изменения во времени индекса PDSI, осредненного по густонаселенному бассейну реки Миссисипи, в пределах которого расположен один из важнейших сельскохозяйственных районов мира. На этом рисунке обозначена также линейная аппроксимация

поля точек методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Очевидно, что в среднем на протяжении всего 20-го столетия рост индекса засушливости не наблюдался. Напротив, линейная аппроксимация дает небольшое уменьшение индекса засушливости:  $PDSI = 0,596 - 0,0002 T$ , где  $T$  – время в календарных годах. Вместе с тем, отмеченное падение индекса статистически незначимо – совершенно незначительно по сравнению с шириной доверительных интервалов для линии регрессии (показаны штриховыми линиями на Рис. 4.2.1).



**Рис. 3.11.1.** Изменения во времени значений индекса засух Пальмера, осредненных по площади бассейна Миссисипи. Сплошная прямая – линейная аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Штриховые линии обозначают 95%-ный доверительный интервал для линии регрессии

Приведем также количественные значения параметров, оцененных в результате анализа ряда на Рис. 3.11.1 и ряда стока Миссисипи в створе, близком к устью реки в г. Висксбург. Так, если коррелированность стока Миссисипи смежных лет в Висксбурге составляет 0,356 (значение для ряда, трансформированного в ряд выборочных значений гауссовских величин), то для ряда PDSI соответствующее значение 0,534. Коэффициент взаимной коррелированности двух рядов составляет 0,79. Индекс стационарности  $I_{SM}$  стоко-

вого ряда по средним значениям равен 1,697 (см. пояснения в (Добровольский, 2011)), что заметно превышает по модулю стандарт соответствующего значения для абсолютно стационарного ряда (единичный). В то же время, аналогичная величина для ряда PDSI равна -0,361 – то есть, не свидетельствует о нестационарности индекса засух. Не исключено, что отмеченное противоречие связано с тем, что индекс PDSI рассчитывался на протяжении всего 20-го века, в то время как ряд стока в Висксбурге охватывает период 1932 – 1997 гг. Также не подтверждают гипотезу о нестационарности ряда засух значения индекса  $I_{SS}$  стационарности по стандартам ряда (-1,087) и индекса  $I_{SR}$  стационарности по автокоррелированности (-0,043).

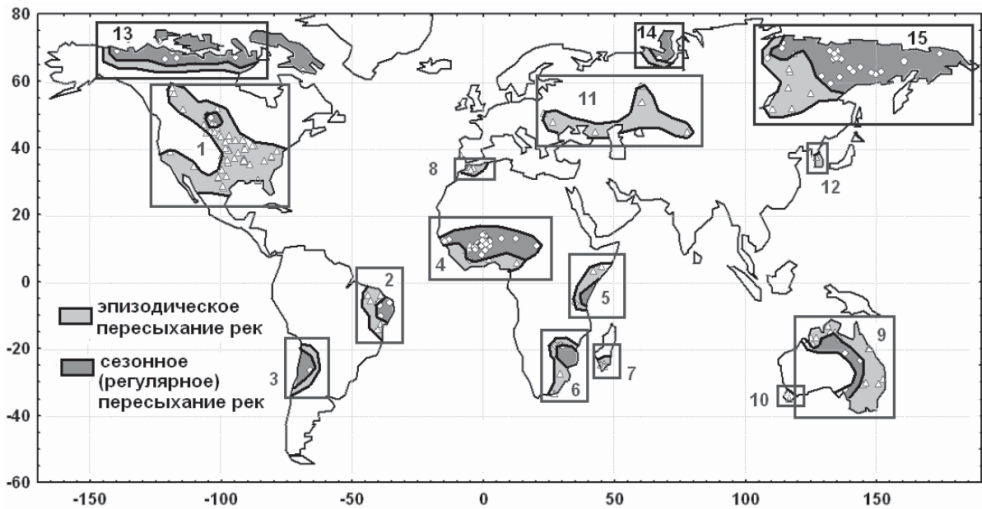
Естественно, что изменчивость индекса засух находится в сильной зависимости от характеристик водосборного бассейна – прежде всего, его площади. Так, коэффициент коррелированности между стандартами годовых значений PDSI и площадью бассейна по всем исследованным бассейнам составляет -0,80. С этим связана и отрицательная коррелированность стандартов PDSI и средними годовыми объемами стока: -0,74. Иными словами, изменения степени засушливости территории тем резче, чем меньше площадь территории – свойство, присущее естественной изменчивости увлажненности поверхности Земли.

### 3.11.2. Гидрологические засухи и маловодья

*Анализ базы данных по речному стоку.* «Гидрологические» засухи характеризуются длительными (хотя и временными) усыханиями водных объектов на поверхности суши. Таким образом, более частный вид гидрологических засух (но, по-видимому, и наиболее важный и наиболее опасный – тот, который исследуется в рамках настоящего проекта) – длительное уменьшение стока рек. В связи с такой трактовкой понятия «гидрологической засухи» имеется возможность более четко показать обоснованность использования глобального архива данных о маловодьях и засухах, который был сформирован автором в предыдущие годы и описан в монографии (Добровольский, 2011б). Напомним, что в основе нашего архива маловодий находятся данные многолетних (в основном, продолжительностью свыше 20 лет) наблюдений за годовым стоком и стоком наиболее маловодных месяцев в примерно 3000 створах на реках всех обитаемых материков.

Географическое распределение створов нашего архива по поверхности земного шара в определенной степени соответствует тому определению гидрологических засух в узком смысле слова, которое было введено выше. Характерный период, равный одному месяцу, с одной стороны, совпадает с временным интервалом нашего архива, а с другой стороны является характерным временем (или меньше характерного времени) засух, упоминаемым в большинстве исследований – «несколько недель или месяцев». Наше внимание было, в основном, сосредоточено на экстремальных гидрологических засухах – то есть, на ситуациях, когда река полностью пересыхает. В соответст-

вии с классификацией интенсивности гидрологических засух по Ханна, использующей «индекс засух, рассчитываемый по величине речного стока» (SDI), это засухи, индекс которых менее  $-2,0$ . В настоящей работе рассматриваются два типа экстремальных гидрологических засух. Первый – так называемые «сезонные» («ежегодные») экстремальные засухи, когда величина стока остается нулевой в течение как минимум одного месяца каждый год. Второй тип – «эпизодические экстремальные засухи», когда речной сток отсутствует в течение как минимум одного месяца за период 20 лет.



**Рис. 3.11.2.** Основные ареалы эпизодических и сезонных (регулярных) пересыханий рек в использованных в работе створах незарегулированных рек. Отрицательные значения широт и долгот соответствуют южным широтам и западным долготам. См. пояснения в тексте

На основе введенного нами понятия гидрологической (экстремальной) засухи в используемом в настоящем проекте смысле слова, а также на основе указанного архива данных, имеется возможность картографирования засух различного типа, возникающих в различных природных зонах. Так, нами была построена карта мира, на которой помещены ареалы экстремальных гидрологических засух двух упомянутых выше типов – периодического и эпизодического отсутствия стока на протяжении не менее месяца (Рис.3.11.2). В данном случае речь идет о реках с площадью бассейнов не более 50 тыс. км<sup>2</sup>, на изменения стока которых, предположительно, не оказывают влияния гидротехнические сооружения и другого рода хозяйственная деятельность на водосборах. Необходимо сразу же оговориться, что случаи нулевого стока рек Крайнего Севера (ареалы 13, 14, 15), нельзя трактовать как «засухи» – речь идет об отсутствии жидкого стока вследствие промерзания рек (хотя и

эти случаи могут создавать ущербы, в частности, для водоснабжения и для других видов хозяйственной деятельности).

Остальные случаи длительного отсутствия стока рек связаны именно с пересыханием и наблюдаются на всех обитаемых материках Земли в поясе широт от 35 градусов южной широты (юг Африки и юго-запад Австралии) до 60 градусов северной широты (Северная Америка и Евразия). В основном эти явления наблюдаются в зонах полупустынь, кустарниковых степей, саванн и редколесья, степей умеренной зоны, лесостепей, но охватывают и другие зоны – широколиственных, смешанных лесов, зоны климата средиземноморского типа и др. Ареалы собственно экстремальных гидрологических засух во введенном нами смысле слова можно разделить на два вида: 1) ареалы умеренного пояса, в основном – в Северной Америке, на территории Восточной Европы России, Центральной Азии (ареалы № 1, 11 на Рис. 4); 2) ареалы тропической и субтропической зон: Южная Америка (№ 2, 3), Африка (№ 4 – 8), Австралия (№ 9 – 10), Южная Азия (№ 12).

Существенным отличием ареалов засух умеренного пояса является то, что здесь крайне мал процент (точнее – только первые проценты) случаев периодических (ежегодных) засух. В ареалах субтропической и тропической зон процент случаев периодических засух значителен, а в основном африканском ареале засух (см. ниже) – они преобладают. Основной – как по площади, так и по количеству створов (49) – выделяемый (сомкнутый) ареал экстремальных гидрологических засух – в Северной Америке. Он охватывает полосу широт от 25 до 60 градусов с ш. и сегменты следующих природных зон: полупустынь умеренного пояса, кустарниковых степей, степей умеренного пояса, лесостепей, широколиственных лесов.

Второй выделяемый нами, документированный данными о стоке, ареал экстремальных гидрологических засух нетропических широт – в Евразии. Он охватывает территории Северного Причерноморья, Северного Кавказа, Северного Прикаспия и Приаралья, Южного и частично Центрального Урала, части территории Центральной Азии. Полоса широт ареала – от 45 до 59 градусов с. ш. Охватывает сегменты примерно тех же природных зон (за исключением зоны широколиственных лесов), что и Североамериканский ареал – от полупустынь умеренного пояса до лесостепей и даже фрагменты зоны тайги. Этот, Евразийский ареал значительно хуже освещен данными наблюдений, чем Североамериканский.

Основной ареал засух Южной Америки – на крайней восточной оконечности материка с ядром, находящимся на так называемой территории Каатинга. Полоса широт, занимаемая ареалом – примерно от 5 до 15 градусов южной широты, полоса долгот – от 35 до 45 градусов з. д. Природные зоны в ареале – кустарниковые степи, саванна и редколесье.

На территории материковой Африки, в отличие от Северной и Южной Америк, ареалы засух более фрагментированы: существуют 5 заметных ареалов. Основной ареал (как по площади, так и по числу створов) простирается от побережья Гвинейского залива на юге (около 5 градусов северной

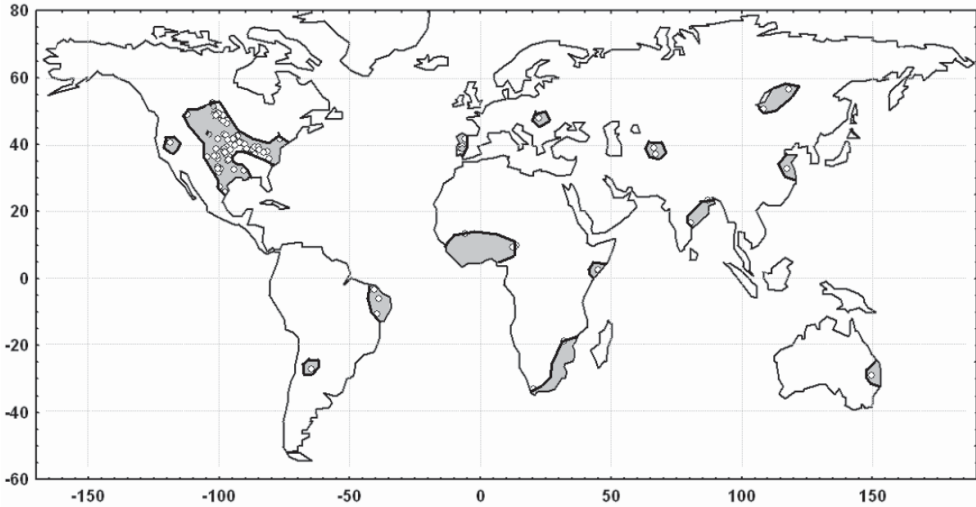
широты) до зоны Сахели на севере (около 15 градусов) и от западной оконечности Африки (около 15 градусов з.д.) до центра материка (около 20 градусов в.д.). Ареал включает в себя, в основном, зоны саванны и редколесья и кустарниковых степей. Второй ареал засух в Африке – в районе Африканского Рога и к югу от него (до широты примерно 5 градусов ю.ш.), охватывает фрагменты тех же природных зон, что и первый. Третий ареал приурочен к юго-восточной части Африки, занимает полосу широт от 15 до 35 град. ю.ш. и полосу долгот от 10 до 20 град. в.д. Кроме фрагментов зон кустарниковых степей, саванн и редколесья в ареал входят также фрагменты зон растительности средиземноморского типа и широколиственных лесов. Наконец, ареал засух отмечен, по данным о стоке, в Северной Африке (от побережья Средиземного моря до широты примерно 33 градуса с.ш.) и наблюдается в зоне Средиземноморского типа. Небольшой ареал засух – на юге Мадагаскара, в зонах тропических полупустынь, саванн и редколесья.

Основной ареал засух в Австралии охватывает материк как бы полукольцом с юго-восточной, восточной и северной частей континента, включает в себя большое количество типов природных зон – от тропических полупустынь до широколиственных лесов. Небольшой ареал засух – у юго-западной оконечности материка, в зоне климата средиземноморского типа.

Кроме экстремальных гидрологических засух на водосборах, сравнительно мало подверженных антропогенному влиянию на сток, за отчетный период исследовались также экстремальные гидрологические засухи в пределах водосборов, на которых существуют крупные гидротехнические сооружения и гидромелиоративные системы, способные заметно влиять на режим стока (Рис. 3.11.3). Отличительной чертой экстремальных гидрологических засух на водосборах такого типа является практическое отсутствие (лишь в 4 из почти 90 исследованных бассейнов) сезонных (ежегодных) экстремальных засух – возможно, вследствие особенностей географического расположения ареалов засух в «антропогенных» водосборных бассейнах. Как правило, водосборы такого типа приурочены к ареалам экстремальных гидрологических засух на «естественных» водосборах, перечисленных выше. Однако, распределение плотности створов с «антропогенными экстремальными засухами» иное: плотность створов велика в пределах Североамериканского ареала (64 водосборных бассейна с «антропогенными засухами») и существенно меньше в других ареалах. В ряде регионов документированные в архиве бассейны с «антропогенными экстремальными засухами» выходят за пределы ареалов «естественных экстремальных засух», отмеченных выше: на территории Китая, Индии, Пиренейского полуострова, где антропогенная нагрузка на речной сток чрезвычайно велика.

Таким образом, в общей сложности нами были рассмотрены 190 речных бассейнов, в которых наблюдались экстремальные гидрологические засухи (в соответствии с введенным выше определением таких засух). Из них в 41 бассейне тропического пояса наблюдались сезонные (ежегодные) засухи такого вида, в 33 бассейнах тропического пояса – эпизодические экстремаль-

ные засухи, в 49 бассейнах внетропического пояса – эпизодические экстремальные засухи и в 67 бассейнах, в основном внетропического пояса, - засухи такого же вида на зарегулированных реках. Рассмотрим вначале различия статистик стока в бассейнах тропического пояса, в которых наблюдались ежегодные – и эпизодические засухи. Если мода площадей бассейнов и в том, и в другом случае совершенно одинакова (5 тыс. квадратных километров), то



**Рис. 4.3.2.** Основные ареалы экстремальных засух (полного пересыхания рек) в использованных в работе створах зарегулированных рек. Отрицательные значения широт и долгот соответствуют южным широтам и западным долготам. См. пояснения в тексте

средний годовой слой стока существенно различался – соответственно 55 и 140 мм в год, а по моде – 30 и 100 мм в год. Заметно различие и по «индексу сезонности» (средний размах годовых колебаний месячных расходов, деленный на средний годовой расход реки): соответственно 4,6 и 3,0 (по моде различие еще более существенно: 5,0 и 2,7). Наиболее существенно различие, примерно в 5 раз, в среднем стоке с бассейнов этих типов: соответственно 0,44 и 2,36 кубокилометра в год (по максимальным расходам различие примерно в 8 раз: соответственно 2,05 и 15,9). Вместе с тем, различий в коэффициенте вариации годового стока практически не наблюдается: соответственно 0,74 и 0,78. Интересно то обстоятельство, что бассейны первого типа характеризуются отрицательными, в среднем, коэффициентами автокоррелированности годового стока со сдвигом 1 год: -0,15 (при стандарте этой величины 0,18). Напротив, в бассейнах с эпизодическими экстремальными засухами значения автокоррелированности слабоположительны – в среднем 0,12.



Представляет интерес сопоставление параметров трех основных типов бассейнов (и стока с них), в которых наблюдаются эпизодические экстремальные гидрологические засухи: (1) «естественных» бассейнов тропического пояса, (2) «естественных» бассейнов внетропического пояса и (3) «антропогенных» бассейнов (в основном – внетропической зоны). Средний годовой слой стока во всех трех случаях имеет один и тот же порядок: 140 – 160 мм в год. Индекс сезонности в бассейнах первого типа (в среднем 3,0) заметно выше, чем в бассейнах двух других типов (2,2 и 2,4 соответственно). Заметно отличие бассейнов по коррелированности годового стока смежных лет: в первом случае она составляет в среднем 0,12, в двух других случаях 0,23 и 0,29. Также велики различия в средней коррелированности минимального стока (стока наиболее маловодного месяца) смежных лет: соответственно 0,27; 0,34; 0,42. Приведенные цифры означают, что засухи в рассматриваемых внетропических «естественных» бассейнах в среднем продолжительнее, чем в аналогичных тропических бассейнах, а засухи в «антропогенных» бассейнах еще более продолжительны. Указанные особенности сказываются в структуре порядков процессов авторегрессии, которыми описываются ряды годового стока рек. В этом смысле бассейны тропического пояса кардинально отличаются от бассейнов внетропического пояса: если для первых абсолютно преобладают модели нулевого порядка, то в остальных случаях – модели более высоких порядков. Важными представляется также сравнение, для «естественных» и «антропогенных» внетропических бассейнов с экстремальными засухами, зависимостей основного параметра, характеризующего продолжительность длительных засух – коррелированности минимального стока смежных лет – от различных факторов. Для обоих типов бассейнов отмечается существенный рост коррелированности с ростом коэффициента вариации годового стока и индекса сезонности, а также существенное уменьшение автокоррелированности с ростом средних годовых объемов стока. Отличие бассейнов второго типа заключается в том, что уменьшение автокоррелированности с ростом среднего годового слоя стока начинается не с минимальных значений слоя стока, а примерно с 10 мм в год: на этом значении отмечается максимум автокоррелированности.

### *3.11.3. Характерные засушливые речные бассейны мира*

В рамках настоящего исследования был также осуществлен анализ речного стока и его изменчивости в пределах каждого из следующих крупных речных бассейнов, значительная часть территории которых приходится на засушливые регионы: Миссисипи, Колорадо, Рио Гранде, Нигер, Нил, Муррей-Дарлинг.

Бассейн МИССИСИПИ – наиболее полно охваченный данными наблюдений крупный речной бассейн умеренного климатического пояса, значительная часть территории которого приходится на засушливые территории

и в котором имеется большое количество эпизодических экстремальных засух как на «естественных», так и на «антропогенных» водосборах. По-видимому, вследствие этого бассейн, в среднем отличается аномально высокой автокоррелированностью как годового, так и минимального стока. Другое следствие экстремальных засух внетропического типа – аномальное преобладание моделей ненулевого порядка для описания годового стока незарегулированных рек. Интересной особенностью бассейна является и то, что в нем наблюдается аномально высокое количество рядов минимального стока, не соответствующей (по математическому ожиданию) концепции стационарных последовательностей. При этом число рядов минимального стока с положительной динамикой в 4 раза превосходит число створов с отрицательной динамикой.

Бассейн реки КОЛОРАДО имеет двойственную природу: часть его территории приходится на засушливые зоны внетропического пояса, а часть – на пустыни и полупустыни тропической зоны. По-видимому, в связи с этим в бассейне наблюдается аномальное преобладание моделей нулевого порядка при описании рядов минимального стока «естественных» рек. Вместе с тем, бассейн не относится к числу наиболее засушливых в Северной Америке: имеющимся в нем гидротехническим сооружениям, в среднем, удалось создать во второй половине 20-о века положительную динамику нестационарной части рядов минимального стока: они составляют две трети всех рядов минимального стока в бассейне.

Бассейн РИО ГРАНДЕ (мексиканское название реки – Рио-Браво) – наиболее засушливый из крупных речных бассейнов Северной Америки. Так же, как и бассейн Колорадо, бассейн Рио Гранде имеет двойственную природу: часть его (причем, более значительная в процентном отношении, чем в бассейне Колорадо) принадлежит к зонам тропических пустынь и полупустынь. Средний годовой слой стока в различных частях бассейна составляет лишь от 0,8 до 37 мм в год. Практически все водосборы и реки бассейна относятся к числу зарегулированных, причем структура порядков стохастических моделей стока разных видов типична для зарегулированных рек. Отличительной чертой бассейна Рио Гранде является то, что вследствие крайней засушливости территории гидротехническим сооружениям (в отличие от бассейнов Миссисипи и Колорадо) не удастся увеличить среднее значение минимального стока: в целом по бассейну минимальный сток не описывается стационарной, по математическому ожиданию, моделью, и имеет четко выраженную тенденцию к понижению во второй половине 20-го века.

Бассейн НИГЕРА – наиболее полно документированный в нашем архиве крупный засушливый бассейн мира. Он отличается причудливыми очертаниями и разделением на три части. Территории вблизи истоков реки находятся в пределах зоны саванны и редколесья и характеризуются сравнительно большой увлажненностью. Средняя часть бассейна находится в зоне кустарниковых степей, тропических пустынь и полупустынь. Нижнее течение Нигера опять входит в зону саванн и редколесья, а вблизи устья – в зону влаж-

ных экваториальных лесов. Особенностью стока в средней и даже в верхней части бассейна Нигера является то, что минимальный сток практически не участвует в формировании годового стока и не коррелирован с ним. Интересно также то, что многолетние изменения минимального стока в средней и верхней частях бассейна существенно более стационарны, чем изменения годового стока. В целом, для бассейна Нигера присущи очень высокие значения индекса сезонности (4,49), характерные для зон сезонно пересыхающих рек.

Бассейн НИЛА в очень значительной своей части находится в пределах пустынных и полупустынных территорий. В отличие от бассейнов Нигера (где изменения минимального стока в основном стационарны) и Рио Гранде (где имеется ярко выраженная нестационарность минимального стока с отрицательным знаком), гидротехническим сооружениям в бассейне Нила удается создать положительную динамику (нестационарных) изменений минимального стока ниже крупных водохранилищ. В этом отношении бассейн Нила более сходен с рассмотренным выше бассейном реки Колорадо. Другой особенностью стока рек бассейна Нила является ярко выраженный рост автокоррелированности и порядков моделей авторегрессии при продвижении с юга на север – в более пустынные территории.

Бассейн МУРРЕЯ-ДАРЛИНГА – крупнейший в Австралии и в то же время расположенный на крайне засушливой территории. Средний годовой слой стока в бассейне в 1950-е – 1990-е годы оценивается величиной всего в 8 мм в год. Около половины территории бассейна занята водосборами пересыхающих рек. Наш анализ продемонстрировал интересные особенности бассейна Муррея-Дарлинга. Так, по литературным данным объем безвозвратных изъятий в бассейне оценивается величиной 42 – 80%. Однако, осуществленный нами анализ параметров стационарности-нестационарности при помощи предложенной нами методики показал, что ряды годового и максимального стока не претерпели статистически значимых изменений средних значений во второй половине 20-го века. Более того: ряды минимального стока продемонстрировали определенный рост. Приведенные данные означают, что антропогенная деятельность в бассейне в целом не увеличила его «гидрологическую» засушливость, а ситуацию наиболее маловодных месяцев даже смягчила. Другой интересной и необычной особенностью этого засушливого бассейна является то, что двумерная осредненная по всем створам зависимость среднего годового объема стока от среднего годового слоя стока не прослеживается, однако на трехмерном графике (объем стока как функция и площади бассейна, и слоя стока) существует четкая зависимость объемов от слоя стока. Это явления является следствием своеобразного расслоения трехмерного графика.

Попытаемся сформулировать ряд выводов последних разделов – учитывая при этом, что количественный анализ параметров засух и их динамики в глобальном масштабе, с нашей точки зрения, находится лишь в начальной стадии.

- Порядок ущербов от засух, в глобальном масштабе, представляется сопоставимым с порядком ущербов от наводнений.
- Изменения количеств крупнейших засух в мире, ущербов от них (абсолютных и в расчете на одну засуху), числа пострадавших от засух людей (абсолютных чисел и в среднем в расчете на одну засуху) за последние несколько десятков лет не обнаруживают статистически значимого роста или понижения.
- Наиболее теплый, в глобальном масштабе, год (1998) не был «выдающимся» ни в том, что касается количества крупнейших засух, ни, тем более, в отношении ущербов от засух и числа пострадавших людей.
- Годовые индексы «метеорологических засух» Пальмера, рассчитанные в среднем по площадям характерных речных бассейнов мира, обнаруживают заметную коррелированность со стоком соответствующих главных рек бассейна в створах, близких к устью. Таким образом, подтверждается существование определенной связи между «метеорологическими» и «гидрологическими» засухами. Вместе с тем, индексы засух в значительно большей степени автокоррелированы, и описываются (в отличие от рядов годового стока соответствующих рек) моделями авторегрессии ненулевых порядков.
- В большинстве рассмотренных бассейнов изменения индексов метеорологических засух Пальмера не проявляют свойств нестационарности ни по средним значениям, ни по автокоррелированности, ни по стандартам годовых значений. Однако, не всегда стационарность индексов засух соответствует свойствам речного стока бассейна (пример – бассейн Миссисипи).
- При рассмотрении эволюции во времени «экстремальных гидрологических засух» (полного пересыхания рек на протяжении не менее одного месяца) просматривается разница между тропическим и субтропическим поясами с одной стороны и умеренным поясом Земли – с другой стороны. В первом случае высок процент так называемых «регулярных сезонных» засух, в то время как во втором случае основную роль играют «эпизодические» гидрологические засухи.
- Вместе с тем, коррелированность во времени рядов минимального стока в тропических и субтропических ареалах экстремальных гидрологических засух меньше, чем аналогичный показатель в ареалах экстремальных засух умеренного пояса.. Соответственно, различны и преобладающие стохастические модели: нулевого порядка в первом случае, ненулевые – во втором.

### 3.12. Сельскохозяйственные засухи

Как было отмечено в начале главы, общепринятое понятие «засуха» ближе всего к понятию «сельскохозяйственная засуха». Под последней можно подразумевать временное уменьшение увлажненности, приводящее к ущербам, которые выражаются прежде всего к уменьшению или потере урожая, болезням и гибели домашних животных – в результате к социальным и гуманитарным ущербам. К перечисленным видам ущербов вследствие сельскохозяйственных засух примыкают и ущербы вследствие недостатка питьевой воды для людей, ухудшения ее качества, распространение эпидемий, заболевание или гибель людей. Наибольший объем имеющейся о засухах информации связан именно с засухами в том понимании, о котором речь шла выше.

Наиболее кардинальный вопрос, возникающий при изучении явления засух – какова динамика засух? Не только в СМИ, но и в научной литературе широкое распространение получили представления о том, что наблюдающееся в последние десятилетия глобальное потепление сопровождается усилением засух (как и наводнений), - и о том, что эти явления будут ускоренно развиваться в будущем. Таким образом, одной из основных задач настоящего исследования была проверка этой гипотезы.

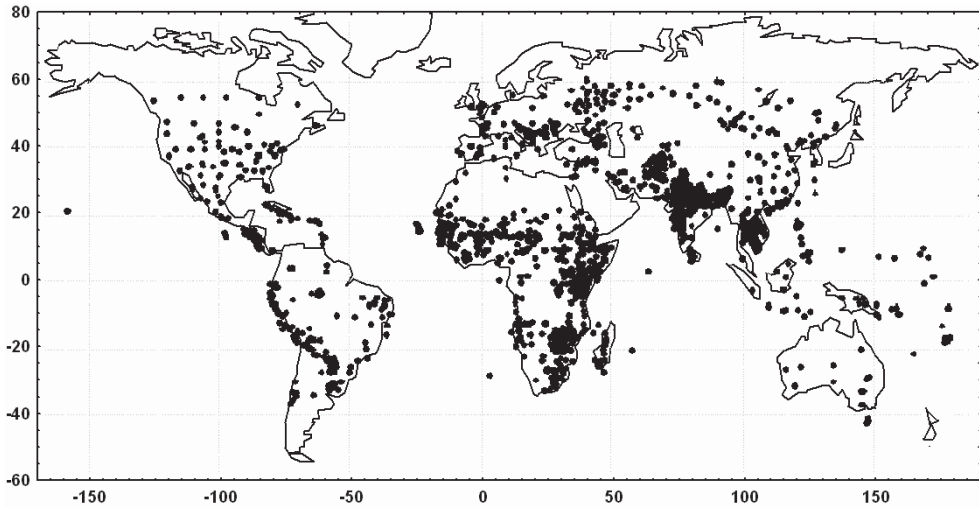
Другими задачами, связанными с первой, но имеющими и самостоятельное значение, являются – подробный анализ вероятностных свойств каждого из доступных параметров засух, построение стохастических моделей временных рядов этих параметров, выявление взаимосвязей между различными параметрами засух – как «естественными», так и параметрами социально-экономических ущербов. На первом этапе выявлялись наиболее общие – действительно глобальные – закономерности, детализировать которые в плане отдельных регионов засух предполагается на протяжении последующих исследований.

#### 3.12.1. Исходная информация

Для достижения поставленных в работе целей в лаборатории глобальной гидрологии ИВП РАН создана (постоянно совершенствующаяся) электронная база данных по засухам мира. Для ее наполнения были использованы все доступные источники информации: научная литература, данные Интернета, информация СМИ, база данных Лувенского католического университета (Бельгия) (International..., 2016), личная база данных авторов раздела и др. Конечный вид базы данных – иерархический набор электронных таблиц в

формате фирмы Статсофт, позволяющих использование программной среды Статсофт и других прикладных программ – в основном, разработанных руководителем проекта.

В общей сложности в базу данных вошла информация более чем по 2400 локациям засух за период 1900 – 2016 гг., в принципе соответствующих приведенному выше определению (см. карту на рис. 3.12.1).



**Рис. 3.12.1.** Географическое положение центров локаций засух, 1900 – 2016 гг.

В базе данных, кроме буквенных переменных, фиксировались следующие числовые параметры:

- широта и долгота центров районов (локаций) засух,
- время начала и завершения засухи (в месяцах и годах),
- материальный – финансовый – ущерб от засухи в сопоставимых денежных единицах с учетом инфляции,
- общее число пострадавших от засухи людей,
- число погибших.

В общей сложности был охвачен период с конца 19 века до первых месяцев 2016 года, однако наиболее подробная информация имеется за последние примерно 40 лет: с середины 1970-х годов до 2015 года включительно. При этом не для каждого района засухи (локации) имелся полный набор параметров.

В качестве буквенных параметров в базе данных имеется информация о названиях географических пунктов (населенных пунктов или местностей), в которых наблюдалось явление, названия соответствующих стран, сведения об экономико-демографической ситуации в соответствующей стране (численность населения, ВВП и др).

Как показывает картосхема на рис. 3.12.1, явления засух встречались в поясе от примерно 40 градусов южной широты до – приблизительно – 60 градусов северной широты. Более подробный анализ географического положения регионов засух будет дан в одном из последующих разделов.

Для анализа закономерностей изменений параметров засух и характеристик ущербов от засух использовались методы, описанные в главе 1, а более подробно – в работах (Добровольский, 2011а,б).

### 3.12.2. Природные параметры сельскохозяйственных засух

**Географическое положение районов засух.** Как указывалось, расположение центров районов засух (локализаций) показано на рис. 3.12.1. Карта на этом рисунке показывает, что пространственное распределение засух крайне неравномерно. Регионы наиболее частых засух: полуостров Индостан, часть территории Пакистана и примыкающей территории Афганистана в Евразии, зона Сахели, восточная и юго-восточная части Африки.

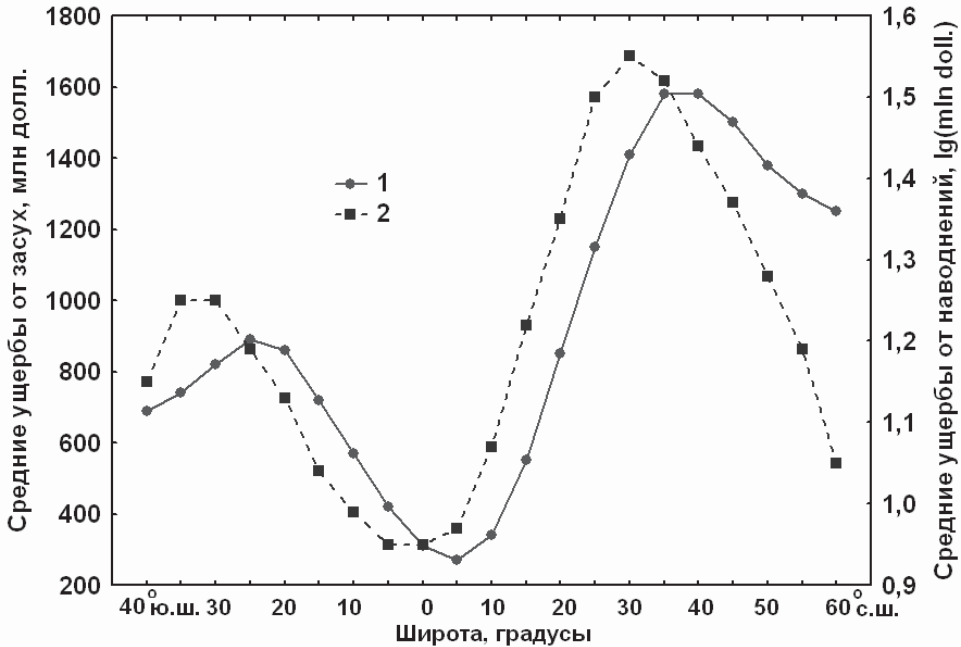
Засухи почти не фиксировались для бассейнов Амазонки и Конго, а также для регионов Сахары, пустынь Аравийского полуострова и Центральной Азии. Наконец, отсутствовали упоминания о засухах севернее примерно 60 градусов северной широты и южнее примерно 40 градусов южной широты.

Интересно то, что имеется определенное сходство, в глобальном масштабе, пространственного распределения основных регионов засух и наводнений – казалось бы, «противоположных» друг другу явлений. Действительно, и те, и другие катастрофические явления практически не происходят ни в максимально увлажненных регионах (бассейны Амазонки, Конго и т.п.), ни в наиболее пустынных регионах.

Карта на рис. 3.12.1 не дает представления об интенсивности засух. Забегая вперед, представим (на рис. 3.12.2) широтное распределение средних ущербов от засух за период 1976 – 2015 гг., лучше освещенный данными. На этом же рисунке помещен график широтного распределения ущербов от наводнений. Как это ни парадоксально, в общих чертах два графика демонстрируют общие черты широтного распределения ущербов (а, значит, и интенсивности) двух типов явлений.

А именно: абсолютные минимумы двух кривых приходятся на полосу приэкваториальных широт (между 5 градусами южной и северной широты); максимумы приходятся на полосу 25 – 35 градусов соответственно северных и южных широт. При этом кривая засух (1) незначительно, в глобальном

масштабе, смещена относительно кривой наводнений (2) на 5 – 10 градусов к северу – как в северном, так и в южном полушарии.



**Рис. 4.4.2.** Изменения по широте средних значений ущербов от засух (1) и наводнений (2)

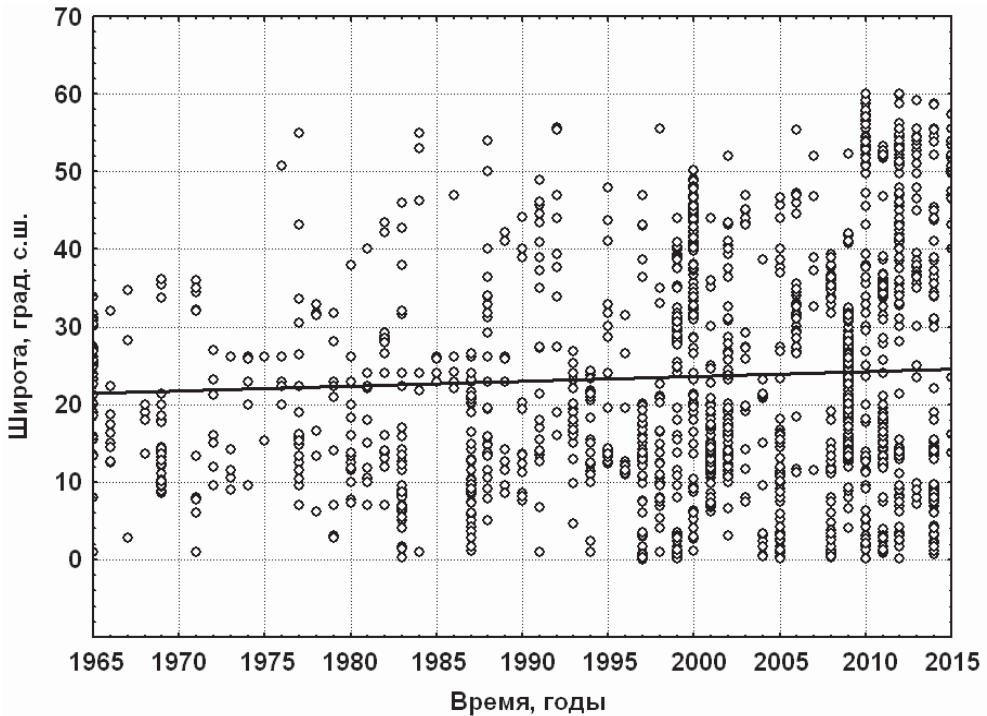
Указанное сходство свидетельствует о том, что оба типа катастрофических явлений имеют не только (может быть, не столько) природные, сколько социально-экономические причины. Действительно: как приэкваториальные, так и субполярные области Земли обладают скудным населением и слабо развитой экономикой. Наоборот, полоса 25 – 40 градусов в обоих полушариях отличается повышенной плотностью населения.

**Изменения во времени координат центров районов засух.** В соответствии с распространенным мнением о значительном влиянии глобального потепления на явления засух, в принципе основные «пояса засух» должны были бы с течением времени заметно продвигаться на север в северном полушарии и на юг в южном полушарии.

Для проверки этого предположения нами были проанализированы изменения во времени широт центров районов засух за последние 40 - 50 лет, то есть, именно за тот период, на протяжении которого наблюдалось значи-



тельное увеличение глобальной температуры воздуха.(приписываемое большинством исследователей парниковому эффекту).

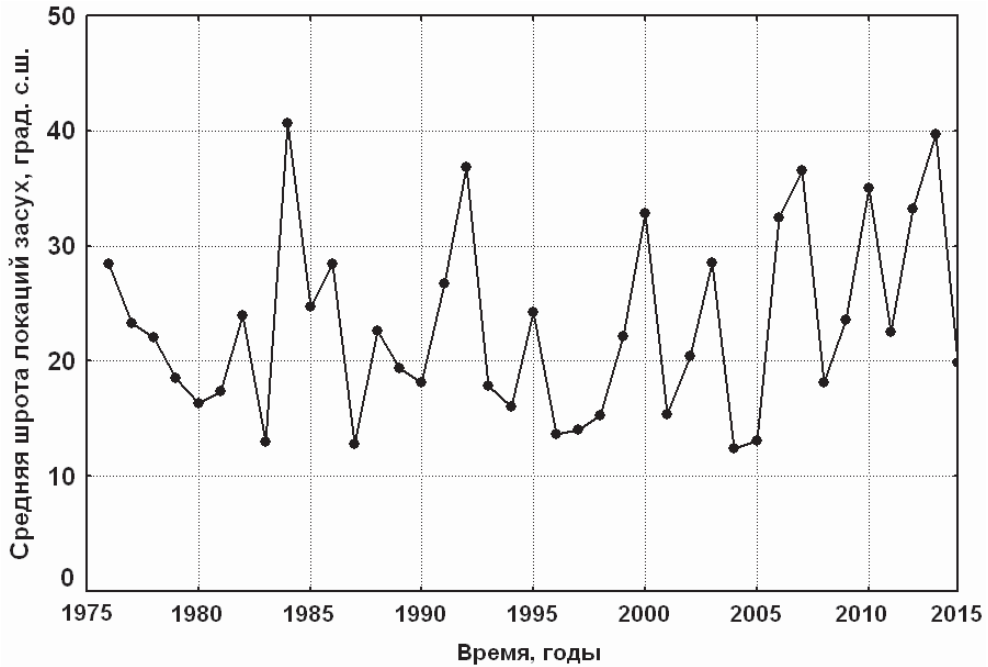


**Рис.3.12.3.** Изменения во времени широт центров районов засух. Сплошная прямая линия - линейная аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

На рис. 3.12.3 показаны изменения во времени широт центров районов засух северного полушария. Линейная аппроксимация указывает на сравнительно небольшое увеличение средней широты за последнее полвека – примерно на 3 градуса. Для того, чтобы оценить статистическую значимость этих изменений, нами анализировался, описанными выше методами, ряд средних годовых широт центров районов наводнений за последние 40 лет – с 1976 по 2015 г. (рис. 3.12.4).

Анализ ряда на рис. 3.12.4 дает следующие результаты. Среднее значение составило за этот период 23,7 градуса с.ш. – значение, близкое к оценке медианы (22,3 градуса). Коэффициент коррелированности смежных членов исходного ряда составил крайне незначительную величину 0,024, аналогичное значение для ряда, пересчитанного в выборочные значения гауссовских случайных величин, равнялось нулю вплоть до третьего знака 0,00. Соответ-

ственно, стохастическая модель ряда была идентифицирована как реализация «гауссовского белого шума» - последовательности некоррелированных по времени случайных величин, другими словами – процесса авторегрессии нулевого порядка.



**Рисунок 3.12.4.** Изменения во времени среднегодовых значений широт центров локаций засух. Северное полушарие

Расчеты индексов стационарности ряда на рис. 3.12.4 показывают, что ряд близок к реализации стационарного случайного процесса в отношении как математического ожидания, так и стандартов (дисперсий) и автокоррелированности. А именно, оценка значения  $I_{SM} +0,35$ ;  $I_{SS} +1,23$ ;  $I_{SR} -1,05$ . Напомним, что для абсолютно стационарных рядов среднеквадратичное значение каждого из индексов равно единице, и плотность вероятности индексов соответствует нормальному распределению.

На рис. 3.12.5 и 3.12.6 показаны графики для южного полушария, аналогичные соответственно графикам на рис. 3.12.3 и 3.12.4. Значения параметров, рассчитанных для ряда на рис. 6, следующие. Среднее –  $15,5^{\circ}$  ю.ш.; медиана  $15,7^{\circ}$  ю.ш.; коэффициент корреляции между значениями широты смежных лет исходного ряда  $-0,064$ ; для ряда, пересчитанного в выборочные значения гауссовской случайной величины  $-0,071$ ; порядок процесса авторегрессии

рессии в обоих случаях равнялся нулю. Значения индексов стационарности/нестационарности:  $I_{SM} +1,63$ ;  $I_{SS} -0,13$ ;  $I_{SR} +0,16$ . Видно, что значение

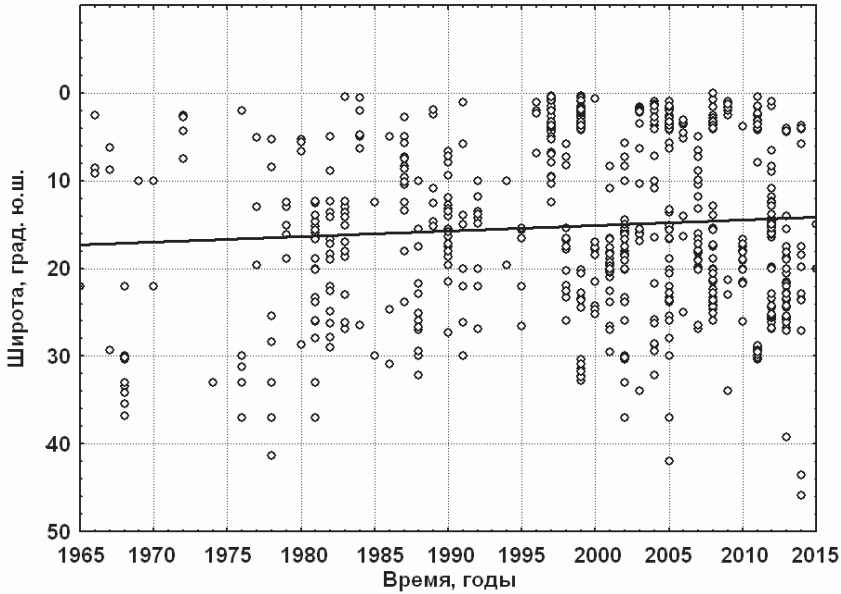


Рис. 3.12.5. То же, что рис. 3.12.3, но для южного полушария

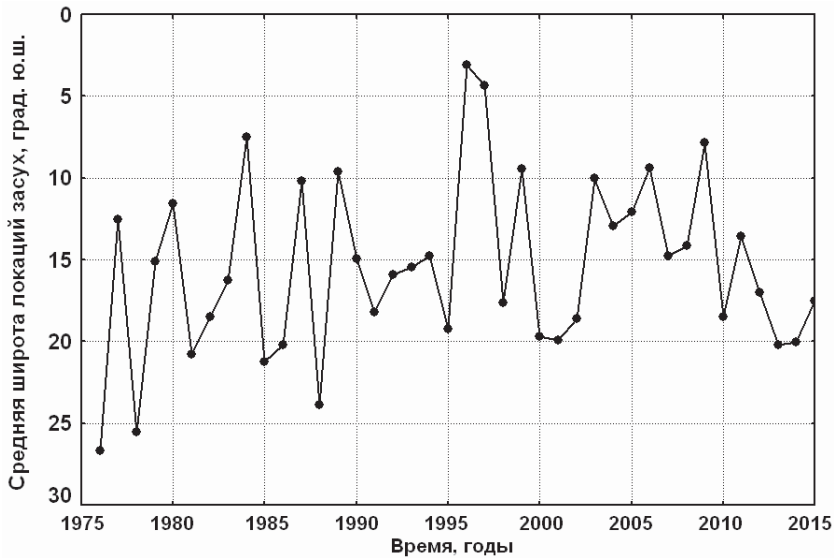


Рис. 3.12.6. То же, что рис. 4.4.4, но для южного полушария

индекса стационарности по математическому ожиданию несколько повышено, однако выборочная изменчивость может давать сходную оценку и для стационарного ряда. Интересно, кроме того, что теоретически глобальное потепление должно было бы привести к продвижению средней широты пояса засух в южном полушарии на юг, в то время как наблюдается (небольшое) продвижение к северу.

Резюме раздела можно подытожить следующим образом: теоретически ожидаемого, статистически значимого продвижения поясов засух северного и южного полушарий по направлению к соответствующим полюсам (за период наиболее интенсивного глобального потепления с середины 1970-х годов) не наблюдается.

*Даты начала засух.* Существенна информация о датах начала засух и об их динамике. Осредненную, для всего периода наблюдений, картину для северного полушария дает гистограмма на рис. 3.12.7.

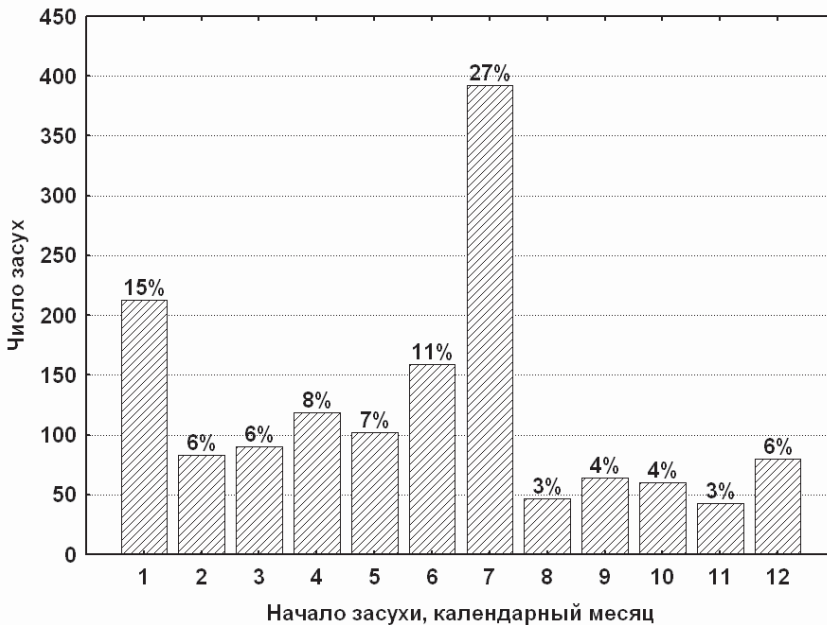
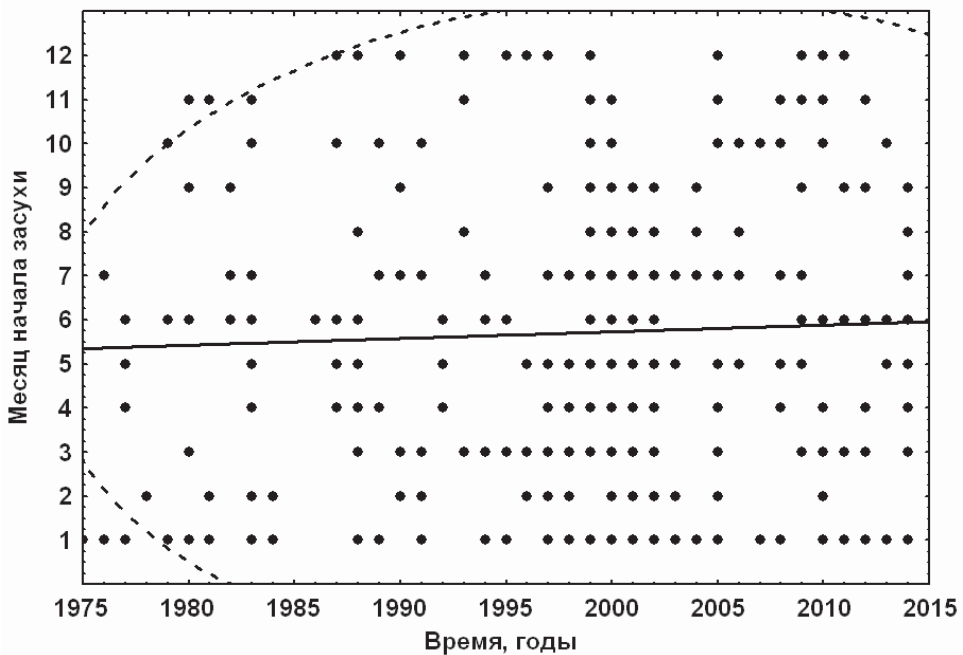


Рис. 3.12.7. Гистограмма месяцев начала засух в северном полушарии

Рисунок показывает, что середина лета северного полушария – июль – с большим опережением преобладает в отношении начала засушливых периодов. Второй по значимости пик наблюдается в середине зимы, в январе. Всего на летний период приходятся 41% случаев начала засух, на зимний 27%, на весенний 21%, на осенний всего 11%.

О динамике дат начала засух северного полушария дают представления графики на рис. 3.12.8 и 3.12.9. Рис. 3.12.8 демонстрирует некоторое, визуально – статистически незначимое – увеличение примерно на 2,5 недели месяца начала засух. Заметим, что теоретически можно было бы ожидать обратного эффекта глобального потепления – наступление более ранних засух. Для более точной оценки значимости тренда в месяцах начала засух на рис. 3.12.9 представлены месяцы начала засух, осредненные по календарным годам. Анализ ряда на рис. 3.12.9 описанными выше методами показывает, что ряд удовлетворяет гипотезе стационарности как по математическому ожида-



**Рис. 3.12.8.** Изменения во времени месяцев начала засух в северном полушарии. Прямая линия – аппроксимация методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов; пунктирная линия – 95%-ный эллипс рассеяния

нию, так и по стандартам и автокоррелированности: значение индексов стационарности соответственно  $I_{SM} = +1,01$ ;  $I_{SS} = -0,13$ ;  $I_{SR} = 0,21$ . Значения других параметров: среднее – 5,4 месяца (совпадает с модой и медианой); коэффициент коррелированности смежных значений исходного ряда  $+0,17$ ; гауссовского ряда  $+0,16$ ; порядки моделей авторегрессии в обоих случаях нулевые.

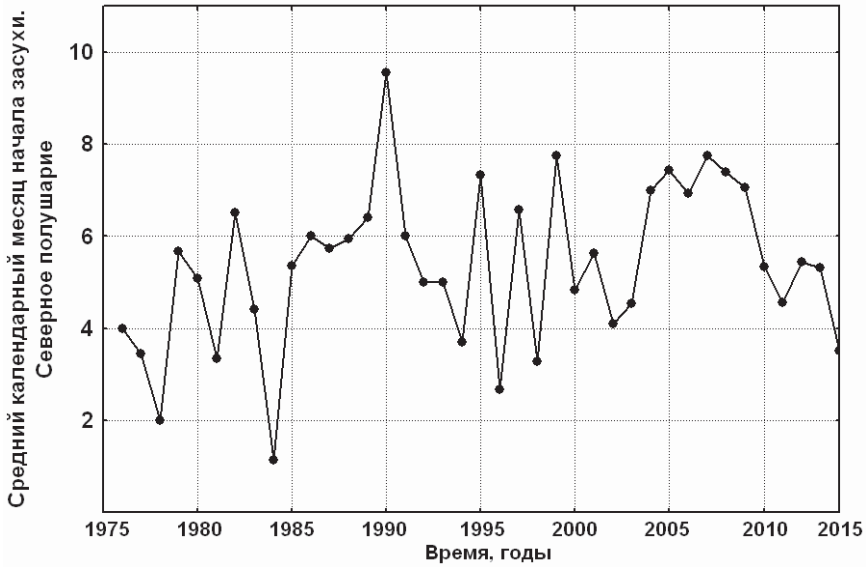


Рис. 3.12.9. Изменения во времени осредненных по годам календарных месяцев начала засух в северном полушарии

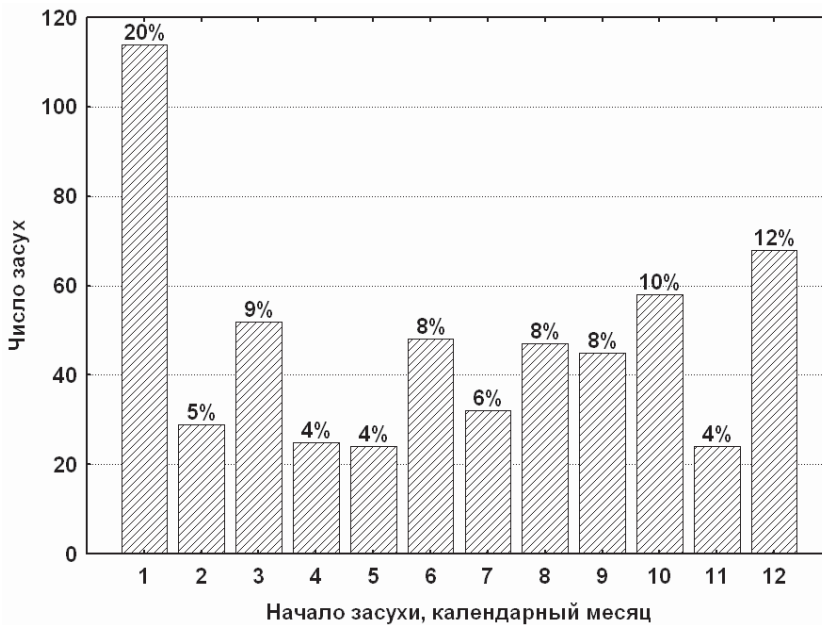


Рис. 3.12.10. Гистограмма месяцев начала засух в южном полушарии

Гистограмма месяцев начала засух в южном полушарии (рис. 3.12.10), в принципе аналогична соответствующей гистограмме для северного полушария: максимум и в этом случае приходится на середину лета (южного полушария, то есть, на январь). Отличием является то, что не наблюдается четко выраженного вторичного максимума зимой южного полушария.

**Продолжительность засух.** Методологические сложности, связанные с оценкой продолжительности засух, обусловлены тем, что обычно начало и окончание этого явления, в источниках информации, даются в «месяцах». Таким образом, неопределенной оказываются продолжительности засух «меньше месяца». Предполагая такого рода информацию сравнительной, нами учитывались только засухи продолжительностью 1 месяц и более.

Учитывая указанную особенность небольших длительностей засух, не имело смысла оценивать гистограммы плотности вероятностей этого параметра в логарифмическом масштабе. На рисунке 3.12.11 приведена гистограмма продолжительностей в их исходном виде, аппроксимированная геометрическим распределением.

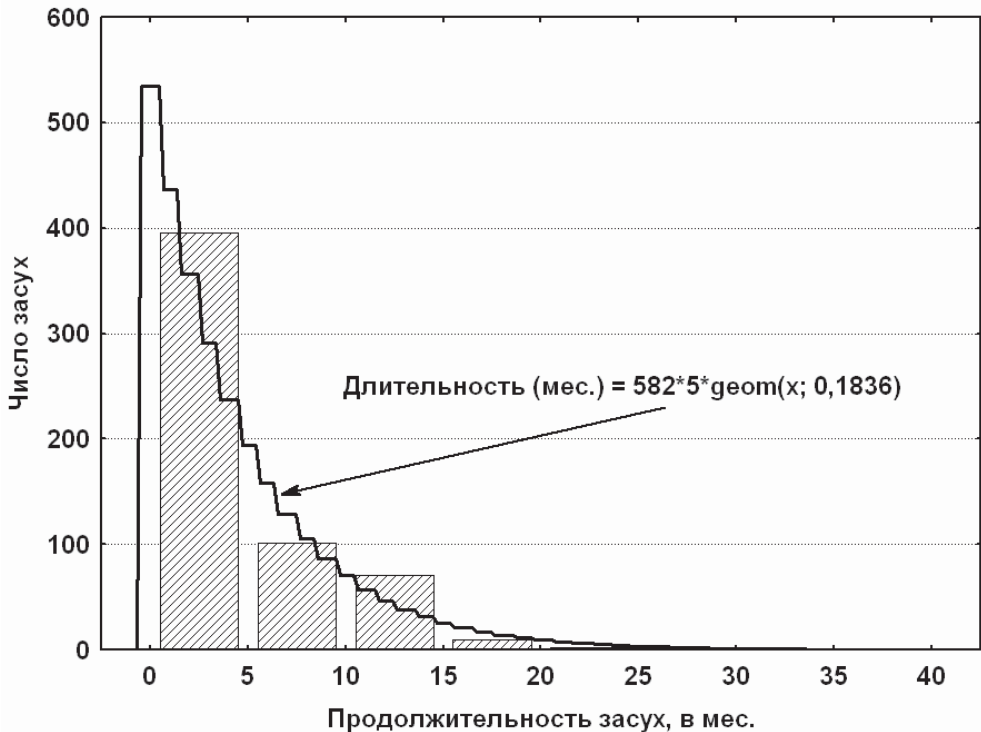
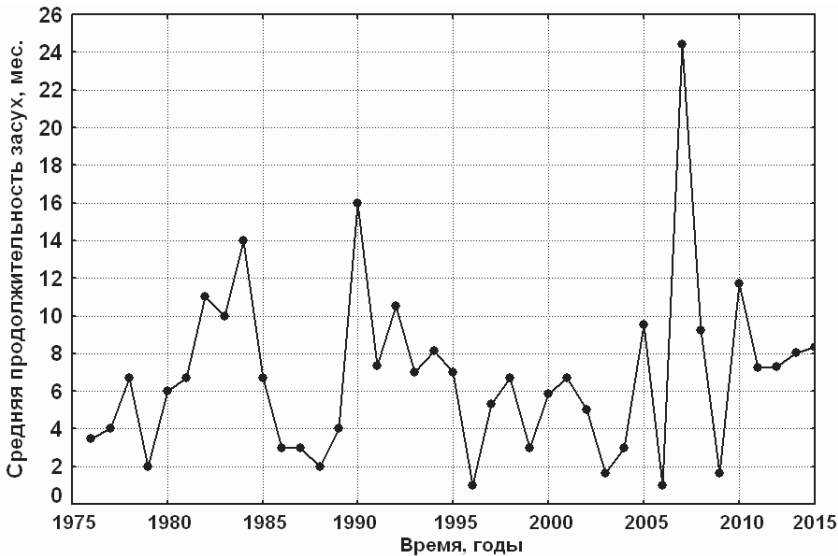


Рис. 3.12.11. Гистограмма плотности вероятности продолжительности засух

В целом статистики данных по продолжительности засух, в глобальном представлении, выглядят следующим образом. Среднее значение – 4,45 мес. (то есть, на полтора порядка больше, чем средняя продолжительность наводнений); стандарт 4,96 мес.; мода и медиана равны 1 мес.; коэффициент асимметрии 1,72.

На рис. 3.12.12 показаны изменения, за период наиболее значительного глобального потепления (1976 – 2015 гг.), средних величин продолжительностей засух. Анализ этого ряда описанными выше методами приводит к следующим результатам.



**Рис. 3.12.12.** Изменения во времени осредненных по годам средних значений продолжительности засух

Коррелированность смежных значений исходного ряда составила  $-0,009$ ; «гауссовского» варианта ряда  $+0,04$ ; порядок авторегрессионных моделей в обоих случаях был равен нулю. Значения индексов стационарности:  $I_{SM} = -0,83$ ;  $I_{SS} = +0,95$ ;  $I_{SR} = -0,11$ . Изменения длительности засух за последние 40 лет, таким образом, не обнаруживают статистически значимых нестационарностей.

### 3.12.3. Характеристики социально-экономических ущербов от сельскохозяйственных засух

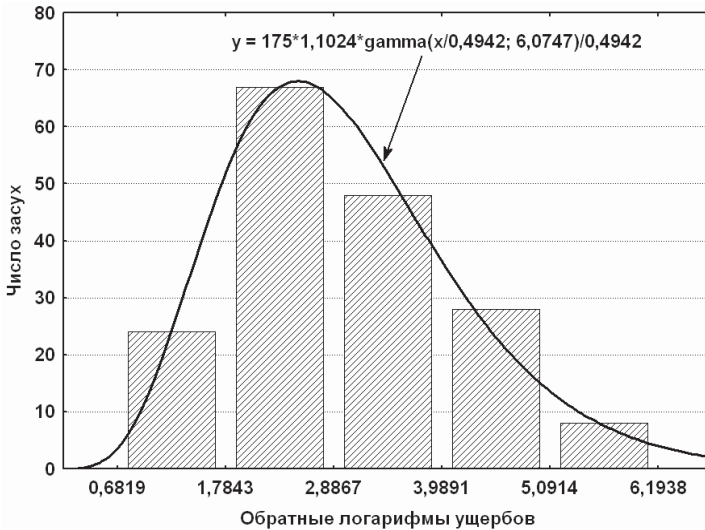
Задача оценки социально-экономических ущербов от засух еще более сложна, чем аналогичная задача для наводнений. Последствия засух, в осо-



бенности в развивающихся странах, трудно отличить от результатов таких явлений, как эпидемии, экономические кризисы, войны, миграции населения и т.д. Тем не менее, представляется, что при осреднении данных по большому количеству засух значимые результаты выделяются на фоне ошибок – во всяком случае, приведенные ниже результаты, в первом приближении, представляются правдоподобными.

**Материальные (финансовые) ущербы от засух.** Суммарный ущерб от засух за весь период времени, охваченный базой данных (в основном информация была за период 1976 – 2016 гг.) по нашим оценкам составил 171 миллиард 970 миллионов долларов США в ценах 2014 года. При этом информация по большому количеству «средних» и «мелких» засух отсутствовала, однако наиболее крупные засухи сравнительно полно освещены в базе данных.

Средняя величина ущерба составила 988,3 млн долл., медиана 140 млн долл., Наиболее крупный ущерб от одной засухи зафиксирован для засухи в США в 2012 г. – 20 800 млн долл. Отметим в связи с этим, что вообще суммарные ущербы от засух в развитых странах («Золотого миллиарда») на 20% превышают ущербы в развивающихся странах.



**Рис. 3.12.13.** Гистограмма плотности вероятности ущерба от наиболее крупных засух мира

На рисунке 3.12.13 показана гистограмма плотности вероятности ущерба от крупнейших засух мира в логарифмической шкале. Наиболее адекватная аналитическая аппроксимация – обратное логарифмическое гамма-распределение с параметрами, фигурирующими на рисунке.

Представляют интерес изменения средних ущербов от засух за последние десятилетия. Соответствующий график помещен на рисунке 3.12.14.

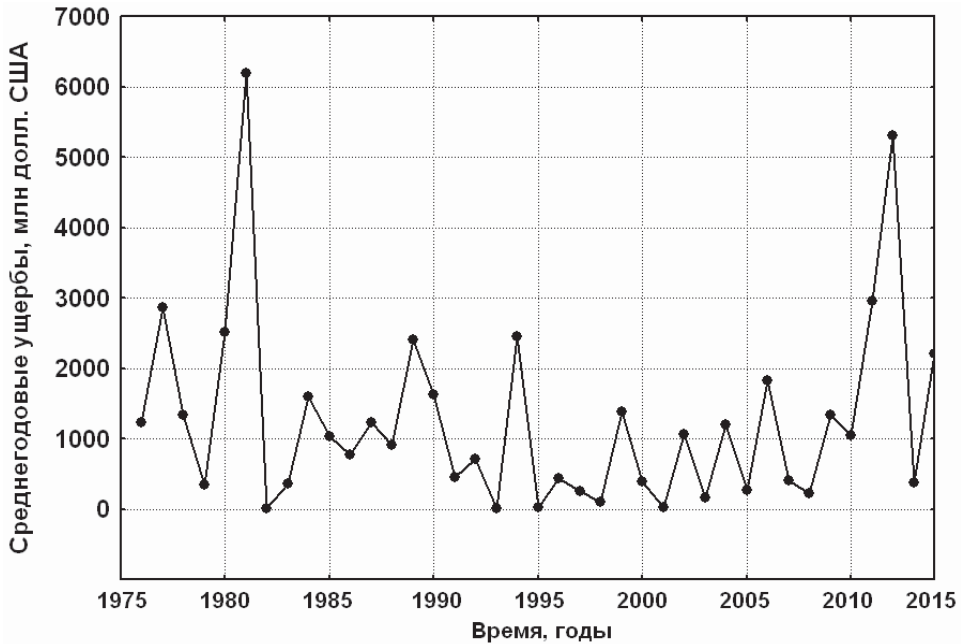


Рис. 3.12.14. Изменения во времени средних ущербов от засух

Анализ ряда на рисунке 3.12.14 при помощи описанных в главе 1 и в работах (Добровольский, 2011а,б) методов дает следующие результаты. Выборочная оценка коэффициента коррелированности смежных членов исходного ряда равна 0,074; для ряда, пересчитанного в реализации гауссовского процесса – 0,095. Оценки порядков процесса авторегрессии, описывающей процесс, в обоих случаях равны нулю. Индексы стационарности полностью соответствуют реализации стационарного процесса:  $I_{SM} = -0,96$ ;  $I_{SS} = -0,87$ ;  $I_{SR} = +0,004$ . Таким образом, изменения средних ущербов за период, соответствующий наибольшему росту глобальных температур (с середины 1970-х годов до 2015 г.) удовлетворительно описывается реализацией стационарного некоррелированного по времени процесса («белого шума»).

**Гуманитарные (социальные) ущербы от засух.** Как указывалось выше, социальные (гуманитарные) ущербы от засух поддаются оценке лишь с большим трудом, так как трудно вычленить фактор засухи из других, зачастую одновременно действующих, факторов, приводящих к гуманитарным катастрофам: эпидемий, массовых миграций, войн и т.п. – в первую очередь,

в слаборазвитых странах. Тем не менее, оценки гуманитарных ущербов существуют; наиболее часто встречаются оценки общего числа пострадавших от засухи.

По нашим расчетам, общее число пострадавших – в основном за наиболее освещенный информацией период с середины 1970-х годов – 2 240 110 тыс. человек, то есть, более трети населения Земли. При этом необходимо учесть, что засухи зачастую повторяются примерно в одних и тех же регионах (Сахель, Индостан, Юго-Восточная Азия, Юго-Восточная Африка и др.), поэтому общее число людей, когда-либо подвергшихся ущербам от засух, может быть значительно меньше указанного числа.

Другие параметры распределений числа пострадавших: среднее число пострадавших от одной засухи, входящей в базу данных, – 5 477 тыс. чел., медиана 655 тыс. чел., мода 1 млн чел., коэффициент вариации 4, 62; коэффициент асимметрии 9, 35. В связи с последним числом можно заметить, что  $C_S$ , как и в случае с наводнениями мира, непрерывно растет при переходе от «нейтральных» параметров засух к параметрам, отражающим опасность для людей: для географических координат центров регионов засух и дат начала засух  $C_S$  меньше единицы, для продолжительности засух 1,7; для материальных ущербов 5,6; для числа пострадавших 9,4.

На рисунке 3.12.15 показана гистограмма плотности вероятности пострадавших от засух, удовлетворительно описываемая логнормальным распределением.

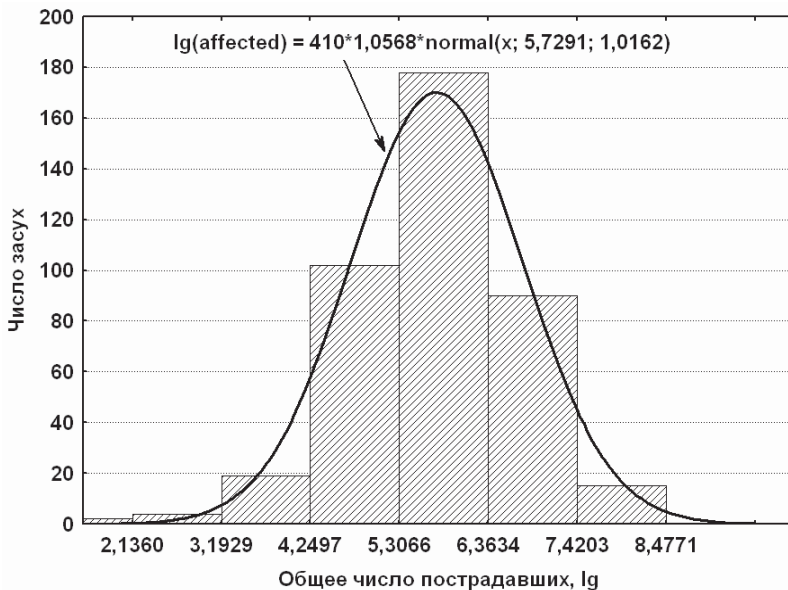
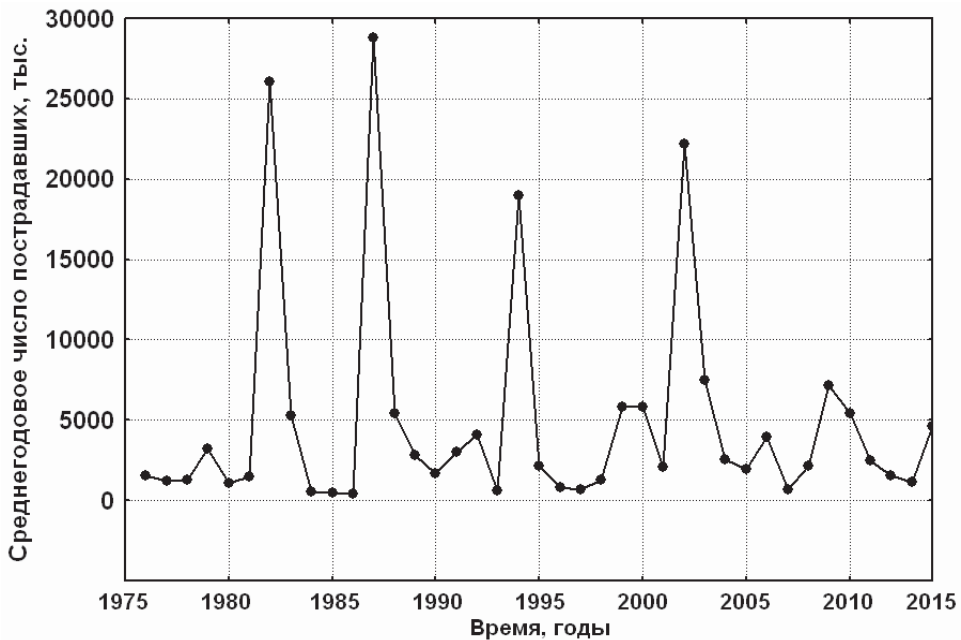


Рис. 3.1215. Гистограмма плотности вероятности числа пострадавших от засух

На рисунке 3.12.16 показаны изменения во времени средних годовых чисел пострадавших от засух. Как и рассмотренные ранее ряды других параметров засух, ряд на рисунке 4.4.16 описывается реализацией белого шума. Параметры модели: коэффициент коррелированности смежных величин исходного ряда – 0,041; пересчитанного в выборочные значения гауссовских величин + 0,101; порядки авторегрессионных моделей в обоих случаях нулевые; значения индексов стационарности:  $I_{SM} = +0,33$ ;  $I_{SS} = -0,40$ ;  $I_{SR} = -0,21$ .



**Рис. 3.12.16.** Изменения во времени средних годовых чисел пострадавших от засух в мире

Наконец, наиболее трагическое последствие засух – смертельные случаи. По имеющейся у нас информации, общее число погибших от засух с 1900 года составило 10 500 тыс. человек – число, сопоставимое с числами погибших в мировых войнах. Наиболее трагичной была засуха в Китае в 1928 году – около 3 000 000 погибших, в 1943 г. на территории современной Банг-ла Деш (тогда – Индии) погибли 1 900 000 человек.

Подытоживая раздел 3.12, можно попытаться сделать следующие выводы.

1. В настоящий момент имеется возможность представить более подробную картину засух мира и их динамики, чем в предыдущих исследованиях (Добровольский, 2014). В целом засухи приводят к значи-

тельным материальным и финансовым потерям (в наибольшей степени – в развитых странах), но еще более чувствительны и нетерпимы социальные (гуманитарные ущербы от засух; более 2 миллиардов пострадавших и более 10 миллионов погибших (в основном – в развивающихся странах).

2. Парадоксальным образом, среднее широтное распределение ущербов от засух примерно совпадает с аналогичным распределением для наводнений. Это указывает на то, что и то, и другое катастрофические явления имеют не только и даже не столько природные, сколько социально-экономические причины: в обоих случаях наибольшие материальные ущербы наблюдаются в наиболее развитых странах, наибольшие гуманитарные ущербы – в регионах с наибольшей плотностью населения.
3. На протяжении всего 20 века, в особенности за последние десятилетия наблюдался формальный рост частоты засух и ущербов от засух. Однако, чрезвычайно трудно отделить действительные изменения количеств засух и ущербов от них от формального роста, связанного с увеличением объемов информации о засухах. Более надежными параметрами являются относительные характеристики – например, величины различных параметров, приходящиеся в среднем на одну засуху. Такого рода относительные параметры (как природные, так и характеристики ущербов) не обнаруживают статистически значимого роста за последние 40 лет – то есть, за период наиболее интенсивного роста глобальной температуры.

## Литература к главе 3

Авакян А.Б. Наводнения. Концепция защиты // Известия РАН, серия географическая. 2000. № 5. С. 40-46.

Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения - как явление глобального масштаба // Водное хозяйство России. Екатеринбург: РосНИИВХ. 1999. Т. 1. № 3. С. 296-304.

Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения как глобальная многоаспектная проблема // Вестник РАН. 2002. Т. 72. № 12. С. 1-21.

Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения как явление планетарного масштаба // Гидротехническое строительство. 2001. № 2. С. 44-48.

Беляков А.А. О комплексном походе к борьбе с наводнениями // Гидротехническое строительство. 2004. № 11. С. 45-48.

Ваганов П.А. Катастрофование. – СПб: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2003. – 124 с.

Василевский А.Г. Участие ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева в создании комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений // Гидротехническое строительство. 2011. № 9. С. 88-94.

Владимиров В.А. Катастрофы и социально-экономическое развитие // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012. Т. 2. № 1. С. 197-221.

Гордеева С.М., Малинин В.Н. Оптимизация траекторий циконов, приводящих к невским наводнениям // Общество. Среда. Развитие, 2012. № 3. С. 177 – 193.

Гусяков В.К., Пинегина Т.К., Салтыков В.А. Экспедиция по исследованию последствий цунами 26 декабря 2004 года в северной части Суматры и на близлежащих островах // Вестник Камчатской региональной организации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. 2005. № 5. С. 17-23.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011, 660 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. - Москва: ГЕОС, 2006. – 256 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Характеристика наводнений на территории России по природным и социально-экономическим параметрам // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 5. С. 515-531.

XXI век – вызовы и угрозы. Под общ. ред. Владимиров В.А. ЦСИ ГЗ МЧС России. – М.: Иноктаво, 2005. – 304 с.

10 лет со дня трагедии в г. Ленске. Буклет. МЧС России. 2011. <http://www.mchs.gov.ru/library/?ID=397381>

Запороженко Э.В., Каменев Н.С., Никулин А.С. Некоторые уроки паводковых событий июня 2010 г. в Республике Северная Осетия-Алания // Вестник Владикавказского научного центра. 2011. Т. II. № 1. С. 29-34.

Истомина М.Н., Добровольский С.Г. К стратегии «управления» ущербами от наводнений в Российской Федерации // Гидротехника, 2013. № 4, 11 – 14.

Истомина М.Н., Добровольский С.Г. База данных по наводнениям мира (с детализацией по России). ИВП РАН, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2015. Свидетельство о государственной регистрации № 2015620292.

Исторические базы данных о цунами в Тихом океане, Атлантике и Средиземноморье. Лаборатория цунами Института Вычислительной Математики и Математической Геофизики Сибирского Отделения Российской Академии наук, г. Новосибирск. [http://tsun.ssc.ru/tsun\\_hp\\_r.htm](http://tsun.ssc.ru/tsun_hp_r.htm)

Короченцев В.И., Лисунов Е.В. Увеличение вероятности правильного прогноза цунами на примере катастрофы 11 марта (Япония) // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. Т. 122. № 9. С. 216-219.

Кофф Г.Л., Борсукова О.В., Попова О.В., Сидорин А.Я. О причинах колоссального ущерба, вызванного цунами 11 марта 2011 г. на северо-восточном побережье острова Хонсю // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38. № 1. С. 21-40.

Кураев С.Н. Комплекс сооружений Санкт-Петербурга от наводнений // Гидротехническое строительство. 2008. № 2. С. 50-53.

Лупачев Ю.В., Скрипник Е.Н., Кучейко А.А. Опыт космического мониторинга развития весеннего половодья на реке Северная Двина в 2010 г. // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2010. № 6. С. 57-68.

Малинин В.Н., Митина Ю.В., Шевчук О.И. К оценке затопления побережья курортного района Санкт-Петербурга при прохождении экстремальных наводненческих циклонов // Ученые записки РГГМУ, 2013. № 29. С. 138 – 144.

Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Наводнения в дельте р. Кубани // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 387-406.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Государственные доклады «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации» 2007, 2008 гг. <http://www.mnr.gov.ru/>

Михайлов А.В., Китаев А.Б. Возможные варианты защиты города Кунгура от наводнений // Географический вестник. 2010. № 3. С. 48-51.

Михайлов В.Н., Морозов В.Н., Черой Н.И., Михайлова М.В., Завьялова Е.Ф. Экстремальное половодье на Дунае в 2006 г. // Метеорология и гидрология. 2008. № 1. С. 80-89.

МЧС РФ, 1998 – 2009. Оперативные сводки о чрезвычайных ситуациях. <http://mchs.gov.ru>

Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 183 с.

Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 4. С. 291-302.

Петрашень А.С. Расчет ливневых стоков во время тайфунов // Вологодские чтения. 2008. № 70. С. 127-129.

Полный хронологический список наводнений в Санкт-Петербурге (Петрограде, Ленинграде), 1060-2010 гг. 2012. [http://www.nevariver.ru/flood\\_list.php](http://www.nevariver.ru/flood_list.php)

Природные опасности России. – Т. 1. Природные опасности и общество. Под ред. Владимирова В.А., Воробьева Ю.Л., Осипова В.И. РАН, МЧС. - Москва: Издательство «Крук», 2002. - 245с.

Природные опасности России. – Т. 5. Гидрометеорологические опасности. Под ред. Голицына Г.С., Васильева А.А.. РАН, МЧС. - Москва: Издательство «Крук», 2001. - 295с.

Тарасов Н.М., Антонов В.Н., Давыдов С.А. Наводнения в бассейне рек Северного Кавказа в 2002 г. // Сборник статей. Безопасность энергетических сооружений. М.: ОАО НИИЭС. 2003. С. 7-11.

Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: РосНИИВХ. 1-е издание – 2000, 376 с.; 2-е издание – 2008, 432 с.

Таратунин А.А. Наводнения по континентам и странам мира. - Екатеринбург: Издательство ФГУП РосНИИВХ, 2011. – 480 с.

Терский П.Н., Фролова Н.Л. Наводнения на реках севера Европейской территории России (на примере бассейна р. Северная Двина) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2011. № 3. С. 88-99.

Федеральное агентство водных ресурсов. Оперативная информация о водохозяйственной обстановке на территории Российской Федерации. 2007, 2008 гг. <http://voda.mnr.gov.ru/>

Хартвич Ф., Дангхаммер Я., Вилимек В. Последствия наводнения 2002 г. в бассейне реки Отавы, Республика Чехия // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 18-32.

Цанова Л.И. Наводнения и экологические последствия // Экологические системы и приборы. 2006. № 1. С. 33-36.

Чаттерджи П. Взгляд из Дакки // Эра городов. 1999. С. 18-20.

Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б. Очерк истории исследования проблемы цунами в Сибирском отделении Российской академии наук // Вычислительные технологии. 1999. Т. 4. № 5. С. 70-105.

Экстремальные гидрологические ситуации. - М.: Медиа-Пресса, 2010. – 461 с.

Экстремальные гидрологические события: теория, моделирование и прогноз. Труды Международной научной конференции, Москва, 3-6 ноября, 2003 г. - М.: Российская академия наук, Институт водных проблем, 2003. - 380 с.

Яснопольская К.П. Борьба с паводками в бассейне реки Тисы // Гидротехническое строительство. 2003. № 12. С. 30-34.

Alley W. M. 1984: Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984. Vol. 23, 1100-1109.

Bard E., Arnold M., Duplessy J.-C. Reconciling the sea level record of the last deglaciation with the

Brammer H. Floods in Bangladesh. I - Geographical background to the 1987 and 1988 floods // *Geographical Journal*. 1990. V. 156. Part 1. P. 12-22.

Dai A., Trenberth K.E., Qian T. A global dataset of Palmer Severity Index for 1870 – 2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*. 2004. Vol. 5, 1117 – 1130.

Dartmouth Flood Observatory, 1985-2012 [электронный ресурс]: Global Register of Large River Flood Events. Dartmouth College, Department of Geography (Hanover, USA). – Режим доступа: <http://www.dartmouth.edu/~floods/>. – Загл. с экрана. Яз. англ.

Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. Amsterdam et al.: Elsevier, 1992. 282 p.



Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. Berlin, Heidelberg et al.: Springer, 2000. 296 p.

Domonkos P., Szalai S, Zoboki J. Analysis of drought severity using PDSI and SPI indices. *Idoejaras*, 2001. Vol. 105, 93–107.

Dos Santos R. M. N., Pereira A.R., 1999: Palmer drought severity index for western Sao Paulo state, Brazil. *Review of Brazil Agrometeorology*, 1999. Vol. 7, 139 – 145.

Global Historical Tsunami Database. National Geophysical Data Center, NOAA/WDC. 2012. [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml)

Gusiakov V.K. Tsunami History – Recorded. Tsunami Laboratory, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Division, Russian Academy of Sciences. 2012. [http://tsun.sccc.ru/hiwg/PABL/Gusiakov\\_2008.pdf](http://tsun.sccc.ru/hiwg/PABL/Gusiakov_2008.pdf)

Haque C. Emdad. Atmospheric hazards preparedness in Bangladesh: a study of warning, adjustments and recovery from the April 1991 cyclone // *Natural Hazards*. 1997. № 16. P. 181-202.

International Disaster Database, 2014. <http://www.emdat.be/>

Istomina M.N., Dobrovolski S.G. Floods of the world: quantitative analysis of natural characteristics and parameters of social-economic damages // *Water Resources*, 2016. V. 43. P. 459 – 471.

Newman W.S., Markus L.F., Pardi R.R. Eustasie and deformation of the geoid. In: *Earth reology and its isostasie*. New York: Wiley. 1980. P. 555-567.

Nicholls, N. The changing nature of Australian droughts. *Climatic Change*, 2004. Vol. 63, 323 – 336.

Palmer W. C. 1965: Meteorological drought. Research Paper 45, Washington, DC: U.S. Dept. of Commerce, 1965. 58 pp.

Privalsky V.E., Jensen D.T. Time series analysis package. Autoregressive time and frequency domain analysis of scalar and multi-variate time series. Logan, UT: Utah Climate Center, Utah University, 1992, 61 p.

Statistica (Release 5). Tulsa, OK.: StatSoft, 1995. Vol. 1 – 3.

Ward R. Floods: a geographical perspective. London; Basingstoke: Mac Millan Press. 1978. 244 p.

Ulrych T.J, Bishop T. Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition. *Review of Geophysics and Space Physics*, 1975. Vol. 13, 183 – 200.

Zong Yongqiang, Chen Xiqing. The 1998 flood on the Yangtze, China // *Natural Hazards*. 2000. № 22. P. 165–184.



## **Глава 4. Оценки возможных изменений увлажненности суши в XXI веке**

### **4.1. О способности моделей климатической системы воспроизводить сток рек и его изменения в климатических масштабах времени<sup>1</sup>**

Модели общей циркуляции атмосферы, соединенные с моделями океана, покровного оледенения и поверхности суши (сокращенно МОЦАО или КМОЦ), в настоящее время являются основным инструментом для изучения возможного влияния парникового эффекта на изменения вод суши в предстоящие десятилетия. Вместе с тем, современные МОЦАО воспроизводят речной сток с заметными, зачастую чрезвычайно большими ошибками.

Результаты исследований речного стока на МОЦАО были опубликованы в сравнительно большом количестве работ, однако большинство такого рода исследований было нацелено преимущественно на попытки прогнозирования возможных изменений стока вследствие парникового эффекта. Изучению способности МОЦАО воспроизводить наблюдаемый речной сток уделялось, на наш взгляд, недостаточное внимание. При этом, для воспроизведения стока зачастую к имеющимся МОЦАО «добавлялись» (на наш взгляд, не всегда корректно – см. ниже раздел «Обсуждение результатов») как бы внешние гидрологические блоки. Сопоставление модельного и наблюдаемого стока велось для ограниченного числа рек, причем, как правило, лишь в отношении среднего многолетнего стока, без учета таких характеристик межгодовых и многолетних изменений стока, как стандарты годовых величин стока, коэффициенты вариации, автокорреляционная структура стоковых рядов, параметры стохастических моделей рядов, точно рассчитанные параметры стационарности / нестационарности рядов. Недостаточное внимание уделялось и воспроизводимости сезонных изменений стока, в том числе всем перечисленным выше статистическим и стохастическим параметрам максимального и минимального стока. Вместе с тем, «тестирование» МОЦАО при помощи наблюдаемых данных о стоке необходимо для того, чтобы иметь представление о возможностях моделей климата и в отношении прогнозов стока – в частности для решения вопроса о том, прогноз каких параметров более адекватен, а каких – затруднен или представляется невозможным на современном этапе.

---

<sup>1</sup> Раздел 4.1 написан, в основном, по материалам статьи (Добровольский, Татаринovich, Юшков, 2016)

Характерно то, что в большинстве статей, докладов и отчетов по изменениям климата, в том числе участников «международной группы по изменениям климата» (МГЭИК или IPCC) – см., например, (Евстигнеев, Акименко, 2005; Евстигнеев и др., 2010; Манабе, Везерольд, 2003; Мохов, Семенов, 2003; Хубларян, Добровольский, Найденев, 2003; Arnell, 2003; 2004; 2007; Arora, Boer, 2001; Dobrovolski, 2007; Gosling et al., 2011; Gosling et al., 2013; Haddeland et al., 2011; Nohara et al., 2006; Strzepek et al., 2010; Vorosmarti et al., 2000), посвященных изменениям климатической системы (частью которой являются реки) и их моделированию, почти не отражены результаты исследований сопоставления моделированного и наблюдаемого речного стока. Возможно, наиболее характерной в обсуждаемой области остается до сегодняшнего дня работа (Nohara et al., 2006), в которой на основе приспособления к 19 моделям, из числа включенных в эксперимент СМIP-3, дополнительных гидрологических блоков, сравниваются модельные и наблюдаемые средние многолетних величин стока более 20 рек, в том числе таких рек на территории России, как Волга, Обь, Енисей, Лена, Амур. Ниже будет приведено сопоставление результатов работы (Nohara et al., 2006) с результатами настоящей работы.

Таким образом, детальные исследования стохастической и статистической структуры моделированных рядов стока большим количеством МОЦАО для такой крупной территории, как РФ, по нашим сведениям, не проводились. В связи с этим важно осуществить, на примере основных рек РФ, возможно более пристальное исследование способности МОЦАО моделировать наблюдаемый – как средний многолетний, так и максимальный и минимальный – сток, а также межгодовые и многолетние наблюдаемые изменения этих видов стока.

Для достижения указанной выше цели были использованы наиболее информативные на сегодняшний день результаты моделирования гидрометеорологических параметров на МОЦАО – данные моделей, участвовавших в эксперименте СМIP-5. Модельная информация использовалась в виде рядов суммированных по территориям соответствующих бассейнов рек РФ ежегодных значений годового, максимального и минимального стока за промежутки времени, соответствующие имеющимся наблюдаемым рядам. В качестве наблюдательной основы работы использованы стоковые ряды из базы данных, созданной в ИВП РАН, удлиненные в ряде случаев при помощи дополнительной информации. Как моделированные, так и наблюдаемые ряды стока анализировались при помощи новых методов и формул для расчета статистических и стохастических параметров, предложенных в работах (Добровольский, 2011а,б).

В задачи исследования, кроме упомянутых выше, входила не только оценка ошибок, возникающих при воспроизведении речного стока на МОЦАО, но и анализ зависимости ошибок от различных факторов – от географического положения бассейнов и от величин параметров стока, рассчитанных по данным наблюдений.

Наконец, в тех случаях, когда модели сравнительно адекватно воспроизводят параметры речного стока и его изменений, сделаны попытки совместного анализа зависимостей моделированных и наблюдаемых параметров от значимых факторов (например, коэффициентов вариации от среднего многолетнего стока).

Таким образом, проведенное исследование позволяет, на наш взгляд, сделать определенные выводы и относительно ряда закономерностей изменчивости стока, и получить информацию, которая может быть использована для дальнейшего совершенствования МОЦАО.

#### *4.1.1. Данные о воспроизведении речного стока на моделях CMIP-5 и данные наблюдений*

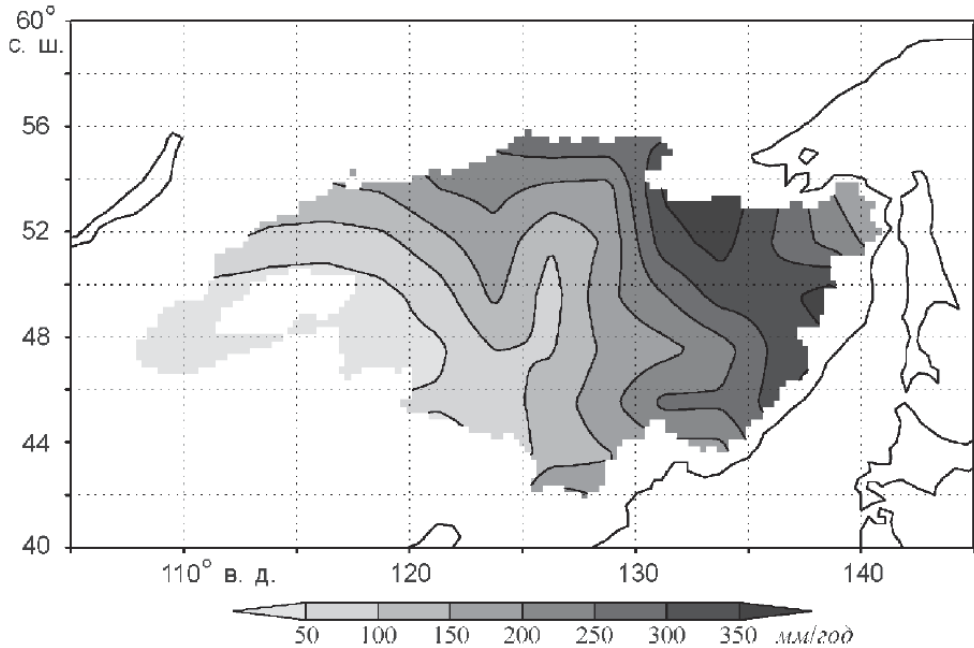
Для анализа были использованы те модели эксперимента CMIP-5, для которых технически удалось получить непрерывные ряды месячного стока, перекрывавшие имевшиеся ряды соответствующих наблюдений – в общей сложности 37 моделей из участвовавших в эксперименте 51 модели.

А именно: использованы результаты моделей BNU-ESM, Canesm2, CCM4, CESM1-BGS, CESM1-CAM5, CEMS1-FASTCHEM, CEMS1-WACCM, CMCC-CESM, CNRM-CM5, CNRM-CM5-2, CSIRO-Mk-3-6-0, CSM1-1, CSM1-1M, FGOALS-G2, GFDL-CM2p1, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-R, GISS-E2-R-CC, GISS-E2-H-CC, HadCM3, HadGEM2-ES, Inmcm4, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MIROC5, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MPI-ESM-P, MRI-CGCM3, MRI-ESM1, NorESM1-M.

Результаты моделирования были получены с сайта PCMDI (PCMDI, 2014), при этом выбирались ряды стока, относящиеся к эксперименту «historical», который теоретически должен был описывать изменения гидрометеорологических параметров с 1850 по 2005 г. – хотя не для всех моделей и не для всех параметров это описание оказалось полным.

Первоначально были получены реализации речного стока с месячным разрешением – средние месячные величины. Затем из них были сконструированы ряды ежегодных значений минимального стока (стока наиболее маловодного месяца), максимального стока (стока наиболее многоводного месяца) и годового стока..

Для скачивания файлов с рядами месячных величин стока использовался скрипт `wget` на языке программирования Shell, поддерживаемом операционными системами ядра Linux. Переформатирование рядов, первоначально записанных в формате NetCDF, было осуществлено с использованием программной оболочки CDO.



**Рис. 4.1.1.** Пример маски речного бассейна р. Амур для приведения полученных с помощью климатических моделей значений общего («климатического») стока в узлах сетки  $0,25 \times 0,25^\circ$  к стоку в замыкающем створе и среднеклиматический слой стока (1961 – 1990 гг.) по модели GFDL-ESM2G

Для сравнения с моделированными рядами речного стока были выбраны створы, расположенные наиболее близко к устьям соответствующих рек и для которых существуют сравнительно длинные ряды наблюдений – не менее 40 лет. В случаях исследуемых в работе рек, выбранные створы замыкают практически полностью каждый из бассейнов. В связи с этим имелась возможность применять так называемые «маски» речных бассейнов с разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$ , охватывающие всю площадь бассейнов. Далее результаты моделей переформатировались в центры соответствующих трапеций.

Для того, чтобы использовать возможно более качественную информацию наблюдений за стоком, а также для сопоставимости с зарубежными работами, наблюдаемые ряды стока принимались в основном в том стандартном виде, в котором они существовали в практике международного обмена данными. В свою очередь, имеющиеся международные глобальные базы данных по стоку обобщены и описаны в работе (Добровольский, 2011б). Данные о наблюдаемых рядах стока из этой работы (частично дополненные для целей настоящей работы) приведены в Таблице 4.1.1. Для указанных в таблице створов и интервалов времени имелись ежегодные ряды годовых величин стока, стока наиболее и наименее многоводных календарных месяцев. Для сопоставимости модельные ряды аналогичных величин брались за соответствующие интервалы времени. Таким образом, наиболее продолжительный ряд

наблюдений и сопоставляемый с ним ряд модельных реализаций – в створе Усть-Пинега на Северной Двине (117 лет), наименее продолжительный – в створе Комсомольск-на-Амуре (58 лет), а средняя длина рядов составляет 76 лет, что значительно больше средней ряды рядов наблюдений по всей глобальной базе стоковых данных из (Добровольский, 2001б), содержащей информацию примерно по 3000 створам на всех обитаемых материках – 44 года. Для каждого бассейна, замыкаемого указанными в Таб. 4.1.1 створами, рассчитывались: приведенная широта (средневзвешенная по слоям стока), индекс сезонности (относительный размах сезонных изменений стока) и другие параметры. Для того, чтобы уравнивать по длине изучаемые ряды стока, применялся ряд процедур – например, процедура унифицированной оценки порядков моделей авторегрессии, используемых для описания изменений стока, другие усовершенствованные методы.

**Таблица 4.1.1.** Характеристики наблюдаемых рядов стока.

Река	Створ	Площадь, км <sup>2</sup>	Средний сток, м <sup>3</sup> /с	Начало ряда	Длина ряда, годы
Волга	Волгоград	1 408 279	8 136	1879	101
Сев. Двина	Усть-Пинега	323 573	3 369	1882	117
Обь	Салехард	2 701 041	12 617	1930	70
Енисей	Игарка	2 558 237	18 368	1936	64
Лена	Кусур	2 425 551	16 697	1935	60
Амур	Комсомольск-на-Амуре	2 023 520	9 981	1933	58

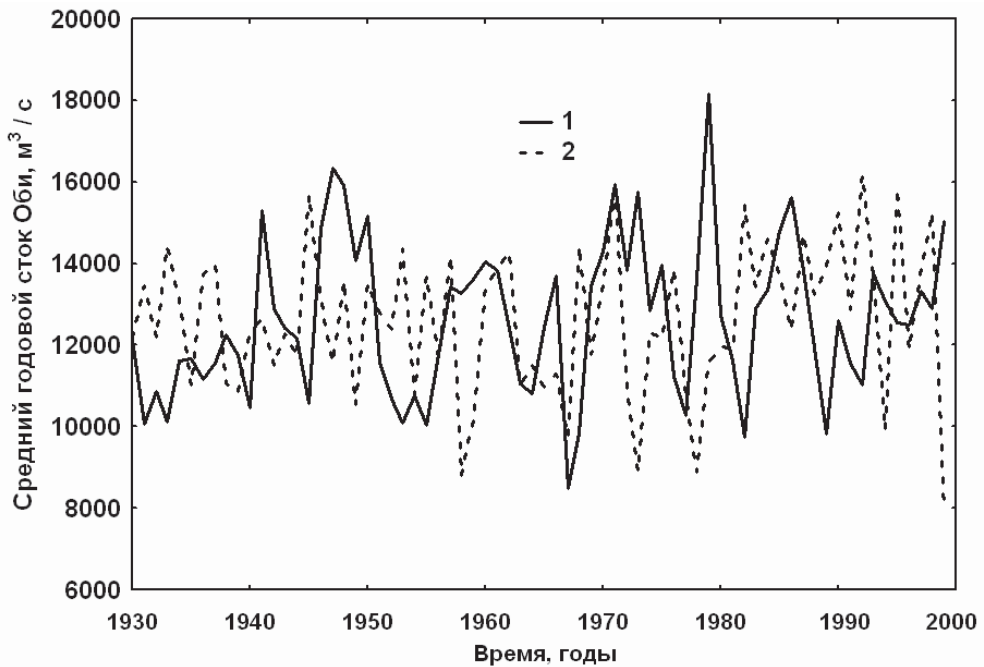
#### **4.1.2. Результаты сравнения параметров моделированных и наблюдаемых рядов речного стока**

Ниже будет использована методика анализа временных рядов, описанная в Главе 1 и более подробно в работах (Добровольский, 2011а,б).

Прежде всего, необходимо отметить, что глобальные климатические модели не воспроизводят реальные хронологические изменения речного стока – и, по-видимому, не были на это рассчитаны. В качестве примера приведем графики наблюдаемых и моделированных на модели FGOALS-g2 изменений среднегодового стока р. Оби (Рис. 4.1.2).

Модель FGOALS-g2 выбрана для демонстрации результатов, так как она намного лучше других 36 моделей воспроизводит средний многолетний сток Оби: ошибка составляет всего -0,004% от среднего наблюдаемого стока

– своего рода «рекорд» для всех 37 моделей и для всех рек. Тем не менее, как видно на рисунке, реальные и моделированные *изменения* стока не имеют ничего общего: коэффициент парной корреляции составляет всего  $-0,15$  и имеет тот же порядок, что и ошибка его оценки. Практически нулевым, в среднем, является и коэффициент парной корреляции между наблюдаемым и моделированным стоком для всех моделей и для всех рассматриваемых рек России. Однако теоретически это обстоятельство может не служить препятствием для адекватного воспроизведения моделями *статистических* параметров межгодовых и многолетних изменений стока – и сравнения их с рассчитанными по данным наблюдений аналогичными параметрами, при условии, что изменения стока соответствующих рек близки к стационарным (как будет показано ниже, это условие не всегда соблюдается).



**Рис. 4.1.2.** Наблюдаемые в створе Салехард (1) и воспроизведенные на модели FGOALS-g2 (2) изменения стока р. Обь

Обратим также внимание на то, что если глобальные климатические модели могут «угадывать» тенденцию естественных изменений стока в случае его стационарности (точнее сказать – отсутствие каких-либо тенденций), то сложнее обстоит дело с «последствиями» изменений стока – например, при накоплении аномальных ежегодных порций стока в больших проточных озерах или водохранилищах, уровень которых может демонстрировать дли-



тельные отклонения от среднего. В еще большей степени смоделированные и фактические длительные тенденции накопленных аномалий годового стока могут расходиться в случае суммирования аномалий, приводящих к изменениям уровня бессточных озер или самого большого бессточного водоема мира – Мирового океана.

Вернемся к моделированию речного стока. Подчеркнем, что наилучшие результаты, при моделировании стока различных рек, дают различные модели из приведенного в начале первого раздела списка 37 моделей и различные их модификации. Иными словами, не существует одной модели или одной модификации модели, которая наилучшим образом описывала бы сток всех рассматриваемых рек России. Так, лучшее описание наиболее важного параметра – среднего многолетнего стока – для Волги дает модель MPI-ESM1, для Северной Двины – MPI-ESM-P, для Оби – FGOALS-g2 (как было указано выше), для Енисея – MRI-ESM1, для Лены – mcm4, для Амура – GFDL-ESM2G. Таким образом, как отмечалось в (Nohara et al., 2006; Добровольский, 2007) и других работах, наилучшие результаты описания речного стока следует ожидать, если моделированные параметры усреднить по всем участвовавшим в эксперименте (то есть, наиболее известным) моделям. Далее мы будем рассматривать именно статистики параметров, полученные по 37 моделям (Таблицы 4.1.2 – 4.1.4).

Рассмотрим вначале принципиальную способность моделей воспроизводить средний сезонный ход стока. Для этих целей нами ранее был предложен такой элементарный параметр, как «индекс сезонности» (*ИС*) - разность между средним многолетним стоком наиболее многоводного месяца и стоком наиболее маловодного месяца, деленная на величину среднего многолетнего стока (все – в одинаковых величинах, например, в м<sup>3</sup>/с); *ИС*, таким образом, характеризует относительный размах сезонных изменений стока. Необходимо отметить, что модели воспроизводят этот параметр с очень большой ошибкой в сравнении с данными наблюдений: средняя величина ошибки,  $\Delta ИС$  по модулю составляет 36%. При этом почти для всех рек (кроме Лены, где  $\Delta ИС = -1,8\%$ ) величина индекса завышается моделями, и наибольшего значения  $\Delta ИС$  достигает для Оби (+110%). Уже эти расчеты показывают, что трудно ожидать адекватного воспроизведения глобальными климатическими моделями параметров максимального и минимального стока.

Обратимся поэтому вначале к результатам моделирования среднего многолетнего стока. В среднем, ошибки воспроизведения этого параметра моделями, хотя заметны и превышают ошибки в оценке среднего стока по данным наблюдений, имеют порядок последних. Так, средняя по 6 рекам РФ и по 37 моделям CMIP-5 рассматриваемая ошибка по модулю равна 14% (при этом, однако, разброс оценок среднего многолетнего стока по различным моделям эксперимента очень значителен и составляет 34%). Еще лучше модели воспроизводят стандарты годовых величин стока: средняя по модулю ошибка составляет всего 9% (при среднеквадратичном отклонении величины стан-

**Таблица 4.1.2.** Параметры наблюдаемых и моделированных рядов годового стока рек России.  $M$  – средняя величина;  $\Delta$  – разность между оценкой по данным моделей и по данным наблюдений;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $C_V$  – коэффициент вариации;  $r_1$  – коррелированность между смежными значениями ряда;  $P$  – порядок процесса авторегрессии;  $I_{SM}$  – индекс стационарности по среднему (матожиданию). Нижний индекс «набл» обозначает величины, рассчитанные по данным наблюдений, «мод» – по данным моделей. Выражение « $\sigma(\ )$ » обозначает процедуру расчета размаха оценок соответствующего параметра (в среднеквадратичном) по 37 моделям, в следующей строке – та же величина, в процентах от среднего значения параметра по моделям. Размерность величин с индексом  $^1$  – м<sup>3</sup>/с. Остальные величины – безразмерные или в %.

Пара-	Волга	С.Двина	Обь	Енисей	Лена	Амур
$M_{набл}^1$	8136	3336	12617	18368	16697	9981
$M_{мод}^1$	8215	2731	12205	14401	14097	12608
$\Delta M, \%$	1	-18	-3	-21	-16	26
$\sigma(M_{мод})^1$	2901	762	3893	5254	5323	4234
$\sigma(M_{мод}), \%$	35	28	32	36	38	34
$\sigma_{набл}^1$	1442	624	1894	1481	2033	2017
$\sigma_{мод}^1$	1505	508	1911	1543	1792	2335
$\Delta \sigma, \%$	4	-19	1	4	-12	16
$\sigma(\sigma_{мод})^1$	426	128	641	530	552	725
$\sigma(\sigma_{мод}), \%$	28	25	34	34	31	31
$C_V_{набл}$	0,18	0,19	0,15	0,08	0,12	0,20
$C_V_{мод}$	0,20	0,19	0,16	0,11	0,14	0,19
$\Delta C_V, \%$	13	0	7	36	15	-6
$\sigma(C_V_{мод})$	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
$\sigma(C_V_{мод}), \%^5$	30	21	31	27	29	21
$r_1_{набл}$	0,35	-0,01	0,46	0,20	0,28	0,45
$r_1_{мод}$	0,23	0,15	0,17	0,19	0,16	0,16
$\Delta r_1, \%$	-35	1600	-63	-6	-42	-64
$\sigma(r_1_{мод})$	0,20	0,16	0,17	0,16	0,16	0,14
$\sigma(r_1_{мод}), \%$	87	107	100	84	100	88
$P_{набл}$	1	0	1	0	2	1
$P_{мод}$	0,57	0,29	0,46	0,51	0,46	0,29
$\Delta P, \%$	-43	-	-54	-	-77	-71
$\sigma(P_{мод})$	0,69	0,57	0,52	0,73	0,61	0,57
$\sigma(P_{мод}), \%$	160	197	113	143	133	197
$I_{SM_{набл}}$	-2,59	0,21	1,15	1,76	1,08	-0,75
$I_{SM_{мод}}$	0,85	0,62	0,29	0,89	0,24	-0,06
$\Delta I_S, \%$	133	195	-75	-49	-48	92
$\sigma(I_{SM_{мод}})$	1,41	1,19	1,27	1,36	1,03	1,04
$\sigma(I_{SM_{мод}}), \%$	166	192	438	153	429	1733

**Таблица 4.1.3.** Параметры наблюдаемых и моделированных при помощи МОЦАО эксперимента СМIP-5 рядов ежегодных значений максимального месячного стока основных рек России. Структура таблицы, обозначения и размерности – как в Таблице 4.1.2

Параметр	Волга	Сев. Двина	Обь	Енисей	Лена	Амур
$M_{\text{набл}}^1$	25113	14070	33504	74119	74076	23180
$M_{\text{мод}}^1$	36204	13014	61504	62608	61690	33874
$\Delta$ , %	44,2	-7,5	83,6	-15,3	-16,7	45,9
$\sigma(M_{\text{мод}})^1$	19272	5671	30510	28248	28246	13172
$\sigma(M_{\text{мод}})$ , %	53	44	50	45	46	39
$\sigma_{\text{набл}}^1$	6832	3159	3843	19084	10821	5183
$\sigma_{\text{мод}}^1$	9423	3133	13835	11451	10852	8554
$\Delta \sigma$ , %	38	-1	260	-40	0	65
$\sigma(\sigma_{\text{мод}})^1$	4557	1263	7717	5721	4803	3514
$\sigma(M_{\text{мод}})$ , %	48	40	56	50	44	41
$C_V_{\text{набл}}$	0,27	0,22	0,11	0,26	0,15	0,2
$C_V_{\text{мод}}$	0,27	0,25	0,23	0,18	0,19	0,26
$\Delta C_V$ , %	0	11	109	-31	27	18
$\sigma(C_V_{\text{мод}})$	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,06
$\sigma(C_V_{\text{мод}})$ , % <sup>5</sup>	19	20	22	17	21	23
$r_{1 \text{ набл}}$	0,43	-0,01	0,33	0,55	-0,10	0,25
$r_{1 \text{ мод}}$	0,07	0,05	0,05	0,04	0,06	0,08
$\Delta r_1$ , %	-84	600	-85	-93	160	-68
$\sigma(r_{1 \text{ мод}})$	0,16	0,10	0,11	0,14	0,14	0,15
$\sigma(r_{1 \text{ мод}})$ , %	229	200	220	350	233	188
$P_{\text{набл}}$	4	1	1	1	0	0
$P_{\text{мод}}$	0,41	0,18	0,14	0,24	0,32	0,24
$\Delta P$ , %	-90	-82	-86	-76	-	-
$\sigma(P_{\text{мод}})$	0,72	0,39	0,35	0,43	0,63	0,54
$\sigma(P_{\text{мод}})$ , %	176	217	259	179	197	225
$I_S_{\text{набл}}$	-6,07	0,84	1,84	-0,97	-0,11	-0,28
$I_S_{\text{мод}}$	0,70	0,19	-0,14	0,42	-0,01	-0,11
$\Delta I_S$ , %	88	-77	-108	143	91	61
$\sigma(I_S_{\text{мод}})$	1,20	1,01	0,95	1,04	1,34	0,85
$\sigma(I_S_{\text{мод}})$ , %	171	532	679	248	13400	773

**Таблица 4.1.4.** Параметры наблюдаемого и моделированного при помощи 37 МО-ЦАО эксперимента CMIP-5 рядов ежегодных значений минимального месячного стока основных рек России. Структура таблицы, обозначения и размерности – как в Таблице 4.1.2

Параметр	Волга	Сев. Двина	Обь	Енисей	Лена	Амур
$M_{набл}^1$	3321	714	3307	5315	1350	1078
$M_{мод}^1$	1072	342	277	1432	1421	1319
$\Delta, \%^2$	-67,7	-52,1	-91,6	-73,1	5,3	22,4
$\sigma(M_{мод})^1$	1570	462	4208	2486	2442	2190
$\sigma(M_{мод}), \%$	146	135	1519	174	172	166
$\sigma_{набл}^1$	1430	172	663	712	487	480
$\sigma_{мод}^1$	601	158	630	730	181	427
$\Delta \sigma, \%$	-58	-8	-5	3	-63	-11
$\sigma(\sigma_{мод})^1$	352	132	966	3384	280	613
$\sigma(M_{мод}), \%$	59	84	153	464	155	144
$C_V_{набл}$	0,43	0,24	0,20	1,97	0,36	0,45
$C_V_{мод}$	0,59	1,08	0,74	2,47	1,38	0,45
$\Delta C_V, \%$	37	350	270	76	283	0
$\sigma(C_V_{мод})$	0,72	1,52	0,74	6,92	2,43	1,65
$\sigma(C_V_{мод}), \%^5$	122	141	100	280	176	367
$r_{1набл}$	0,85	0,24	0,59	0,78	0,82	0,90
$r_{1мод}$	0,24	0,19	0,24	0,26	0,16	0,23
$\Delta r_1, \%$	-72	-21	-59	-67	-80	-74
$\sigma(r_{1мод})$	0,20	0,17	0,23	0,30	0,22	0,26
$\sigma(r_{1мод}), \%$	83	89	96	115	138	113
$P_{набл}$	2	0	2	1	1	1
$P_{мод}$	0,65	0,61	0,81	0,49	0,39	0,55
$\Delta P, \%$	-68	-	-60	-51	-61	-45
$\sigma(P_{мод})$	0,82	0,95	1,02	0,56	0,75	0,76
$\sigma(P_{мод}), \%$	126	156	126	114	192	138
$I_S_{набл}$	5,52	0,07	2,94	4,75	0,67	1,91
$I_S_{мод}$	0,36	0,58	0,76	0,64	0,67	0,09
$\Delta I_S, \%$	-93	729	-74	-87	0	-95
$\sigma(I_S_{мод})$	1,42	1,34	1,31	2,14	1,21	1,42
$\sigma(I_S_{мод}), \%$	394	231	172	334	181	1578

дарта по моделям 31%). В каком-то смысле слова приемлемой оказывается, в среднем, и оценка коэффициента вариации,  $C_V$ . Средняя по модулю величина отклонения расчетных  $C_V$  от наблюдаемых равна 13% (стандарт отклонения по моделям 27%).

Вместе с тем, модели совершенно неудовлетворительно описывают стохастическую (и автокорреляционную) структуру рядов даже годового стока. Средняя относительная ошибка модельных оценок коррелированности стока смежных лет, деленных на оценки по данным наблюдений и взятых в процентах, составляет по всем рекам за исключением особого (как будет показано ниже) случая Северной Двины, -42%. Причем, во всех этих случаях модели занижают наблюдаемые значения. В сущности, в среднем модели для всех рек дают примерно одинаковые оценки этого коэффициента автокорреляции в узком диапазоне – от +0,15 до +0,19. Как показано в (Добровольский, 2011б), такие значения характерны в среднем для рек с площадью водосбора примерно до 50000 – 100000 км<sup>2</sup>, то есть, в основном для малых и средних рек, но могут быть совершенно не типичны для крупнейших рек, рассматриваемых в настоящей работе.

Особый случай представляет собой ряд стока Северной Двины. Бассейн этой реки – один из немногих в мире (если не единственный), где для 97% (36 из 37) створов коррелированность максимального стока смежных лет отрицательна. Слабоотрицательна и коррелированность годового стока смежных лет в ближайшем у устья створе Усть-Пинега. Однако, и для этой реки модели СМР-5, в среднем, дают все то же, близкое к глобальному среднему для малых и средних водосборов значение коэффициента +0,15.

Более информативным, агрегированным параметром, описывающим структуру рядов, является порядок описывающих изменчивость стока моделей авторегрессии. Сравнение по этому параметру еще нагляднее выявляет особенности моделированных рядов: средний порядок  $P$  подогнанных к ним моделей авторегрессии (0,43) существенно, почти в 2 раза занижает средний порядок  $P$ , рассчитанный по данным наблюдений (0,83). Таким образом, если наблюдаемые ряды годового стока рассматриваемых рек РФ в среднем тяготеют к реализациям моделей авторегрессии первого порядка (что характерно и для других рек мира со сравнимыми по площади водосборными бассейнами), то смоделированные ряды тяготеют к моделям нулевого порядка, более характерным для меньших по размерам бассейнов.

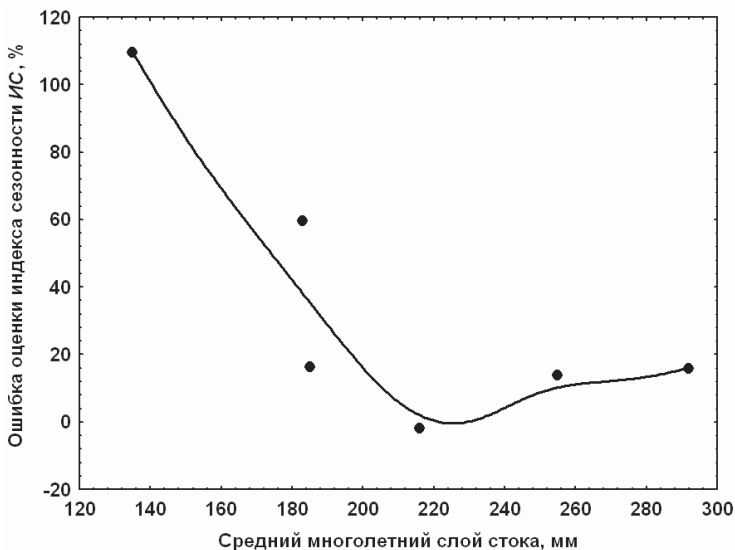
В завершение анализа изменений годовых величин стока остановимся на «индексах стационарности» по средним значениям,  $I_{SM}$ . В среднем модели дают слабоположительный рост (кроме случая Амура) математического ожидания годового стока, не являющийся статистически значимым для каждой индивидуальной реки. Средние по 37 моделям ошибки оценки этой величины, по сравнению с наблюдаемыми значениями, велики: составляют от -48% до +195%, и нигде не меньше по модулю, чем 48%. Стандарт разброса между оценками  $P$  по 37 моделям (1,2) несколько, хотя и не кардинально превышает

теоретическое (1,0) значение стандарта разброса выборочных значений  $P$  для стационарной последовательности.

Намного хуже, по сравнению с годовым стоком, климатические модели воспроизводят средние максимальный и минимальный сток и их изменения во времени (Табл. 4.1.3, 4.1.4). Так, средние по модулю ошибки оценки среднего  $M$  максимального стока в моделях составляют 36%, минимального – 52%; стандартов  $\sigma$  – соответственно 69% и 25%; коэффициентов вариации  $C_V$  33% и 169%; коррелированности стока смежных лет  $r_1$  180% и 62%; порядков процессов авторегрессии  $P$  56% и 48% (в тех случаях, когда эту величину можно рассчитать), параметра нестационарности по среднему  $I_{SM}$  95% и 180%.

#### 4.1.3. Зависимости ошибок моделирования от параметров речных бассейнов

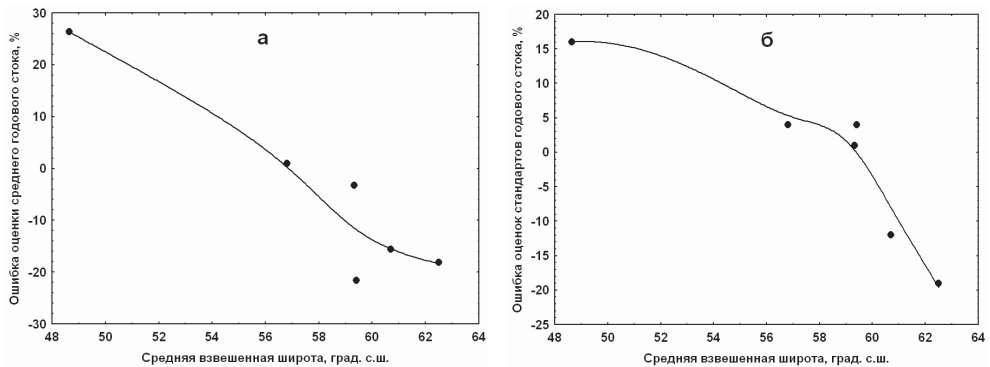
Несмотря на то, что ошибки воспроизведения стока основных рек России имеющимися глобальными моделями климатической системы заметны или велики, можно попытаться найти ряд закономерностей, связывающих величины этих ошибок с параметрами рассматриваемых речных бассейнов и характеристиками речного стока. Возможно, в будущем это поможет найти возможности совершенствования моделей.



**Рис. 4.1.3.** Зависимость средних по 37 моделям СМIP-5 ошибок оценки индекса сезонности ИС от среднего многолетнего слоя стока соответствующих бассейнов. Кривая линия – аппроксимация методом пространственно-осредненных наименьших средних квадратов

Так, на Рис. 4.1.3 показана зависимость средних по 37 моделям ошибок оценки «параметра сезонности» *ИС* (относительного размаха сезонных колебаний стока) от среднего многолетнего слоя стока соответствующих бассейнов. Очевидно, что модельные ошибки меньше для сравнительно увлажненных бассейнов (менее 20% по модулю), но быстро растут при увеличении засушливости бассейна.

Дальнейший анализ показал, что основным фактором, оказывающим влияние на распределение ошибок важнейших моделируемых параметров стока – среднего многолетнего значения и стандарта годовых значений – является географическое положение бассейна, отражающееся, прежде всего, в его географических координатах.

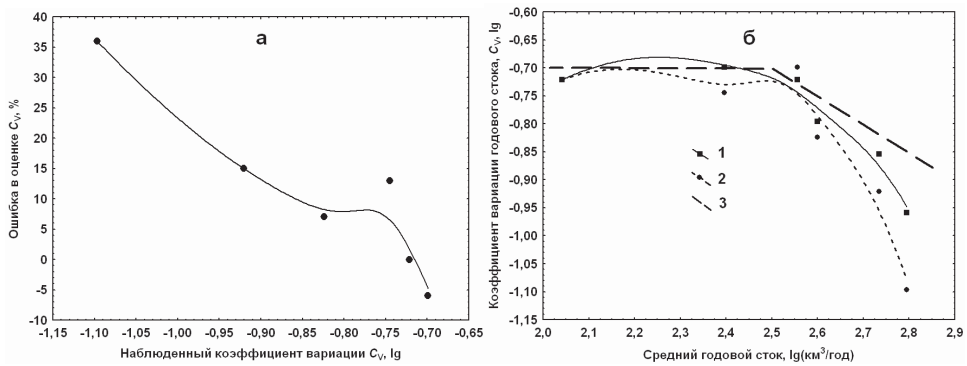


**Рис. 4.1.4.** Зависимость от средневзвешенных широт бассейнов: а – средних ошибок оценки среднего многолетнего стока рек РФ, б – средних ошибок оценки стандартов годовых величин стока. Кривые линии – аппроксимации методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов

На Рис. 4.1.4 показаны зависимости ошибок в оценках среднего многолетнего стока и стандартов годовых величин стока от средней взвешенной (относительно средних слоев стока) широты рассматриваемых бассейнов. Поле точек на графиках, соответствующих отдельным бассейнам, аппроксимировано методом пространственных наименьших средних квадратов. Графики демонстрируют общее уменьшение, с учетом знака, ошибок в оценке обоих параметров с увеличением широты. Близкие к нулю ошибки характерны для средних по взвешенной широте бассейнов – Волги и Оби, значительные положительные ошибки – для сравнительно южно расположенного Амура, и значительные отрицательные ошибки – для наиболее северных бассейнов – Северной Двины и Лены.

На Рис. 4.1.5а показаны зависимости ошибок модельных оценок другого важного параметра изменчивости стока – коэффициента вариации годовых величин – от величин  $C_V$ , оцененных по данным наблюдений. Характер

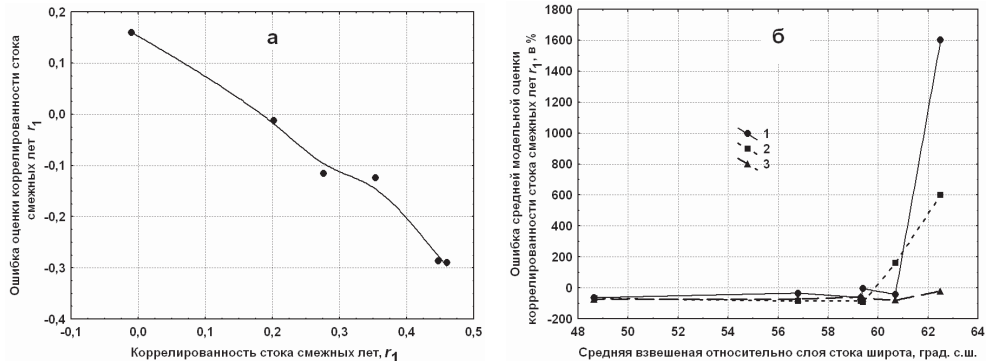
но общее уменьшение ошибок с увеличением  $C_V$ . В связи с тем, что ошибки в оценке  $C_V$  годового стока (наряду с ошибками в оценке стандартов годового стока) не так велики, как ошибки модельных оценок других параметров, представляет интерес проверка того, описывают ли климатические модели основную пространственную особенность характера многолетней изменчивости речного стока. А именно: воспроизводят ли модели уменьшение  $C_V$  с ростом модуля стока, площади бассейнов и самого среднего стока.



**Рис. 4.1.5.** *а* – зависимость средней ошибки оценки  $C_V$  модельных рядов годового стока от оценки по данным наблюдений. *б* – зависимости наблюдаемых (1) и средних модельных (2) величин  $C_V$  годового стока от среднего многолетнего годового стока (в lg). (3) – теоретические асимптоты зависимостей, полученные по данным о годовом стоке примерно в 900 створах на реках РФ

Если для проверки двух первых гипотез количество изучаемых бассейнов и данных моделирования оказалось недостаточным, то зависимость модельных значений  $C_V$  от интегрального параметра бассейна – стока в замыкающем створе – качественно повторяет зависимость, полученную по данным наблюдений не только для изучаемых 6 рек, но в среднем для тысяч створов на реках мира: рост  $C_V$  при уменьшении годового стока до примерно 250 - 300 км<sup>3</sup>/год и стабилизация при дальнейшем уменьшении годового стока (Рис. 4.1.5б). Эта закономерность в виде асимптот, представлена на рисунке кусочно-линейной зависимостью – линией 3. По мере дальнейшего уменьшения стока наблюдается повторный рост  $C_V$  (за счет уменьшения модуля стока), однако величины стока рассматриваемых бассейнов не включают в себя диапазон такого «вторичного» роста  $C_V$ . Наклон правой части линии 3 на Рис. 4.1.5б отражает теоретический закон «степени -1/2», однако в данном случае небольшое число точек, соответствующих небольшому числу бассейнов, не позволяет судить о тонких закономерностях и зависимостях такого рода.





**Рис. 4.1.6.** а – зависимость ошибок модельных оценок коррелированности смежных годовых величин стока от значений коррелированности по данным наблюдений. б – зависимости ошибок оценок коррелированности между стоком смежных лет от средней взвешенной широты бассейна. 1 – годовой сток, 2 – максимальный сток, 3 – минимальный сток

Как указывалось выше, если ансамбль всех моделей в среднем в каком-то смысле слова сносно воспроизводит математическое ожидание годового стока и его общую изменчивость, стандарт и  $C_V$ , (правда, не для всех рек), то моделирование более детальной структуры временных рядов даже годового стока не соответствует этой структуре. В частности, недопустимо велики ошибки в модельных оценках автокоррелированности стока. Однако, и в самих ошибках оценок коррелированности стока смежных лет можно уловить определенные закономерности. Так, Рис. 4.1.6а демонстрирует почти линейную зависимость ошибок оценок последнего параметра по моделям SMIP-5 от оценок  $r_1$  по данным наблюдений.

Другой пример любопытной зависимости ошибок оценок  $r_1$  от параметров бассейна представлен на Рис. 4.1.6б. Из рисунка видно, насколько ошибки оценок для наиболее «северных» рек – Северной Двины и, в отношении максимального стока, Лены, выделяются на общем фоне. Это обстоятельство еще раз подчеркивает отмеченную выше аномальность бассейна Северной Двины (возможно, в меньшей степени Лены) в отношении автокоррелированности стока.

Представляется, что полученные результаты, хотя и на ограниченном материале, позволяют сделать определенные выводы в отношении современной структуры глобальных климатических моделей, их особенностей и состояния их гидрологических блоков. Одной из основных проблем при изучении изменчивости как стока, так и других гидрометеорологических параметров, является проблема стационарности наблюдаемых и моделируемых изменений. Как показывает анализ данных наблюдений, сток крупнейших рек не

всегда полностью соответствует гипотезе стационарности по математическим ожиданиям. Намного более нестационарными выглядят наблюдаемые ряды температуры воздуха и осадков. Кроме того, в ряде случаев наблюдается явление так называемой «перемежающейся стационарности» или «перемежающейся нетационарности» стока крупнейших рек – см. (Добровольский, 2011б). Однако, полученные на климатических моделях ряды стока, как свидетельствуют последние строки Таблицы 5.2.1, неизменно и почти точно укладываются в представление о стационарности по среднему. Как известно, основным источником естественной нестационарности климатической системы в «исторический» (инструментальный) период является океан и покровное оледенение, обладающие громадной теплоемкостью и влагоемкостью – в сотни и тысячи раз превышающей емкость атмосферы и поверхности суши. Полученные нами результаты могут свидетельствовать, однако, о том, что учет океана и покровного оледенения в существующих моделях не приводит к отклонениям стока от стационарного режима.

Другой вывод работы связан с воспроизведением климатическими моделями общей изменчивости годового стока. Так как стандарт годовых значений стока и коэффициент вариации воспроизводятся сравнительно реалистично, можно предположить, что удачно воспроизводится и размах колебаний эффективных осадков на поверхность суши в масштабах времени от одного года и более – в свою очередь контролируемый эволюцией цугов модельных синоптических образований и правдоподобным модельным описанием средней годовой эвапотранспирации.

Особого упоминания заслуживает пространственная структура результатов моделирования, связанных с речным стоком. То обстоятельство, что модели воспроизводят уменьшение коэффициента вариации годового стока при переходе от крупных (Северной Двины, Волги) к крупнейшим речным бассейнам (Оби, Енисея, Лены), причем начиная именно с тех порядков величин стока, которые фиксируются и по данным наблюдений, говорит прежде всего о реалистичном пространственном корреляционном масштабе атмосферных синоптических образований, который и обуславливает особенности формирования коэффициента вариации в различных пространственных масштабах – следовательно, и в различных масштабах среднего многолетнего стока.

В то же время, неудача глобальных климатических моделей в воспроизведении автокорреляционной структуры рядов годового является, по-видимому, отражением того обстоятельства, что модели не описывают водный режим слоев суши достаточной глубины, причем увеличивающейся с увеличением площади речных бассейнов. То есть, не описывается эффект углубления выклинивающихся в речную сеть водонесущих горизонтов при увеличении масштабов речных систем.

Результаты исследования говорят также о том, что максимальный и минимальный сток и их изменчивость во времени плохо (зачастую катастро-

фически плохо) моделируются существующими глобальными моделями климата. Так как в формировании стока изучаемых рек чрезвычайно важную роль играют процессы снегонакопления и снеготаяния, можно предположить, что эти процессы учитываются моделями недостаточно адекватно в рассматриваемом смысле. Как уже отмечалось, в моделях отсутствует и адекватное описание эволюции подземных вод, что, вместе взятое, приводит к исключительно большим ошибкам при описании максимального и минимального стока (и вообще сезонных колебаний стока) и их изменчивости.

В связи с этим следует остановиться на применении в ряде исследований так называемого «даунскейлинга» - приспособления к имеющимся моделям климата дополнительных гидрологических блоков с лучшим разрешением пространственной сетки и с более детальным описанием гидрологических процессов суши – см. (Arnell, 2004; Gosling et al., 2013; Wisser et al., 2010) и др. По мнению авторов работ с использованием даунскейлинга, этот прием позволяет более адекватно воспроизводить речной сток и его изменения для бассейнов сравнительно небольших размеров, а также воспроизводить более реалистичный сезонный ход гидрологических параметров. На наш взгляд, указанное направление обладает и рядом следующих ограничений.

Прежде всего, при использовании даунскейлинга возникает искусственная и нереалистичная горизонтальная мозаичность параметров. Для решения ряда задач ее приходится подавлять с использованием пространственных фильтров или аппроксимаций методом пространственных сплайнов или другими. Также, неизбежно искажаются первоначальные, полученные на «материнских» моделях климата балансы тепла и влаги на поверхности суши. Это, в свою очередь, должно было бы повлиять и на изменение влажности воздуха в приповерхностных слоях, альбедо поверхности, возможно облачный покров – которые, тем не менее «оставляются» в том же виде, в каком они моделируются в исходных климатических моделях. В конечном итоге возникает впечатление, что процедуры даунскейлинга более эффективны для меньших, чем рассматриваемых выше, крупнейших речных бассейнов – и для средних речных бассейнов. Задачей настоящей работы было – выявить, что же можно извлечь именно из исходных глобальных климатических моделей в отношении описания стока крупнейших рек страны (по существу – крупнейших рек севера Евразии).

В завершение раздела сопоставим результаты, полученные в настоящей работе для средних многолетних значений стока рек РФ, и аналогичные результаты, полученные ранее – в качестве примера, в работе (Nohara et al., 2006). Напомним, что в последней работе наблюдались элементы субъективизма при выборе «весов», с которыми водились результаты разных моделей. Кроме того, в ней (в отличие от нашего эксперимента) использовалась «дополнительная» гидрологическая модель. Тем не менее, средние ошибки оценки среднего многолетнего стока 5 рек (кроме Северной Двины) по модулю были практически равны: 12% в работе (Nohara et al., 2006) и 13% в нашем эксперименте; при этом сток крупнейших рек РФ (Енисей, Лены) в на-

шем случае воспроизводился существенно лучше. Результаты же изучения структуры модельных рядов, полученные в настоящем исследовании, существенно дополняют, на наш взгляд, предыдущие работы и позволяют получить новые знания о функционировании климатической системы – по сравнению с предыдущими работами (Добровольский, 2002; Dobrovolski, 1992; 2000).

Попытаемся сформулировать ряд основных выводов, к которым приводит раздел 4.1.

- Наилучшие результаты, при воспроизведении стока важнейших рек России и его изменений, дают не индивидуальные климатические модели (МОЦАО или КМОЦ), а вся совокупность наиболее известных моделей. Соответственно, наиболее адекватные оценки параметров стока и его изменчивости в целом целесообразно получать как осредненные по всем моделям.
- МОЦАО не воспроизводят реальные изменения речного стока – следовательно, и долговременные тенденции параметров, зависящих от колебаний речного стока – например, изменения уровней бессточных, полубессточных и крупнейших проточных озер.
- МОЦАО не воспроизводят также режимы стока, находящиеся на грани между стационарными и нестационарными: средние значения соответствующих индексов, рассчитанные на моделях, всецело соответствуют гипотезе стационарности по матожиданию, автокоррелированности и дисперсиям.
- Последнее обстоятельство означает, что включение в МОЦАО океанических блоков и блоков покровного оледенения, которые теоретически могли бы приводить к нестационарному естественному поведению гидрометеорологических параметров, не отражается на строго стационарном поведении модельных реализаций стока.
- Используемые МОЦАО (эксперимента СМIP-5), в среднем, сравнительно адекватно воспроизводят стандарты (дисперсии) и коэффициенты вариации годового стока крупнейших рек России – в особенности находящихся в «средних» физико-географических и климатических условиях – Волги и Оби.
- Несколько хуже, но с определенных точек зрения приемлемо МОЦАО, в среднем, описывают средний многолетний сток рассматриваемых рек России. В этом случае также наиболее удачные результаты получены для бассейнов Волги и Оби.
- Подавляющее большинство других параметров для большинства изучаемых в настоящей работе рек МОЦАО описывают плохо (с ошибками, достигающими десятков процентов) или катастрофически плохо (сотни процентов).

- Вместе с тем, можно отметить ряд закономерностей в самих ошибках параметров стока, воспроизводимых МОЦАО. Так, для всех рек кроме Северной Двины, сильно занижается автокоррелированность годового стока, а автокоррелированность минимального стока занижается абсолютно для всех исследуемых рек.
- Продолжение исследований видится прежде всего в вовлечении в аналогичный анализ других рек России, меньших по размеру частей бассейнов исследованных крупнейших рек России, а также важнейших рек мира. Другим актуальным направлением возможных будущих исследования является сравнение как диагностических, так и прогностических результатов, полученных на МОЦАО с даунскейлингом и без него – в масштабе территории России и глобальном.

#### **4.2. Прогноз изменений увлажненности/засушливости материков в 21 веке вследствие возможного потепления глобального климата**

Изучение возможных будущих изменений увлажненности поверхности суши и речного стока вследствие потенциального глобального антропогенного потепления климата представляет собой одну из важнейших проблем современной гидрологии. Основной метод оценки этих изменений – расчеты на численных моделях климатической системы: моделях общей циркуляции атмосферы, объединенных с моделями поверхности суши и моделями океана (зачастую такие модели называют КМОЦ или МОЦАО). Результаты такого рода были опубликованы и обсуждались в сравнительно большом количестве работ (Arora, Boer, 2001; Climate Change, 2001; Climate Change, 2007; Climate Change, 2013; Добровольский, 2002; 2003; 2007; 2011a; Евстигнеев, Акименко, 2005; Манабе, Везерольд, 2003; Мохов и др., 2003; Хубларян, Добровольский, Найденов, 2003; Arnell, 2003; 2004; 2006; Dobrovolski, 1992; 2000; Gosling, Arnell, 2013; Gosling et al., 2011; Gosling et al., 2013; Haddeland et al., 2011; Vorosmarti et al., 2000; Strzepek et al., 2010 и др.). В более широком плане проблема возможного влияния глобальных изменений климата на речной сток, с привлечением также наблюдений за стоком за инструментальный период, обсуждается в (Labat et al., 2004; Legates et al., 2005; Mc Cabe et al., 1997; Nijssen et al., 2001 и др.). Отметим, что если в отношении атрибуции наблюдаемых за последние десятилетия глобальных изменений климата ведутся оживленные дискуссии – см., например, (Gordon, 1991; Dobrovolski, 2000), то возможные изменения глобального климата и стока к середине и к концу XXI века большинством авторов в основном приписываются парниковому эффекту.

Однако, оценить изменения стока (или слоя стока) на отдаленную перспективу – вплоть до конца 21-го века – еще совершенно недостаточно для того, чтобы пытаться делать научные и практические выводы из этих расчетов. Необходимо дополнить их анализом достоверности прогнозов – сопоставить прогнозы с естественной изменчивостью речного стока, дать количественную оценку ошибок предлагаемых прогнозов с учетом возможно большего количества содержащихся в них неопределенностей, и на этих основах оценить значимость оцениваемых изменений стока.

В упомянутых и других имеющихся работах указанная задача не была решена и даже не была поставлена в полном объеме. Так, в последнем отчете МГЭИК (Climate Change, 2013) приведены оценки возможных изменений годового слоя стока только на один момент времени (к концу 21-го века) и картированы оценки лишь одной неопределенности (ошибки) прогнозов: за счет межгодовой изменчивости результатов моделирования на КМОЦ. В задачи настоящего исследования входило изучение возможно большего числа неопределенностей и ошибок сверхдолгосрочных прогнозов изменений стока за счет парникового потепления – в том числе неопределенностей трех видов, не учтенных в работе (Climate Change, 2013) и дающих намного более значительные ошибки прогнозов. Конечная цель работы – оценить на этой основе значимость возможных «парниковых» изменений речного стока в глобальном масштабе для каждой из четвертей 21-го века и для различных групп сценариев. При этом нами использовался опыт предыдущей работы автора (Добровольский, 2007), в которой аналогичная задача решалась для территории России. В настоящем исследовании учтены результаты моделирования на более современных КМОЦ, пространственный диапазон работ расширен до глобального, применены новые методические подходы и использован уникальный архив и анализ наблюдаемых данных по стоку (Добровольский, 2011а; б), отсутствовавшие при подготовке статьи (Добровольский, 2007).

#### **4.2.1. Информационная основа исследования**

В работе были использованы результаты моделирования изменений климата в результате парникового эффекта, полученные на 21 наиболее известной модели климатической системы (так называемых моделях МГЭИК): UKMO HadCM3, CCCMA CGCM3.1 (T47), IPSL CM4, MPI ECHAM5, NCAR CCSM3, UKMO HadGEM1, CSIRO MK3.0, CCSR MIROC3.2 (HI), CCSR MIROC3.2 (MED), CNRM CM3, GFDL CM2, GISS EH, GISS ER, INM CM3, MRI CGCM2, GFDL CM2, NCAR PCM1, BCCR BCM2, CCCMA CGCM3.1 (T63), GISS AOM, CSIRO MK3.5. Эти результаты анализировались нами в интерпретации группы ученых из университета Рединга (Великобритания); информация помещена в (Gosling et al., 2013, Gosling et al., 2016).

Выбор этой интерпретации модельных результатов, как основы наших расчетов, был обусловлен следующими обстоятельствами. В первую

очередь, преимуществом этой базы модельных данных было то, что для пересчета результатов КМОЦ в величины речного стока в (Gosling et al., 2013) использован дополнительный блок – модель гидрологии суши Mac-PDM.09, в целом более реалистично описывающая гидрологические процессы по сравнению с обычными гидрологическими блоками КМОЦ. Технически использование модели Mac-PDM.09 требовало более подробной, по сравнению с исходными климатическими моделями, пространственной сетки. Таким образом, необходим был своего рода «даунскейлинг» результатов климатических моделей; он привел к искусственной пространственной мозаичности полученных полей слоя стока – однако нами были осуществлены определенные процедуры для сглаживания этой мозаичности (см. ниже).

Вторым преимуществом использования указанной базы данных было то, что она опиралась на одни из наиболее современных вариантов КМОЦ. Наконец, была обеспечена преемственность по отношению к нашей предыдущей работе (Добровольский, 2007), в которой был использован предыдущие, аналогичные результаты того времени, полученные исследователями из университета Рединга.

Кроме того, для анализа неопределенностей результатов прогнозирования за счет ошибок оценок климатологических значений наблюдаемого стока, а также для расчетов изменений стока в абсолютных величинах и оценок изменений  $C_V$  годового стока, нами была использована база данных по стоку мира, созданная автором в 2006-2011 гг. и описанная в (Добровольский, 2011а; б). Напомним, что база данных содержит многолетние ряды величин среднего годового, максимального и минимального стока, а также оценки большого количества параметров изменчивости стока для примерно 3000 створов на всей свободной ото льда суше Земли.

Использование этого архива позволило, в частности, построить вариант электронной карты – и соответствующего массива числовых данных – многолетних средних значений годовых величин слоя стока в глобальном масштабе. Напомним, что в отечественных исследованиях речного стока в глобальном масштабе до сих пор зачастую используются карты из (Мировой..., 1974), а в зарубежных исследованиях – аналогичные карты из работы (Baumgartner, Reihel, 1975) того же периода времени. Однако, в этих последних трудах имелась возможность учитывать прямые длительные измерения речного стока, охватывавшие только половину территории суши. Для остальных регионов оценки слоя стока осуществлялись косвенным образом – расчетными методами, которые, как известно, могут давать большие ошибки. Использование нашего архива позволило значительно расширить зоны прямых оценок слоя стока – в том числе в таком ключевом районе, как бассейн Амазонки. Так, было показано, что предшествовавшие оценки в части этого бассейна существенно завышали слой стока по сравнению с наблюдаемым – вплоть до полутора – двух раз.

**4.2.2. Метод оценивания значимости прогнозируемых изменений увлажненности суши и речного стока в 21 веке**

Были выполнены следующие расчеты с использованием модельных данных и наших информационных архивов.

**«Обратный апскейлинг» модельных результатов и их перестроение.** Для каждой из четырех ситуаций увеличенной глобальной температуры – на 0,5; 2,0; 4,0; 6,0 градусов Цельсия – информация об относительных (нормированных на средние значения за реперный период инструментальных наблюдений продолжительностью 30 лет) изменениях годового слоя стока из электронных карт (Gosling et al., 2013; Gosling et al., 2016) проектировалась в узлы пространственной сетки 2,5 градуса широты на 5 градусов долготы. Такое пространственное разрешение было необходимо для устранения мозаичности полей приращений слоя стока, возникшей из-за мелкой сетки узлов промежуточной гидрологической модели Mac-PDM.09, использованной в расчетах (Gosling et al., 2013) (см. выше), а также для сопоставимости результатов с пространственной сеткой в наших предыдущих работах по моделированию процессов в атмосфере и на подстилающей поверхности. Затем, для еще большего подавления пространственной неустойчивости результатов, каждое из четырех полей подвергалось сглаживанию методом сплайнов. В результате были сформированы 4 электронные таблицы в формате программной среды «Статистика» фирмы StatSoft (Statistica, 1995), каждая из которых содержала около 1200 ячеек с величинами приращений годового слоя стока на свободной ото льда суше.

**Оценка неопределенностей за счет ошибок оценок среднего наблюдаемого стока.** Потенциальные изменения слоя стока рассчитываются в моделях относительно наблюдаемых в предыдущий период средних значений – и в процентах относительно наблюдаемых средних. В исследованиях, которые мы используем в настоящей работе, за такого рода реперный период инструментальных наблюдений над стоком берутся 30 лет с 1960 по 1990 гг. (в других исследованиях даты реперного периода могут быть другими, но его временной масштаб сходен – немногие десятилетия, поэтому наши выводы будут справедливы и для других вариантов прогнозов). Однако, за счет межгодовой и многолетней изменчивости стока среднее значение по ряду длиной в несколько десятков лет оценивается со значительными ошибками, и эти ошибки составляют одну из неопределенностей прогноза.

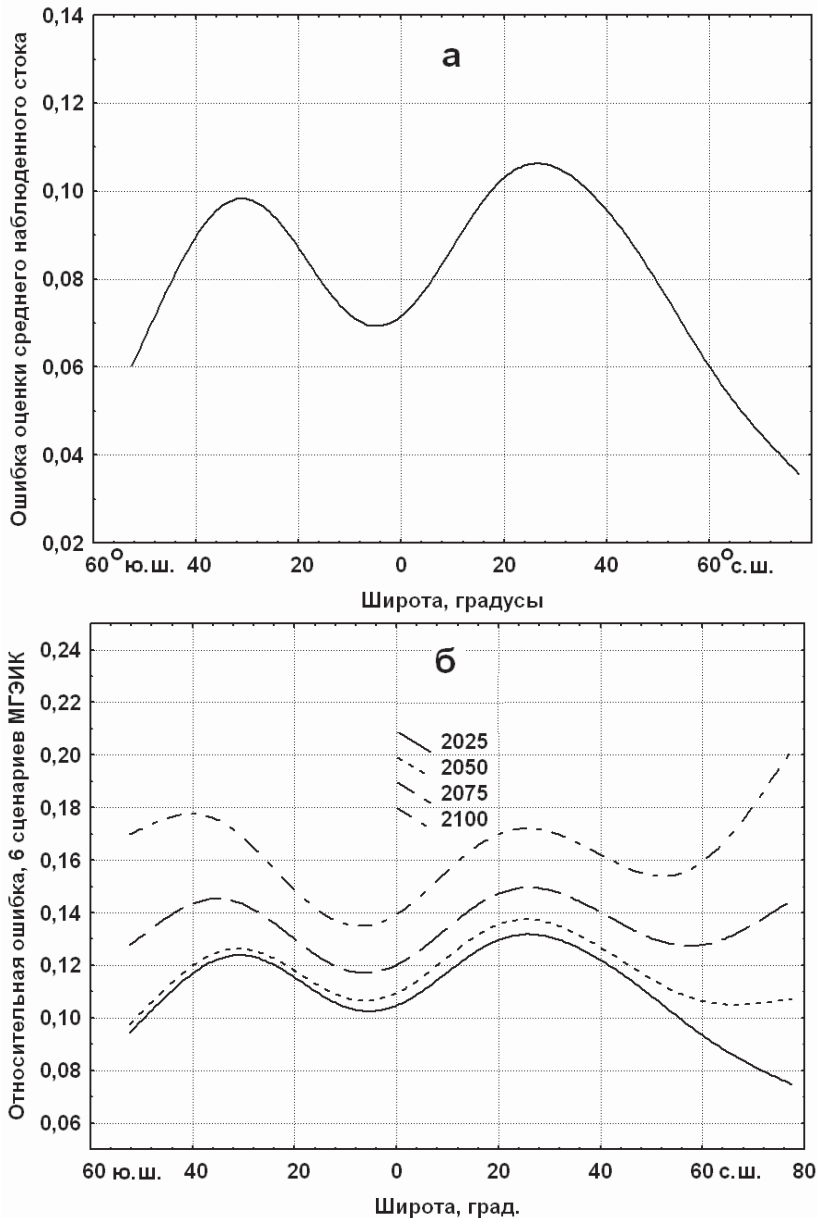
Для оценки такого рода ошибок был использован сформированный автором (Добровольский, 2011б) глобальный архив данных об изменениях речного стока примерно в 3000 створах на всей свободной ото льда суши. При этом нами учитывались только створы, замыкающие водосборы площадью не более 60 тыс. км<sup>2</sup>, что примерно соответствует площади одной ячейки



пространственной сетки. Для корректности были отброшены створы на озерных реках и створы на реках, колебания водности которых могут быть подвержены значительному воздействию гидротехнических сооружений. Анализ рядов годового стока в оставшихся створах показал во-первых, что подавляющая их часть в первом приближении может быть описана реализациями стационарных случайных последовательностей: доля рядов, не удовлетворяющая условиям стационарности невелика (около 4%) и может быть объяснена погрешностями метода. Важно то, что большинство (около 0,6) рядов годового стока в створах указанного типа описываются моделями некоррелированных по времени случайных величин, а оставшиеся ряды (преимущественно описываемые моделями авторегрессии первого порядка) имеют настолько малые коэффициенты авторегрессии, что их значения практически не влияют на последующий анализ. Таким образом, относительная среднеквадратичная ошибка  $\sigma_M/M$  оценки среднего значения  $M$  годового стока по ряду длиной 30 лет может быть в первом приближении рассчитана как  $\sigma_M/M = C_V * 30^{-1/2} = 18,3\% * C_V$ , где  $C_V$  – коэффициент вариации годового стока. В свою очередь, для расчета поля коэффициента вариации нами была использован закон «степени минус одна вторая» зависимости логарифма  $C_V$  от логарифма годового слоя стока, применимость которого в первом приближении для подавляющей части свободной ото льда территории суши была продемонстрирована в (Добровольский, 2011б). Наконец, необходимое для расчетов глобальное поле (матрицу значений в узлах сетки) среднего годового слоя стока было построено нами на основе архива непосредственных многолетних наблюдений над стоком (см. об этом в предыдущем разделе).

В качестве примера распределения пространственных оценок ошибки за счет неточного расчета среднего наблюдаемого стока на Рис. 4.2.1а показано распределение средних значений  $\sigma_M/M$  вдоль широты. Уже из широтного распределения этого параметра видно, что он может меняться в значительных пределах – на полпорядка. Минимум достигается в зоне вблизи экватора, а также в высоких и низких широтах соответственно северного и южного полушарий. Напротив, наивысшие значения наблюдаются в засушливых зонах северного и южного тропических поясов.

***Оценка неопределенностей за счет различий между моделями и сценариями климата.*** Информацию об ошибках в оценках будущего стока, возникающих за счет расхождения между моделями, оказалось удобным извлекать из электронных карт квантилей, соответствующих положительным и отрицательным значениям приращений слоя стока, оцененным по всем моделям. Количественный анализ этих карт показал, что в первом приближении ошибки такого рода распределены нормально, их среднеквадратичные значения можно считать примерно постоянными (в процентном исчислении) относительно средних значений приращений слоя стока. Глобальное значение этой величины составило в рамках рассматриваемых экспериментов в первом приближении 6,58%; этим значением мы пользовались в дальнейших расче-



**Рис. 4.2.1.** а – изменения вдоль широты осредненных по долготам среднеквадратичных ошибок оценок среднего годового слоя стока за реперный период. б – изменения вдоль широты осредненных по долготам суммарных среднеквадратичных ошибок расчетных приращений годового слоя стока для 2025, 2050, 2075, 2100 гг. (осреднение по 6 сценариям МГЭИК). Все – в относительных величинах

тах. Наконец, оценивались ошибки третьего рода – возникающие за счет расхождений между сценариями возможной будущей эмиссии парниковых газов в атмосферу. В качестве типичных и наиболее распространенных (к тому же – наиболее «официальных» из сценариев, фигурирующих в последних отчетах МГЭИК – на момент написания этого раздела монографии) нами были приняты сценарии A1B, A1FI, A1T, A2, B1, B2. Как указывалось выше, использованные нами результаты гидрологического «даунскейлинга» климатических моделей были первоначально привязаны к набору определенных, повышенных значений средней глобальной температуры. Для каждого из принятых 6 сценариев нами осуществлялась интерполяция (при помощи многочленов пятой степени) модельных результатов для значений, которые в соответствии со сценарием глобальная температура принимает в моменты времени 2025, 2050, 2075, 2100 год. Далее для каждого из этих моментов времени вычислялось среднее значение годового слоя стока по всем сценариям и среднеквадратичное отклонение от среднего по сценариям. Окончательно среднеквадратичная ошибка прогноза для каждого из упомянутых годов в каждом узле пространственной сетки вычислялась как среднеквадратичное из суммы квадратов ошибок трех рассмотренных типов. На Рис. 4.2.1а показаны широтные профили суммарных ошибок оценок приращений слоя стока (в долях от единицы) для 2025, 2050, 2075, 2100 гг. Если форма графика для 2025 года повторяет, в общих чертах, форму графика на Рис. 4.2.1а, то для более значительных заблаговременностей прогноза наблюдается значительный рост ошибок прежде всего в субарктических и арктических широтах. Можно также отметить, что если сами приращения слоя стока растут быстрее всего во второй четверти XXI века, то наибольший рост *ошибок* этих оценок наблюдается во второй половине века.

Кроме 6 сценариев МГЭИК нами также был рассмотрен сценарий эмиссии парниковых газов в атмосферу и изменений глобальной температуры, предложенной группой исследователей Московского энергетического института (Клименко и др., 2008; Клименко, Клименко, 2010). С нашей точки зрения, этот сценарий имеет то преимущество, что в соответствии с заложенными в него концепциями, прогноз глобальных температур, осуществленный в конце 1990-х годов, был более адекватным, чем прогноз большинства сценариев МГЭИК и ранних работ в этой области. Для сценария (Клименко, Клименко, 2010) нами были проделаны расчеты, аналогичные описанным выше – за исключением, естественно, расчетов ошибок из-за расхождения между сценариями.

#### 4.2.3. Результаты прогнозирования слоя стока

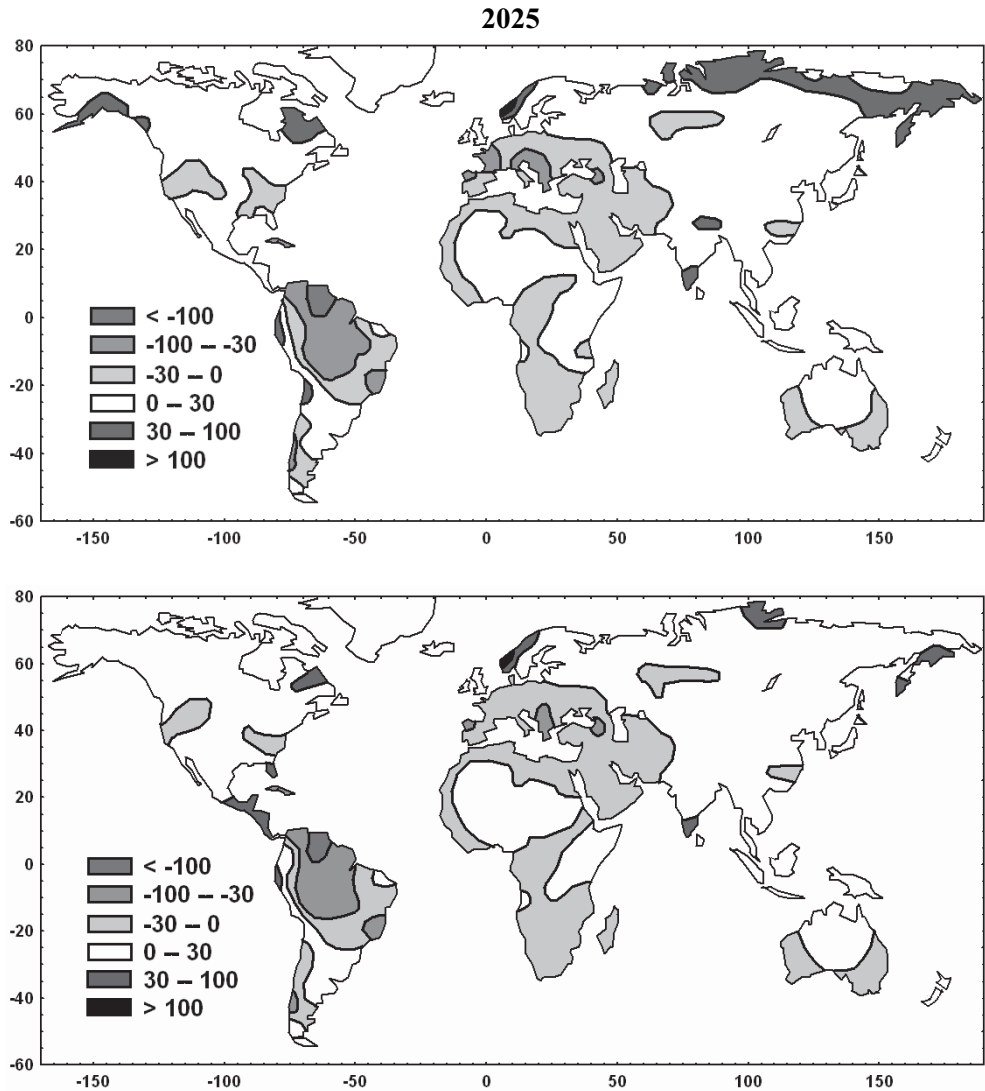
Окончательные результаты расчетов возможных будущих изменений стока за счет парникового эффекта в XXI веке представлены в виде наборов 16 карт для моментов времени 2025, 2050, 2075, 2100 гг. В первом наборе

(Рис. 4.2.2 – 4.2.5) представлены средние изменения годового слоя стока в соответствии с 6 сценариями МГЭИК (слева) и сценарием МЭИ (справа). Во втором наборе карт (Рис. 4.2.6 – 4.2.9) для аналогичных моментов времени и для аналогичных сценариев показан параметр, названный нами «индексом значимости» (*ИЗ*) прогностических оценок и представляющий собой частное от деления оценок приращений слоя стока на среднеквадратичное значение ошибок этих оценок.

Рассмотрим вначале эволюцию оценок слоя стока в соответствии со сценариями МГЭИК, сравнивая ее с эволюцией «по Клименко» (Рис. 4.2.2 – 4.2.5). Отметим вначале, что карты изменений слоя стока в первом приближении кажутся своего рода «автомодельными». То есть, области увеличения стока с одной стороны – и области уменьшения стока с другой стороны – примерно сохраняют свои ареалы, лишь контраст в изменениях стока усиливается со временем.

Рассматривая изменения по основным природным зонам Земли, можно отметить следующие особенности изучаемых прогнозов. Прежде всего, обращают на себя внимание две области «антагонистов»: субарктический и арктический пояс, где прогнозируется увеличение речного стока – и область влажных экваториальных лесов (бассейн Амазонки и значительная часть бассейна Конго), где прогнозируется уменьшение стока. Что же касается умеренных и тропических (субтропических) зон, то картина более мозаичная. Так, в Евразийской умеренной зоне отмечается область уменьшения стока на западе (большая часть зарубежной Европы), но увеличение или незначительные изменения в центральной и восточной Евразии. В западной части тропической зоны Евразии (Аравийский полуостров, республики Средней Азии) фиксируется незначительное уменьшение стока, в то время как в центральной и восточной тропической Евразии (в особенности на полуострове Индостан и в Гималаях) – увеличение стока. Отметим также, что в отношении территории России результаты моделирования качественно указывают на усиление контраста в увлажненности между северной и северо-восточной частью страны (на ЕТР это «северный склон») и южной частью («южный склон»). Ранее такая же закономерность в прогнозируемых изменениях стока выявлялась с использованием других методов прогнозирования – например, при помощи палеореконструкций стока в теплые периоды прошлого (Добровольский, 1986).

Изменения стока, прогнозируемые для Северной Америки, имеют в большей степени зональный характер: рост стока в субарктических и арктических широтах (как отмечалось выше), менее значительный рост в северной части умеренной зоны, небольшое уменьшение стока в южной части умеренной зоны и в тропической (субтропической) зоне. Исключение из зональной картины представляет собой область, примыкающая к северному побережью Мексиканского залива и к Флориде, где к концу XXI века прогнозируется более заметное уменьшение стока. Наконец, пространственное распределение областей увеличения и уменьшения стока в Южной Америке вне бассейнов



**Рис. 4.2.2.** Вверху - средние по 21 модели климата и по 6 сценариям МГЭИК величины прогнозируемых изменений годового слоя речного стока к 2025 г. (в мм) вследствие возможного потепления глобального климата. Внизу - то же, но для сценария эмиссий парниковых газов и глобального потепления из (Клименко и др., 2010). Информация о «гидрологическом даунскейлинге» рассчитанных на климатических моделях параметров для характерных средних глобальных температур взята из (Gosling et al., 2013; Gosling et al., 2016). Переформатирование, пересчет в узлы сетки, сглаживание полей и интерполяция в хронологические моменты времени, соответствующие 2025 году, а также пересчет в абсолютные значения приращений слоя стока на основе оригинальной карты климатологических значений последней величины - осуществлены автором

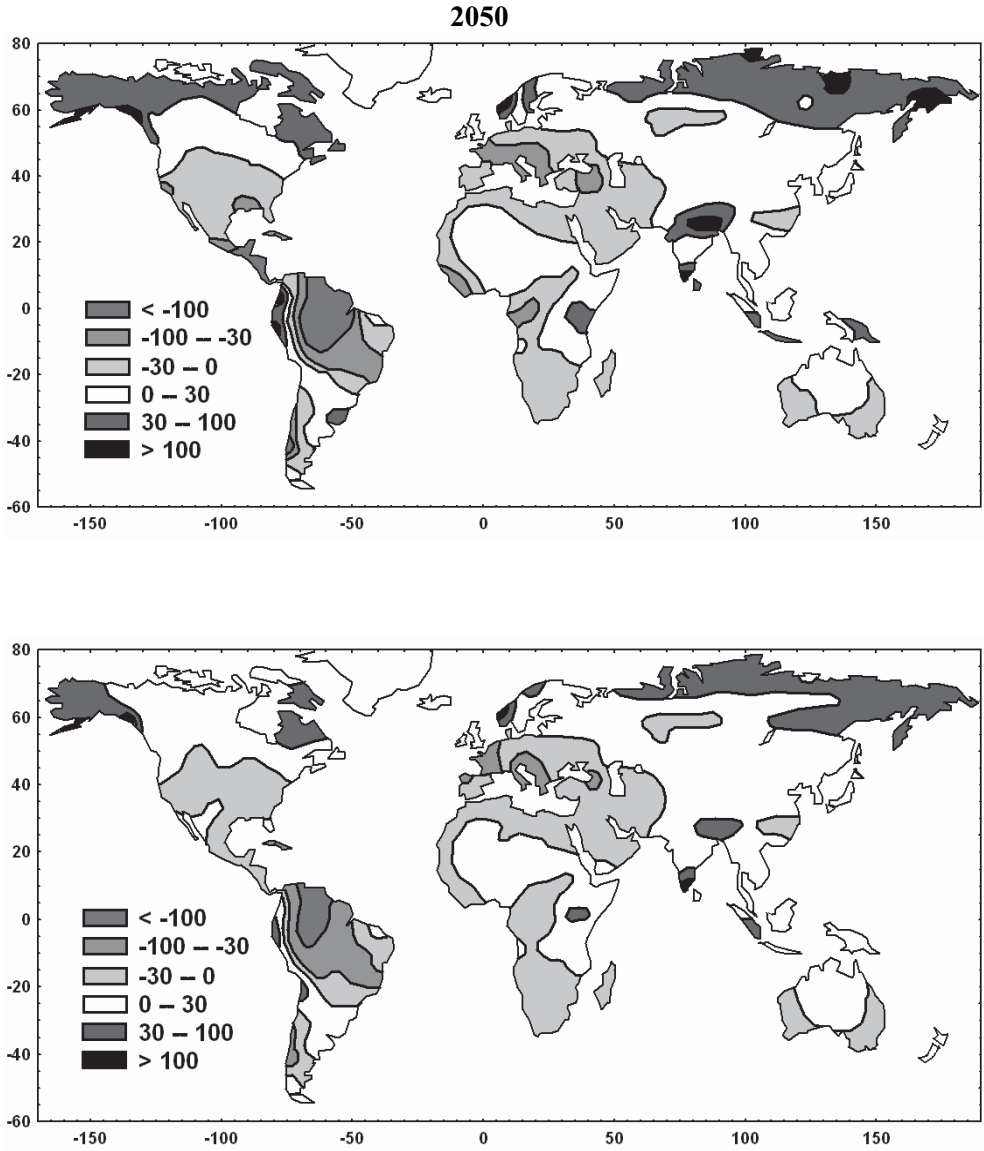


Рис. 4.2.3. То же, что Рис. 4.2.2, но для 2050 г.

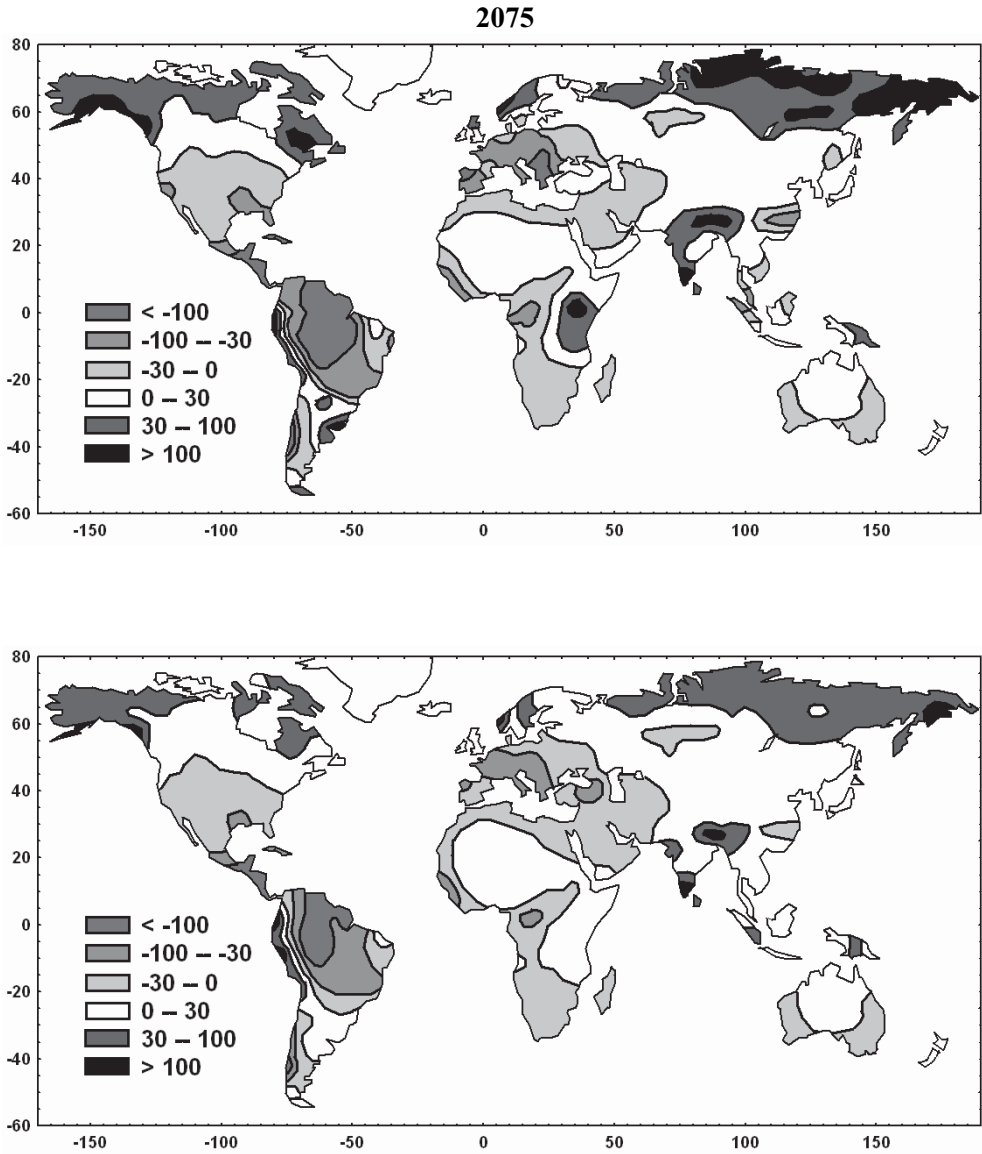


Рис. 4.2.4. То же, что Рис. 4.2.2, но для 2075 г.

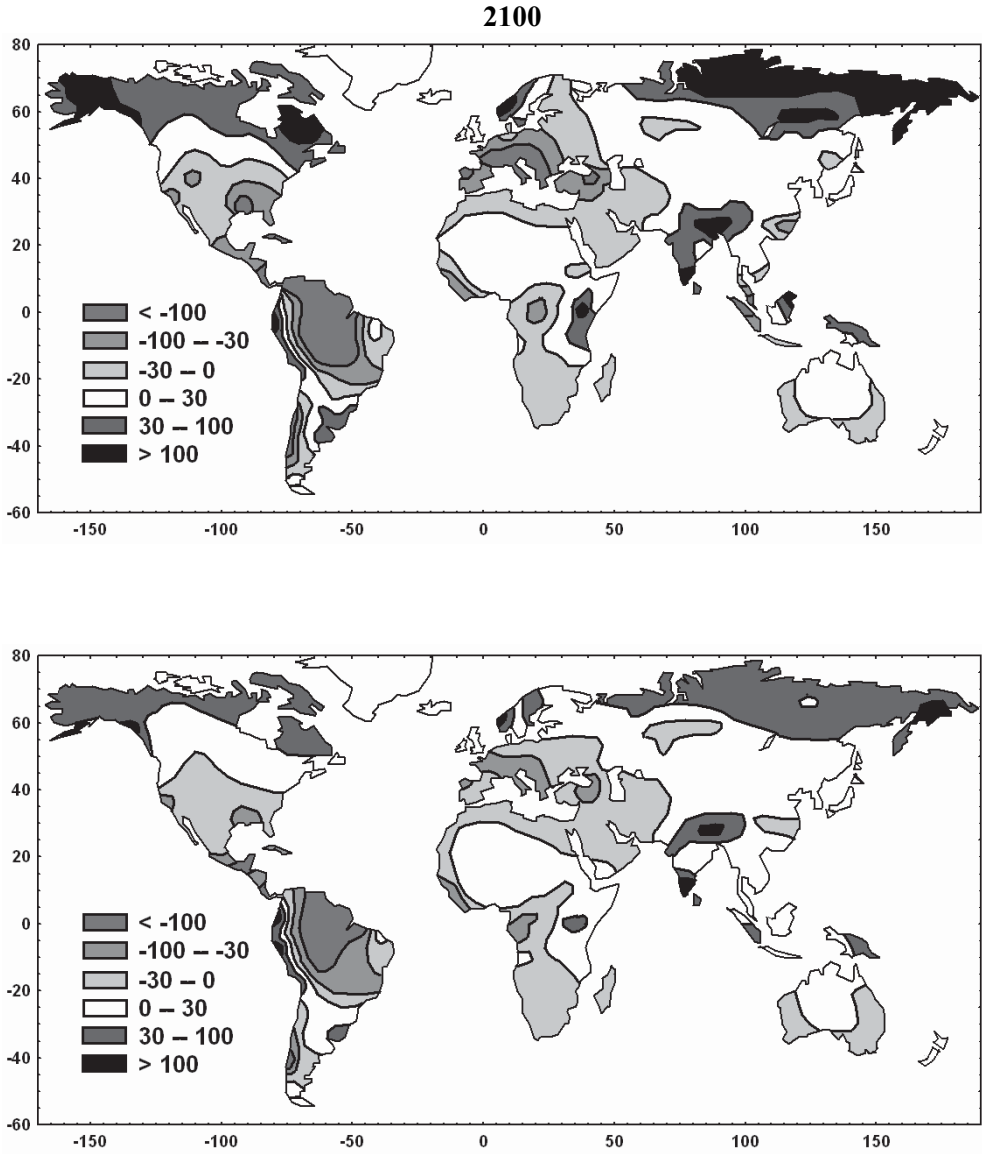
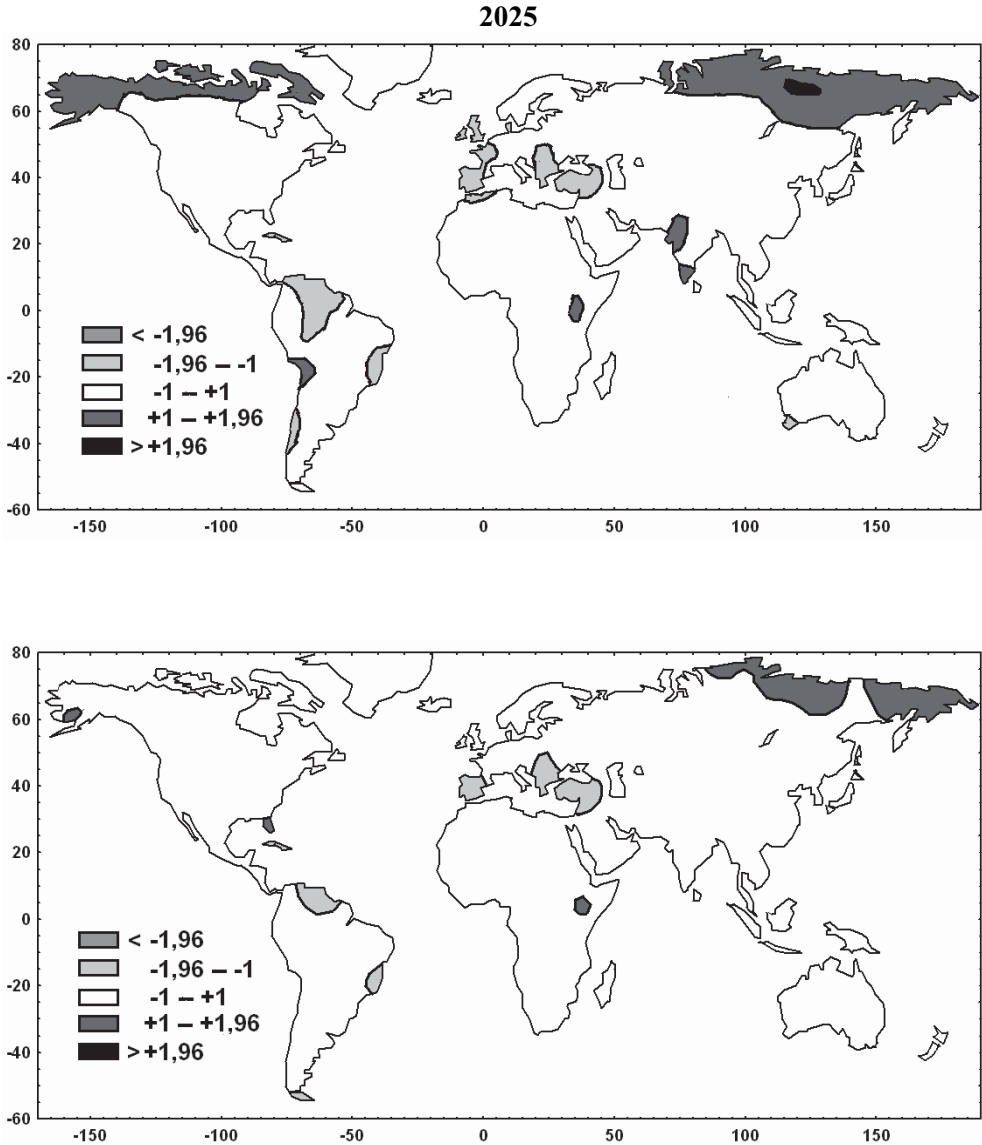


Рис. 4.2.5. То же, что Рис. 4.2.2, но для 2100 г.





**Рис. 4.2.6.** Индекс значимости, ИЗ прогнозируемых изменений годового слоя стока к 2025 г. вследствие возможных глобальных изменений климата. Вверху – оценки в соответствии с 6 сценариями МГЭИК эмиссии парниковых газов и изменений глобальной температуры. Внизу – оценки в соответствии со сценарием МЭИ.

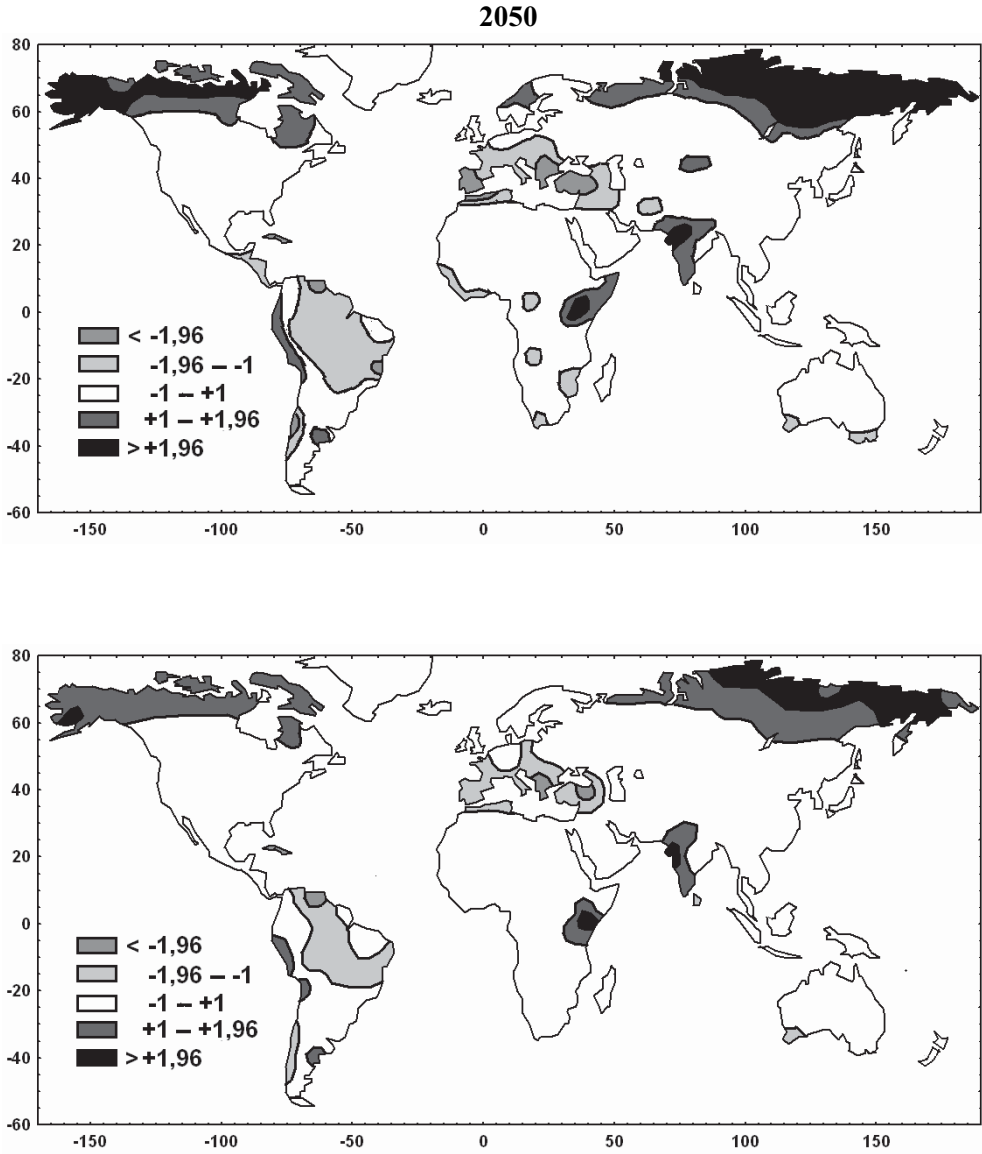


Рис. 4.2.7. То же, что Рис. 4.2.6, но для 2050 г.

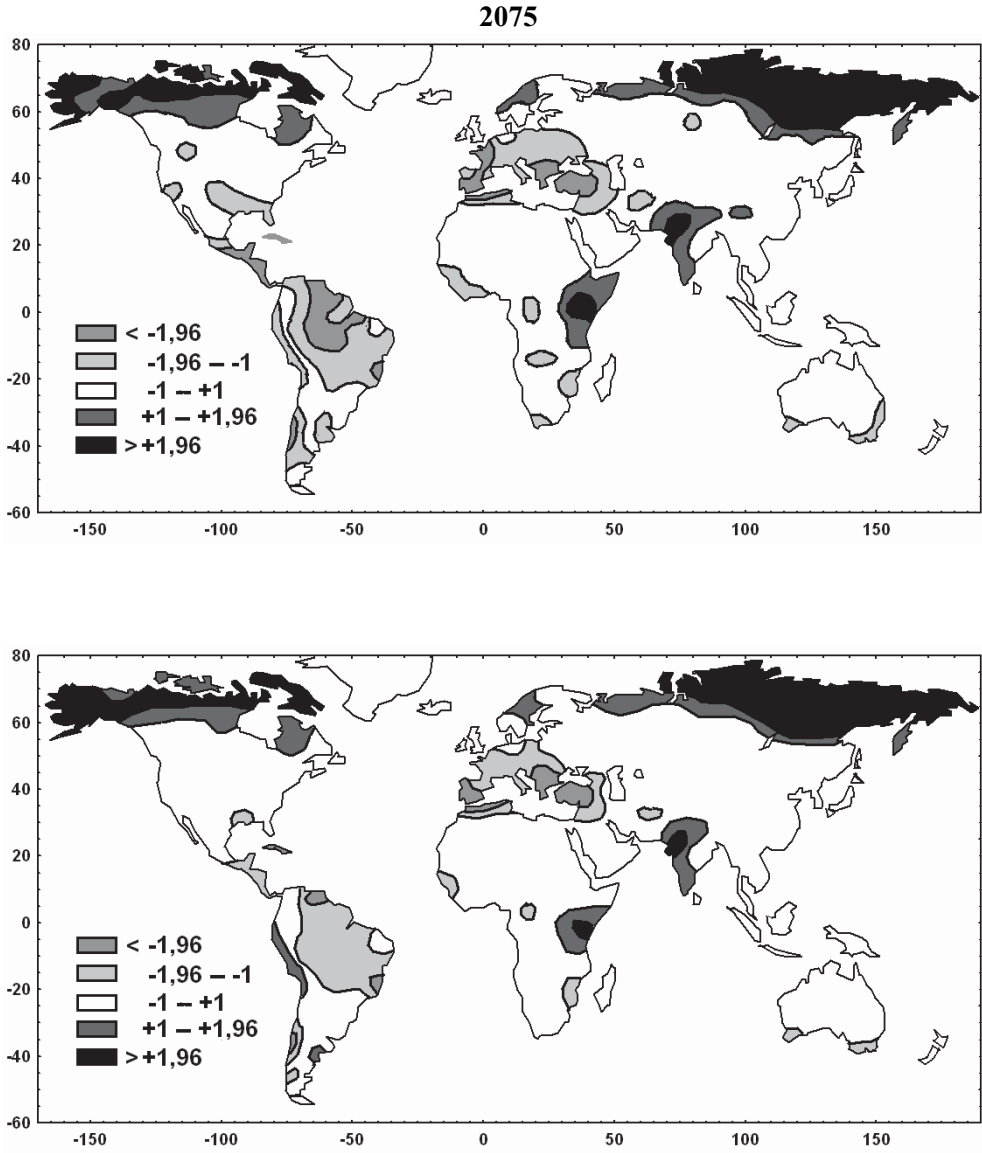


Рис. 4.2.8. То же, что Рис. 4.2.6, но для 2075 г.

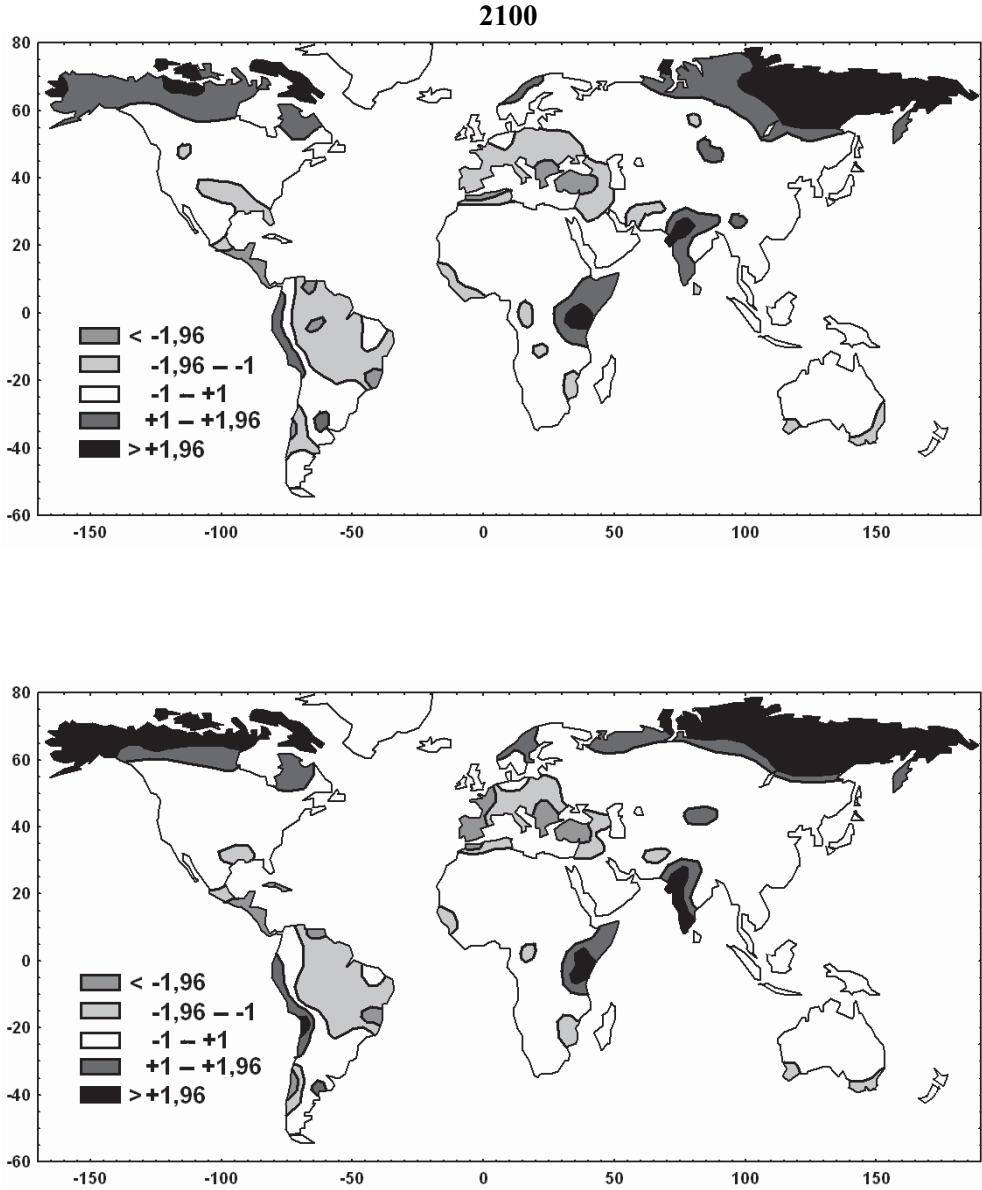


Рис. 4.2.9. То же, что Рис. 4.2.6, но для 2100 г.

Амазонки и Ориноко сравнительно мозаично (очевидно, вследствие значительной расчлененности рельефа материка), а в Африке и Австралии более «гладко», причем области основных африканских и австралийских пустынь отмечены незначительным ростом увлажненности.

Различия между сценариями МГЭИК и МЭИ приводят к следующим различиям в прогнозах стока. Для сценариев МГЭИК, в целом, характерны более значительные изменения стока, происходящие с большей скоростью. Так, в соответствии со сценарием МЭИ до 2025 г. (если детализировать прогноз, то и до конца первой трети XXI века) на всей свободной ото льда суши (за исключением небольших ареалов в пределах «Большого Средиземноморья» и бассейнов Амазонки и Ориноко ожидаемые изменения слоя стока не превышают 30% (в среднем составляют 10 – 15%. В то же время, по сценариям МГЭИК в среднем уже к 2025 г. на севере азиатской территории России увеличение слоя стока превышает 30%. Вместе с тем, у рассматриваемых двух групп сценариев есть и общее: наиболее быстрые изменения и в том, и в другом случае, отмечаются во второй четверти XXI века, и меньшие по скорости – во второй половине века.

В качестве итога настоящего раздела укажем на то, что анализ полей увеличения и уменьшения слоя стока (в определенной степени автотельных, как указывалось выше) свидетельствует: в сущности, модель изменений слоя стока с повышением глобальной температуры в первом приближении проста. А именно: на поверхности суши можно выделить два основных региона: тот, в котором сток формируется преимущественно вследствие таяния сезонного снежного покрова – и тот, сток в котором формируется преимущественно за счет осадков в жидкой фазе. В первом случае поля изменений слоя стока очевидно связаны с характеристиками снежного покрова, и, как можно показать, изолиния 67% вероятности повышения стока практически совпадает с изохронной 6-месячной продолжительности среднего стояния снежного покрова (Хромов, Петросянц, 2001).

Во втором случае хорошей моделью изменений слоя стока в процессе потепления является средний сезонный ход стока. Действительно: если при переходе от холодного сезона к теплomu сток в среднем увеличивается, то аналогичное поведение стока можно ожидать и в результате намного меньшего, как правило, чем сезонное потепление, глобального нагревания атмосферы – и наоборот. Нами, по данным о сезонном естественном ходе стока в створах, замыкающих равнинные водосборы менее площадью менее 60 000 км<sup>2</sup>, были построены карты разности стока в холодный и теплый полугодия – и эти карты воспроизводили основные ареалы увеличения и уменьшения стока на Рис. 5.2.2. В особенности четко были воспроизведены основные ареалы уменьшения стока при потеплении – на севере Южной Америки и в Большом Средиземноморье.

Сказанное проясняет основные механизмы изменений стока при потенциальном глобальном потеплении. Очевидно, что на севере Евразии и Северной Америки основным фактором увеличения стока является рост осад-

ков, которые аккумулируются в снежном покрове; этот рост не компенсируется уменьшением продолжительности стояния снежного покрова, так как последняя – из-за малости ожидаемого глобального потепления атмосферы (несколько градусов) по сравнению с амплитудой годового хода температуры (десятки градусов). В свою очередь, на остальной части суши изменения стока будут осуществляться непосредственно вследствие изменений соотношения между осадками и испарениями, хорошим индикатором которых служит средний сезонный ход параметров климатической системы в соответствующем регионе.

#### **4.2.4. Результаты расчетов значимости прогнозов изменений слоя стока**

Основной интерес для настоящего исследования представляют карты «значимости» (индекса значимости *ИЗ*) прогнозов изменений стока (Рис. 4.2.6 – 4.2.9). На них белым цветом обозначены области, внутри которых прогнозируемые изменения слоя стока меньше, чем среднеквадратичные ошибки этих прогнозов, полученные описанными в предыдущем разделе методами. Светло-серыми тонами обозначены области уменьшения стока более значительные, чем среднеквадратичные ошибки оценок, темно-серыми тонами – аналогичные области увеличения стока. Из рисунка видно, что в первой четверти XXI века на подавляющей части свободной ото льда суши – как в соответствии со сценариями МГЭИК, так и в особенности в соответствии со сценарием МЭИ – прогнозируемые изменения годового слоя стока практически не значимы: сопоставимы со среднеквадратичными значениями ошибок этих прогнозов.

Наиболее быстрые изменения *ИЗ* происходят во второй четверти XXI века. Самая впечатляющая черта соответствующих карт – значительная по размеру область на севере Азиатской территории России и Северной Америки, где прогнозируемые увеличения слоя стока превосходят удвоенный стандарт ошибки оценок (точнее, 1,96 стандарта, то есть имеют вероятность более 95%). Вместе с тем, в сценарии МЭИ эта область значительно уменьшена в пределах РФ и чрезвычайно уменьшена в Северной Америке – занимает лишь небольшую часть Аляски вблизи устья Юкона. Как было отмечено выше, области значительного увеличения стока на севере Евразии и Северной Америки явно связаны со снежным покровом: южная граница ареала превышающих единицу значений *ИЗ* почти совпадает с изохроной шестимесячной длительности стояния снежного покрова.

К 2050 г. значимые, хотя и небольшие в глобальном масштабе области увеличения стока появляются вокруг оз. Виктория в Африке и в западной части полуострова Индостан. К середине XXI века также значительно расширяется область уменьшения стока на севере Южной Америки – хотя изменения стока здесь не достигают значимости 95%. Появляются регионы более

существенного уменьшения стока ( $ИЗ > 1,96$ ) в пределах Большого Средиземноморья – на Иберийском и Балканском полуостровах и в Малой Азии.

Интересно то, что во второй половине XXI века, в соответствии со сценариями МГЭИК область значимого увеличения стока на севере Азии и Северной Америки не только не увеличивается по площади, но к концу века даже уменьшается: так, практически весь север ЕТР оказывается свободным даже от зоны роста стока вероятности 67%. К этому времени исчезают также области уменьшения стока (с вероятностью 95%) в Испании и на западе Франции. В то же время, к 2075 г. продолжается уменьшение стока в бассейне Амазонки и Ориноко (правда, к концу века ситуация здесь возвращается к ситуации середины века). В целом можно сказать, что средняя картина изменений стока в соответствии с использованными сценариями МГЭИК, к концу века напоминает картину, характерную для уровня примерно 2040 года – то есть, на 6 десятилетий раньше. Это, внешне парадоксальное явление объясняется некоторым замедлением эмиссии парниковых газов во второй половине XXI века в соответствии с большинством сценариев и увеличивающимся расхождением между отдельными сценариями.

В связи с тем, что сценарий МЭИ рассматривается индивидуально, он не дает «обратного хода» изменений стока в поздние десятилетия XXI века. Поэтому, несмотря на то, что этот сценарий менее «жесткий» по глобальной температуре, чем в среднем сценарии МГЭИК, к концу века он фиксирует немного более значимые изменения стока в северных широтах и в «Большом Средиземноморье» - хотя до середины века изменения в соответствии с ним менее значимы. Наибольшие расхождения между группой сценариев МГЭИК и сценарием МЭИ характерны для первых трех четвертей века. Так, карта индекса ИЗ в соответствии со сценарием МЭИ для 2075 года почти в точности повторяет аналогичную карту для сценариев МГЭИК на уровне 2050 года – то есть, соответствующее «отставание» составляет в данном случае около четверти века.

Необходимо отметить, что рассчитанные нами и рассмотренные выше величины значимости прогнозируемых изменений стока представляют собой только минимальные оценки – своего рода «нижнюю грань». В них не учтен целый ряд ошибок, даже приблизительная оценка которых невозможна. В первую очередь это ошибки, связанные с самой методикой моделирования климатической системы на КМОЦ. В современных КМОЦ молчаливо предполагается, что существует некоторое стационарное состояние климатической системы, соответствующее «доиндустриальной» концентрации парниковых газов в атмосфере. Это состояние моделируется при помощи искусственного подавления так называемого «модельного дрейфа» - медленного изменения всей модельной атмосферы и океана за счет несбалансированности потоков на поверхности океана. Однако, из данных палеореконструкций и из интуитивных соображений ясно, что, по крайней мере в масштабах времени порядка тысяч и десятков тысяч лет, сколько-нибудь длительного устойчиво-

го состояния климатической системы на наблюдалось, и она постоянно эволюционировала в широких пределах.

Другим источником ошибок является уже отмеченная выше смещенность в оценках среднего многолетнего стока рек за период наблюдений и ничем не обоснованное предположение о сохранении этой смещенности на протяжении всего XXI века. Понятно, что учет этой ошибки, если бы он был возможен, только уменьшил бы значимость прогнозируемых изменений стока.

Наконец, ошибки могут проистекать от самой привязки результатов моделирования к формальным ситуациям увеличения глобальной температуры на фиксированные величины (при которых пространственный характер распределения этого приращения может быть разным для разных моделей), а также ошибки разного знака (помимо смещенности) в оценках стока в гидрологическом блоке при даунскейлинге. Понятно, что учет перечисленных и других ошибок, если бы он был возможен, только уменьшил бы значимость прогнозируемых изменений стока.

Попытаемся сформулировать основные выводы раздела 4.2, не забывая о том, что оценки будущих изменений стока на отдаленную перспективу неизбежно носят вероятностный характер и представляют собой лишь первоначальный этап исследований в этом направлении. В связи с этим предлагаемые выводы носят в определенной степени характер гипотез.

- Географическое распределение областей прогнозируемых увеличения и уменьшения стока свидетельствуют о своего рода автомодельности этих изменений. А именно: с увеличением заблаговременности прогноза эти области, в общем, сохраняют свои ареалы.
- На основе обобщения прогнозов стока можно сделать предположение о том, что выделяются два типа районов на поверхности Земли. В районе, где основную роль в формировании речного стока имеет таяние снежного покрова, речной сток в процессе глобального потепления растет. При этом южные границы ареалов изменений стока определенной вероятности хорошо моделируются изохронами различной продолжительности сезонного стояния снежного покрова.
- На остальных участках поверхности суши прогнозируемые изменения стока носят разнонаправленный характер. При этом в первом приближении моделью изменений стока в процессе потепления может служить средний сезонный ход стока. А именно: прогнозируемые области уменьшения стока хорошо коррелируют с ареалами, в которых сток холодного сезона преобладает над стоком теплого сезона – и наоборот.
- Наиболее очевидна применимость такого рода простой модели для выделения областей увеличения и уменьшения «парникового» стока – для интерпретации прогнозов стока на севере Южной Америки, в



области наиболее значимого уменьшения стока, а также в Большом Средиземноморье на территории Евразии.

- Оценки значимости прогнозируемых изменений стока вследствие глобального потепления климата свидетельствуют о том, что на протяжении первой четверти – первой трети XXI века эти изменения будут меньше или того же порядка, что и ошибки оценок. Наименее значимы изменения в соответствии со сценарием эмиссии парниковых газов и температуры атмосферы Московского энергетического института.
- В соответствии со сценариями МГЭИК наиболее быстрые изменения стока будут проходить в 2030-х – 2040-х годах. Однако, как показывают наши расчеты, и к середине XXI века значимые изменения (рост) стока будут наблюдаться лишь в одном крупном регионе мира – на крайнем севере Азии и Северной Америки. Ареалы значимых изменений (как роста, так и уменьшения) стока в остальных частях мира намного меньше по площади и не носят зонального характера.
- На протяжении второй половины XXI века, при использовании сценариев МГЭИК, роста ареалов значимых изменений стока в большинстве регионов мира не наблюдается. Исключение составляет зона влажных экваториальных лесов Южной Америки, где наибольшая значимость уменьшения речного стока фиксируется для конца третьей – начала четвертой четверти века.
- Для сценария МЭИ характерна более значительная монотонность прогнозируемых изменений стока, однако для большинства регионов мира сценарий МЭИ дает еще менее «жесткие» прогнозы. Так, значимость прогнозов при помощи сценариев МЭИ для конца XXI века почти совпадает со значимостью прогнозов стока, к которым приводят сценарии МГЭИК для середины века. В этом смысле слова, для приведенных примеров сценарий МЭИ «отстает», в отношении стока, от сценариев МГЭИК на очень значительный промежуток времени – на половину века.

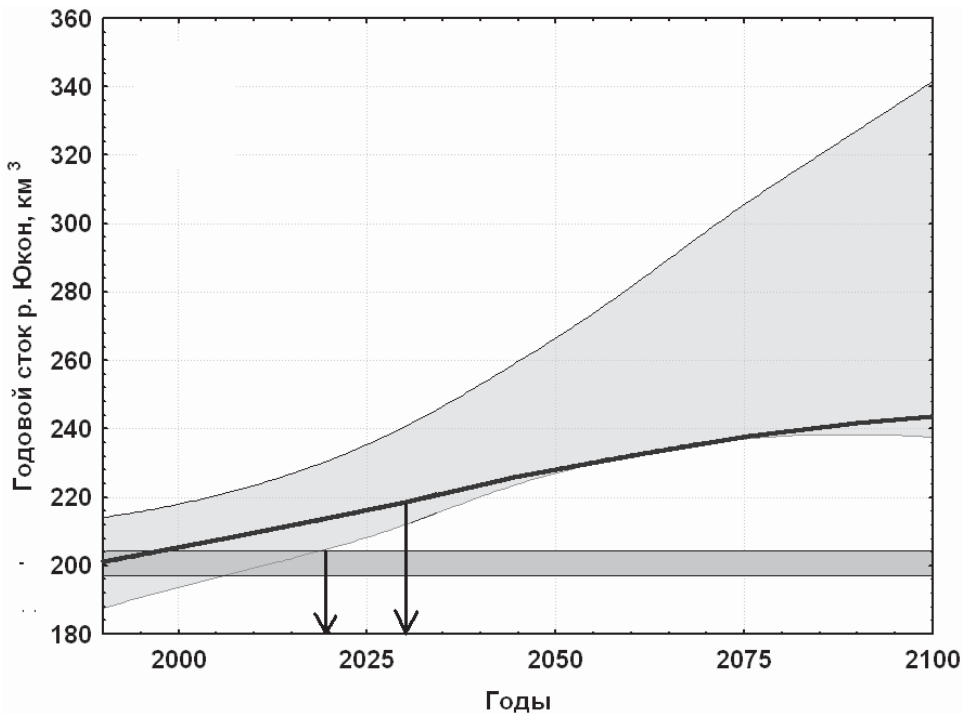
#### **4.3. Оценка возможных изменений стока важнейших рек мира**

Построенные и описанные в предыдущем разделе глобальные карты изменений годового слоя стока и ошибок его оценки использованы для построения хронологических графиков возможных изменений речного стока вследствие парникового эффекта. Для этой цели были использованы рассчитанное автором в узлах описанной в предыдущем разделе сетки узлов поле среднего многолетнего поля стока и карты изменений средних значений годового стока и стандартов отклонений от среднего вследствие расхождений между климатическими сценариями и вследствие расхождений между ре-

зультатами различных моделей. При этом величины из прогностических карт – для квадратов, полностью находившихся внутри бассейнов, брались с коэффициентом  $K=1$ , для пограничных квадратов  $K$  зависел от доли квадрата, находившейся внутри бассейна. Подход к оценке ошибок прогнозов вследствие ошибки оценки среднего стока за реперный период был иным, чем при построении карт предыдущего раздела и будет описан ниже. Прогностические хронологические графики стока представлены на рис. 4.3.1 – 4.3.29.

Более детальное описание приведенных выше результатов и методов, при помощи которых были построены графики, заключается в следующем.

Для каждой из 29 важнейших рек мира был выбран наиболее информативный створ, данные о годовом стоке и его изменениях в котором легли в основе процедуры сочленения прогнозов «парниковых изменений» стока в 21 веке и наблюдаемых значений стока за реперный период. Первый этап процедуры сочленения для каждого из 29 створов заключался в следующем.



**Рис. 4.3.1.** *Оценки изменений стока р. Юкон в 21 веке. Темно-серая полоса – средний сток за реперный период (1960 – 1990 гг.) со среднеквадратичными отклонениями оценки. Светло-серая полоса – прогноз стока по 6 сценариям и 21 климатической модели МГЭИК. Сплошная линия – среднее значение стока с использованием 21 модели МГЭИК и сценарием МЭИ. Вертикальные стрелки обозначают даты расхождения, в среднеквадратичном, между прогнозируемыми и наблюдаемыми за реперный период значениями стока*

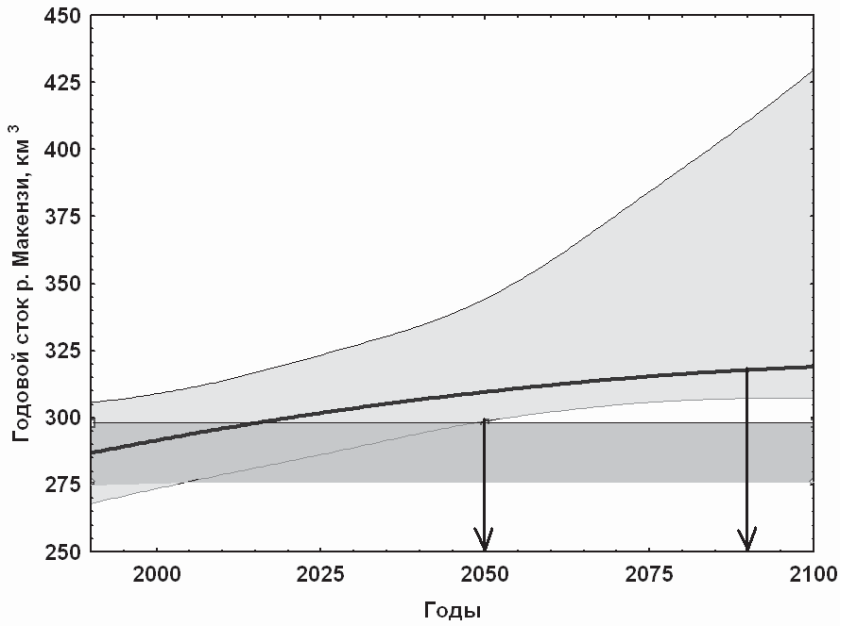


Рис. 4.3.2. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Макензи

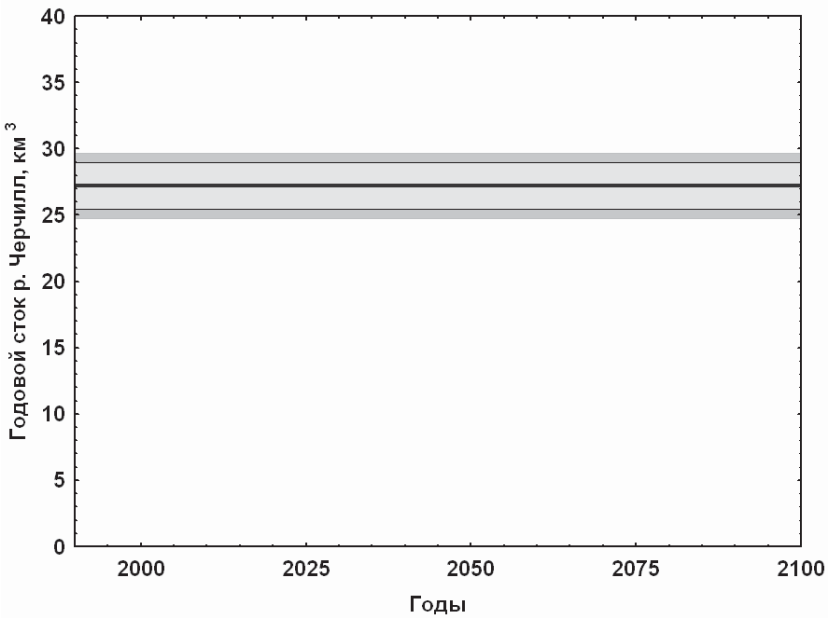


Рис. 4.3.3. То же, что рис. 543.1, но для р. Черчилл

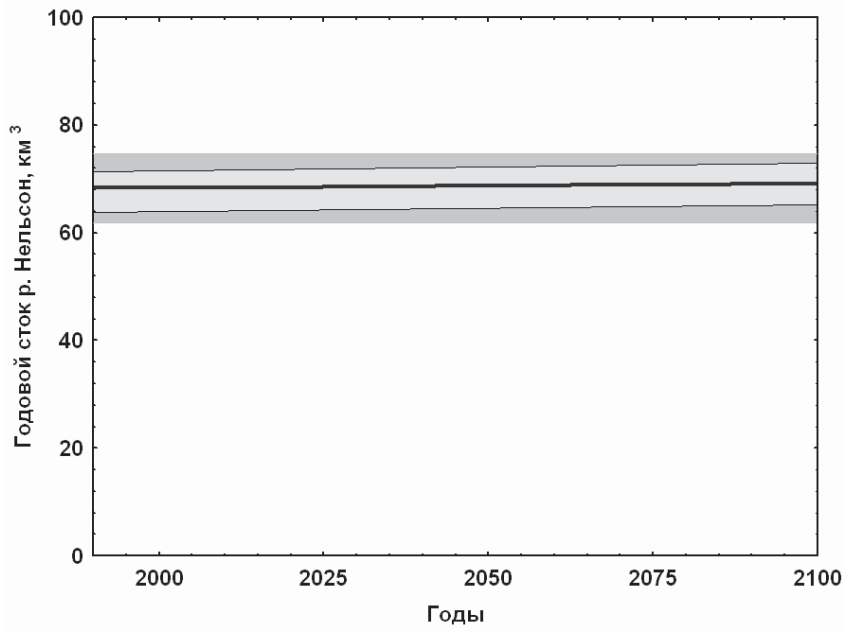


Рис. 4.3.4. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Нельсон

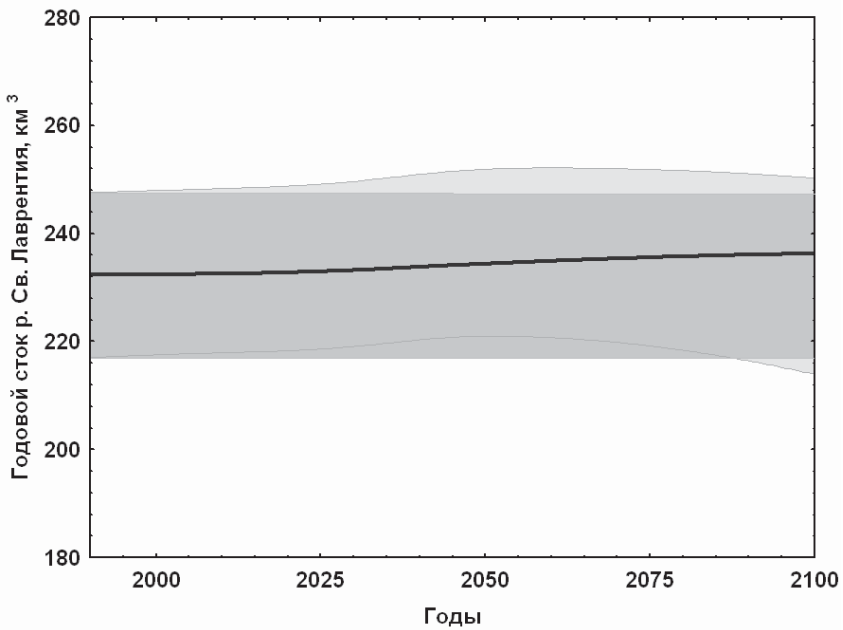


Рис. 4.3.5. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Св. Лаврентия

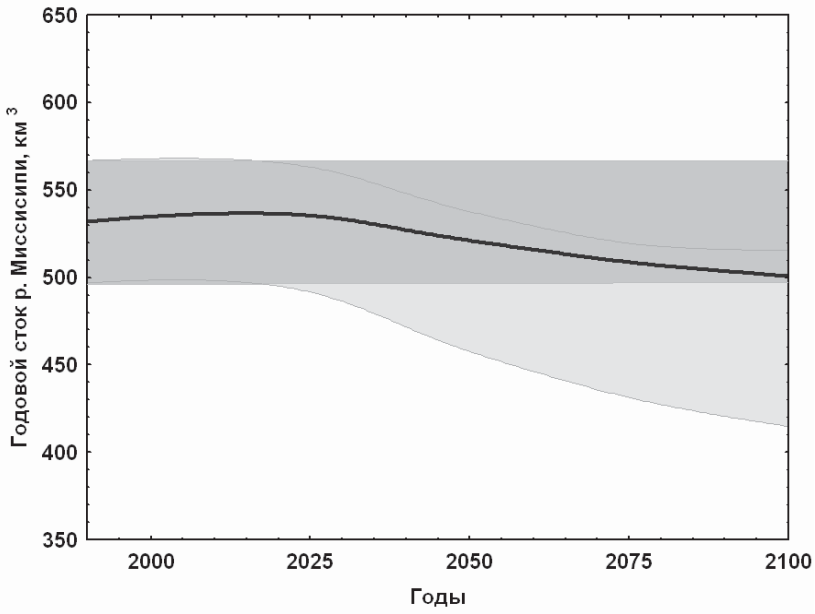


Рис. 4.3.6. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Миссисипи

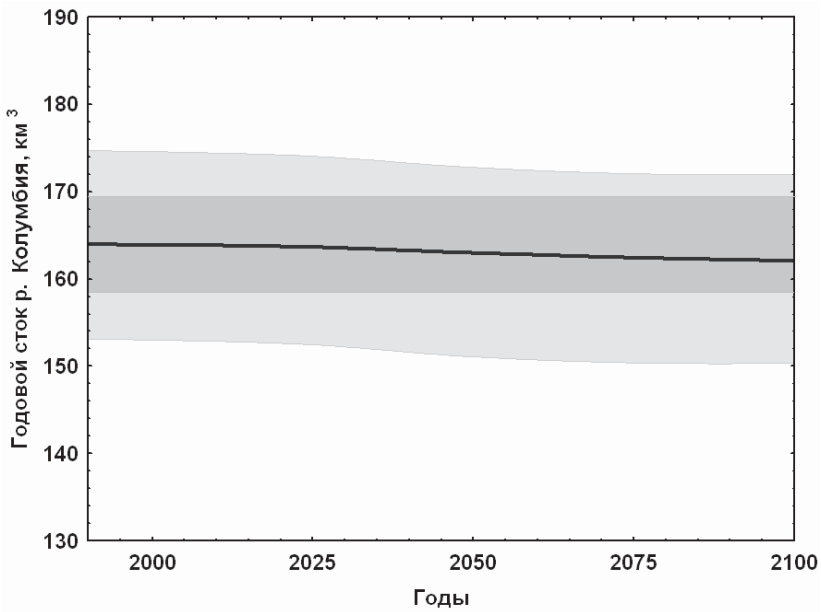


Рис. 4.3.7. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Колумбия

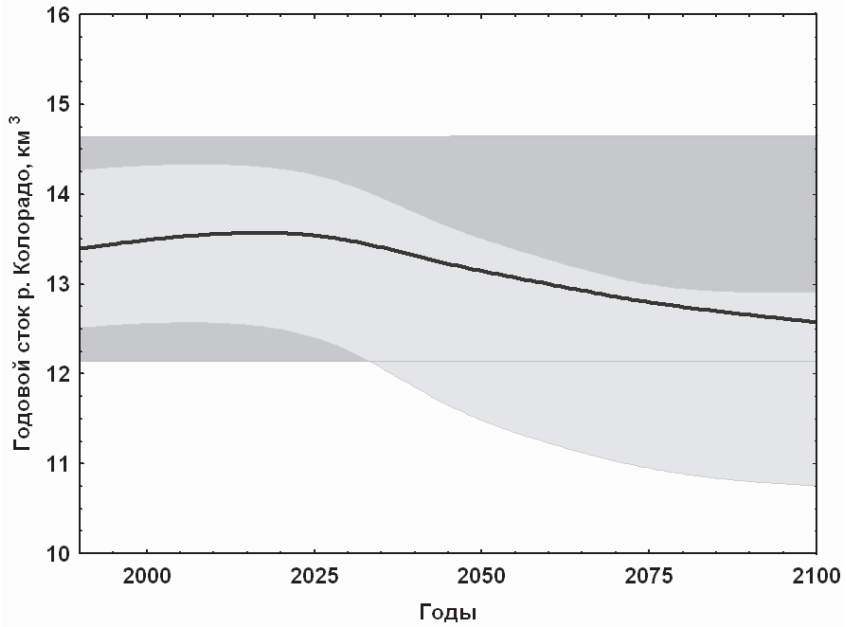


Рис. 4.3.8. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Колорадо

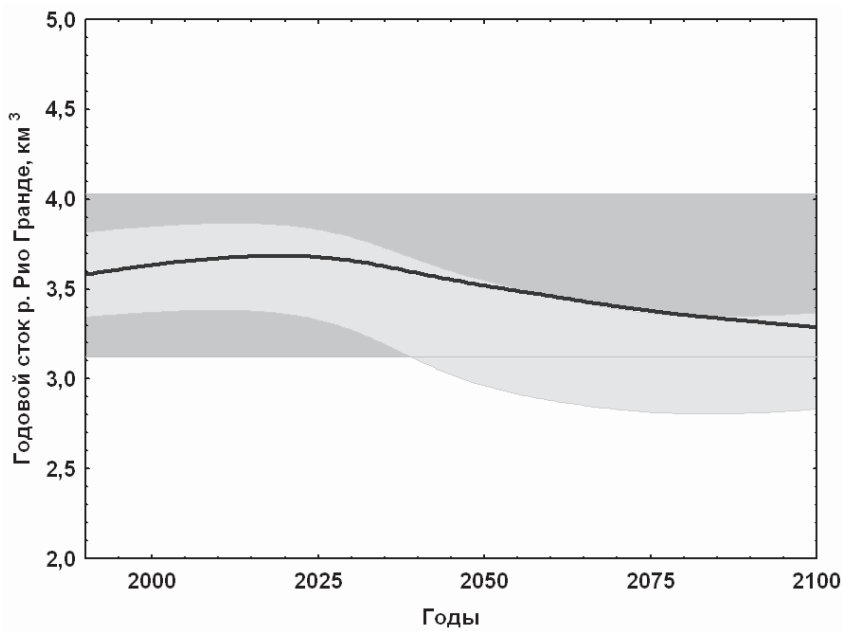


Рис. 4.3.9. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Рио Гранде

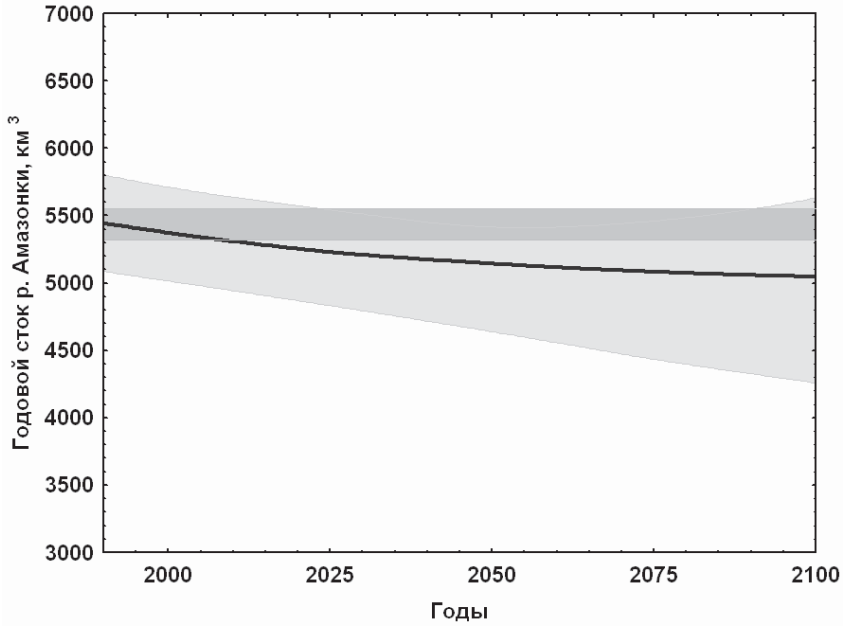


Рис. 4.3.10. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Амазонки

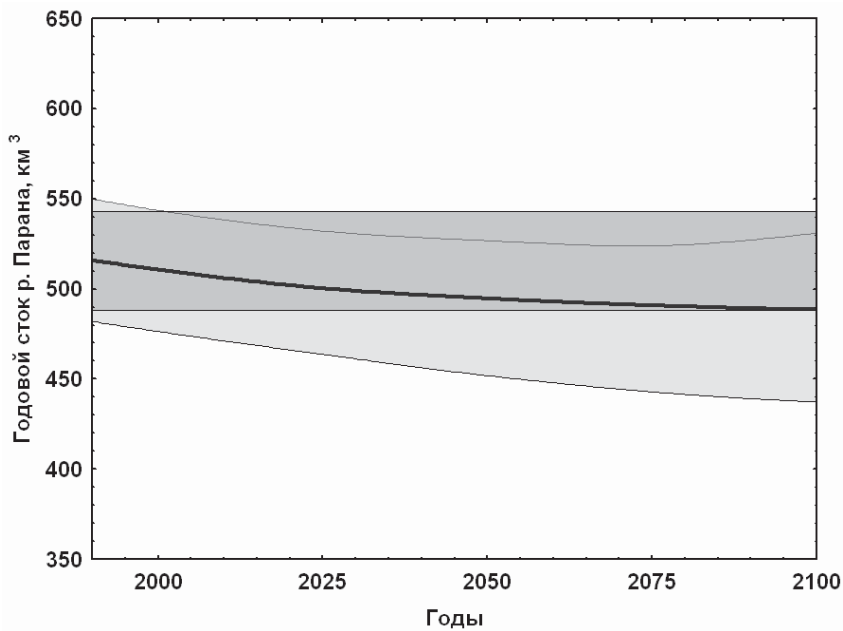


Рис. 4.3.11. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Парана

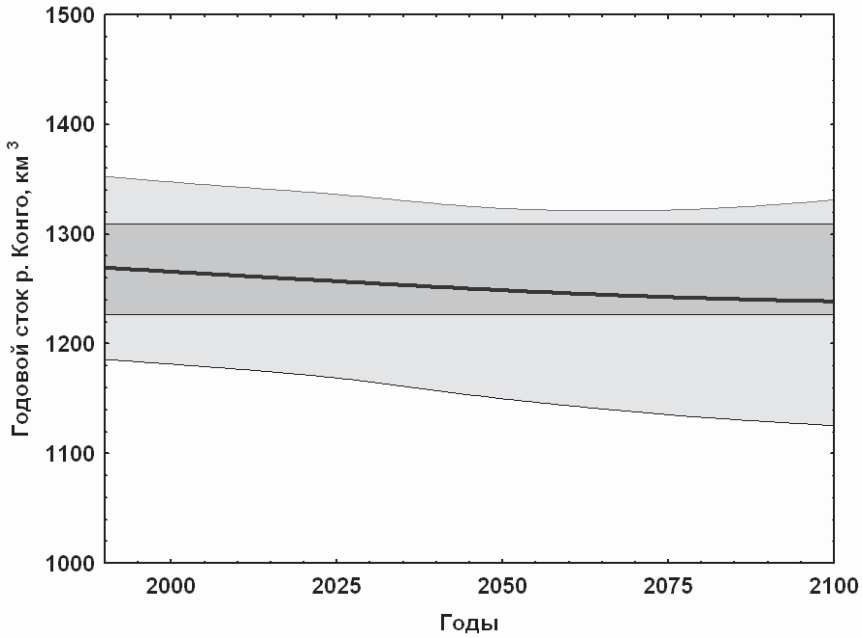


Рис. 4.3.12. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Конго

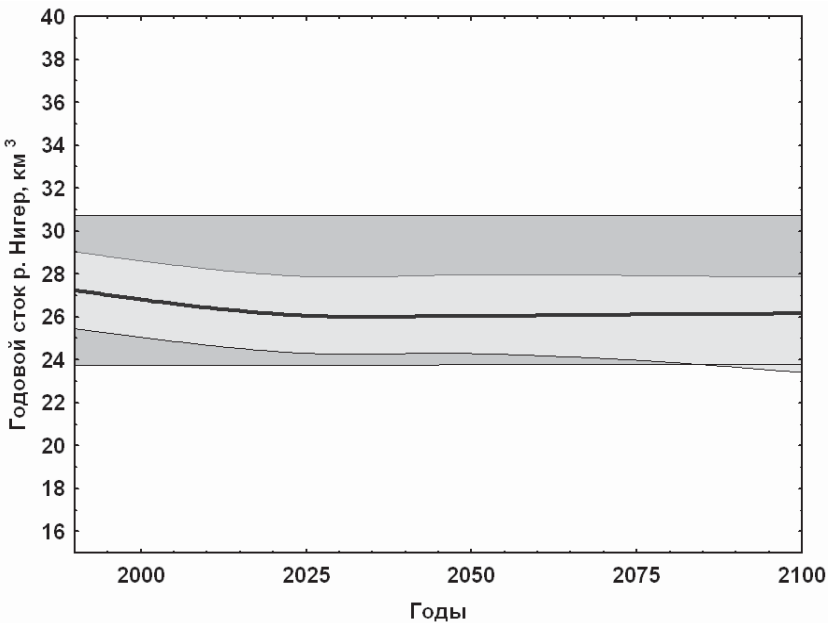


Рис. 4.3.13. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Нигер



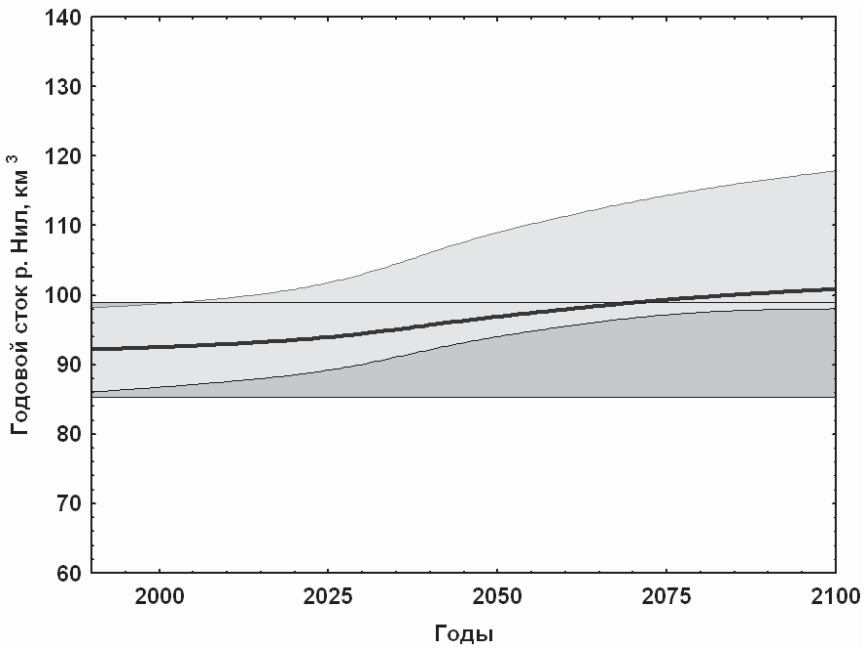


Рис. 4.3.14. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Нил

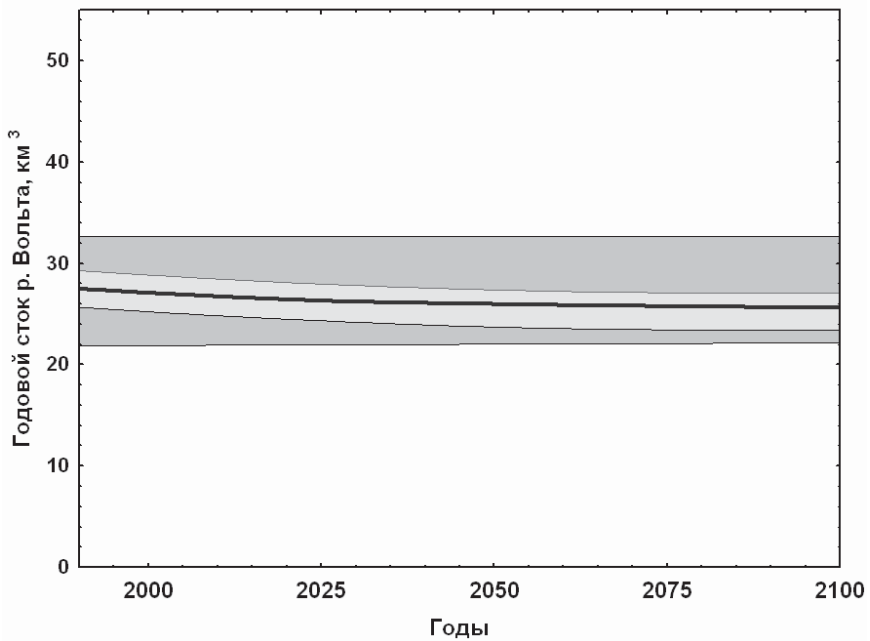


Рис. 4.3.15. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Волга

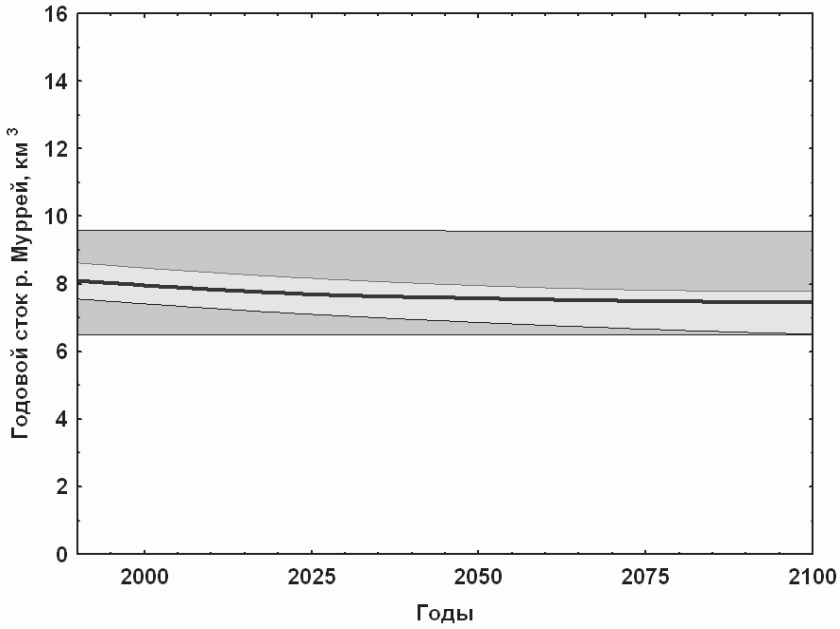


Рис. 4.3.16. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Муррей

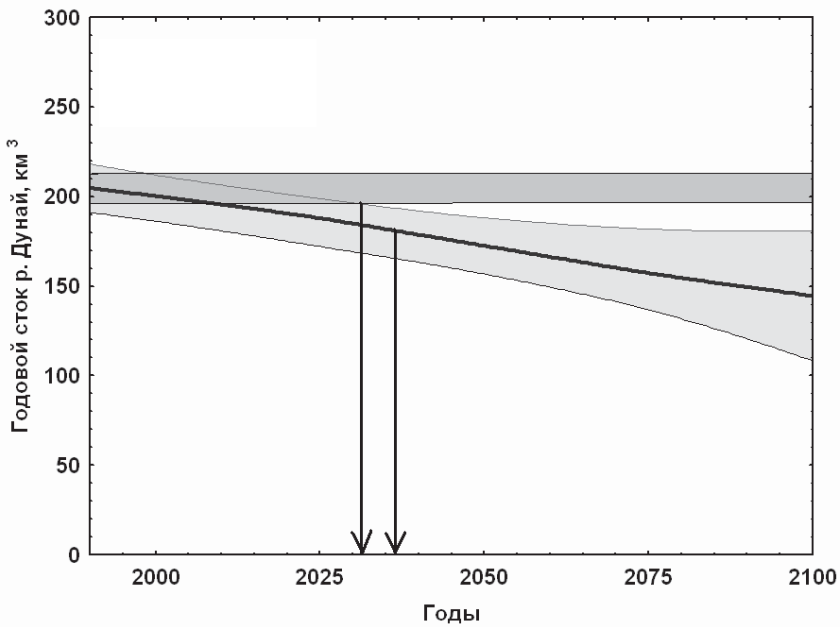


Рис. 4.3.17. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Дунай

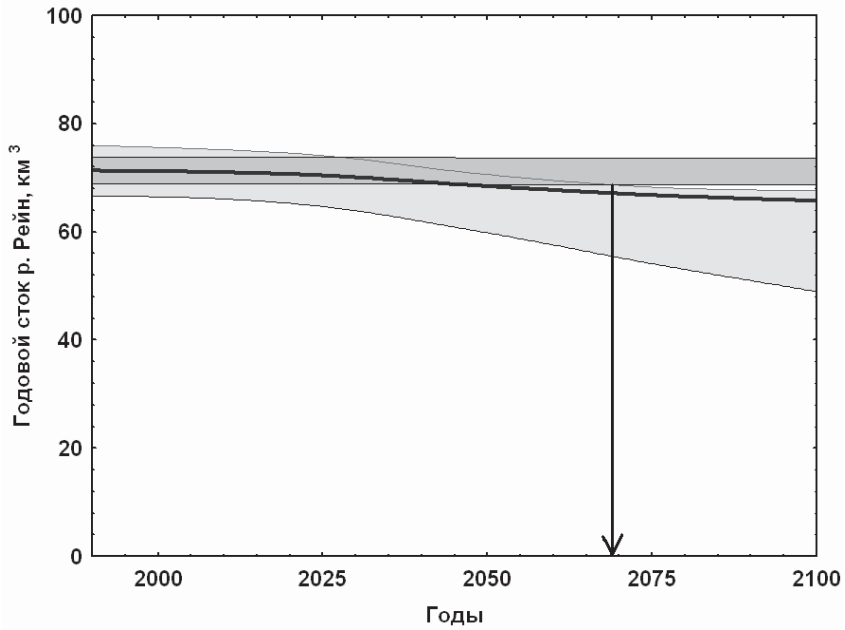


Рис. 4.3.18. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Рейн

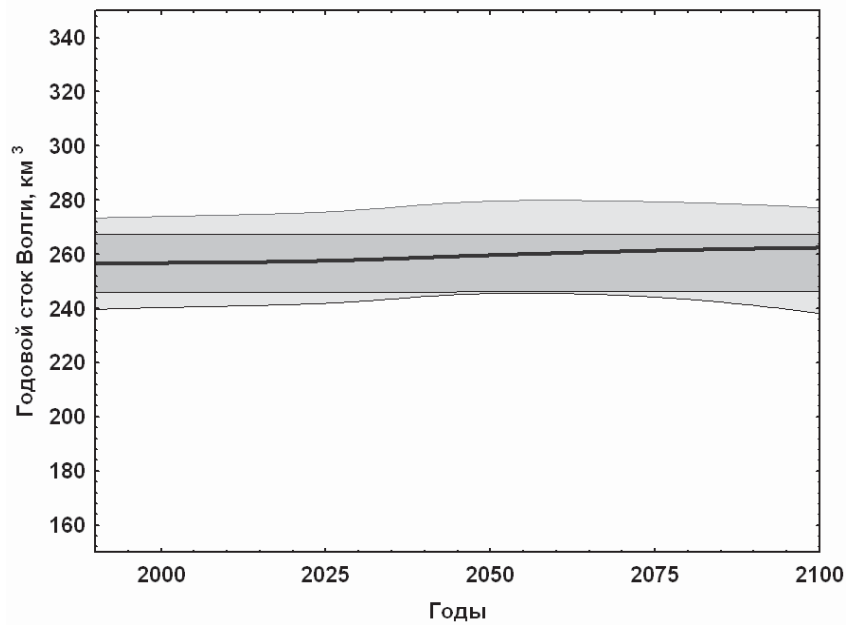


Рис. 4.3.19. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Волга

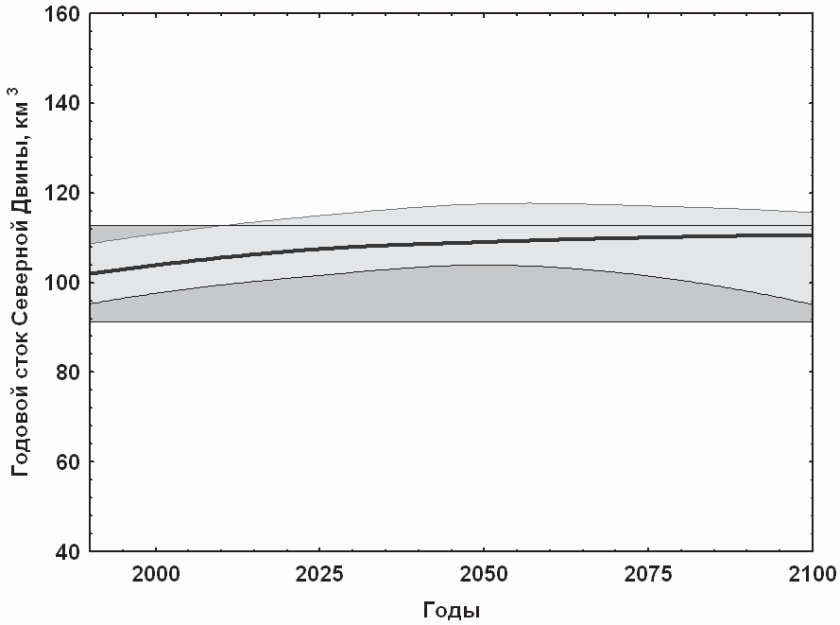


Рис. 4.3.20. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Северная Двина

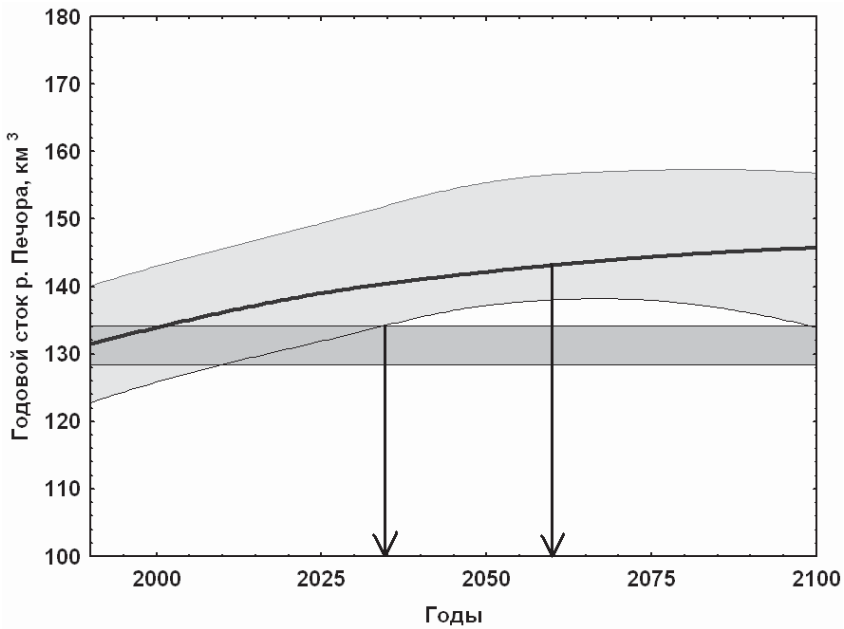


Рис. 4.3.21. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Печора

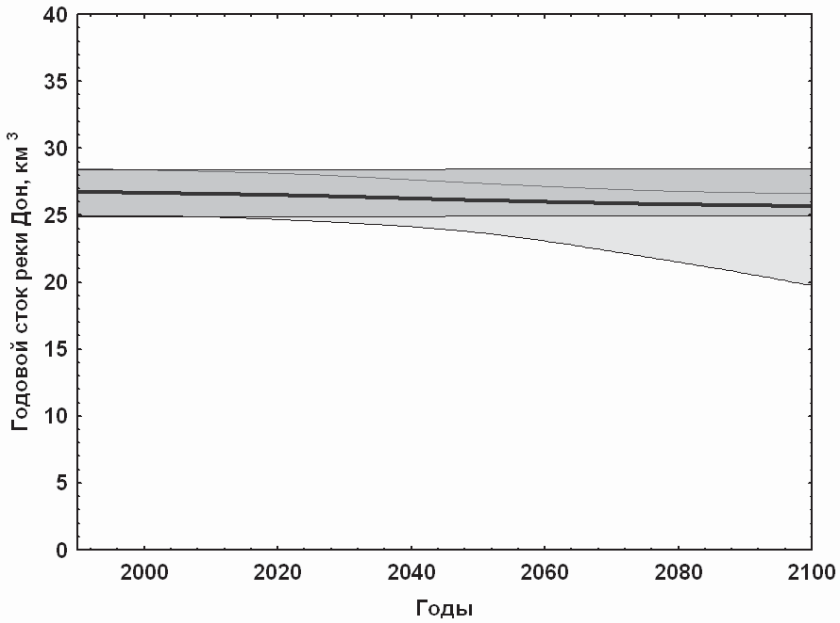


Рис. 4.3.22. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Дон

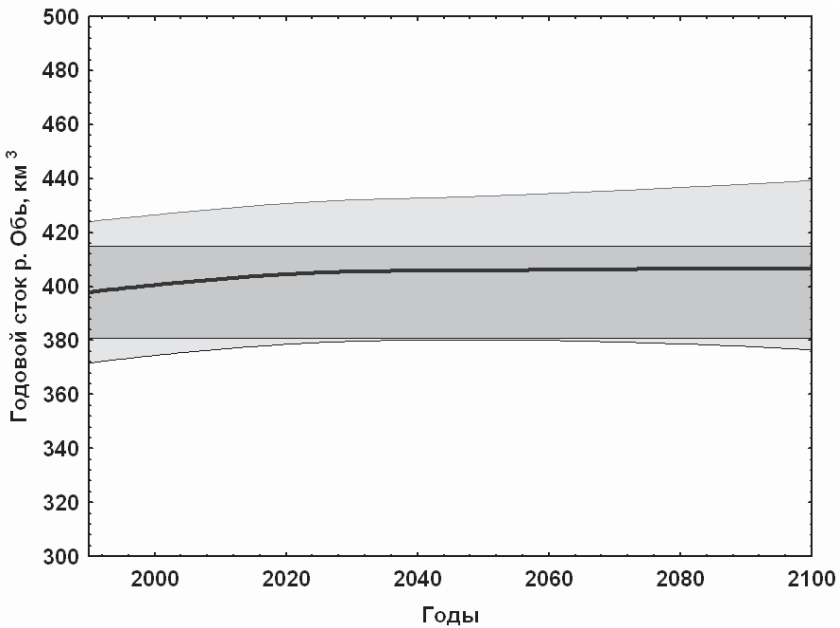


Рис. 4.3.23. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Обь

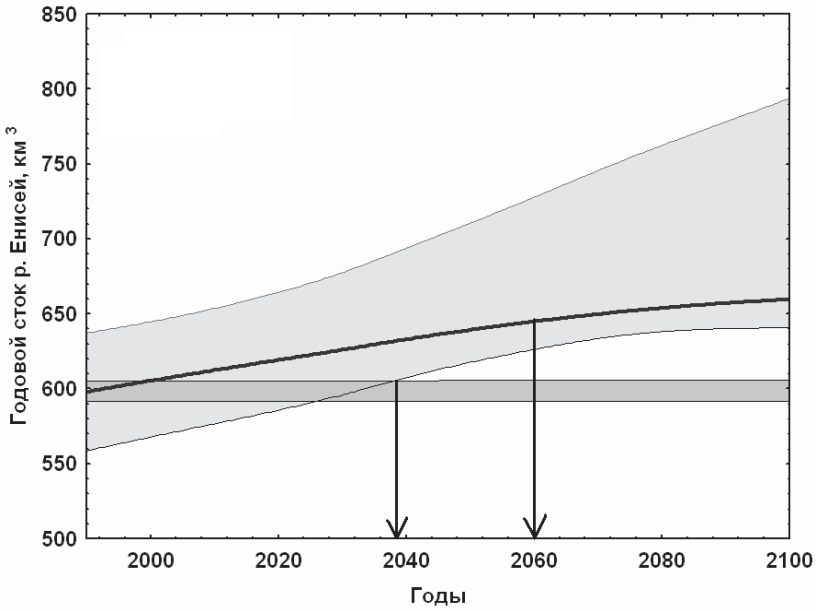


Рис. 4.3.24. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Енисей

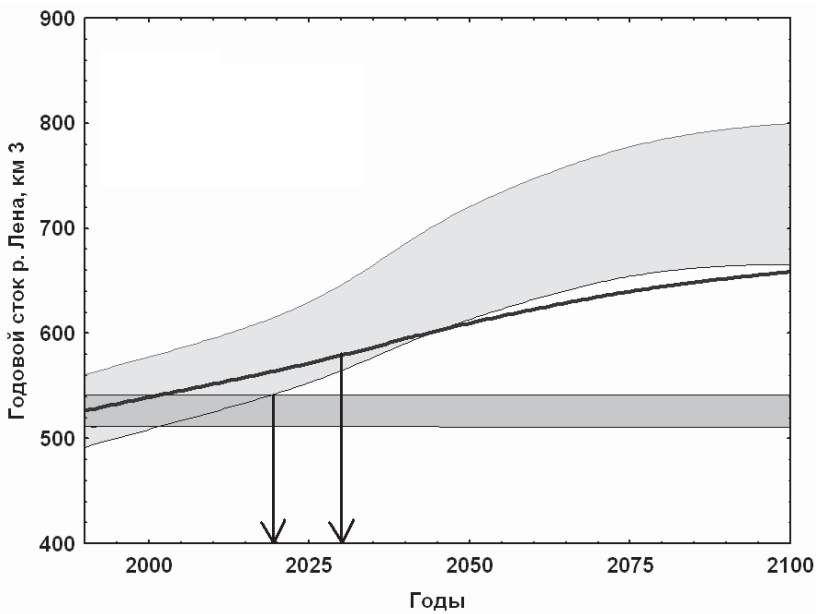


Рис. 4.3.25. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Лена

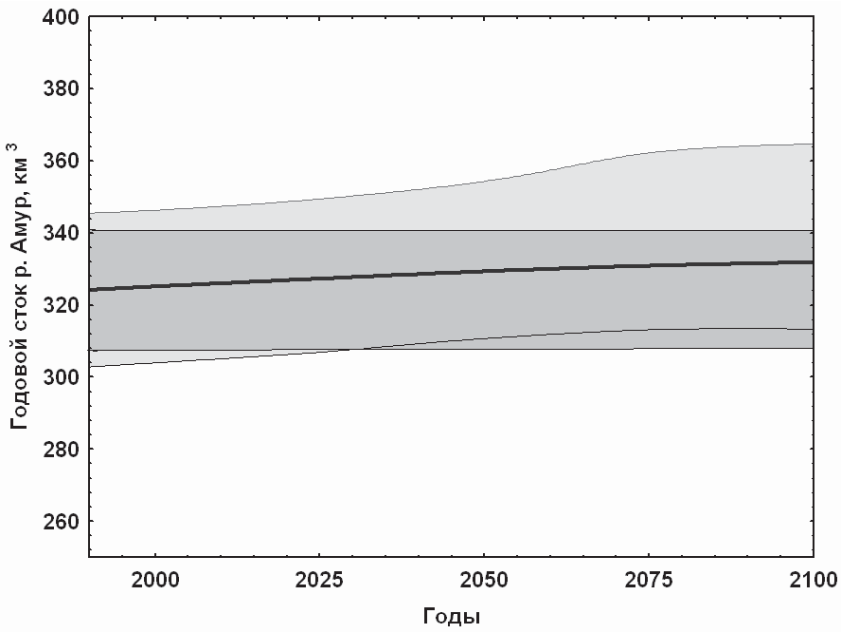


Рис. 4.3.26. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Амур

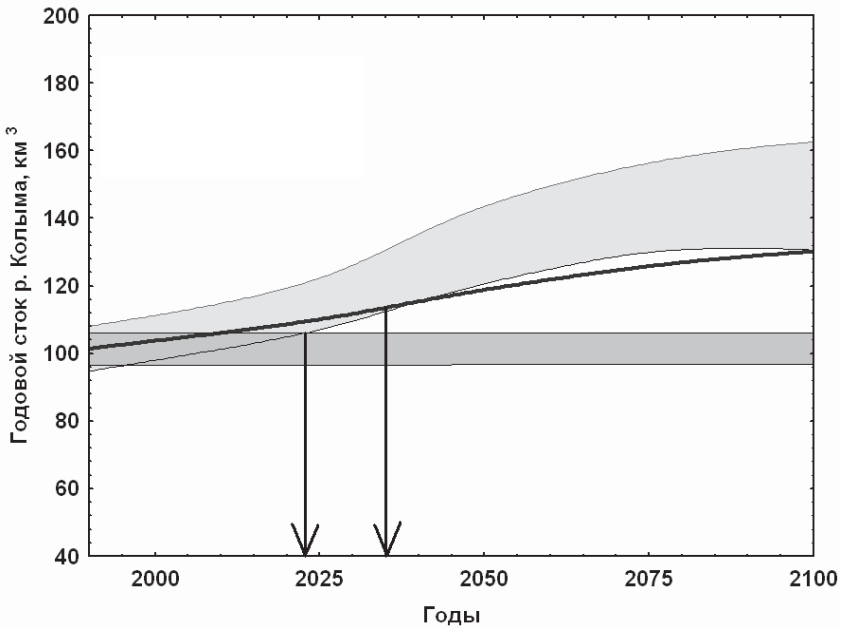


Рис. 4.3.27. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Кольма

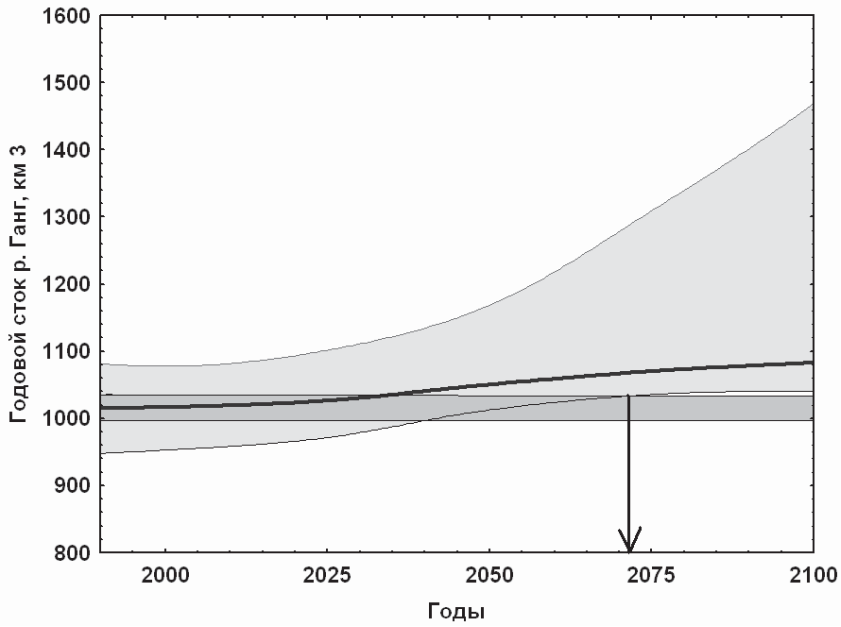


Рис. 4.3.28. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Ганг

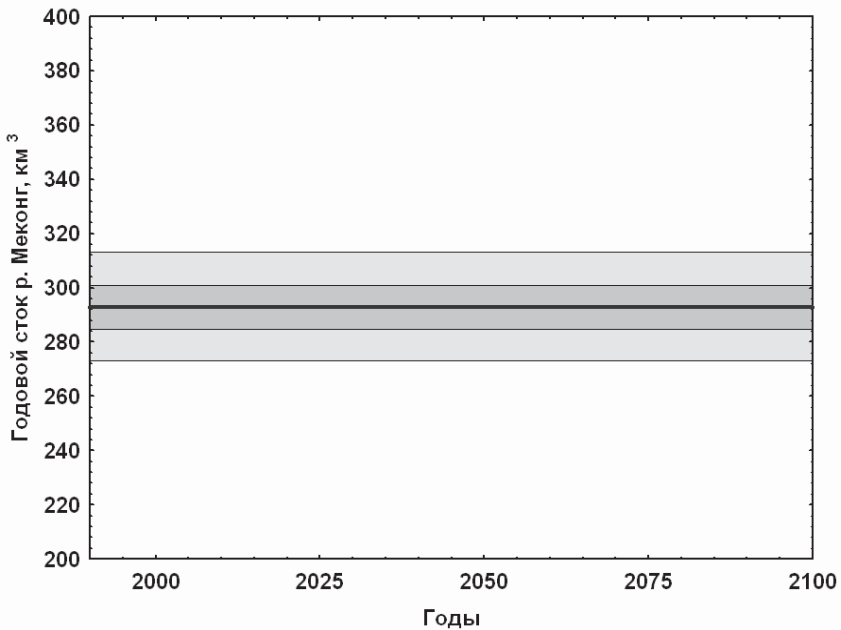


Рис. 4.3.29. То же, что рис. 4.3.1, но для р. Меконг



- Было, по обычной формуле рассчитано математическое ожидание годового значения стока в этом створе за реперный период (1961 – 1990 г.).
- Получена стохастическая (авторегрессионная) модель стока в этом створе – при помощи предложенного руководителем проекта критерия выбора порядка модели (Добровольский, 2011б); как правило, это оказывались модели нулевого или первого порядка.
- С помощью предложенных в этой же работе новых формул оценено выборочное значение коррелированности стока смежных лет.
- В случае, если была идентифицирована модель нулевого порядка, коэффициенту коррелированности присваивалось нулевое значение, в других случаях – выборочное значение.
- В случае ненулевого значения автокоррелированности рассчитывался «корреляционный временной масштаб», как несобственный интеграл от автокорреляционной функции, соответствующей процессу авторегрессии первого порядка.
- По формуле из (Яглом, 1987) рассчитывалась эквивалентная длина реализации; в случае нулевой автокоррелированности эквивалентная длина реализации считалась равной длине реперного периода (30 лет).
- Далее по обычной формуле рассчитывался стандарт ошибки оценки математического ожидания годового стока. Полученные оценки ошибок оценок среднего годового стока важнейших рек мира также являются важным промежуточным результатом проекта.

Для каждого из выбранных реперных створов каждой из 29 рек была создана «маска» соответствующего бассейна (или его части) на основе более детализированной, по сравнению с первым этапом проекта, сетки узлов и квадратов (2,5 на 2,5 градуса; количество квадратов для такого бассейна, как Обь, например, при этом составило 78)). Для «пограничных» квадратов оценивалась их доля, приходящаяся на рассматриваемый бассейн, в квадраты новой сетки переформатировались величины среднего многолетнего слоя стока из электронной карты, полученной на предыдущем этапе, затем в величины слоя стока, соответствующие каждому квадрату вводились поправочные коэффициенты для учета искажений картографической проекции (прямоугольной цилиндрической). Суммированные по площади бассейна величины скорректированных таким образом слоев годового стока нормировались далее на величину математического ожидания годового стока, оцененного по выбранному створу за реперный период – в результате для каждого квадрата был получен еще один корректировочный коэффициент. В конечном итоге таким образом был получен вклад каждого квадрата  $Q_i$  (или неполного квад-

рата из числа «пограничных») в суммарную величину годового стока в створе.

Для каждого из выбранных срезов по времени (2025, 2050, 2075, 2100 гг.), для каждого из двух вариантов сценарного представления (сценарии МГЭИК и сценарий МЭИ), для каждого из трех представлений годового стока (среднее значение и среднее плюс-минус стандарт ошибки прогноза за счет расхождений между 6 сценариями и между 21 использованной климатической моделью МГЭИК) для каждого из квадратов каждого из 29 бассейнов были, при помощи соответствующих переформатированных электронных карт слоев стока, рассчитаны прогнозы изменений речного стока в реальных величинах. Далее полученные для 5 срезов по времени (1990, 2025, 2050, 2075, 2100 годы) величины были интерполированы для промежуточных моментов времени при помощи метода пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. При этом точные прогнозные значения для границ 25-летних интервалов практически в точности попадали на интерполированную кривую.

Описанным способом были получены хронологические прогнозы средних значений годового стока и стандартов ошибок этих оценок для каждой из 29 рек. По этим данным были построены графики – совместно с графиком математического ожидания годового стока за реперный период и полосой среднеквадратических ошибок оценок матожидания. Изучение этих графиков показывает, что прогноз стока (как правило, крупнейших) рек мира может обнаруживать определенное несоответствие картам «индекса значимости» прогнозов годового слоя стока. При переходе от прогноза слоя стока к прогнозам стока конкретных крупных рек возникают три фактора, два из которых приводят к большей значимости прогнозируемых изменений стока крупных рек, один фактор приводит к меньшей значимости. Первый фактор – это то, что крупные и крупнейшие речные бассейны вследствие большой площади могут покрывать ареалы изменений слоя стока разной величины и даже разного знака. Во вторых, при увеличении площади бассейна, как правило, растет автокоррелированность стока – что, в свою очередь, приводит к увеличению относительных ошибок оценок математического ожидания стока за реперный период. Третий фактор, действующий в «противоположную» сторону – то, что для крупных бассейнов значительно уменьшается коэффициент вариации (в данном случае – годового стока), что приводит к уменьшению относительной ошибки оценки матожидания стока за реперный период – следовательно, к уменьшению неопределенности относительно прогнозируемых значений стока. Указанные три фактора могут по-разному сочетаться для различных исследуемых в проекте рек и приводить к разным результатам. Таким образом, проведенное в рамках проекта изучение влияния крупности бассейна на степень неопределенности прогноза также может считаться интересным промежуточным результатом.

Одним из основных результатов этапа прогноза является вывод о том, то на современном уровне развития глобальных моделей взаимодействия

океана, атмосферы и поверхности суши и с учетом современных представлений о возможных сценариях антропогенной эмиссии парниковых и других газов в атмосферу значимые изменения годового стока ни в одном из исследуемых основных бассейнов Земли не ожидаются раньше 20-х – 30-х годов 21 века. Следствием этого является вывод о том, что у нас нет убедительных доказательств того, что и за предыдущий, «инструментальный» период 20-го – начала 21 веков глобальные антропогенные изменения климата могли заметным образом влиять на изменений годового стока крупнейших, а значит – тем более – меньших по размерам рек. Таким образом, часто встречающиеся в литературе мнения об уже наблюдаемых изменениях годового стока рек, как результате парникового эффекта, представляются дискуссионными.

Изучаемые 29 рек можно разделить на три группы. В первую входят 6 рек, «парниковые» увеличение стока которых в 21 веке ожидается статистически значимым – то есть, наблюдаемые за реперный период и прогнозируемые значения расходятся «в среднеквадратичном». Во вторую группу входит лишь одна река, прогнозируемое уменьшение стока которой расходитя в среднеквадратичном с наблюдаемым средним стоком. Наконец, «полоса» изменений годового стока каждой из остальных 22 рек (среднее значение плюс-минус среднеквадратичная ошибка прогноза) на протяжении всего 21 века не расходитя полностью с полосой среднего стока за реперный период (плюс-минус стандарт ошибок оценки среднего). Это обстоятельство приводит ко второму крупному результату исследования: в настоящий момент нет убедительных оснований считать, что на большей части свободной ото льда поверхности суши в 21 веке сток рек обязательно, статистически значимо изменится за счет парникового эффекта по сравнению с наблюдаемым за реперный период (близкий к последней трети 20 века).

Еще один результат заключается в том, что для подавляющей части рассмотренных рек сценарий МЭИ (группы В.В.Клименко) в среднем оказывается «мягче» группы наиболее известных сценариев МГЭИК – то есть, изменения стока наступают позже, чем прогнозируемые с использованием, в среднем, сценариев МГЭИК. Иными словами, сценарий МЭИ примерно соответствует наиболее «мягким» из сценариев МГЭИК. Кстати, сценарий МЭИ вызывает у руководителя настоящего проекта больше доверия – по той простой причине, что спрогнозированные еще в 20 веке группой МЭИ глобальные температуры лучше соответствуют наблюдаемым за последние годы температурам, чем сценарии МГЭИК.

Более детальные результаты, связанные с реками, для которых прогнозируется значительное увеличение годового стока, заключается в следующем. Наиболее значительное, из всех рассмотренных рек, увеличение стока прогнозируется для Юкона в Северной Америке и для Лены и Колымы в Евразии. Во всех трех случаях расхождение прогнозируемого и наблюдаемого среднего годового стока «в среднеквадратичном» ожидается в начале 2020-х годов по сценариям МГЭИК и в 2030-х годах по сценарию МЭИ (см. графики на рисунках). Во всех этих случаях линия прогноза среднего годо-

вого стока в соответствии со сценарием МЭИ после этих дат примерно повторяет линию «среднее минус стандарт ошибки» по прогнозам МГЭИК. Большое расхождение между двумя группами сценариев отмечается для Енисея и Печоры: расхождение между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями годового стока «в среднеквадратичном» отмечается в этих случаях для 2030-х (сценарии МГЭИК) или в начале 2060-х годов (сценарий МЭИ). Наконец, наиболее «отложенное» повышение стока фиксируется для р. Макензи: в середине 21 в. (МГЭИК) или за пределами 2100 года (сценарий МЭИ).

Единственной из рассматриваемых рек, для которой отмечается расхождение «в среднеквадратичном» от наблюдаемого в сторону понижения годового стока, оказался Дунай. Это соответствует тому обстоятельству, что на картах изменений слоя стока, приведенных выше, одна из двух областей значимого уменьшения слоя стока в 21 веке – область вокруг Средиземного моря («Большое Средиземноморье»), в которую входит и Балканский полуостров, и наиболее значительная часть водосборного бассейна Дуная. Причем, в этом случае прогностические линии среднего значения ожидаемого годового стока по сценариям МГЭИК и по сценарию МЭИ практически совпадают, совпадают и даты расхождения наблюдаемого и прогнозируемого стока: 2030-е годы.

К третьей группе рек относятся те, для которых «полоса наблюдаемого среднего годового стока» (средне полюс-минус стандарт ошибки) перекрывается с «полосой прогнозируемого годового стока» (среднее плюс-минус стандарт ошибки) на всем протяжении 21 века. Здесь, в свою очередь можно выделить три подгруппы. (а) Реки, для которых прогнозируется некоторое увеличение годового стока. Это, с одной стороны, крупные реки, впадающие в Северный Ледовитый океан, но находящиеся как бы на восточной периферии основного северного ареала парникового повышения стока: Обь, Северная Двина (причем, в последнем случае максимум повышения приходится на 2060-е годы, позднее сток понижается). С другой стороны, повышение стока отмечается для реки умеренной и южно-таежной зоны – Амура - и тропической зоны – Нила и Ганга. (б) Реки, для которых отмечается понижение стока. Это, в большинстве своем, реки экваториальной, тропической, субтропической зоны и южной периферии умеренной зоны: Амазонка, Конго (экваториальная зона), Парана, Рио Гранде, Колорадо (тропическая, субтропическая зона), Миссисипи (умеренная, субтропическая зона). К этой группе примыкает и река меньшей площади – Рейн, истоки которого находятся на северной периферии (в Альпах) «Большого Средиземноморского ареала» уменьшения стока. (в) Наконец, для 10 рек существующие сценарии (особенно сценарий МЭИ) практически не дают изменений среднего годового стока на протяжении 21 века. При этом чаще всего либо полоса наблюдаемого среднего стока полностью поглощает полосу прогнозируемых значений – либо наоборот: полоса наблюдаемых значений среднего полностью находится внутри полосы прогнозируемых значений. Такие реки находятся в разных природных зонах,

кроме самой северной и экваториальной: как в зоне тайги или на ее южной периферии (Черчилл, Нельсон, р. Святого Лаврентия), так и в основном в умеренной зоне (Коламбия, Волга, Дон), и в тропической зоне (Нигер, Вольта, Меконг, Муррей-Дарлинг).

Полученные результаты находятся в частичном соответствии, уточняют и расширяют результаты, полученные около 8 лет назад автором для рек России с использованием намного меньшего числа климатических моделей предыдущего поколения, без «гидрологического даунскейлинга» и без использования сценария МЭИ (Добровольский, 2007, рис. 7, с. 651). Такое сравнение позволяет представить «историю» сверхдолгосрочного прогнозирования стока части рек, прогноз в динамике. Сравнение возможно для 8 рек России – Волги, Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея, Лены, Колымы, Амура. В шести случаях прогнозы 2006 года и полученные в настоящем проекте предельно близки. Во-первых, это относится к рекам с не самыми северными водосборными бассейнами (Волга, Обь, Амур). Для них прогнозные полосы в среднеквадратичном практически вмещают в себя «полосы» наблюдаемого среднего годового стока и не демонстрируют статистически значимых изменений на протяжении всего 21 века. Кроме того, практически совпадают предыдущие и настоящие прогнозы для рек, находящихся ближе к периферии северо-восточного ареала максимального парникового роста стока – для Северной Двины, Печоры и Енисея. Для первой оба прогноза не дают расхождений в среднеквадратичном на всем протяжении 21 века. Для Печоры и Енисея как прогноз 2006 года, так и современный дают расхождение в среднеквадратичном с оценкой среднего годового стока по данным наблюдений примерно в начале 2060-х годов (здесь современный прогноз трактуется по сценарию МЭИ). Наконец, река, находящаяся в центре северо-восточного ареала максимального увеличения годового слоя стока – Лена в современном варианте прогноза демонстрирует более ранние сроки расхождения, в среднеквадратичном, с полосой оценки среднего по данным наблюдений: начало 2030х-е годов (по сценарию МЭИ) вместо второй половины 2050-х годов. Единственная река, для которой результаты предыдущего и современного прогнозов значительно расходятся – Колыма. Для нее ранний прогноз не давал существенного роста стока вплоть до 2100 года, в то время как настоящий прогноз свидетельствует о кардинальном расхождении наблюдаемого и прогнозируемого годового стока уже к 2020-м – 2030-м годам. Представляет также интерес сравнение с намного более ранними прогнозами автора из работы (Добровольский, 1986), где методами палеорекоконструкций сопоставлялись прогнозируемые, при увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере, изменения стока южного и северного склонов европейской территории страны. Качественно результаты были похожими на полученные в настоящем проекте: усиление контраста между увлажненностью северного и южного склона.

Необходимо понимать, что описанные выше результаты не претендуют на абсолютную точность прогноза, но являются предварительными,

ориентировочными. По-видимому, реальная неопределенность прогнозов больше, чем та, которую дают приведенные выше доверительные интервалы, привязанные к стандарту ошибок оценок. В приведенных расчетах неизбежно делается большое количество трудно проверяемых допущений или допущений, заведомо не совсем корректных, но степень влияния которых на результаты трудно оценить. Так, в графическом представлении результатов предполагается, что линии средних значений как наблюдаемых, так и прогнозируемых величин стока находятся в центре прочерченных доверительных интервалов шириной в «две сигмы», что вряд ли соответствует действительности. Теоретически, для более корректного представления результатов могли бы быть полезны байесовские подходы, однако их применение встретило бы большие трудности, так как распределения прогностических, да и наблюдаемых величин в точности неизвестны. Другим источником неопределенностей, как упоминалось, является предположение о неизменности смещенности средних многолетних значений стока рек, которая характеризует результаты глобальных моделей взаимодействия океана, атмосферы и поверхности суши. Кроме того, кардинальным источником неопределенностей является общий недостаток глобальных моделей климатической системы: искусственная балансировка потоков на поверхности океана. Представляется, что за счет этого искусственно занижается изменчивость большинства параметров моделей в низкочастотной области спектров. Наконец, непреодолимым источником ошибок прогнозов является крайняя ненадежность сценариев эмиссии парниковых газов в атмосферу, реалистичность которых зависит от множества экономических, политических, технологических, демографических и других трудно прогнозируемых обстоятельств.

#### **4.4. Альтернативный подход к прогнозированию. Теория К.Хассельманна**

В подавляющем большинстве работ, посвященных сверхдолгосрочному прогнозированию гидрологических характеристик, предполагалось, что изменения глобального климата в предстоящие десятилетия будут в основном определяться так называемым «парниковым эффектом», и естественные изменения климата фактически не учитывались – во всяком случае, не учитывались в явном виде.

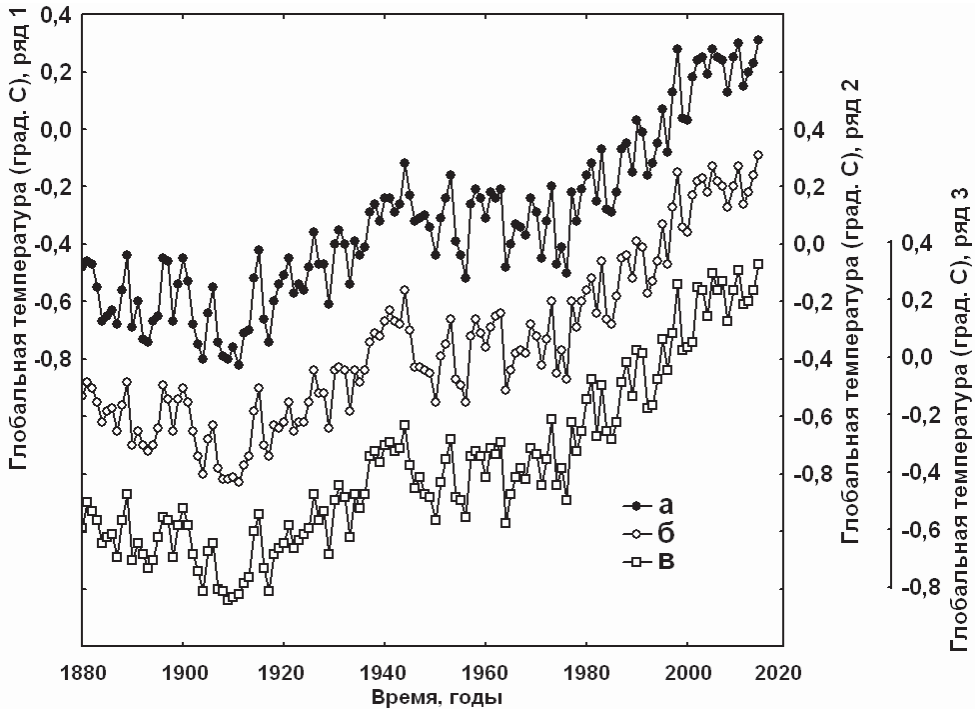
В предыдущих разделах, посвященных оценкам изменений речного стока вследствие возможного парникового эффекта на протяжении 21 века, а также в работах (Добровольский, 2007; Dobrovolski, 2014) возможные естественные изменения глобального климата также не учитывались – даже в форме неопределенностей, которые будут сопровождать «парниковые» прогно-

зы. А именно: автором учитывались от трех до четырех видов неопределенностей, которые могут влиять на достоверность и значимость указанных прогностических оценок: вследствие расхождений между отдельными климатическими сценариями, расхождений между результатами моделирования на различных моделях, ошибок в оценке среднего стока за «реперный» период инструментальных наблюдений, ошибок в оценке модельного стока вследствие межгодовой изменчивости внутри моделей. Вместе с тем, в последнее время появились новейшие оценки наблюдаемых изменений основного параметра климатической системы – глобальной температуры (к которой зачастую привязаны и прогнозы стока) – за период с начала 1880-х годов по настоящее время (в период подготовки монографии – до 2014 года включительно). Представляется, что, используя эти данные, можно получить более обоснованные, чем ранее, достоверные суждения как о закономерностях изменений глобального климата в предыдущие десятилетия, так и о возможности изучения еще одного важного источника неопределенностей при сверхдолгосрочном прогнозировании речного стока – за счет естественных изменений состояния атмосферы в крупных временных масштабах. В осуществлении этих возможностей и заключалась задача настоящего исследования.

#### *4.4.1. Анализ изменений глобального климата за инструментальный период*

Восстановлением рядов глобальной температуры – основного параметра климатической системы – занимаются различные группы исследователей. В последнее время (в отличие от предыдущих попыток) температурные ряды, полученные в различных учреждениях, чрезвычайно похожи друг на друга – следовательно, являются более достоверными. Так, на Рис. 4.4.1 показаны три варианта годовых глобально осредненных температур с 1880 по 2014 г., полученные наиболее известными группами ученых в этой области и приведенные в (Climate..., 2015). В связи с тем, что разность между годовыми значениями температуры в трех вариантах рядов, как правило, меньше  $0,01^{\circ}\text{C}$  или ненамного превышает эту величину, а также, чтобы не загромождать раздел дублирующей информацией, ниже приведем результаты анализа только первого из указанных рядов.

В соответствии со стохастической теорией естественных изменений климата К.Хассельманна (Hasselmann, 1976; Dobrovolski, 2000; Imkeller, Storch, 2001 и др.), в широком диапазоне периодов и частот – от нескольких месяцев до тысяч лет – естественные изменения глобальной температуры воздуха в первом приближении описываются реализацией процесса случайного блуждания. Для проверки этих теоретических представлений, нами были проведены расчеты при помощи новейших температурных рядов, упомянутых выше. При этом особый интерес вызывает проверка теории на материале температурных данных, полученных в период с середины нулевых

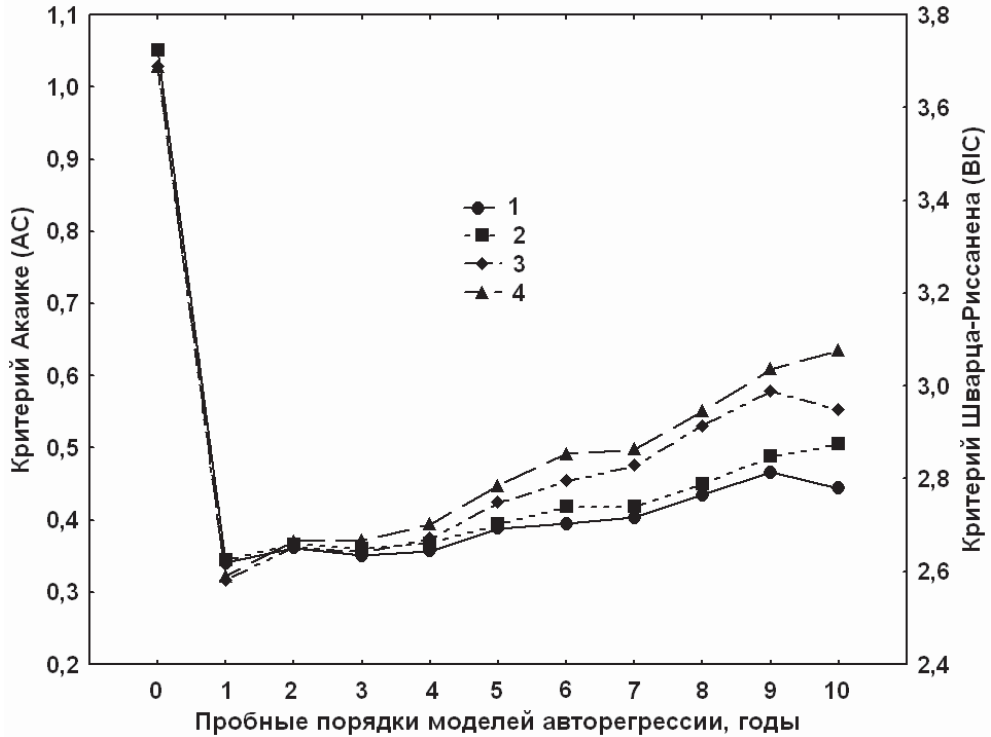


**Рис. 4.4.1.** Изменения средней глобальной температуры с 1880 по 2014 г. По: а – Hadley Centre for Climate prediction and Research and University of East Anglia’s Climatic Research Unit; б – National Climate Data Center; в – Goddard Institute for Space Studies (Climate..., 2015)

годов до середины 40-х годов 19 века. Как видно из Рис. 4.4.1, в этот период наблюдалось потепление на  $0,6 - 0,7^{\circ}\text{C}$ , сопоставимое по величине с последним потеплением, произошедшим за сходный по продолжительности период времени (40 лет – с середины 1970-х до середины 2010-х годов) и связываемым обычно с парниковым эффектом.

В качестве первого шага, при анализе глобальных температурных рядов, целесообразно предпринять исследование рядов в исходном виде, с использованием зарекомендовавшего себя, оптимального в такого рода исследованиях метода наибольшей энтропии – см., например, (Privalsky, Jensen, 1992), дающего одновременно стохастическую модель и оценку спектральной плотности процесса. Рис. 4.4.2 показывает, что различные методы расчета основного параметра авторегрессионной модели – ее порядка – однозначно указывают на первый порядок. При этом оценка спектральной плотности изменений глобальной температуры близка, в билогарифмических шкалах к прямой с тангенсом угла наклона  $-2$  (Рис. 4.4.3), то есть, соответствует закону

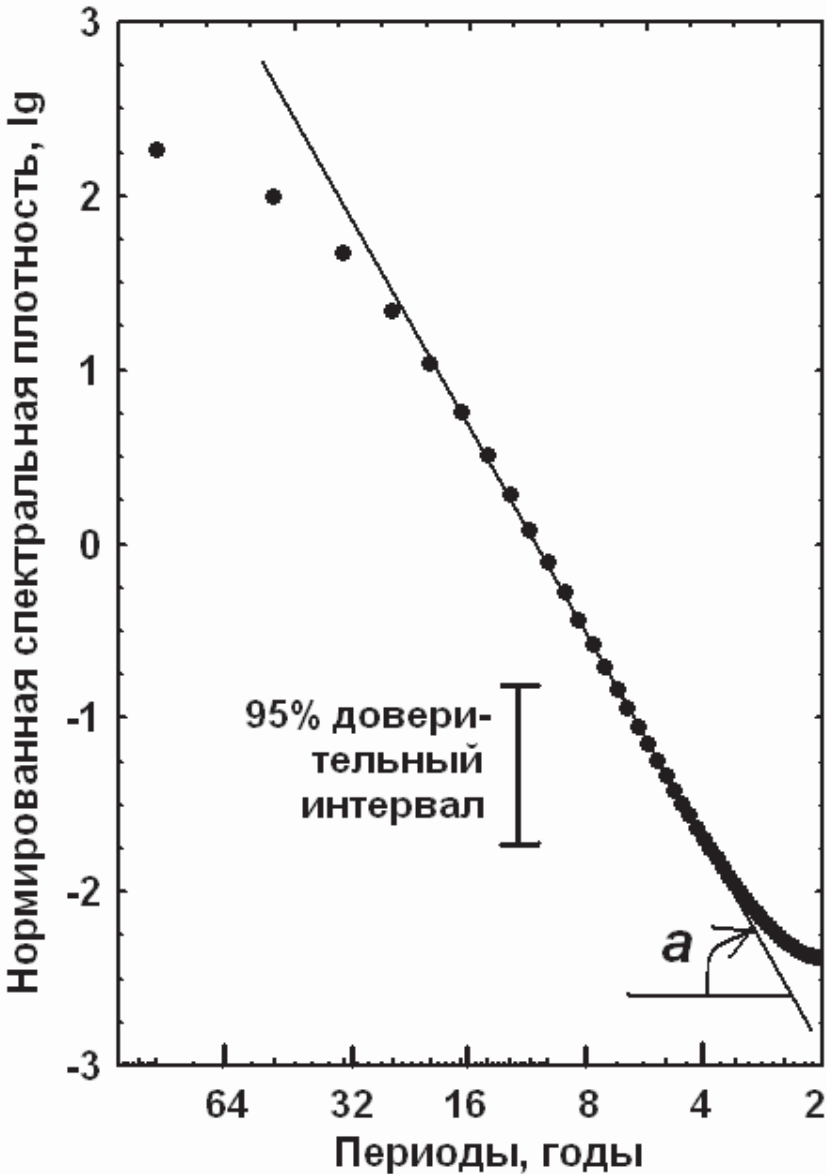




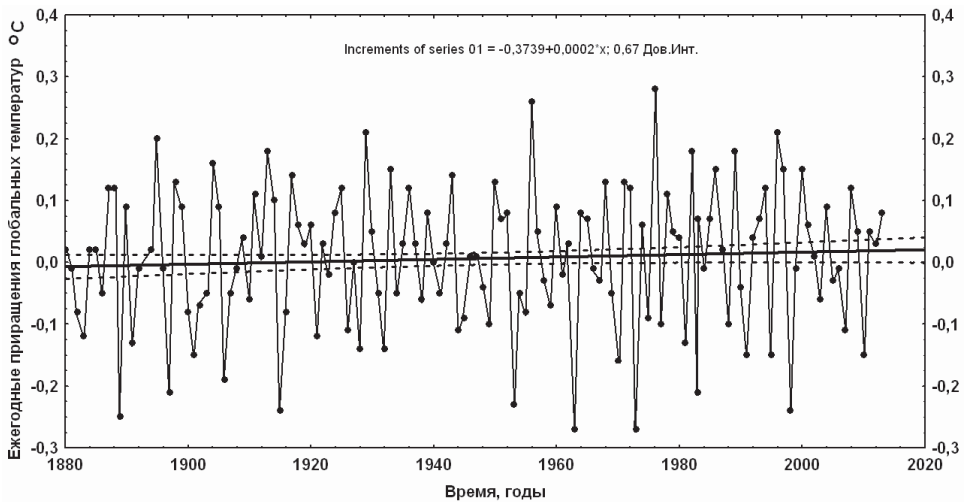
**Рис. 4.4.2.** Критерии Акаике (левая шкала, линии 1, 2) и Шварца-Риссанена (правая шкала, линии 3, 4) для первоначальной оценки порядка авторегрессионной модели ряда глобальной температуры, изображенного на Рис. 1а. Расчет критериев методом Юла-Уокера (2, 4) и Бурга (1, 3)

минус второй степени климатических изменений «без обратной связи» по К.Хассельманну.

Отметим также, что коэффициент авторегрессионной модели чрезвычайно близок к единице и составляет 0,97, а корень характеристического уравнения авторегрессии (Vox et al., 2008), полученный нами методом Миллера, близок к единичному кругу на комплексной плоскости. Все вышесказанное может свидетельствовать о близости анализируемого ряда глобальной температуры к реализации процесса случайного блуждания, а ряд первых приращений глобальной температуры может описываться последовательностью одинаково распределенных независимых случайных величин – так называемым «белым шумом».



**Рис. 4.4.3.** Оценка спектральной плотности (методом наибольшей энтропии) изменений глобальной температуры по ряду на Рис. 4.4.1а. В билогарифмических шкалах. Прямая с тангенсом угла наклона  $a$  соответствует закону «степени минус одна вторая» естественных климатических изменений глобальной температуры по К.Хассельманну. Шкала частот (горизонтальная) для наглядности оцифрована в периодах колебаний

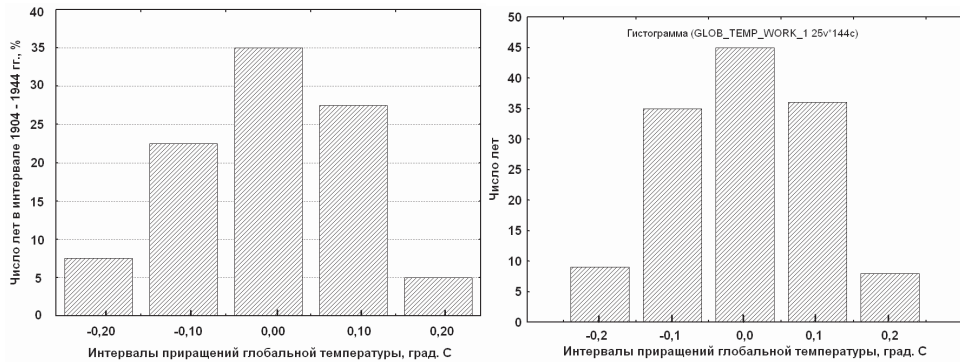


**Рис. 4.4.4.** Первые (от года к году) приращения ряда глобальной температуры, представленного на Рис. 4.4.1а. Сплошная прямая линия – линейная аппроксимация ряда методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Пунктирные линии – границы 95%-ных доверительных интервалов для линии регрессии

Для проверки этой гипотезы нами были проанализированы ряды первых (от года к году) приращений (Рис. 4.4.4) ряда глобальной температуры на Рис. 4.4.1а. При этом, «для чистоты эксперимента» нас в первую очередь интересовал сегмент ряда с середины 1900-х до середины 1940-х годов, когда, как упоминалось выше, наблюдалось глобальное потепление, примерно сходное по величине с потеплением последних 40 лет, отождествляемым многими с парниковым эффектом. Напомним, что скорость эмиссии парниковых газов в период «раннего» потепления была примерно на порядок меньше скорости эмиссии парниковых газов на протяжении последних 40 лет (Клименко и др., 2008; Клименко, Клименко, 2010) – следовательно, не могла быть основным фактором повышения температуры 1904 – 1944 годов. Напротив, целесообразно считать причиной указанного потепления естественные изменения глобального климата – следовательно, именно для этого сегмента оценивать параметры модели случайного блуждания для описания естественных изменений глобальной температуры. Отметим также, что если даже очень существенное повышение глобальной температуры за первые десятилетия 20 века может быть описано моделью случайного блуждания с оцененными для этого периода параметрами, то и более «спокойные» периоды трансформации температурного фона планеты тем более могут вписываться в теорию К.Хассельманна и в модель случайного блуждания.

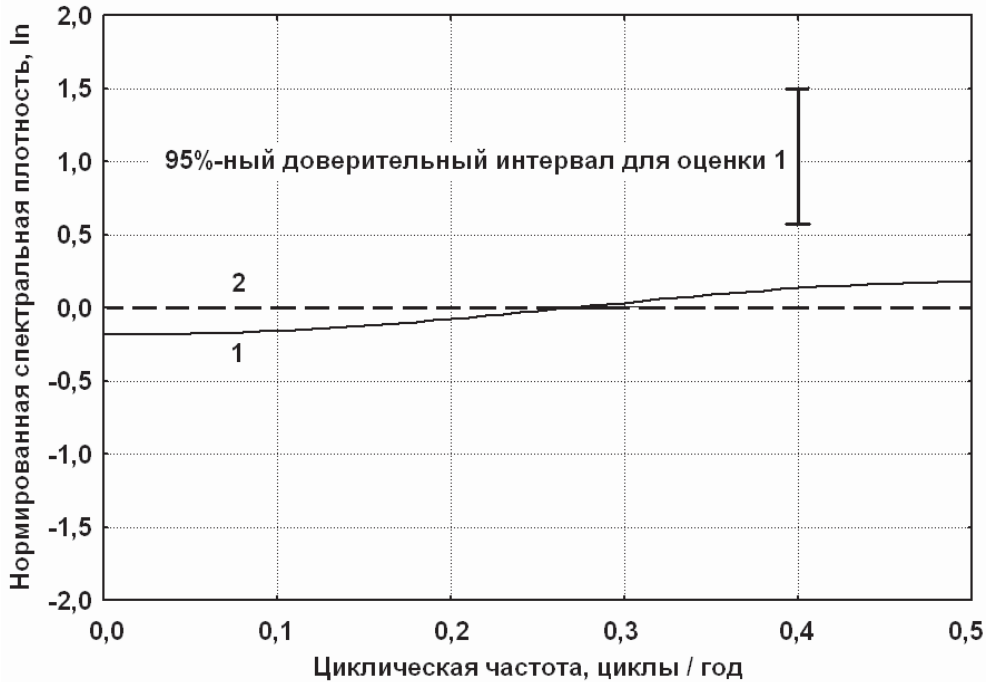
Если при анализе исходных рядов глобальных температур нами была использована традиционная методика метода наибольшей энтропии – конкретный вариант описан в (Dobrovolski, 2000), то при анализе рядов приращений температур была возможность использовать усовершенствованные автором методы оценки статистических и стохастических параметров рядов, пригодные для диапазона коррелированностей смежных членов рядов от  $-0,9$  до  $+0,9$  (Добровольский, 2011а,б). Результаты анализа этими методами следующие (первыми даны результаты для «раннего» периода потепления 1904 – 1944 гг., в скобках – для всего ряда, с 1880 по 2014 г.).

Для ряда на Рис. 4.4.1а. и указанного его фрагмента среднее значение годовых приращений составило  $0,02$  ( $0,01$ ) °C; мода была равна  $0,00$  ( $0,00$ ) °C; стандарт  $0,11$  ( $0,11$ ) °C; порядок моделей авторегрессии при анализе исходных рядов приращений  $0$  ( $0$ ); для рядов приращений, пересчитанных в ряды выборочных значений гауссовских случайных величин  $0$  ( $0$ ); значения коэффициентов автокорреляции со сдвигом один год для всех 4 случаев с учетом авторегрессионной модели составило, естественно, нулевую величину. Наконец, «индексы стационарности» - см. пояснения в (Добровольский, 2011б) – по математическому ожиданию, стандартам и автокоррелированности были равны соответственно  $+0,27$  ( $+0,37$ );  $-0,39$  ( $+1,08$ );  $0,00$  ( $0,00$ ), что свидетельствует о применимости гипотезы стационарности годовых приращений как ко всему ряду, так и к периоду «раннего потепления». Отметим также, что сходные результаты получены и для рядов на Рис. 4.4.1б и 4.4.1в.



**Рис. 4.4.5.** Гистограммы плотности вероятности годовых приращений глобальной температуры ряда на Рис. 1а. для раннего периода потепления 1904 – 1944 гг. (слева), для всего ряда с 1880 – 2014 гг. (справа)

В качестве доказательства применимости к ряду глобальных температур представления о нем как о реализации случайного блуждания с белым шумом-



**Рис. 4.4.6.** Оценки спектральной плотности ряда годовых приращений глобальной температуры за 1904 – 1944 годы. Для вариантов моделей авторегрессии первого (1) и нулевого (2) порядков

ными (причем, близкими к гауссовским) приращениями приведем еще два графика: гистограмму плотности вероятности приращений температур в период «раннего этапа потепления» (1904 – 1944 гг.) и за весь период (1880 – 2014 гг.) на Рис. 4.4.5 и оценку спектральной плотности (Рис. 4.4.6) периода раннего потепления для пробных нулевого и первого порядков модели авторегрессии, показывающий, что белозумный спектр, с точностью до доверительных интервалов разумного уровня значимости, является хорошим приближением.

В заключение раздела вернемся к графику на Рис. 4.4.4. Его рассмотрение свидетельствует о том, что среднее значение годовых приращений глобальной температуры не только статистически неотлично от нуля (что было бы необходимо в случае присутствия в ряде неслучайного монотонного тренда), но и не растет существенно со временем.

#### 4.4.2. Прогноз возможных естественных изменений средней глобальной температуры и сценарии парникового потепления

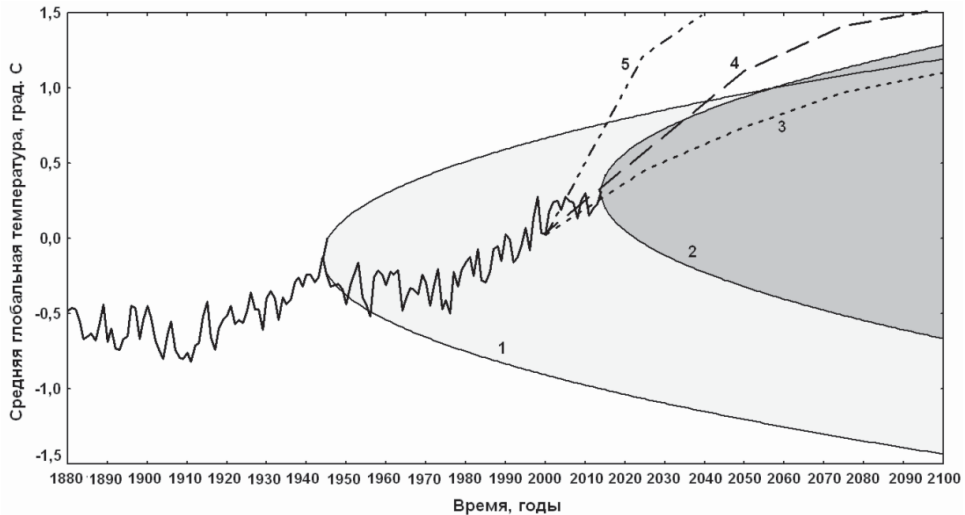
Таким образом, вытекающие из теории стохастических моделей климата К.Хассельманна представления о естественных изменениях глобальной температуры, как реализации процесса случайного блуждания, полностью подтверждаются на материале последних интерпретаций данных измерений температуры. Следствием из этого является возможность расчета соответствующих прогнозов естественных изменений глобальной температуры. Уравнение процесса случайного блуждания в данном случае выглядит простейшим образом:

$$X(t) = X(t-1) + a(t), \quad (4.4.1)$$

где  $X$  – случайные величины, описывающие изменения температуры, а их выборочные значения соответствуют реальным значениям;  $t$  – дискретное время в безразмерных годах,  $a(t)$  – последовательность независимых нормально распределенных величин с нулевым математическим ожиданием («гауссовский белый шум»). Если в (4.4.1) зафиксировать момент времени  $t_0$  и выборочное значение процесса в этот момент времени,  $x(t_0)$ , то оптимальным экстраполяционным прогнозом математического ожидания процесса будет горизонтальная линия на уровне значения  $x(t_0)$  (так называемый «инерционный прогноз»), а доверительные интервалы будут представлять собой горизонтальные параболы.

Процесс, таким образом, будет стационарен по математическому ожиданию, но нестационарен по дисперсиям (стандартам). Ширина доверительных интервалов, соответствующих единичному стандарту ошибки прогноза, будет равна  $2\sigma_a(t-t_0)^{1/2}$ , где  $\sigma_a$  – стандарт белого шума  $a(t)$ ;  $t-t_0$  – заблаговременность прогноза в целых безразмерных годах. Величину  $\sigma_a$  естественно оценить как стандарт годовых приращений наблюдаемых рядов глобальной температуры. В нашем случае, как для периода «раннего потепления» 1904 – 1945 годов, так и для всего ряда 1880 – 2014 гг., с точностью до второго знака после запятой он был равен  $0,11^\circ\text{C}$  (ряд на Рис. 4.4.1а). Заметим, что практически такими же были значения стандартов приращений, рассчитанные по двум другим рядам на Рис. 4.4.1.

Два варианта прогноза естественных изменений глобальной температуры, рассчитанного при помощи указанной оценки стандарта приращений, показаны на Рис. 4.4.7. Параболической линией 1 обозначены стандарты ошибок прогноза для варианта, когда за  $t_0$  принимается 1945 год. Этот прогноз можно рассматривать, как «пробный» и независимый, так как он осуществлен для интервала времени, который мог и не участвовать в идентификации модели (4.4.1) и в расчете параметра  $\sigma_a$ . График на Рис. 4.4.1а свидетель-



**Рис. 4.4.7.** Прогнозы естественных изменений глобальной температуры воздуха, построенные в соответствии с теорией К.Хассельманна. Сплошная ломаная линия – наблюдаемые средние глобальные температуры по (Climate..., 2015). 1, 2 – линии среднеквадратичных ошибок прогнозов соответственно с 1945 г. и с 2015 г. 3 – прогноз глобальной температуры по сценарию МЭИ. 4, 5 – примеры «мягкого» (B1) и «жесткого» (A2) прогностических сценариев МГЭИК

ствуют о том, что наблюдаемые после 1945 года изменения глобальной температуры полностью укладываются в концепцию стохастических моделей климата К.Хассельманна и соответствуют вытекающему из нее представлению о естественных изменениях глобальной температуры как реализации процесса случайного блуждания. А именно, в такого рода прогноз целиком укладывается и общее похолодание 1945 – 1975 годов, и последовавшее общее потепление климата. Эти результаты говорят, в частности, и о том, как непроста идентификация, на натурных данных, потепления последних 40 лет, если его приписывать в основном парниковому эффекту (что делается во многих работах – как представляется, без надлежащего учета естественной изменчивости климата).

Прогнозы естественных изменений глобальной температуры совмещены на Рис. 4.4.7 со сценариями возможного глобального потепления в 21 веке вследствие парникового эффекта. Линия 3 соответствует прогнозу группы исследователей из Московского энергетического института (Клименко, Клименко, 2010), линии 4 и 5 соответствуют «мягкому» и «жесткому» сценариям, соответственно B1 и A2, Международной группы экспертов по изменениям климата, МГЭИК (Climate..., 2013). Очевидно, что прогноз естественных изменений глобальной температуры полностью «перекрывает» сце-

нарий МЭИ, а вплоть до середины 21 века предсказывает изменения температуры такого же порядка, что и «мягкие» сценарии МГЭИК. Даже «жесткие» сценарии МГЭИК на перспективу вплоть до конца первой четверти – первой трети 21 века, оперируют сходными с прогнозом (2) цифрами. Из сказанного следует, что учет возможных естественных изменений глобального климата и вызываемых ими неопределенностей необходим при сверхдолгосрочном прогнозировании всех компонентов климатической системы, в том числе речного стока.

#### **4.4.3. Прогнозы изменений годового слоя речного стока без учета возможных естественных изменений глобального климата и с их учетом**

В разделе 4.2 были предложены и подробно описаны методические подходы к оценке возможных изменений годового слоя речного стока вследствие парникового эффекта с учетом, предложенными нами способами, трех неопределенностей этих прогнозов: за счет ошибок в оценке среднего стока за «реперный» период инструментальных наблюдений, за счет расхождений в сценариях эмиссии парниковых газов и вследствие расхождений между различными моделями климата. При этом использовались результаты расчетов на 21 модели МГЭИК, к которым была подсоединена модель гидрологии суши (Mac-PDM.09) с пространственной сеткой высокого разрешения (так называемый «даунскейлинг»). Описанный выше в настоящем разделе анализ естественной изменчивости глобального климата позволяет учесть в такого рода прогнозах и четвертый тип неопределенностей: за счет неопределенности прогноза естественных изменений глобального температурного режима.

Технически, в первом приближении, это осуществлялось следующим способом. Использованные нами в разделе 4.2 результаты расчетов на моделях климата с гидрологическим даунскейлингом были привязаны к определенным значениям приращений средней глобальной температуры. Прогноз среднеквадратичных отклонений предполагаемых изменений этого параметра в 21 веке за счет естественных изменений климата (линия 2 на Рис. 4.4.7) позволяет ввести поправки (в виде стандартных отклонений) в величины глобальных температур, к которым привязаны прогнозы стока. Затем соответствующие величины среднеквадратичных отклонений результатов расчетов слоя стока привязывались к конкретным сценариям изменений глобальной температуры – 6 сценариям МГЭИК и сценарию МЭИ. Конечным итогом расчетов были сопоставления карт «значимости» прогнозируемых изменений слоя стока с одной стороны с учетом трех видов неопределенностей прогноза, с другой стороны – с добавлением к ним четвертого вида неопределенностей, за счет естественной изменчивости глобального климата. Кроме того, для сценариев МГЭИК были составлены карты, описывающие параметр со-

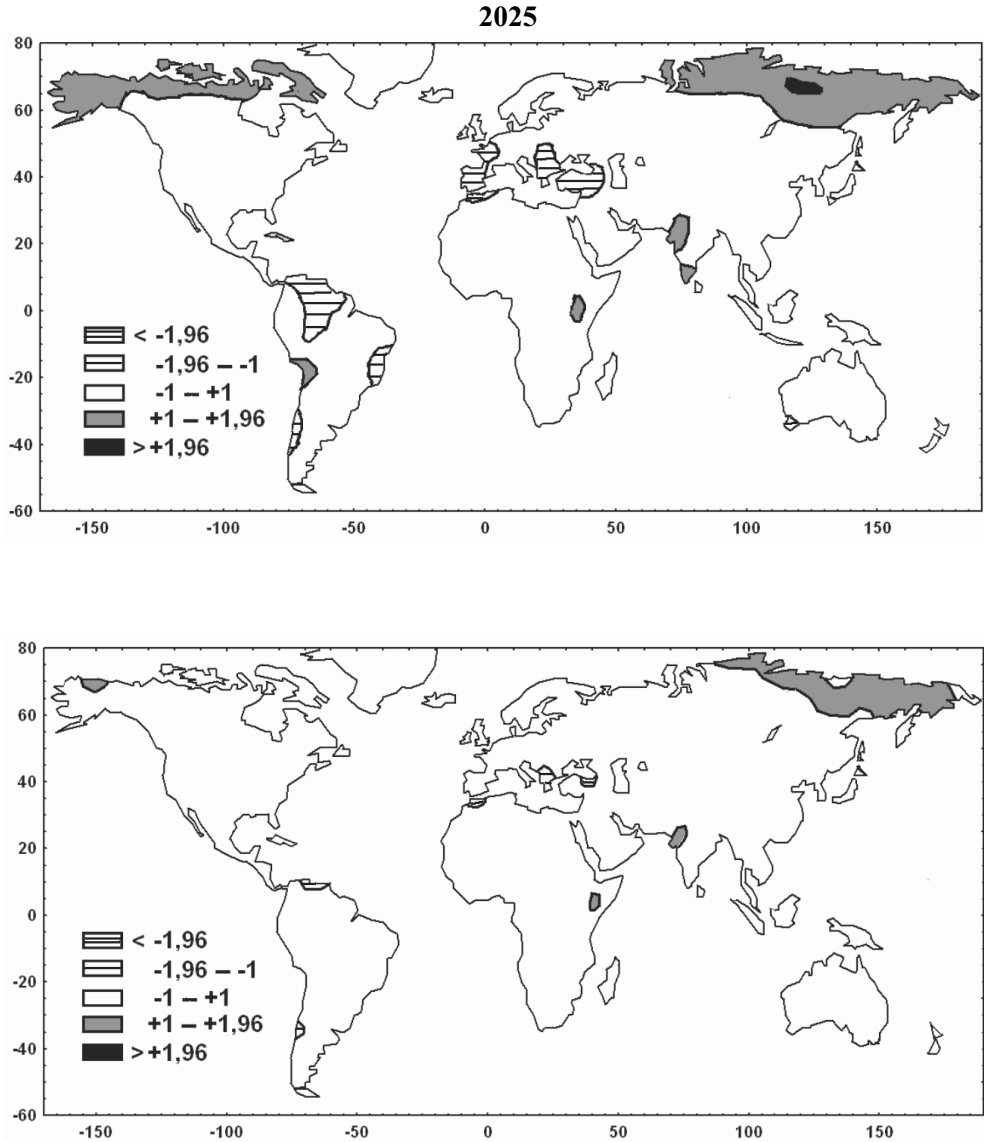


отношения неопределенности последнего вида к неопределенностям первых трех видов.

Детально указанные результаты выглядят таким образом. На Рис. 4.4.8 и 4.4.9 показаны предложенные нами «индексы значимости» прогнозов слоя стока, *ИЗ* – отношение прогнозируемых изменений к среднеквадратичным ошибкам прогнозов. На Рис. 4.4.8 слева показаны карты *ИЗ* для сценариев МГЭИК без учета неопределенности вследствие естественных изменений климата, справа – с учетом этой неопределенности, оцененной указанными выше способами.

Эти карты свидетельствуют о том, что если не учитывать естественные изменения климата, к концу первой четверти 21 века на севере Канады, на всей территории Аляски и на обширной территории северо-восточной Евразии, включающей полуостров Ямал и зону к востоку от него и простирающейся на юг вплоть до широты Байкала прогнозируемое увеличение слоя годового стока превышает среднеквадратичную ошибку этой оценки, а в нижней части бассейна Лены превосходит эту ошибку более, чем в 1,96 раза, то есть имеет вероятность более 95%. Однако, с учетом естественной изменчивости климата (правая верхняя карта на Рис. 4.4.8) картина кардинально меняется. А именно: практически на всей северной части Северной Америки (кроме очень незначительной по площади территории на севере Аляски) прогнозируемые изменения годового слоя стока меньше среднеквадратичной ошибки оценок. Лишь на крайнем северо-востоке Азии (полуостров Таймыр и восточнее) прогнозируемые изменения годового слоя стока превышают среднеквадратичную ошибку оценки – но при этом *ИЗ* нигде не достигает величины 1,2. Сказанное означает, что в первой четверти 21 века прогнозируемое увеличение годового слоя стока на крайнем севере планеты статистически незначимо.

Еще более кардинальные различия между результатами расчетов без учета естественной изменчивости климата и с ее учетом наблюдаются к середине 21 века. В первом случае на северо-востоке Евразии и на севере Северной Америки присутствуют обширные зоны, где прогнозируемые изменения (увеличение) стока более чем в 1,96 раза превышают среднеквадратичную ошибку прогнозов – то есть, имеют вероятность более 95%. Напротив, учет изучаемого в настоящем разделе вида неопределенности указывает на то, что к 2050 г. нигде в мире, в том числе на упомянутых северных территориях, прогнозируемые изменения годового слоя стока не достигают такого уровня значимости. Если рассмотреть более поздний срез времени – начало последней четверти 21 века, то можно отметить, что с учетом наших последних расчетов лишь сравнительно небольшие участки северо-запада Евразии демонстрируют увеличение стока на уровне 95%-ной вероятности; нигде в Северной Америке и почти нигде на остальной территории мира (за исключением небольших ареалов на полуострове Индостан и в восточной экваториальной Африке) этот уровень значимости не достигается. Интересно, что ситуация 2100 года возвращается к ситуации 2050 года.



**Рис. 4.4.8.** Карты «индекса значимости» (ИЗ) прогнозов годовых величин слоя стока в 2025 г. Среднее по 6 сценариям МГЭИК. Карты сверху и снизу для каждого года – соответственно без учета неопределенностей вследствие возможных естественных изменений глобального климата и с учетом этих неопределенностей. Штриховкой и оттенками серого отмечены территории, для которых прогнозируется соответственно уменьшение и увеличение стока

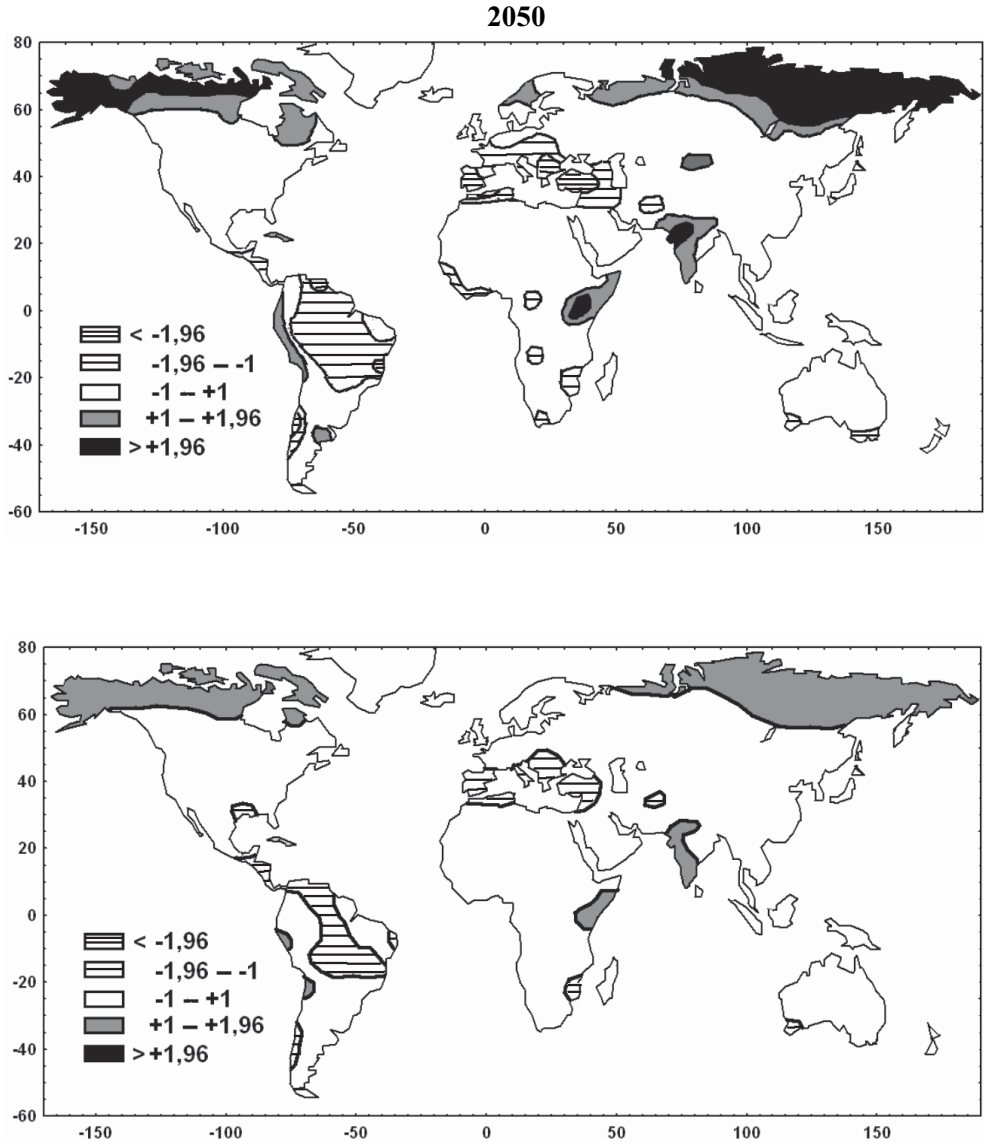


Рис. 4.4.9. То же, что Рис. 4.4.8, но для 2050 г.

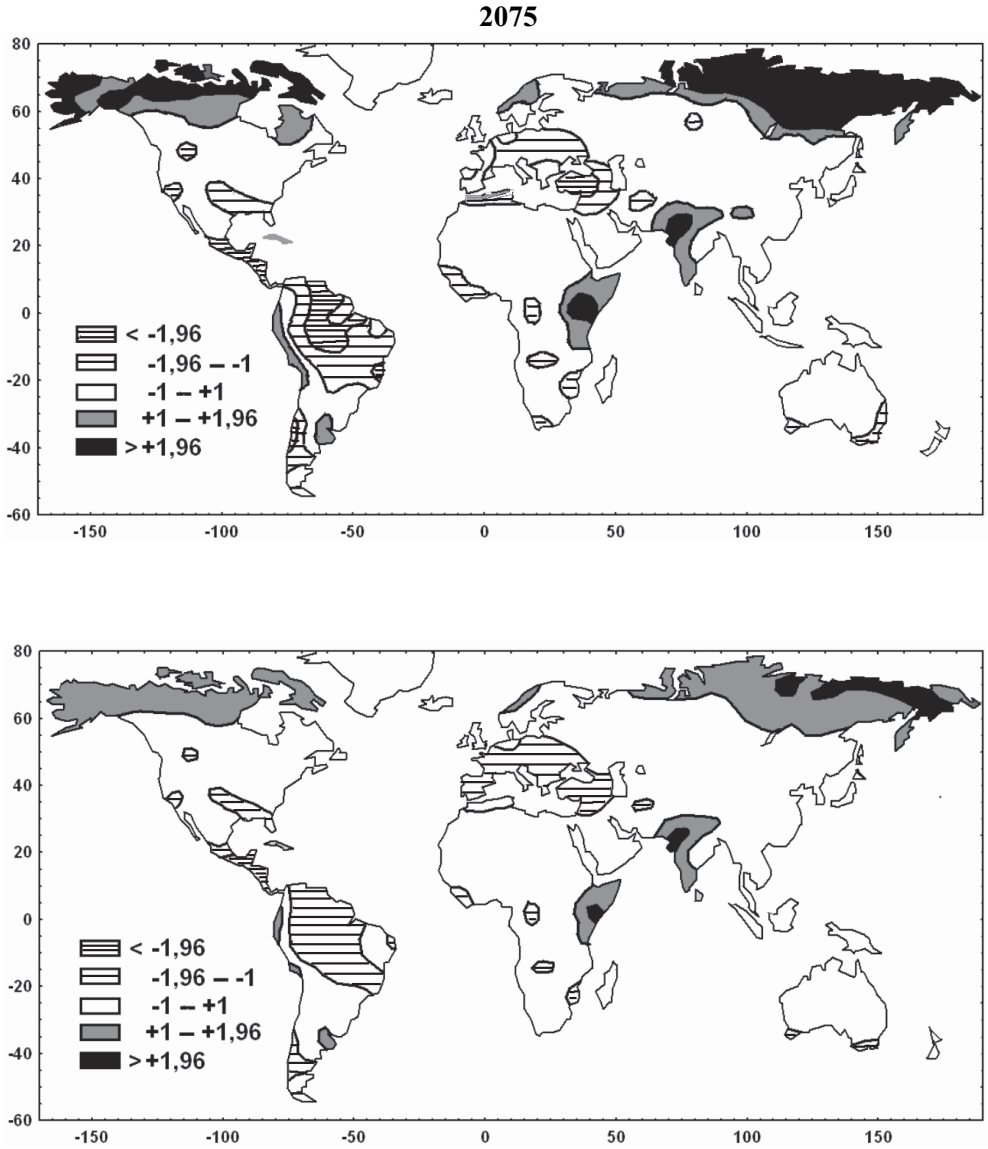


Рис. 4.4.10. То же, что Рис. 4.4.8, но для 2075 г.

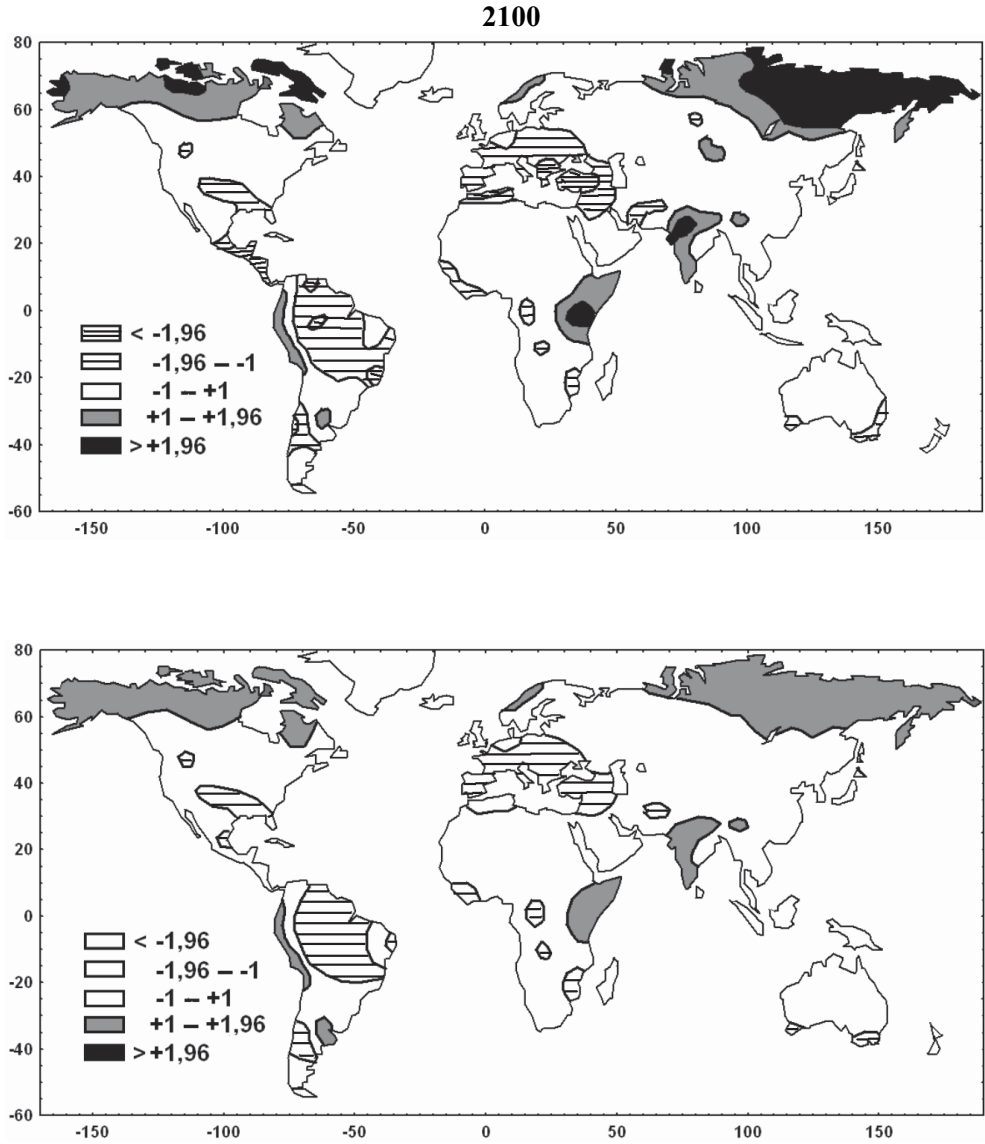
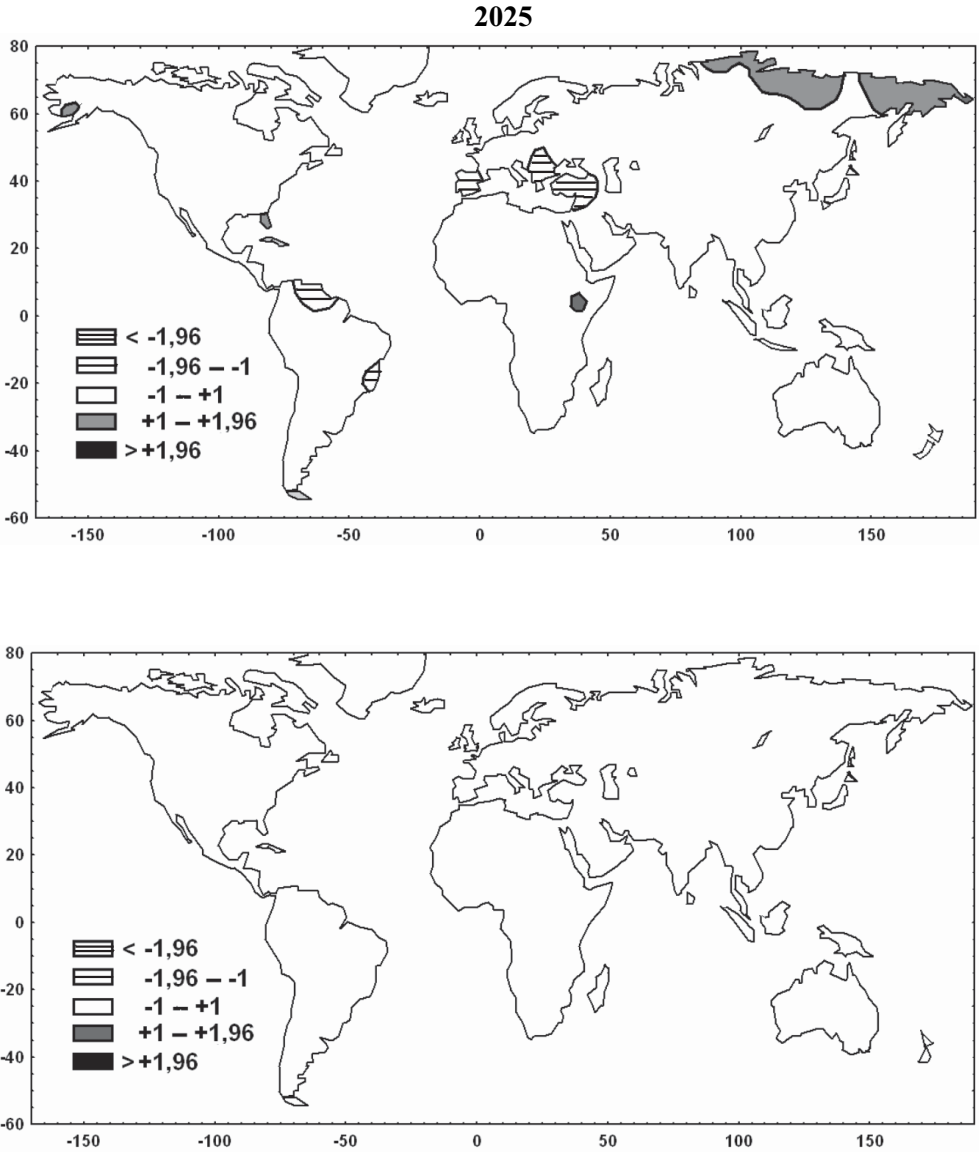
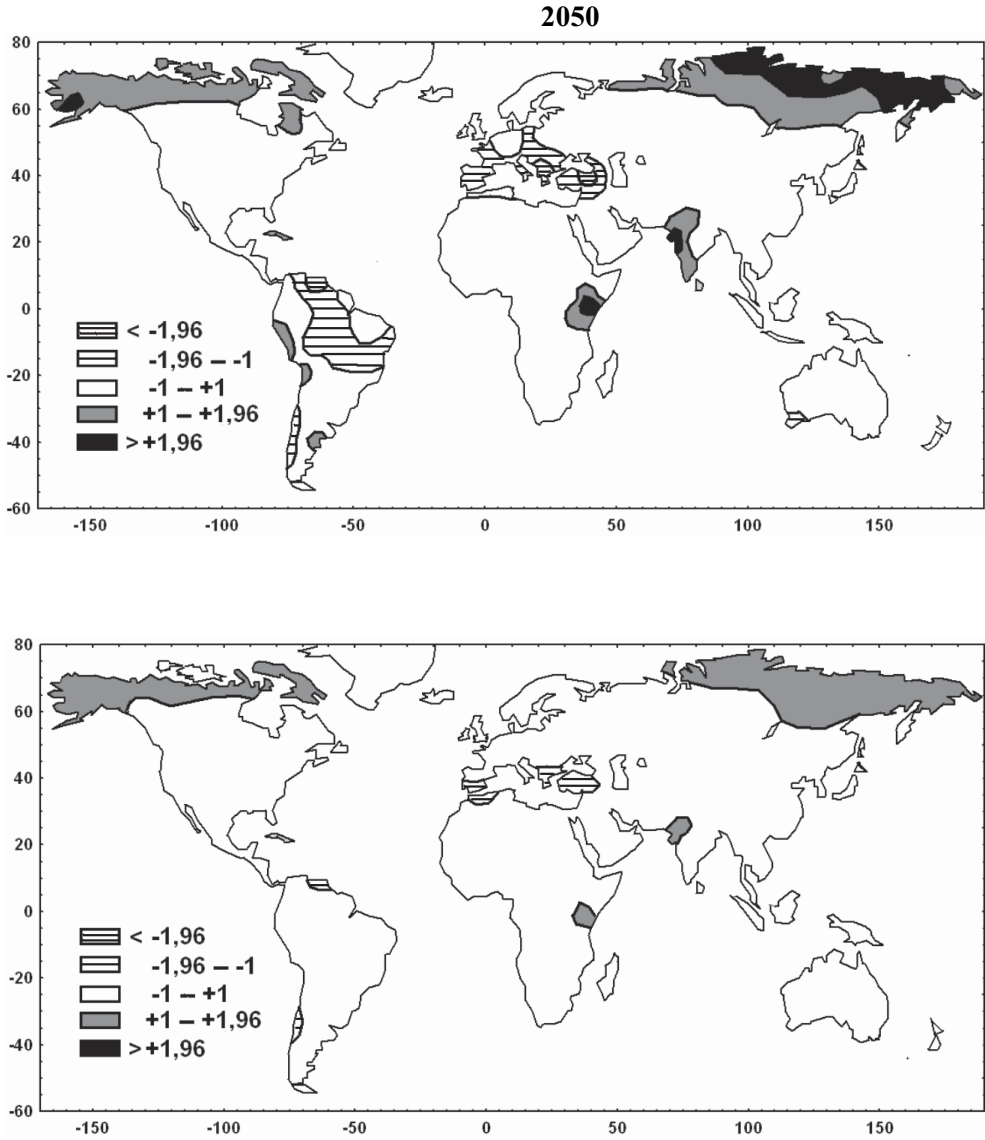


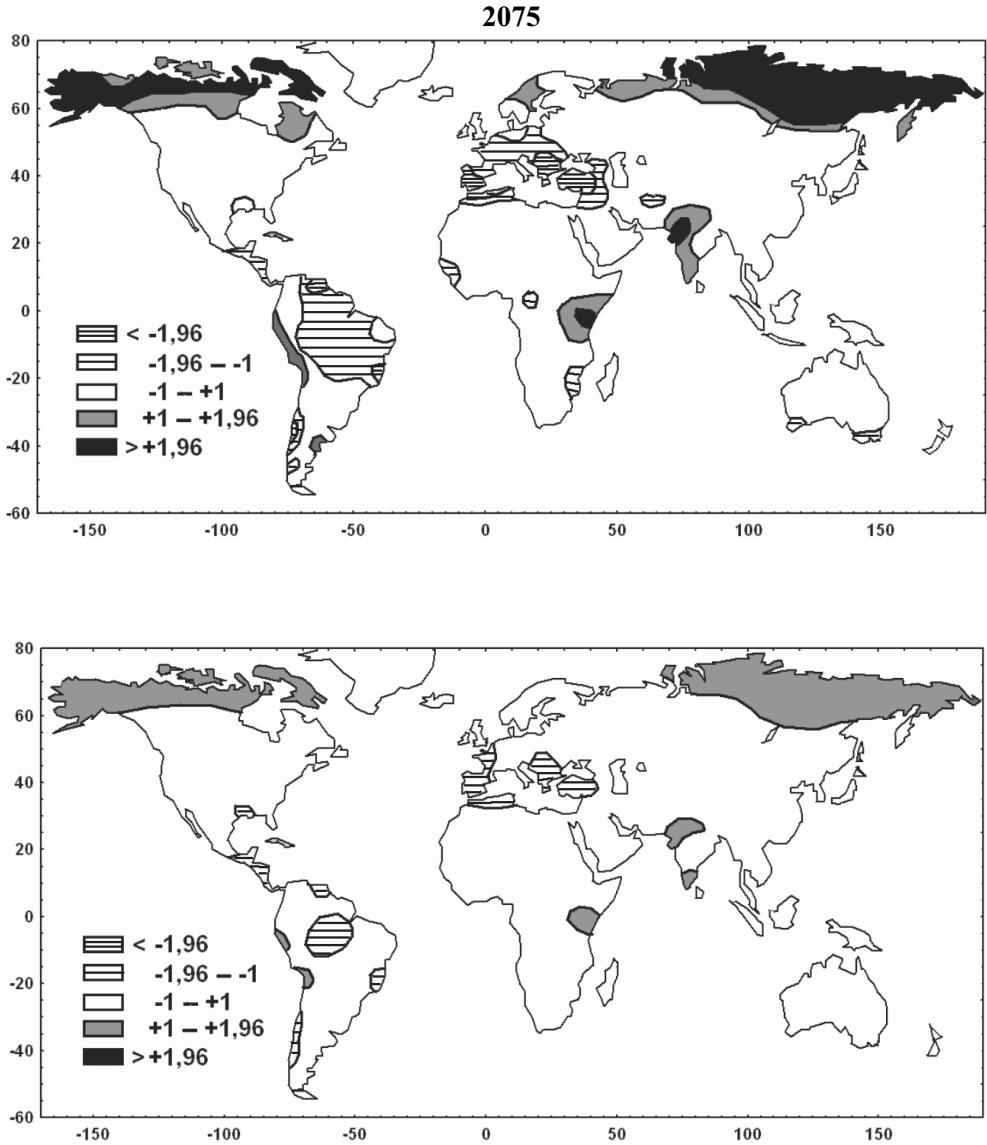
Рис. 4.4.11. То же, что Рис. 4.4.8, но для 2100 г.



**Рис. 4.4.12.** То же, что на Рис. 4.4.8, но для сценария эмиссии парниковых газов и изменений глобальной температуры, разработанного в МЭИ

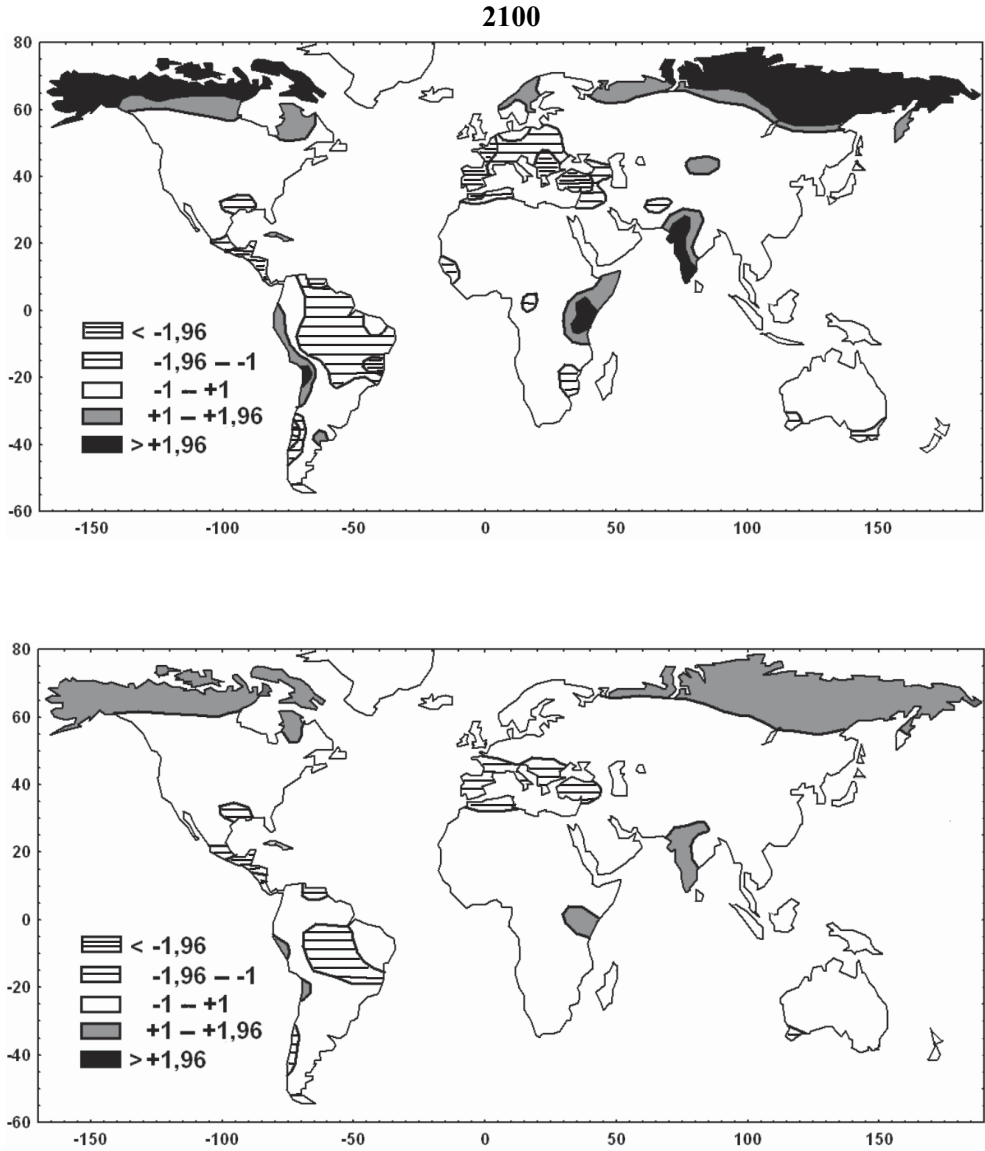


**Рис. 4.4.13.** То же, что на Рис. 4.4.9, но для сценария эмиссии парниковых газов и изменений глобальной температуры, разработанного в МЭИ



**Рис. 4.4.14.** То же, что на Рис. 4.4.10, но для сценария эмиссии парниковых газов и изменений глобальной температуры, разработанного в МЭИ





**Рис. 4.4.15.** То же, что на Рис. 4.4.11, но для сценария эмиссии парниковых газов и изменений глобальной температуры, разработанного в МЭИ

Еще значительнее эффект учета неопределенности вследствие естественных изменений климата проявляется при анализе прогнозов с использованием сценария МЭИ – более реалистичного, на наш взгляд, чем сценарии МГЭИК (Рис. 4.4.12 – 4.4.15). Карты на этом рисунке показывают, что к началу второй четверти 21 века нигде в мире прогнозируемые изменения годового стока не превышают среднеквадратичную ошибку этих прогнозов. В более поздние периоды 21 века прогнозируемые изменения стока нигде не достигают уровня 95%-ной обеспеченности. Причем, к 2050 году величина *ИЗ* на севере Северной Америки и Азии нигде не превышает 1,4, а к 2075 и к 2100 г. нигде в этой зоне не превышает 1,6.

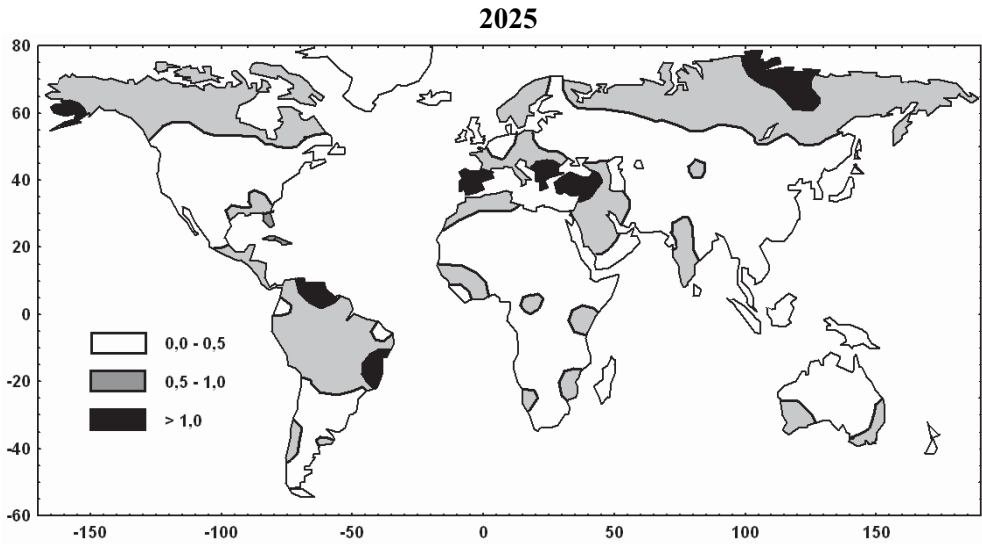
Представляют также интерес карты соотношения неопределенностей вследствие естественных изменений климата и вследствие всех остальных факторов вместе взятых (Рис. 4.4.16 – 4.4.19). Рисунок показывает, что роль указанного фактора неопределенности особенно велика в районах наибольших прогнозируемых изменений стока, а на севере и северо-восток Евразии она может превышать роль всех остальных факторов неопределенности вместе взятых.

Напомним также о соотношении неопределенностей вследствие других (трех) ошибок прогноза, расчет которых был описан в работе (Dobrovolski, 2014). Ошибки вследствие недостоверности оценки математического ожидания стока на протяжении реперного периода, в среднем глобальном, имеют тот же порядок, что и ошибки вследствие расхождений результатов моделей, однако ошибки второго типа примерно одинаково, в процентном соотношении, распределены по пространству, в то время как ошибки первого типа значительно варьируют в зависимости от среднего годового слоя стока и достигают максимума в более засушливых регионах.

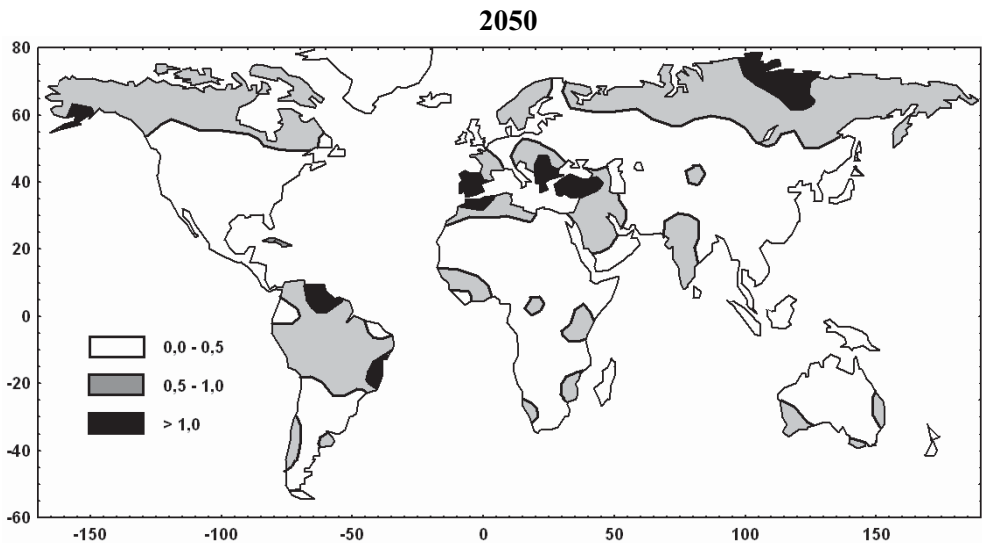
При этом оба типа ошибок, в первом приближении, своего рода «автомодельны»: растут пропорционально изменениям глобального температурного режима. Напротив, ошибки вследствие расхождений между сценариями эмиссии парниковых газов (в экспериментах со сценариями МГЭИК) растут с намного большей скоростью, чем скорость роста глобальной температуры: для 2100 года такого рода ошибки в среднем на порядок превосходят ошибки для 2025 года и существенно (до 2 раз) превосходят, в среднем, каждую из ошибок первых двух типов.

Основные результаты и гипотезы раздела 4.4 видятся в следующем.

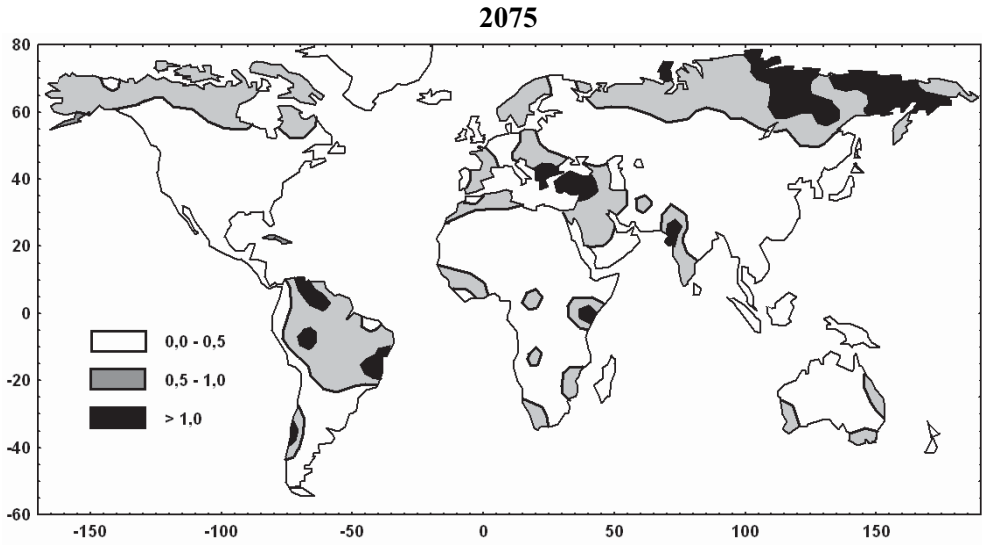
- Анализ рядов глобально-осредненных температур воздуха показывает, что как за весь период наблюдений, так и за период «раннего потепления» (1904 – 1944 гг.) они соответствуют реализациям модели случайного блуждания с независимыми по времени, нормально распределенными годовыми приращениями, имеющими близкое к нулевому математическое ожидание.



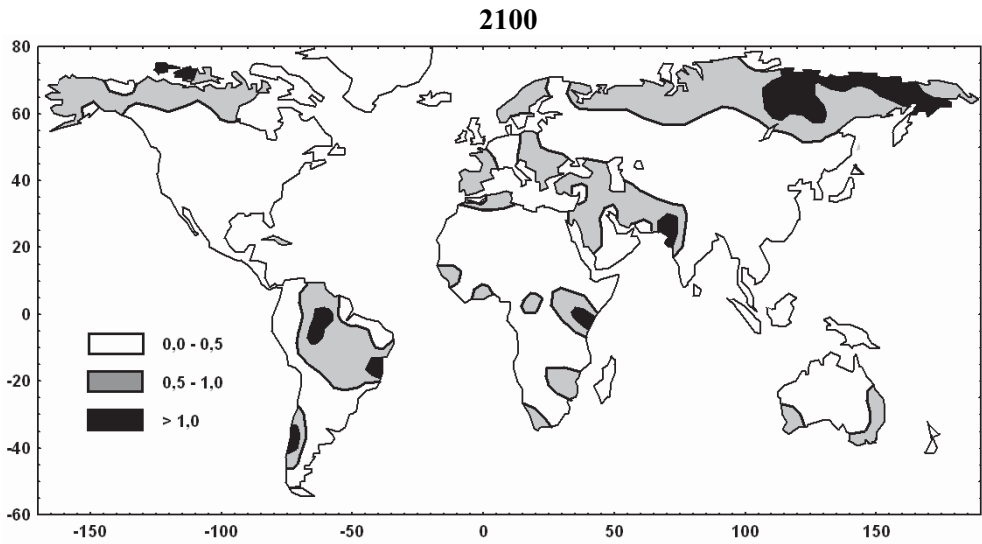
**Рис. 4.4.16.** Отношение  $R$  стандарта ошибки прогноза слоя годового речного стока вследствие возможных естественных изменений глобального климата к стандарту соответствующей ошибки за счет всех остальных факторов неопределенности прогноза. Белым закрашены территории, для которых  $R < 0,5$ ; светло-серым:  $R$  от 0,5 до 1; темно-серым:  $R > 1$ . Сценарии МГЭИК для 2025 г.



**Рис. 4.4.17.** То же, что Рис. 4.4.16, но для 2050 г.



**Рис. 4.4.18.** То же, что Рис. 4.4.16, но для 2075 г.



**Рис. 4.4.19.** То же, что Рис. 4.4.16, но для 2100 г.

- Таким образом, рассмотрение последних вариантов рядов наиболее важного реконструированного параметра глобального климата еще раз подтверждает справедливость теории стохастических моделей климата К.Хассельманна.
- Пробный прогноз глобальной температуры, в соответствии с теорией и моделью случайного блуждания (дискретного винеровского процесса с белым шумом гауссовскими ежегодными приращениями), на период с конца раннего потепления 20 века (1945 г.) до настоящего времени свидетельствует о том, что наблюдаемые изменения температуры целиком укладываются в диапазон среднеквадратичных ошибок такого прогноза.
- Указанного рода прогноз глобальных температур на период до конца 21 века показывает, что в диапазон его среднеквадратичных ошибок целиком укладывается прогноз «парникового потепления», разработанный учеными Московского энергетического института, а «мягкие» варианты прогноза МГЭИК близки к этому диапазону.
- Учет неопределенности прогноза годового слоя речного стока вследствие неопределенности будущих естественных изменений глобального климата приводит к заключению о том, что в варианте сценариев МГЭИК вплоть до середины 21 века, а в варианте сценария МЭИ вплоть до конца 21 века прогнозируемые изменения ни в одном районе Земли не достигают уровня значимости 95%.
- Сказанное выше заставляет выдвинуть гипотезу о том, что при разработке стратегии управления водными ресурсами на отдаленную (тем более, на ближайшую) перспективу желательно рассматривать не только сценарии однонаправленных изменений общей увлажненности различных территорий суши, но и сценарии изменений увлажненности противоположного знака.
- Иными словами, учет возможного парникового эффекта в большей степени усиливает неопределенность в отношении водных ресурсов будущего, нежели однозначно указывает на будущие тенденции (одного знака) изменений в пределах той или иной территории Земли.

#### **4.5. Оценки возможных изменений стока основных рек России с учетом естественных изменений глобального климата**

##### **4.5.1. Методические вопросы**

С учетом изложенного в разделе 4.4, представляется возможным дать альтернативные, по сравнению с разделом 4.2, прогнозы стока конкретных рек – с более подробным описанием роли различного рода неопределенно-

стей прогноза. Такими реками в настоящем разделе будут важнейшие реки России: Волга, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма, Амур.

В данном случае при расчетах возможных изменений стока конкретных рек РФ нами были использованы карты изменений стока и карты ошибок этих оценок из раздела 4.4. Вместе с тем, как упоминалось в разделе 4.2, расчет хронологических изменений стока конкретных рек имеет свою специфику и не сводится к простому пересчету предыдущих карт и пространственных матриц прогнозных величин в квадраты, приходящиеся на соответствующие водосборные бассейны и последующему суммированию результатов. Прежде всего, как и в разделе 4.2, существенным образом необходимо было изменить способ расчета ошибок вследствие неопределенности в оценке математического ожидания стока за реперный период. Если при подготовке карт эти величины рассчитывались косвенным образом – через соотношения между средним годовым слоем стока и коэффициентов вариации, то на настоящем этапе была возможность использовать для расчета рассматриваемой ошибки непосредственные данные наблюдений за стоком в ближайшем к устью створе за реперный период (30 лет).

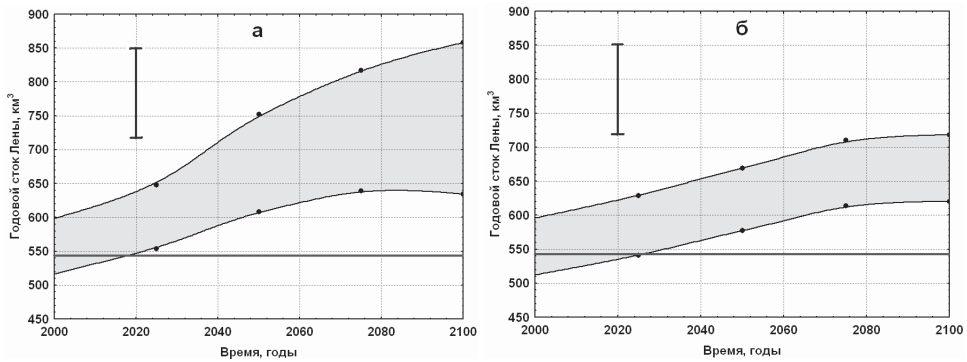
#### **4.5.2. *Оценки возможных изменений стока р. Лена в 21 веке с учетом неопределенностей вследствие естественных изменений глобального климата***

Оценка будущего стока Лены представляет особый интерес в связи с тем, что среди крупнейших рек России она – согласно большинству прогнозов – подвержена наибольшему влиянию потенциального глобального потепления. В то же время, как видно из Рис. 4.4.16 – 4.4.19, на территории бассейна Лены роль неопределенностей вследствие естественных изменений глобального климата максимальна. Эти обстоятельства приводят к тому, что бассейн Лены и сток самой реки представляют собой своего рода модель, на примере которой могут наиболее ярко проявляться изучаемые закономерности и анализ которой может служить примером при исследовании изменений стока других рек России.

На рисунках 4.5.1 и 4.5.2 приведены примеры различных вариантов оценок изменений стока Лены на протяжении 21 века. Следует уточнить, что речь идет о прогнозах математического ожидания (среднего значения) годового стока реки в створах, близких к устью, при этом реальные годовые значения в конкретные годы могут значительно отклоняться от средних величин.

На рис. 4.5.1 окрашенная серым цветом полоса представляет собой прогноз изменений математического ожидания годового стока в пределах среднеквадратичных отклонений от среднего: на рис. 4.5.1а – с использованием 6 сценариев эмиссии парниковых газов МГЭИК, на рис. 4.5.1б – с использованием сценария Московского энергетического института (Университета). Очевидно, что до конца 2010-х годов в первом случае и с середины

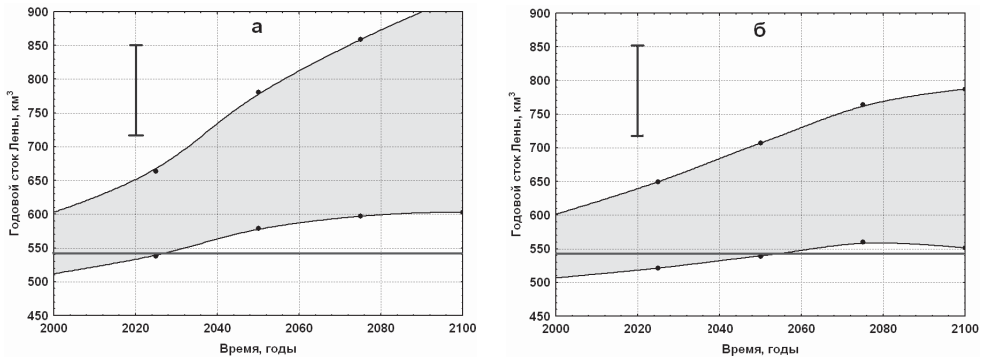
2020-х годов во втором случае прогнозируемые значения не отличаются статистически значимо (в среднеквадратичном) от наблюдаемого за реперный период инструментальных наблюдений среднего годового стока Лены. Однако, к середине – тем более к концу века – прогнозируемые значения уже значительно отличаются от среднего наблюдаемого. (Вместе с тем, средние приращения стока в варианте сценариев МГЭИК более чем в полтора раза превышают приращения, демонстрируемые сценарием МЭИ).



**Рис. 4.5.1.** Оценки возможных изменений годового стока Лены в 21 веке. Линии, ограничивающие полосу серого цвета, соответствуют среднеквадратичному диапазону ошибок оценок с учетом источников неопределенностей. Горизонтальная красная линия – оценка среднего стока за реперный период. Вертикальный отрезок соответствует двойному стандарту годовых значений стока за реперный период. а – оценки при помощи 6 сценариев эмиссии парниковых газов МГЭИК и с учетом соответствующих неопределенностей прогноза; б – оценки с помощью сценария МЭИ (Клименко и др., 2010, 2015). В обоих случаях учитывались неопределенности вследствие расхождений между результатами 21 модели МГЭИК и ошибки в оценке математического ожидания годового стока за реперный период инструментальных наблюдений (30 лет). Точки соответствуют расчетным значениям для 2025, 2050, 2075 и 2100 г. Интерполяция между точками (сплошные черные кривые) осуществлялась методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов.

Вместе с тем, картина существенно меняется, если учитывать возможные естественные изменения глобального климата – методом, описанным в отчете предыдущего года и в публикациях автора отчета. Характерными чертами графиков на рис. 4.5.3 являются во-первых значительное расширение доверительных интервалов прогноза (в данном случае соответствующих среднеквадратичным отклонениям от средних значений), во-вторых – распо-

ложение нижней линии среднеквадратичных отклонений на рис. 4.5.2б<sup>2</sup> рядом с линией наблюдаемых за реперный период значений. Последнее означает, что даже для наиболее подверженной парниковому потеплению крупнейшей реки России заметные изменения годового стока примерно равновероятны сохранению его современных значений. Иными словами, однонаправленные изменения годового стока Лены вследствие глобального потепления не являются безальтернативным прогнозом. Напомним также, что ширина доверительных прогнозов на рис. 4.5.1 – 4.5.2 является минимальной оценкой, не учитывающей другие неопределенности, не поддающиеся количественному анализу. Таким образом, целесообразным, при прогнозировании годового стока такой реки как Лена, ориентироваться не столько на возможное увеличение стока, сколько на существенное увеличение неопределенности оценок.



**Рис. 4.5.2.** То же, что рис. 4.5.1, но с учетом неопределенностей прогноза вследствие возможных естественных изменений глобального климата.

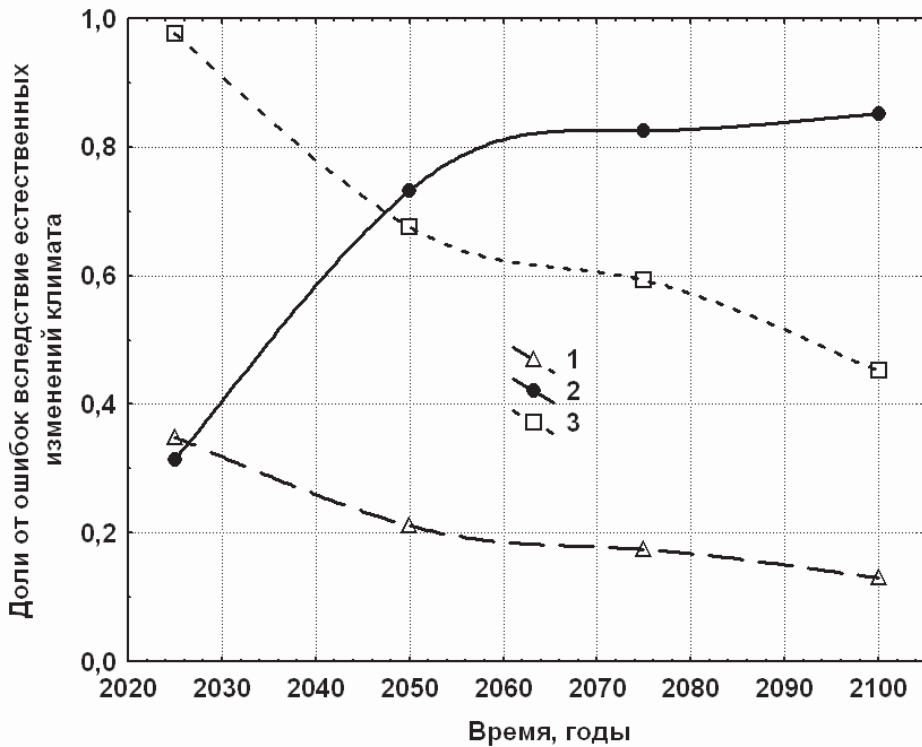
Последнее замечание к комментариям рисунков 4.5.1 – 4.5.2: отметим, что на них отражены возможные изменения стока реки в ближайших к устью реки створах. Для практики не меньше, если не больше значение имеет прогноз стока в створах, находящихся внутри бассейна Лены и замыкающих водосборные бассейны намного меньшей площади. В этих случаях однонаправленный прогноз годового стока еще менее статистически значим, так как велики значения коэффициентов вариации и связанных с ними относительных ошибок оценок среднего стока за инструментальный (реперный) период – на примере бассейна Лены это было продемонстрировано еще в работе автора (Добровольский, 2007).

Представляет существенный интерес вопрос о том, как, при оценке изменений стока Лены, меняются соотношения масштабов неопределенно-

<sup>2</sup> Рис. 4.5.2б соответствует сценарию МЭИ и представляющемуся нам более предпочтительным – как по логике его разработки, так и по соответствию наблюдаемым с конца 20-го века изменениям глобальной температуры.



стей вследствие различных причин. На рис. 4.5.3 показаны графики отношений среднеквадратичных ошибок прогнозов вследствие ошибок в оценке среднего стока за реперный период (1), вследствие расхождений между результатами различных климатических моделей (2) и вследствие расхождений между различными сценариями МГЭИК – к среднеквадратичным ошибкам вследствие возможных естественных изменений глобального климата. График показывает, что в случае Лены последние из четырех типов ошибок превышают каждую из первых трех типов ошибок на всем протяжении 21 века. При этом относительные ошибки в результате ошибочной оценки среднего стока за реперный период (рис. 4.5.3.1) и в результате расхождений между моделями (рис. 4.5.3.3) уменьшаются со временем (уровень первых из двух намного ниже). В то же время, ошибки вследствие расхождений между сценариями имеют тенденцию к росту, и в течение последней трети века имеют почти тот же порядок, что и неопределенность вследствие естественных изменений климата.



**Рис. 4.5.3.** Отношения среднеквадратичных ошибок прогноза годового стока Лены вследствие: ошибок в оценке среднего стока за реперный период (1), расхождений между шестью сценариями МГЭИК (2), расхождений между результатами 21 климатической модели (3) – к среднеквадратичной ошибке прогноза вследствие возможных естественных изменений глобального климата

### 4.5.3. *Оценки возможных изменений стока р. Амур в 21 веке*

Представляется показательным – сразу после раздела, посвященного Лене, – рассмотреть возможные изменения стока своего рода антипода Лены – Амура. Действительно, в большинстве работ, посвященных прогнозу годового стока р. Амур, от ранних работ (Добровольский, 2007) до последних (Калугин, 2016) указывается на статистическую незначимость изменений годового стока вследствие парникового эффекта. В рамках настоящего проекта была возможность проверить эти результаты с учетом не рассматривавшихся ранее сценариев эмиссии парниковых газов, большего количества моделей климата и не учитывавшихся в предыдущих работах факторов неопределенности, а также более детально рассмотреть структуру факторов неопределенности и их эволюцию во времени.

Как свидетельствуют Рис. 4.5.4 и 4.5.5, аналогичные рисункам 4.5.1 и 4.5.2 для Лены, на всем протяжении 21 века современные средние значения годового стока Амура, во всех вариантах прогноза, находятся в пределах среднеквадратичных ошибок прогноза. – которые, в свою очередь, примерно в 2 раза меньше стандартов годовых величин стока. При этом «прогнозная полоса», соответствующая сценарию МЭИ, расположена ниже полосы сценариев МГЭИК. Учет неопределенностей вследствие возможных естественных изменений глобального климата лишь в очень незначительной степени расширяет доверительные интервалы прогнозов.

Представляет собой контраст, по отношению к ситуации с Леной, и график изменения относительных ролей неопределенностей прогноза разного происхождения (рис. 4.5.6). Этот рисунок аналогичен рис. 4.5.3, построенному по результатам расчетов для Лены, однако демонстрирует кардинальное уменьшение роли естественной изменчивости глобального климата в общей неопределенности прогноза. Если для Лены каждый из графиков 4.5.3.1,

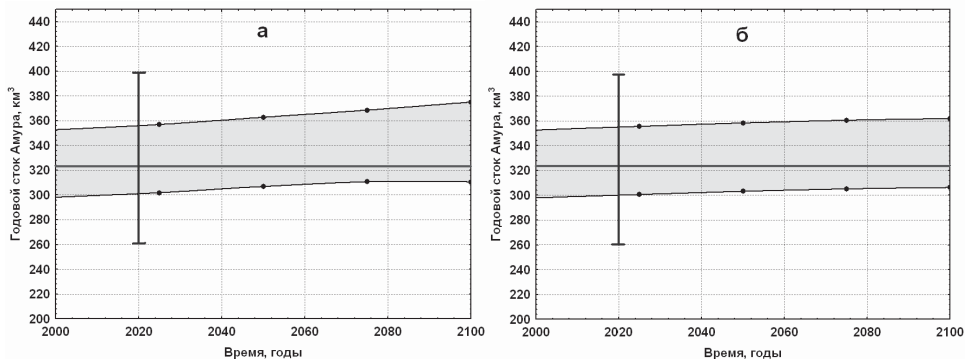


Рис. 4.5.4. То же, что рис. 4.5.1, но для р. Амур

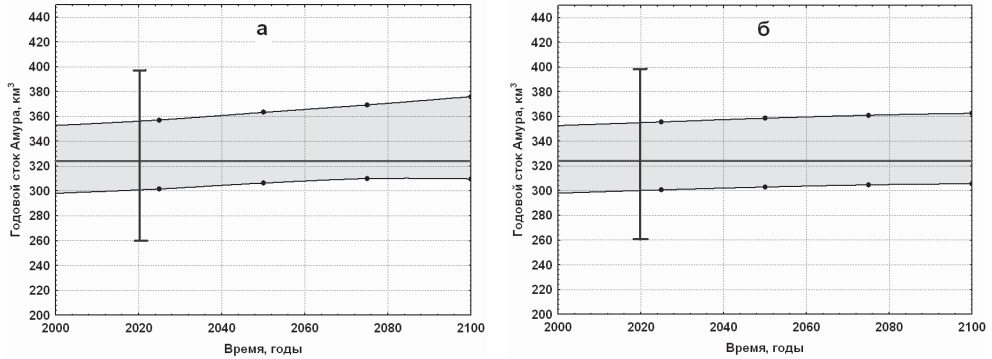


Рис. 4.5.5. То же, что рис. 4.5.2, но для р. Амур

4.5.3.2, 4.5.3.3 лежали ниже единичного значения оси ординат, то аналогичные линии на рис. 4.5.6 (кроме графика для стандартов ошибок вследствие расхождения в сценариях до примерно 2075 г.) находятся в диапазоне от 1 до 5,6. Для Амура значительно увеличена роль ошибок вследствие неопределенности в оценке среднего стока за реперный период, хотя последняя и не достигает среднеквадратичных значений ошибок вследствие расхождения между моделями.

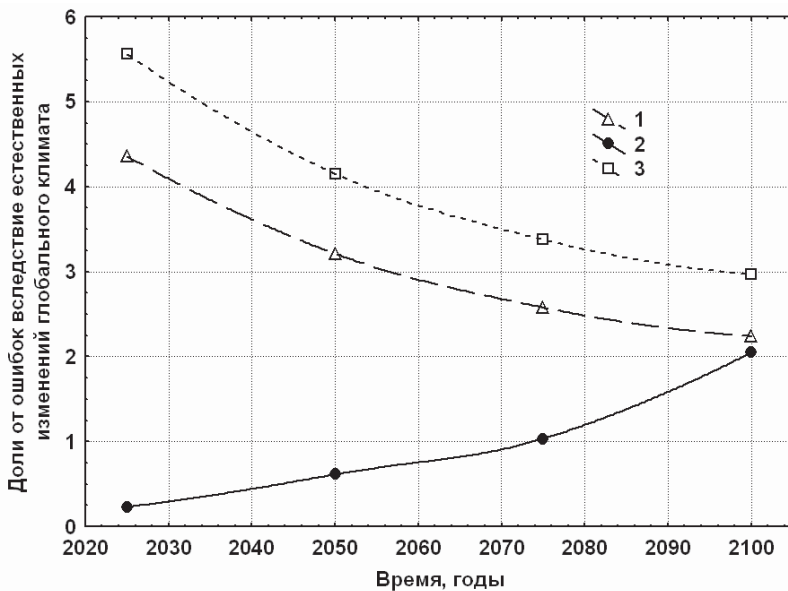
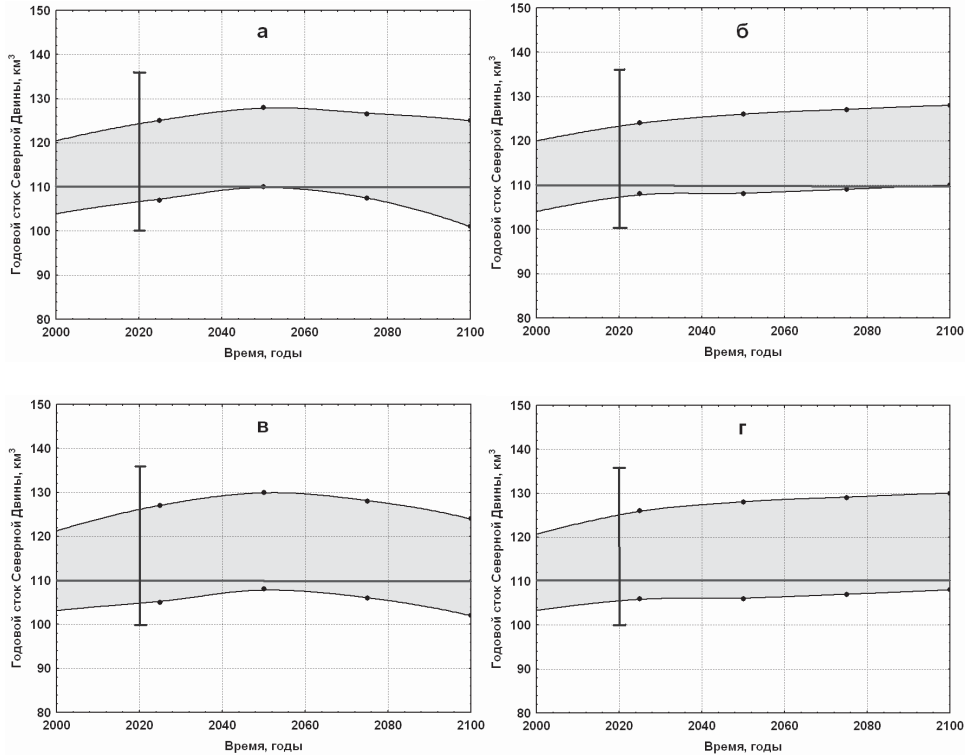


Рис. 4.5.6. То же, что рис. 4.5.3, но для р. Амур

#### 4.5.4. Северный склон Евразии: Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Колыма



**Рис. 4.5.7.** *Оценки возможных изменений среднего (математического ожидания) годового стока Северной Двины с учетом потенциальных изменений глобального климата и неопределенностей прогноза. Серой полосой обозначен диапазон среднеквадратичных оценок прогнозируемых величин. Точки обозначают расчетные оценки для 2025, 2050, 2075, 2100 годов, кривые линии – интерполяция по точкам методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов. Горизонтальная линия – средний годовое стока за реперный период инструментальных наблюдений. Вертикальный отрезок – среднеквадратичный размах годовых величин стока за реперный период. а, в – с использованием 6 сценариев МГЭИК и с учетом неопределенностей прогноза вследствие расхождений между сценариями эмиссии парниковых газов, расхождений между результатами различных моделей климата, ошибок в оценке математического ожидания среднего годового стока за реперный период инструментальных наблюдений, а также неопределенности вследствие учета естественных изменений глобального климата. б, г – с использованием сценария эмиссии парниковых газов и изменений глобальных температур МЭИ и с учетом перечисленных выше неопределенностей (кроме первой) (б), а также с учетом неопределенности вследствие естественных изменений глобального климата (г)*

Кроме Лены важнейшими реками северного склона Евразии и территории России являются Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Колыма. Прогнозные графики стока одной части из них имеют черты сходства с графиками, приведенными выше для Лены (в первую очередь это Колыма), другой части (прежде всего – Оби) кардинально отличаются. Общий принцип таков: чем южнее и западнее территории, охватываемые водосборными бассейнами рассматриваемой реки, тем более вероятность статистической незначимости прогнозируемых однонаправленных изменений стока на протяжении 21 века.

На рис. 4.5.7 показаны прогностические графики для Северной Двины, аналогичные графикам на рис. 4.5.1 и 4.5.2. Отличительной особенностью графиков 4.5.7а и 4.5.7в является некоторое увеличение стока к середине века и дальнейшее уменьшение стока – впрочем, сопоставимое по величине со среднеквадратичными ошибками этих оценок. Графики, построенные в соответствии со сценарием МЭИ (рис. 4.5.7б и 4.5.7г) как бы «растягивают» левые части графиков на рис. 8а и 8в на всю ширину временного диапазона, не демонстрируя даже слабого максимума в середине века.

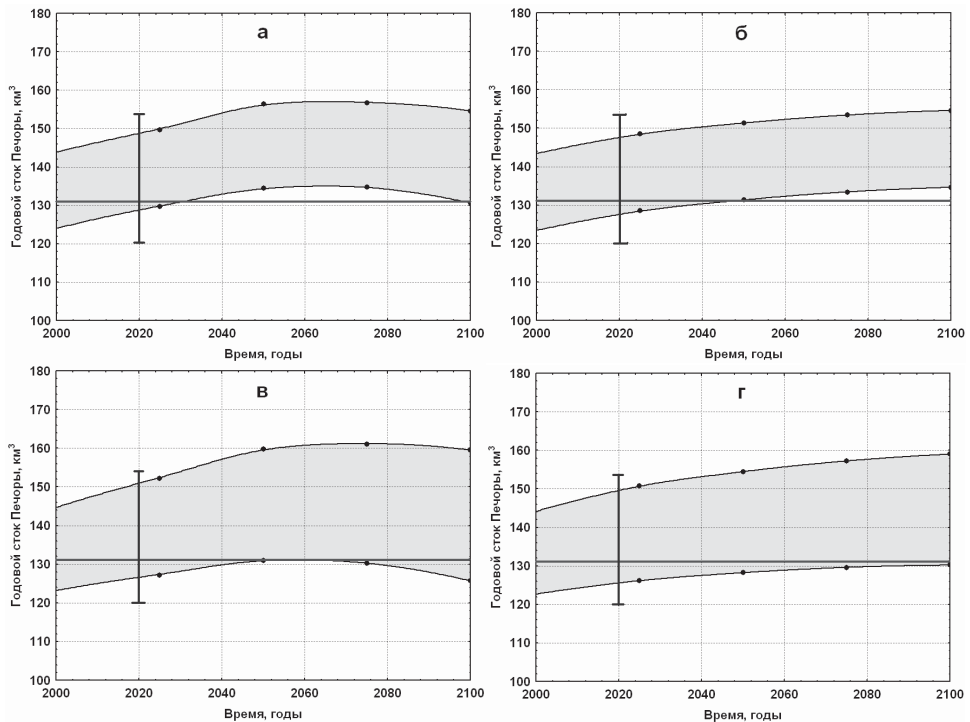


Рис. 4.5.8. То же, что рис. 4.5.7, но для р. Печора.

Прогностические графики для р. Печора качественно похожи на графики для Северной Двины; некоторое отличие заключается в том, что максимумы стока Печоры, прогнозируемого при помощи сценариев МГЭИК, запаздывают относительно максимумов на соответствующих графиках для С.Двины. На графиках без учета естественных изменений глобального климата Печоры также наблюдается несколько большее относительное увеличение стока, чем на графиках для С.Двины – что объяснимо, учитывая более восточное расположение бассейна. Однако, оба графика, которые вызывают наибольшее доверие – на рис. 8г и 9г – демонстрируют, как и в случае с Леной, примерно сопоставимую вероятность как заметного увеличения среднего стока, так и сохранения климатологического значения стока на протяжении всего 21 века.

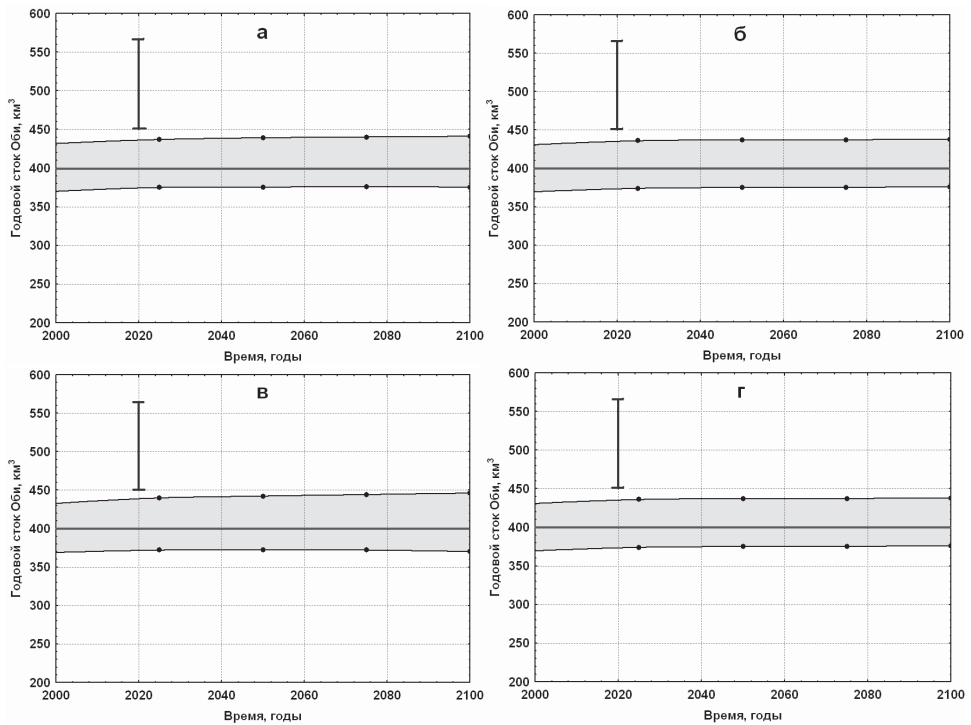


Рис. 4.5.9. То же, что рис. 4.5.7, но для р. Обь

Иначе выглядят прогностические графики для Оби (рис. 4.5.9). Вследствие того, что значительная часть бассейна Оби расположена в сравнительно южных зонах, для которых не прогнозируются сколько-нибудь заметные изменения слоя стока при ожидаемом глобальном потеплении, эта река является идеальным примером статистической незначимости изменений при любом

подходе к прогнозированию – при любом наборе сценариев и любом наборе неопределенностей, учитываемых при расчете статистической значимости прогноза. (Поэтому вывод о незначимости прогнозируемых изменений годового стока реки был сделан еще в ранней работе (Добровольский, 2007), основывавшейся на более простых подходах по сравнению с настоящим исследованием).

При продвижении к востоку – переходя к анализу изменений стока Енисея, затем Колымы – мы сталкиваемся с прогностическими графиками, качественно напоминающими графики для «показательного» бассейна наиболее чувствительной к глобальному потеплению из великих российских реки, Лены.

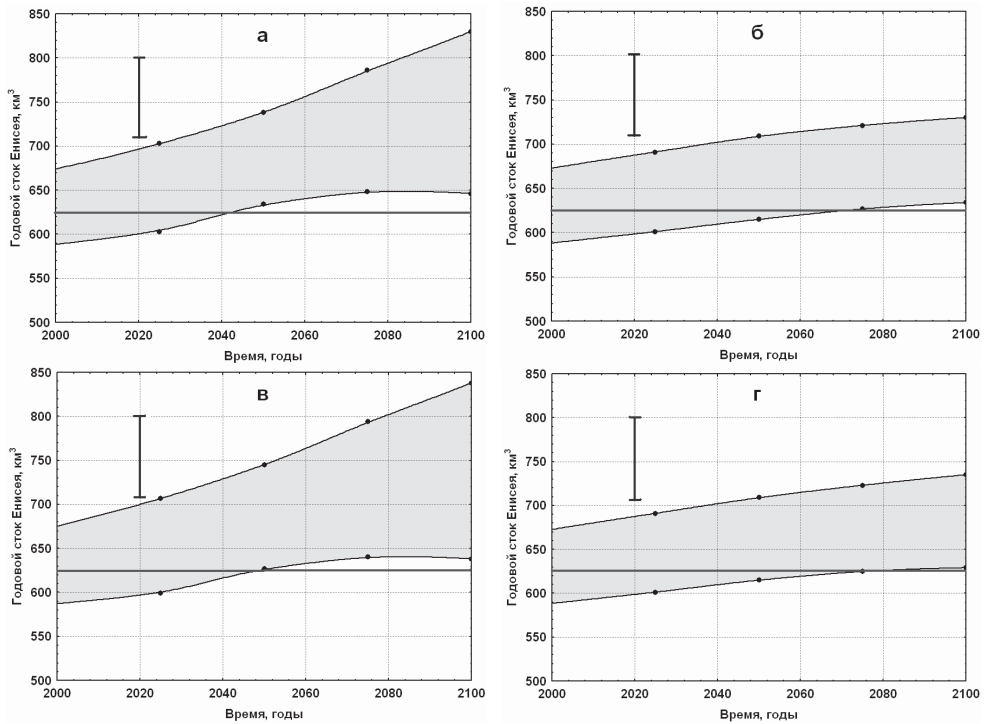


Рис. 4.5.10. То же, что рис. 4.5.7, но для р. Енисей

Как и графики для Лены, так и графики на рис. 4.5.10 и 4.5.11 для Енисея и Колымы демонстрируют незначительные (в сравнении с неопределенностями прогноза) изменения годового стока на протяжении первых десятилетий 21 века, затем, если не учитывать естественные изменения глобального климата, заметное увеличение стока. Вместе с тем, при учете последнего фактора неопределенности (рис. 4.5.10в,г и рис. 4.5.11г) значительное увели-

чение стока во второй половине века становится равновероятным сохранению современного годового стока. Очевидно также, что из трех рассмотренных рек Восточной Сибири прогнозы для Колымы наиболее жесткие – что связано с меньшей площадью бассейна и его расположением почти целиком в зоне повышенной чувствительности стока к изменениям глобального климата. Вместе с тем, в пределах бассейна Колымы (и по той же причине) наиболее велико влияние на размеры неопределенности прогнозов такого фактора, как возможные изменения глобального климата за счет естественных причин.

Вторым, по «жесткости», является прогноз для реки Лена (рис. 4.5.1 и 4.5.2), и наиболее «мягким» из трех – прогноз для Енисея, бассейн которого расположен западнее двух других и имеет большую протяженность с севера на юг. При рассмотрении графиков следует еще раз напомнить, что ширина доверительных интервалов на них является минимальной оценкой, так как в настоящее время невозможен количественный учет других факторов неопределенности, которые упоминаются в первых разделах отчета. Их учет привел бы, скорее всего, к еще меньшей относительной вероятности однонаправленных изменений годового стока в 21 веке.

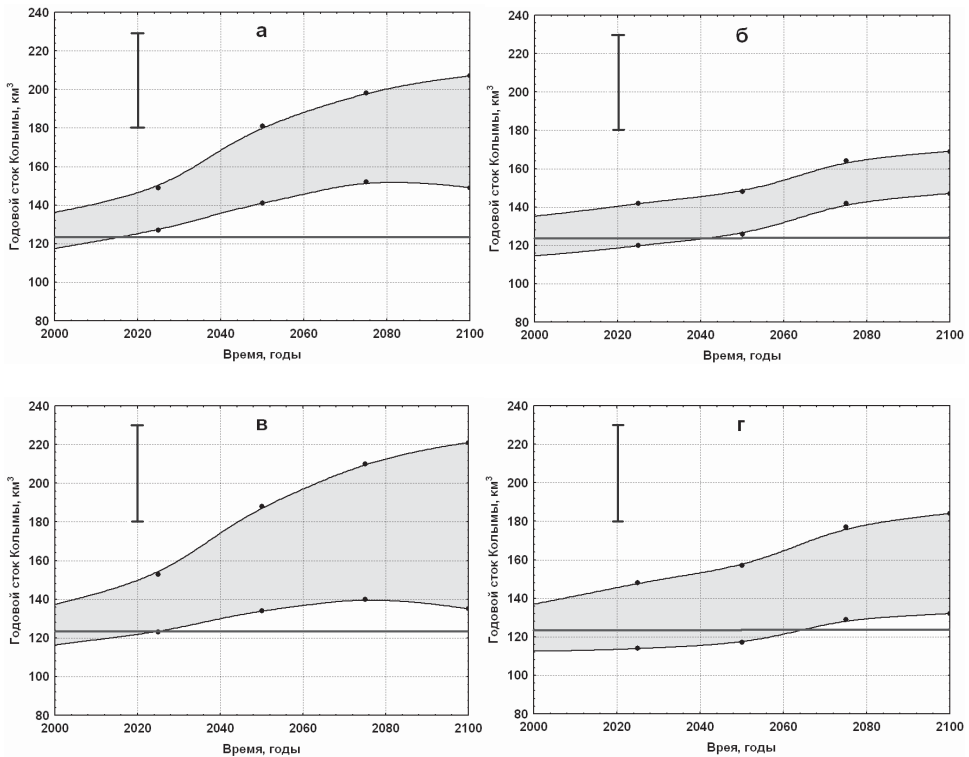


Рис. 4.5.11. То же, что рис.4.5.7, но для р.Колыма



## 4.5.5. Реки южного склона ЕТР: Дон и Волга

Прогнозные графики для Дона и Волги помещены соответственно на рис. 4.5.12 и 4.5.13. В общем, эти графики демонстрируют статистическую незначимость прогнозов однонаправленных изменений годового стока рек на протяжении 21 века. Необходимо, однако, отметить, что графики для Волги строились на основе так называемого «восстановленного» стока реки – с учетом безвозвратных изъятий (см. Добровольский, 2011б). Дискуссионным также является вопрос о влиянии гидротехнических сооружений на величину стока р. Дон. В (Добровольский, 2011б) подробно рассмотрен вопрос о стационарности годового стока р. Дон в связи с сооружением и функционированием Цимлянского и других гидроузлов. Таким образом, прогнозные графики на рис. 4.5.12-4.5.13, как и на других рисунках в настоящем разделе, не отражают влияние существующих и проектируемых гидротехнических сооружений на потенциальные изменения годового стока рек.

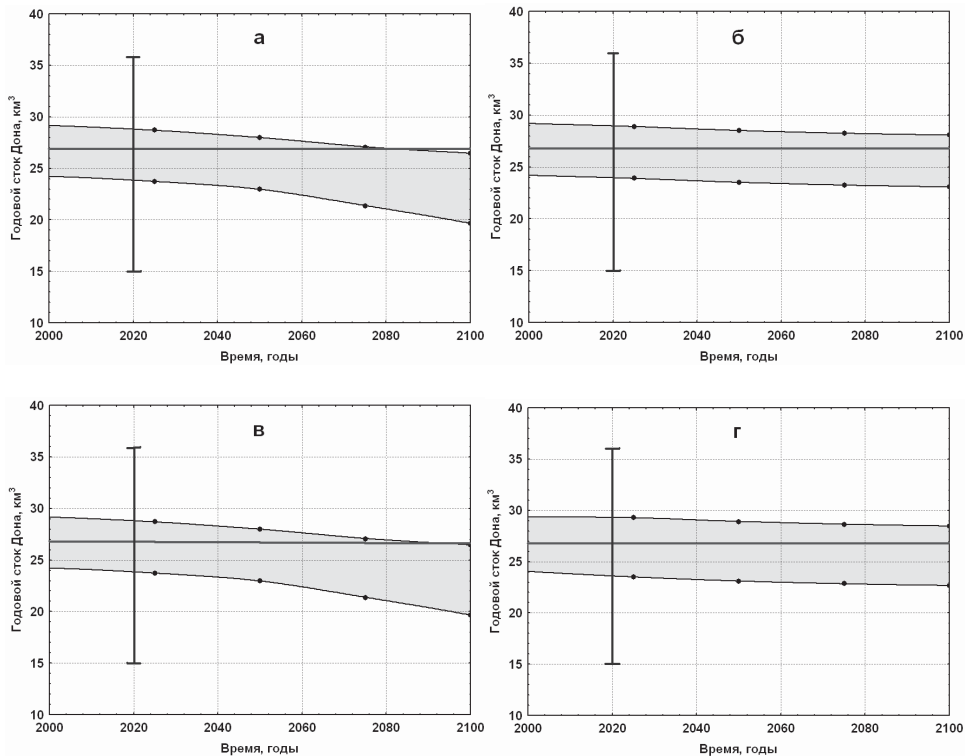


Рис. 4.5.12. То же, что рис. 4.5.7, но для р. Дон

Характерным для графиков на рис. 4.5.12 и 4.5.13 является очень небольшая роль учета естественной изменчивости глобального климата при оценке доверительных интервалов (степени неопределенности) прогноза: верхние и нижние части обоих рисунков практически совпадают друг с другом. В целом прогностические графики для указанных двух рек Южного склона ЕТР качественно напоминают аналогичные графики для сравнительно южной реки Восточной Сибири и Дальнего Востока – Амура, и для Оби, значительная часть бассейна которой приходится на южные регионы России. Соответственно, хронологические графики соотношений между степенью неопределенности, вызываемой различными факторами ошибок прогнозов, для Волги, Дона и Оби качественно сходны с графиками для Амура (рис. 5.5.6). Во всех четырех случаях очень значительна роль неопределенности в оценке среднего стока за реперный период и неопределенность вследствие расхождений между результатами, получаемыми на различных моделях климата. Вместе с тем, роль и того, и другого фактора несколько снижается со временем. Напротив, наблюдается рост – к середине и, в особенности к концу 21 века, неопределенности сценариев эмиссии парниковых газов в атмосферу Земли.

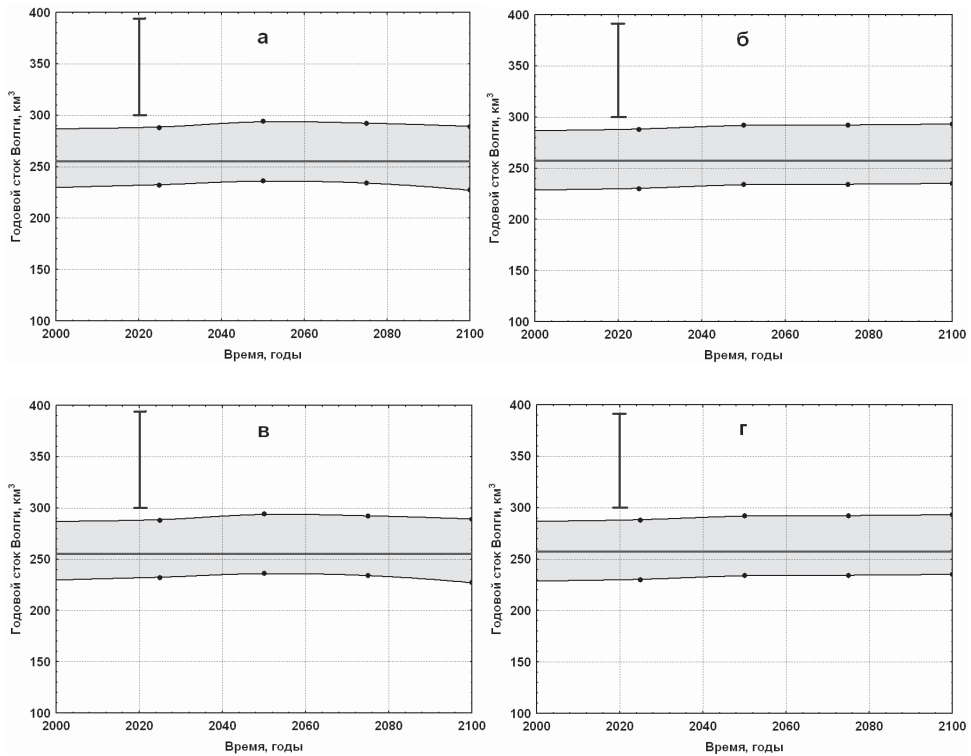


Рис. 4.5.13. То же, что рис. 4.5.7, но для р. Волга

Проведенные в разделе 4.5 расчеты показывают, что, в отношении стока наиболее значительных рек РФ вблизи их устьев, рассмотренные реки образуют две сравнительно четко различающиеся группы. Первая группа – реки северного склона Евразии (кроме Оби) – Северная Двина, Печора, Енисей, Лена, Колыма. Для каждой из них – на настоящем этапе возможностей прогнозирования – в первые десятилетия 21 века наиболее вероятно примерное сохранение современного (или наблюдавшегося на протяжении реперного периода – последних десятилетий 20-го века). К середине и, в особенности к концу 21 века нельзя исключить значительное увеличение годового стока – впрочем, примерно равное, по вероятности, сохранению стока.

В то же время реки, дренирующие более южные бассейны – Дон, Волга, Амур, а также Обь, значительная часть бассейна которой приходится на южные регионы России, - не демонстрируют статистически значимых изменений среднего годового стока даже во второй половине 21 века.

Напомним, что сформулированные выше выводы не учитывают тех неопределенностей прогнозов, которые в настоящий момент невозможно учесть количественно: возможное в отдаленном будущем крупное гидротехническое строительство, смещенность оценок стока в моделях климата, другие принципиальные недостатки моделей климатической системы - и ряд других факторов неопределенностей, отмеченных выше. Вероятнее всего, учет этих факторов привел бы к значительному расширению доверительных интервалов прогнозов – следовательно, к уменьшению вероятности односторонних изменений стока.

Отметим также, что важной задачей является прогнозирование не только среднего годового стока, но и будущих сезонных изменений стока. Эта задача, однако, представляется намного более трудной, чем та, которая решалась в рамках настоящего проекта: если типичные ошибки в оценках среднего годового стока моделями климата составляют немногие десятки процентов, то ошибки оценки стока наиболее многоводного и маловодного месяцев – сотни и тысячи процентов.

Естественным продолжением работ является изучение влияния горизонтального масштаба водосборных бассейнов рек на степень неопределенности прогнозов. Для практики оценка потенциальных изменений стока в створах, расположенных внутри бассейнов крупнейших рек, является более важной, чем оценка изменений стока в конечных створах. По-видимому, переход к изучению бассейнов меньшего размера приведет к увеличению неопределенностей прогноза – в том числе за счет увеличения ошибки в оценке среднего стока за реперный период наблюдений (из-за роста коэффициента вариации для стока рек, дренирующих меньшие по масштабу территории). Получение количественных оценок, характеризующих этот эффект, является насущной задачей исследования.

## Литература к главе 4

Атлас мирового водного баланса. М.-Л.: Гидрометеиздат, 1974, 65 с.  
Влияние увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 396 с.

Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. Под ред. А.Ш.Резниковского. М.: Энергия, 1969, 294 с.

Добровольский С.Г. Об изменениях увлажненности крупных регионов, связанных с изменениями климата // Особенности и закономерности формирования вод суши. Процессы водообмена. М.: Институт водных проблем, Международная программа геологической корреляции, 1986. С. 103 – 123.

Добровольский С.Г. Аномалии глобального тепловлагообмена. М.: Советский геофизический комитет, 1991. 128 с.

Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера». М.: Геос, 2002. 232 с.

Добровольский С.Г. Изменения климата и составляющих водного баланса // Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003. С. 119 – 130.

Добровольский С.Г. Изменения параметров океана и их прогноз // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 1. М.: Науч. мир, 2006. С. 297 – 345.

Добровольский С.Г. Проблема глобального потепления и изменений стока российских рек. Водные ресурсы, 2007. Том 34. № 6, 643 – 655.

Добровольский С.Г. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира. Водные ресурсы, 2011а. Том 38. № 6, 643 – 660.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011б. 660 с.

Добровольский С.Г., Татаринович Е.В., Юшков В.П. Сток важнейших рек России и его изменчивость в климатических моделях проекта СМIP-5 // Метеорология и гидрология, 2016. №. 12. С. 44 – 62.

Евстигнеев В.М., Акименко Т.А. Возможные изменения стока рек северного склона восточно-европейской равнины к середине XXI века. Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2005. № 5. С. 34 – 39.

Евстигнеев В.М., Кислов А.В., Сидорова М.В. Влияние климатических изменений на годовой сток рек Восточно-Европейской равнины в XXI веке // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2010, № 26, 3-10.

Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: Институт водных проблем РАН, 2016, 24 с.

Клименко В.В., Клименко А.В. Глобальное потепление: враг или союзник? М.: Институт проблем энергетической эффективности МЭИ, 2 июня 2010. Адрес в Интернете: [www.energy2010.mpei.ru/\\_Files/KlimenkoVV.ppt](http://www.energy2010.mpei.ru/_Files/KlimenkoVV.ppt)

Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Опыт построения дальних прогнозов воздействия мировой энергетики на атмосферу Земли // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2015. Т. 51. № 2. С. 158 – 168.

Клименко В.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Мировая энергетика и климат планеты в XXI веке в контексте исторических тенденций. Рос. Хим. Ж. 2008. Т. LII, № 6, 11-17.

Манабе С., Везеролд Р. Изменение водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления // Тез. Докл. Всемир. Конф. по изменению климата. Москва, 29 сентября – 3 октября 2003 г. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003. С. 14 – 15.

Мировой водный банас и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, 640 с.

Мохов И. И., Семенов В.А., Хон В.Ч. Оценки возможных региональных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 150 – 165.

Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 528 с.

Хубларян М.Г., Добровольский С.Г., Найденов В.И. Оценка возможных изменений речного стока вследствие изменений глобального климата // Тез. докл. Всемир. конф. по изменению климата. Москва, 29 сентября – 3 октября 2003 г. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003. С. 254.

Arnell N.W. Effects of IPCC SRES emissions on river runoff: a global perspective // Hydrology and Earth System Sciences. 2003. V. 7 (5). P. 619 – 641.

Arnell, N.W. Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios // Global Environ. Change. 2004. V. 14 (1). P. 31 – 52.

Arnell N.W. Climate change and water resources: a global perspective // Avoiding Dangerous Climate Change. Eds. Schellnhuber H.J., Cramer W., Nakicenovic N. et al. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. P. 167 – 175.

Arora V.K., Boer G.J. Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P. 3335 – 3348.

Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time series analysis: forecasting and control, 4th edition. Hoboken, N.J.: Wiley & Sons, 2008. 784 p.

Climate Change 2001. Contribution of WGI to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V. 1. The Scientific Basis. IPCC, 2001. <http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwglr.pdf>.

Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Intergovernmental panel on climate change. Geneva: WMO, UNEP, 2007. 21 p.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Адрес в Интернете: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Ut4f4BuGj84>

Climate for you. 2015. Сайт в Интернете: <http://www.climate4you.com/GlobalTemperatures.Htm>

Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. Amsterdam; London; N. Y.; Tokyo: Elsevier, 1992. 282 p.

Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. Heidelberg; Berlin; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo: Springer, 2000. 296 p.

Dobrovolski S.G. The issue of global warming and changes in the runoff of Russian rivers // *Water Resour.*, 2007, vol. 34, no. 6, pp. 607 – 618.

Dobrovolski S.G. Year-to-year and many-year runoff variations in world rivers // *Water Resour.*, 2011, vo. 38, no. 6, pp. 693 – 708.

Dobrovolski S.G. Assessment of the statistical significance of global changes in the annual river runoff in XXI century due to possible anthropogenic warming of climate // *Water Resources*, 2014. Vol. 41. P. 728 – 737.

Gordon A.H. Global change as a random walk // *J. of Climate*, 1991. V. 4. P. 589 – 597.

Gosling S.L., Arnell N.W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, august, 2013, 16 pp. DOI 10.1007/s10584-013-0853-x. Адрес в Интернете: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-013-0853-x#>

Gosling S.N., Bretherton D., Haines K., Arnell N.W. Global hydrology modeling and uncertainty: running multiple ensembles with a campus grid. *Philosophical Transactions of the Royal Society. A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Vol. 368, 4005-4021. [rsta.royalsocietypublishing.org](http://rsta.royalsocietypublishing.org) on November 6, 2013.

Gosling S.N., Taylor R.G., Arnell N.W. et al. A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011. Vol. 15, 279-294.

Gosling S., Zaherpour J., Mount N.J. et al. A comparison of changes in river runoff from multiple global and catchment-scale hydrological models under global warming scenarios of 1oC, 2oC and 3oC. Nottingham, 2016. ePrints: [https://eprints.nottingham.ac.uk/cgi/users/login?target=http%3A%2F%2Feprints.notttingham.ac.uk%2F35544%2F1%2FGosling\\_etal\\_2016\\_AAM.pdf](https://eprints.nottingham.ac.uk/cgi/users/login?target=http%3A%2F%2Feprints.notttingham.ac.uk%2F35544%2F1%2FGosling_etal_2016_AAM.pdf)

Haddeland I., Clark D.B., Franssen W. et al. Multimodel estimate of the global terrestrial water balance^ setup and first results. *Water and Global Change Watch*. 2011, October. 869-884.

Hasselmann K. Stochastic climate models. Part I. Theory // *Tellus*, 1976. Vol. 28. P. 473 – 485.

Hunt B.G. The stationarity of global mean climate // *Int. J. of Climatology*. 2004. V.P. 795 – 806.

Imkeller P., Storch J.-S. von, eds. Stochastic climate models. Heidelberg, Berlin et al.: Springer-Birkhauser, 2001. 157 p.

Labat D., Godderis Y., Probst J.L. et al. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*, 2004. Vol. 27. 631-642.

Legates D.R., Lins H.F., McCabe G.J. Comments on “Evidence for global runoff increase related to climate warming” by Labat et al. *Advances in Water Resources*, 2005. Vol. 28. 1310-1315.

McCabe G.J.Jr., Wolock D.M. Climate change and the detection of trends in annual runoff. *Climate Research*. 1997. Vol. 8. 129-134.

Nijssen B., O'Donnell G.M., Hamlet A.F., Lettenmaier D.P. Hydrologic sensitivity of global rivers to climatic change // *Climatic change*. 2001. V. 50. P. 143 – 175.

Nohara D., Kitoh A., Masahiro H., Oki T. Impact of climate change on river discharge projected by multimodel ensemble. // *J. of Hydrometeorology*, 2006, V. 7, 1076-1089.

PCMDI, 2014 – сайт в Интернете: <http://pcmdi9.llnl.gov/>

Privalsky V.E., Jensen D.T. Time series analysis package. Autoregressive time and frequency domain analysis of scalar and multi-variate time series. Logan, UT: Utah Climate Center, Utah University, 1992, 61 p.

Statistica for the Windows operating system. Tulsa: StatSoft, Inc., 1995. Vol. I – IV.

Strzepek K.M., McCluskey A.L. Modeling the impact of climate change on global hydrology and water availability. The World Bank. 2010, Discussion paper No. 8, 40 pp. Адрес в Интернете: [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/09/29/000334955\\_20100929032434/Rendered/PDF/568010NWP0D1CC10Box353732B01PUBLIC1.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/09/29/000334955_20100929032434/Rendered/PDF/568010NWP0D1CC10Box353732B01PUBLIC1.pdf)

Vorosmarty C.J., Green P., Salisbury J., Lammers R.B. Global water resources: vulnerability from climatic change and population growth // *Science*. 2000. V. 289. P. 284 – 288.

Wisser D., Fekete B.M., Vorosmarty C.J et al. Reconstructing 20th century global hydrography: a contribution to the Global Terrestrial Network- Hydrology (GTN-H). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1–24, 2010.





## Заключение

Когда Льва Толстого спросили однажды, о чем его роман «Анна Каренина», он сказал: «Чтобы ответить на ваш вопрос, мне надо прочитать вам всю книгу». Автор настоящей монографии далек от мысли о том, чтобы приравнять эту скромную работу к гениальному роману Л.Толстого, но вкратце резюмировать ее содержание так же нелегко: как и в художественной литературе, в научных разработках многое заключено в деталях. Анализируя одни и те же данные наблюдений или модельные эксперименты, одни исследователи могут сделать выводы, прямо противоположные выводам других исследователей.

Сказанное тем более справедливо для той области науки, которой посвящена монография: глобальной гидрологии. Она затрагивает многие чрезвычайно дискуссионные темы, проблемы и вопросы – от причин глобальных изменений климата до типа стохастических моделей, которыми описывают наблюдаемые многолетние изменения речного стока, и прогнозов изменений увлажненности суши в XXI веке.

Вместе с тем, автор все же сделал попытку объединить результаты анализа различных составляющих глобального гидрологического цикла и влияющих на него факторов в единую непротиворечивую картину. Единой основой при изучении глобальных гидрологических процессов служит, в первую очередь, вероятностный подход к исследованию гидрологических явлений и их динамики в глобальном масштабе. Книга призвана продемонстрировать, что сам пространственный масштаб рассматриваемых явлений – глобальный – и диктуемый им масштаб времени (климатический и «промежуточный» между климатическим и синоптическим) приводят нас к преимущественно вероятностным моделям. При этом для изучения закономерностей изменений рассматриваемых характеристик во времени ведущую роль играют прикладные методы фундаментальной теории случайных функций, разработанной в ее конечном виде А.Н.Колмогоровым и А.М.Ягломом. В свою очередь, результаты этих расчетов позволяют сделать определенные выводы относительно общей концепции изменений в земных оболочках в масштабах времени месяцев, лет и десятилетий. Забегая вперед, укажем, что наиболее адекватной такого рода концепцией является теория стохастических моделей климатической системы К.Хассельманна.

Более детально результаты работ, описанных в монографии, можно попытаться подытожить следующим образом. Существенным результатом работы можно считать вывод о том, что вопреки распространенному мнению об интенсификации глобального гидрологического цикла за последние десятилетия – вследствие глобального потепления (приписываемого многими «парниковому эффекту»), наиболее достоверные данные не указывают на

сколько-нибудь заметный рост глобально осредненных составляющих глобального водообмена. Более того: результаты реанализа в рамках как проекта «20 Century», так и проекта «NCEP/NCAR» свидетельствуют о небольшом (впрочем, статистически незначимом) ослаблении процесса, который находится в самом начале цепи глобального водообмена и «поставляет» влагу для всех звеньев глобального гидрологического цикла: испарения с поверхности Мирового океана.

В целом, наиболее значительные по величине потоки влаги в основных звеньях глобального гидрологического цикла – испарение с поверхности океана, осадки над океаном, эффективное испарение с поверхности океана (следовательно, и глобальный горизонтальный перенос влаги в атмосфере с океана на сушу) удовлетворительно описываются реализациями последовательностей некоррелированных по времени случайных величин, так называемым «белым шумом». Причем, указанный вывод справедлив как для климатического масштаба времени (вытекает из анализа рядов годовых значений всех перечисленных составляющих водообмена), так и для «промежуточного», по К.Хассельманну, между климатическим и синоптическим масштабами времени – из анализа месячных аномалий этих составляющих.

Несколько сложнее картина изменений составляющих водообмена атмосферы и суши. В климатическом масштабе времени – по годовым интервалам – изменения осадков над сушей, как и изменения предыдущих составляющих глобального водообмена, описываются моделью «белого шума», но изменения испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши уже тяготеют к модели авторегрессии первого порядка. В промежуточном же масштабе времени – по месячным интервалам – аномалии как осадков, так и испарения, характеризуются «красными» спектральными плотностями, соответствующими модели авторегрессии первого порядка  $AR(1)$ . Указанные результаты свидетельствуют о большей инерции процессов глобального водообмена над поверхностью суши.

Сказанное выше относится к «приходной» и «расходной» частям водообмена на границе суша-атмосфера, рассматриваемым по отдельности. При рассмотрении же результирующего потока влаги, «эффективных осадков» – разности осадков и эвапотранспирации (или «климатического» речного стока – замыкающего звена цепи глобального гидрологического цикла) картина опять меняется, и модель этой составляющей водообмена как бы возвращается к доминирующей модели глобального гидрологического цикла – к последовательности независимых случайных величин, «белому шуму». Таким образом, поверхность суши, преобразуя осадки в потоки эвапотранспирации в речной сток, осуществляет по отношению к первым двум процессам как бы «отбеливающую» роль, подавляя низкочастотные и усиливая высокочастотные области спектральной плотности колебаний. Интересно и показательно, что такой же «отбеливающий» эффект зафиксирован автором и при изучении локальных процессов осадкообразования, эвапотранспирации и «климатического» речного стока по данным воднобалансовых станций, расположен-

ных в широком диапазоне природных зон Европейской территории страны – от Кольского полуострова до степей Приазовья.

Отметим также, что и в данном случае, и для изменений других основных составляющих глобального водообмена, плотность вероятности как годовых величин, так и месячных аномалий глобальных потоков влаги близка к гауссовской. Глобальные составляющие гидрологического цикла, таким образом, являются характерным примером проявления центральной предельной теоремы. А именно: при глобальном суммировании слабо коррелированных по пространству (для характерных расстояний больше горизонтального корреляционного масштаба синоптических образований) многочисленных локальных потоков влаги, распределенных отнюдь не гауссовски, мы приходим к нормальному распределению.

Подытоженное в настоящей монографии, более полное по сравнению с предыдущими работами автора, изучение динамики составляющих глобального гидрологического цикла, предоставляет еще одно подтверждение справедливости общей стохастической концепции климатической системы К.Хассельманна (Hasselmann, 1976). В соответствии с его теорией, спектральная плотность синоптических процессов, имеющая максимум на периодах порядка нескольких дней («синоптический период»), в низкочастотной – климатической – области выполаживается настолько, что близка к горизонтальной прямой, а соответствующие процессы близки к белому шуму. Это белозумное «погодное возбуждение», как его назвал К.Хассельманн, на климатических масштабах и является основой изменений от месяца к месяцу (аномальных) и от года к году процессов в атмосфере.

Результаты недавних работ, описанных в монографии, подтверждают и гипотезу автора (Dobrovolski, 1992; 2000) относительно соотношения локальных и глобальных потоков тепла и влаги и тепловлагодержания основных естественных емкостей на поверхности Земли. Ситуация такова, что изменения значительной части характеристик влагообмена и теплообмена на границе атмосфера-подстилающая поверхность и определяющих их факторов в локальном и региональном масштабе (часть рядов испарения с поверхности океана по данным судов погоды, осадки, часть рядов речного стока в конкретных створах, эвстатические изменения уровня океана на ровных постах, изменения температуры воды и воздуха) – в климатическом и промежуточном масштабах времени описываются реализациями процессов авторегрессии первого порядка («простых марковских цепей» или «марковских процессов первого порядка»). Однако, при глобальном осреднении картина меняется: изменения основных компонентов глобального *влагопереноса* стремятся к реализациям моделей белого шума, а изменения характеристик, которые отражают процессы аккумуляции (глобальные изменения температуры воды и воздуха, глобальные эвстатические изменения уровня океана) стремятся к реализациям моделей случайных блужданий.

Автор назвал это явление «локально-глобальной поляризацией процессов тепловлагодержания-аккумуляции» (Dobrovolski, 1992) и предполо-

жил, что оно объясняется различной скоростью роста с одной стороны средних аномалий потоков тепла и влаги между основными геосферами, а с другой стороны тепло- и влагоемкостей океана и покровного оледенения. Если средние аномалии вертикальных потоков тепла и влаги растут примерно пропорционально квадратному корню из площади рассматриваемого региона (из-за ограниченного корреляционного радиуса синоптических образований в атмосфере), то тепло- и влагоемкости океана и покровного оледенения растут примерно пропорционально первой степени площади рассматриваемого региона. В результате тепло- и влагоемкости всего Мирового океана и покровного оледенения в целом – достигают громадных размеров, в то время как средние потоки тепла и влаги между этими емкостями и атмосферой оказываются сравнительно малыми. Эти малые глобальные вертикальные аномальные потоки не могут обеспечить сколько-нибудь заметных обратных связей, необходимых для формирования марковских процессов – и естественные изменения глобальных температур, эвстатических уровней океана и, предположительно, объема оледенения, вырождаются в реализации процессов типа случайных блужданий.

Результаты работ, описанных в монографии, привели не только к подтверждению и более детальному раскрытию выдвинутых ранее общих концепций изменений в геосферах, но и к появлению совершенно неожиданных для автора результатов. К числу такого рода результатов относится, например, почти противофазный сезонный ход глобально осредненного горизонтального влагопереноса в атмосфере с океанов на сушу (с летним минимумом) – и глобальных осадков над сушей (с летний максимумом). Другой, кажущийся парадоксальным результат, – противофазный сезонный ход осадков над сушей и климатического речного стока. Отметим, что эти результаты статистически значимы – так как основаны на больших объемах информации. Детальному объяснению указанных эффектов необходимо посвятить будущие исследования, однако предварительно можно предположить, что здесь играет роль соотношения «материкового» северного полушария и «океанического» южного полушария. Другой важный фактор, вызывающий отмеченные эффекты, может заключаться в особенностях осадков, испарения и стока приэкваториальной зоны, в которой формируется очень значительная часть глобального речного стока.

Другим примером неожиданных результатов исследования может служить практически противофазное широтное распределение средних слоев годового стока и средних ущербов от наводнений. Описанию этого явления посвящена значительная часть главы 3. Неожиданным результатом такого же плана было практическое совпадение графиков широтных изменений ущербов от наводнений и засух. Представляется, что перечисленные эффекты свидетельствуют о том, что оба основных типа связанных с водой катастрофических явлений имеют не только и даже не столько природные, сколько социально-экономические причины.

Наконец, удивительным для автора был результат, полученный еще в ходе работ над первым томом «диалогии» - монографией «Глобальные изменения речного стока»: преобладание моделей «белого шума» для описания рядов годовых значений стока рек основного типа (неозерных, незарегулированных) над моделями «простой марковской цепи», предполагавшимися до этого, в том числе и самим автором, чуть ли не универсальными. Чрезвычайно интересным было обнаружение региональных аномалий изменчивости речного стока: нахождение на севере ЕТР и Западной Сибири областей с отрицательными значениями коррелированности годового и максимального стока рек и фиолетовым характером спектральных плотностей изменений стока в климатическом диапазоне частот. Другая, выдающаяся на глобальном фоне аномалия – особенности основных параметров изменчивости речного стока в пределах Приленского плато – наиболее холодного региона свободной ото льда суши.

Несмотря на сравнительно большой объем настоящей монографии (и ее предшественницы – книги «Глобальные изменения речного стока»), в нее не могли войти все результаты исследований автора, связанных с проблемой глобальной гидрологии. А именно, в книге не были подробно освещены (на основе данных наблюдений, стохастических и динамико-стохастических моделей) изменения массы горных ледников, эвстатические колебания уровня мирового океана в связи с изменениями составляющих мирового водного баланса, вопросы палеогидрологии, результаты изотопного анализа составляющих глобального водообмена. Автор надеется обобщить эти и другие результаты в других публикациях в области глобальной гидрологии.



# Приложение 1. Параметры речных водосборов, стока рек и его изменений во времени

В таблице приведена часть результатов расчетов параметров изменений стока рек мира во времени, а также некоторые параметры водосборов, замыкаемых используемыми в работе створами.

В столбцах таблицы приведены:

1. Страна и название реки.
2. Название створа
3. Номер генетического типа водосборного бассейна (см. подробные пояснения в главе 2, а также в монографии (Добровольский, 2011)). 1 – створы на неозерных реках, влияние гидротехнических сооружений на сток которых, предположительно, невелико. 2 – створы на озерных реках, расположенные в непосредственной близости от озера. 3 – створы на реках ледникового питания, расположенные вблизи соответствующих горных ледников. 4 – створы, расположенные вблизи (ниже по течению) крупных гидротехнических сооружений. 5 – створы, замыкающие водосборы «переходного», между 1 и 4, типа. 6 – створы, замыкающие водосборы «переходного», между 1 и 2, типа.
4. Ширина створа в десятичных долях градуса. «+» - с.ш., «-» - ю.ш.
5. Долгота створа в десятичных долях градуса. «+» - в.д., «-» - з.д.
6. Площадь водосборного бассейна в км<sup>2</sup>.
7. Средний многолетний годовой объем стока в км<sup>3</sup>.
8. Средний многолетний годовой слой стока, в мм.
9. Первый год ряда наблюдений.
10. Длина ряда наблюдений в годах.
11. Коэффициент вариации годового стока,  $C_v$ .
12. Коэффициент асимметрии годового стока,  $C_s$ .
13. Коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год (исходный ряд годовых величин стока),  $R_1$ .
14. Порядок модели авторегрессии в безразмерных годах (исходный ряд годовых величин стока),  $M$ .
15. Коэффициент автокорреляции со сдвигом 1 год (ряд годовых величин стока, пересчитанных в выборочные значения гауссовских случайных величин),  $R_1g$ .
16. Порядок модели авторегрессии в безразмерных годах (ряд годовых величин стока, пересчитанных в выборочные значения гауссовских случайных величин),  $Mg$ .
17. Индекс стационарности ряда годовых величин стока по математическому ожиданию,  $I_{sm}$ .
18. Индекс стационарности ряда годовых величин стока по стандартам,  $I_{ss}$ .
19. Индекс стационарности ряда годовых величин стока по автокоррелированности,  $I_{sr}$ .
20. То же, что 15, но для ряда стока наиболее многоводного месяца года,  $MaxR_1g$ .
21. То же, что 16, но для ряда стока наиболее многоводного месяца года,  $MaxMg$ .
22. То же, что 15, но для ряда стока наиболее маловодного месяца года,  $MinR_1g$ .

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
МАЛИ						
Senegal	Kayes	1	14,450	-11,280	157400	15,300
Senegal	Galougo	1	13,830	-11,130	127000	12,600
Niger	Koulikoro	4	12,867	-7,550	120000	43,500
Bagoé	Pankourou	1	11,420	-6,570	31800	5,303
Bani	Doura	5	13,217	-5,900	101600	14,500
Niger	Ke-Macina	5	13,950	-5,370	141000	38,325
Bani	Sofara	5	14,020	-4,250	129000	11,720
Niger	Dire	6	16,270	-3,380	340000	31,400
Niger	Koryoume	2	16,667	-3,033	342000	27,800
КОНГО ДЕМ. РЕСП.						
Congo	Kinshasa	1	-4,300	15,300	3475000	1269,000
ЮАР						
Orange	Vioolsdrif	1	-28,761	17,730	850530	8,456
Orange	Upington	1	-28,461	21,249	364560	8,509
Orange	Alwai Noord	1	-30,680	26,713	37075	3,191
Vaal	Elandsfortein	4	-26,820	28,064	38564	1,654
Klip	Delangersdrift	1	-27,169	29,234	4152	0,199
Doring	Elands Drift Aspoort	1	-32,503	19,536	6,903	0,267
Touws	Zandfortein	5	-33,572	20,703	2900	0,064
Groot-Viss	Brand Legte Piggots	1	-33,098	26,446	23067	0,196
Keiskammaa	Farm 7	1	-33,185	27,394	2530	0,101
Olifants	Wolvekrans	1	-26,006	29,254	3256	0,137
Incomati	Hooggenoeg	5	-28,098	30,958	5,499	0,336
НИГЕР						
Garouol	Dolbel	1	14,620	0,300	7500	0,277
Garouol	Alcongui	1	14,750	0,800	44900	0,389
Dargol	Tera	1	14,020	0,750	2750	0,083
Dargol	Kakassi	1	13,850	1,470	6940	0,189
Niger	Niamey	6	13,520	2,080	700000	27,866
Maradi	Madarounfa	1	13,320	7,170	5400	0,195
ТАНЗАНИЯ						
Great Ruaha	Mtera	1	-7,920	38,980	67950	4,058



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
97	1952	20	0,23	-0,17	0,26	0	0,21	0				-0,16	0	0,19
99	1927	20	0,23	-0,06	0,24	0	0,23	0				-0,22	0	0,23
362	1907	95	0,29	0,19	0,71	3	0,70	3	-2,91	0,89	-0,02	0,55	3	0,65
167	1971	21	0,48	0,58	0,18	1	0,33	1				0,30	1	
142	1962	27	0,46	0,92	0,27	0	0,38	2				0,40	1	0,52
272	1953	20	0,20	0,20	0,15	0	0,09	0				-0,11	1	0,30
91	1952	20	0,19	-0,35	0,56	1	0,49	1				0,39	1	0,64
92	1924	72	0,27	-0,09	0,93	0	0,85	3	-4,09	-0,02	0,39	0,83	1	0,57
81	1979	21	0,30	0,44	0,76	1	0,48	1				0,21	0	0,37
365	1903	81	0,10	0,89	0,62	1	0,53	1	2,85	1,06	1,29	0,31	2	0,41
10	1940	24	0,53	0,99	0,08	0	-0,09	0				0,04	0	0,15
23	1944	24	0,51	0,77	-0,06	0	-0,14	0				-0,03	0	0,27
86	1916	86	0,97	2,50	0,15	0	0,27	3	1,48	0,61	2,55	0,37	2	0,59
43	1935	59	0,79	1,98	0,42	1	0,44	1	-2,73	1,99	1,43	0,40	1	0,74
48	1982	20	1,07	1,34	0,43	1	0,31	1				0,36	1	0,41
39	1924	48	0,57	0,85	0,18	0	0,21	0	-0,06	1,55	1,43	0,17	0	0,29
22	1978	24	0,86	2,54	0,13	0	0,47	1				0,06	0	0,17
8	1963	39	1,35	3,41	-0,09	0	0,10	0				-0,19	0	0,68
40	1978	23	0,80	1,06	-0,07	0	-0,16	0				-0,06	0	0,26
42	1981	21	0,49	1,61	-0,10	0	-0,18	0				-0,23	0	-0,16
61	1923	40	0,46	1,04	0,19	0	0,22	0	1,30	-1,07	0,57	0,06	0	0,47
37	1961	22	0,50	2,49	-0,14	0	-0,28	1				-0,33	1	
9	1958	20	0,39	0,67	-0,24	0	-0,26	0				-0,25	0	
30	1961	21	0,51	0,69	-0,23	1	-0,29	1				-0,40	2	
24	1959	23	0,52	0,54	-0,28	0	-0,31	1				-0,33	1	
40	1933	64	0,26	0,12	0,89	1	0,84	1	-4,79	-0,13	-0,73	0,70	2	0,71
36	1960	20	0,48	0,38	-0,08	0	-0,07	0				-0,11	0	
60	1955	23	0,66	1,54	-0,14	0	-0,20	0				-0,05	0	0,14
14	1962	21	0,65	1,54	0,00	0	-0,04	0				0,04	0	

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Ruvu	Dar Es Salam Morogoro Road	1	-6,680	38,700	15190	2,089
МАРОККО						
Moulouya	Dar El Caid	1	34,240	-3,320	24422	0,631
Oum Er Rbia	Dechra El Oued	1	32,680	-5,900	3330	0,970
Ouergha	M&apost;ajara	1	34,590	-5,250	6190	2,794
Ouergha	Ourtzagh	1	34,620	-5,010	4404	1,918
Sebou	Ain Timedrine	1	33,750	-4,530	4392	0,569
Mdez	Pont Du Mdez	1	33,670	-4,500	3435	0,198
КАМЕРУН						
Wouri	Yabassi	1	4,450	9,970	8026	9,724
Benue	Buffle Noir	1	8,120	13,830	3220	1,478
Kebi	Cossi	5	9,620	13,870	25000	3,049
Benue	Garoua	4	9,300	13,380	64000	13,990
Mbere	Mbere	1	7,430	15,440	7430	3,468
Sanaga	Edea	5	3,770	10,070	131520	62,800
Noun	Bafoussam	4	5,470	10,550	4700	3,304
Lom	Betare-Oya	1	5,920	14,130	11100	5,608
Mbam	Goura	1	4,570	11,370	42300	22,400
Sanaga	Nachtigal	1	4,350	11,630	76000	34,000
Mape	Magba	1	5,920	12,670	4020	3,011
Djerem	Mbakaou	4	6,330	12,820	20390	12,280
Nyong	Akonolinga	1	3,780	12,250	8350	2,892
Nyong	Ayos	1	3,880	12,520	5300	1,805
Nyong	Eseka	1	3,680	10,700	21600	8,661
Nyong	Mbalmayo	1	3,520	11,500	13555	4,710
Ntem	Ngoazik	1	2,300	11,300	18100	8,720
Dja	Somalomo	1	3,380	12,770	5150	2,069
Kadei	Batouri	1	4,230	14,320	8970	3,779
МАДАГАСКАР						
Tsiribihina	Betomba	1	-19,720	44,960	45000	31,500
Menarandra	Tranoroa	1	-24,700	45,070	5330	1,107
Mandrare	Andabolava	1	-24,220	46,320	4033	1,129
Mandrare	Amboasary	1	-25,030	46,380	12435	1,901
Mania	Fasimena	1	-20,280	46,820	6675	4,618

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
138	1959	20	0,46	1,57	0,32	0	0,31	0				0,47	1	-0,13
26	1958	22	0,58	2,01	0,05	0	0,05	0				0,31	2	0,18
291	1954	30	0,42	0,62	0,35	1	0,31	1				0,26	1	0,47
451	1952	24	0,63	1,25	0,25	0	0,27	1				0,15	1	0,08
436	1952	20	0,61	1,02	0,20	0	0,23	0				0,19	0	0,00
130	1965	20	0,39	-0,10	0,49	2	0,36	1				0,51	1	0,31
58	1957	20	0,44	0,66	0,16	0	0,15	0				0,43	1	0,17
1212	1952	25	0,17	-0,76	0,02	0	-0,07	0				-0,17	0	0,48
459	1957	20	0,20	-0,34	0,62	1	0,38	1				0,48	1	
122	1955	25	0,30	0,52	0,25	1	0,16	0				-0,01	0	0,22
219	1946	31	0,29	0,49	0,30	1	0,26	1				0,31	1	0,22
467	1952	27	0,23	0,73	0,38	2	0,39	2				0,34	2	0,53
477	1944	36	0,15	0,06	0,46	1	0,43	1				0,24	1	0,53
703	1953	23	0,16	-0,24	0,29	0	0,13	0				0,06	2	-0,07
505	1952	20	0,14	1,26	0,43	1	0,40	1				0,24	0	0,64
529	1952	28	0,15	-0,11	0,50	1	0,41	1				-0,14	1	0,46
447	1952	28	0,16	0,20	0,52	1	0,42	1				0,40	1	0,41
749	1952	29	0,17	-0,42	0,07	0	-0,01	0				-0,03	0	0,44
602	1960	20	0,19	0,34	0,20	0	0,02	0				0,10	0	0,53
346	1954	23	0,15	0,26	0,17	0	0,19	0				-0,44	1	0,17
341	1952	25	0,17	0,04	0,24	1	0,15	0				-0,29	1	0,19
401	1952	25	0,17	0,47	0,12	0	0,00	0				-0,14	0	0,23
348	1951	29	0,18	0,29	0,43	1	0,38	1				0,00	0	0,27
482	1954	26	0,21	0,12	0,42	1	0,26	1				0,26	2	0,19
402	1955	26	0,22	0,26	0,53	1	0,50	1				-0,16	0	0,39
421	1955	26	0,12	0,43	0,49	1	0,46	1				0,15	0	0,08
699	1961	22	0,34	0,85	-0,15	1	-0,26	1				-0,30	1	0,35
208	1956	24	0,43	1,89	0,10	0	0,00	0				0,31	1	-0,32
280	1954	20	0,52	0,35	0,20	0	0,18	0				0,13	0	-0,04
153	1952	22	0,54	0,66	0,08	0	0,08	0				0,07	0	0,13
692	1956	26	0,21	0,12	-0,11	0	-0,08	0				-0,29	0	0,33

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
ИКОРА	Antsatrana	1	-17,420	46,850	18550	13,861
ИКОРА	Bevomanga	5	-18,820	47,320	4151	2,522
ИВОНДРО	Ringaringa	1	-18,180	49,250	2545	3,356
КОТ Д'ИВУАР						
Cavalli	Tate	1	4,380	-7,590	28800	14,700
Bandama	Tiassale	4	5,880	-4,750	95500	7,962
Bagoé	KoutoAval	1	9,850	-6,360	4700	0,920
КОНГО БРАЗЗАВИЛЬ						
Sangha	Ouessou	1	1,620	16,050	158350	52,500
УГАНДА						
Semliki	Bweramule	5	0,970	30,200	8000	4,650
ЗИМБАБВЕ						
Gwaai	Kamativi G/W	1	-18,370	27,050	38600	0,743
Umniati	Power Station Weir	1	-18,650	29,780	5890	0,343
Sebakwe	Sebakwe Dam D/S	5	-19,030	30,370	2642	0,200
Umfuli	TwyfordWeir	1	-18,120	30,220	5180	0,474
Sebakwe	Dutchmanapos Pool Dam	5	-18,850	29,820	4170	0,334
Save	Condo D/S G/W	5	-19,220	32,020	11000	1,374
Umzingwane	Glass Block G/W	5	-20,600	29,180	2530	0,123
ГАНА						
Black Volta	Lawra	5	10,630	-2,917	93820	2,723
Black Volta	Bamboi	4	8,150	-2,033	134200	8,559
White Volta	Nawuni	1	9,700	-1,080	92950	7,430
White Volta	Pwalagu	1	10,583	-0,850	63350	4,509
Volta	Senchi(Halcrow)	4	6,200	0,100	394100	34,300
ЧАД						
Chari	Ndjamena (FortLamy)	5	12,120	15,030	600000	33,300
ТОГО						
Oti	Mango	1	10,300	0,470	35650	4,340
ГАБОН						



СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Ogooue	Lambarene	2	-0,680	10,230	205000	148,000
СУДАН						
Blue Nile	Khartoum	5	15,620	32,550	325000	44,700
Blue Nile	Roseires Dam	4	11,850	34,380	210000	48,800
Atbara	Kilo3	1	17,700	33,970	69000	12,100
White Nile	Malakal	5	9,580	31,620	1080000	29,600
White Nile	Mongalia	2	5,200	31,770	450000	33,100
БЕНИН						
Zou	Atcherigbe	1	7,530	2,030	6950	0,819
Oueme	PontDe Save	1	8,000	2,420	23600	3,850
Okpara	Kaboua	1	8,250	2,720	9600	0,988
Zou	Dome	1	7,120	2,330	8210	0,706
ЦЕНТР. АФР. РЕСП.						
Sangha	Salo	1	3,180	16,120	68300	22,200
Lobaye	M&apos;bata	1	3,670	18,300	31000	9,610
Ubangi	Bangui	1	4,370	18,580	500000	119,000
КЕНИЯ						
Tana	Garissa	5	-0,450	39,700	42220	4,902
СЕНЕГАЛ						
Senegal	Dagana	5	16,520	-15,500	268000	23,000
Senegal	Matam	1	15,650	-13,250	230000	24,010
Koulountou	Gue Du P. N. N. K.	1	12,780	-13,480	5350	0,888
Koulountou	Missirah Gounas	1	13,200	-13,620	6200	0,912
НИГЕРИЯ						
Benue	Yola	5	9,250	12,500	107000	0,692
РУАНДА						
Nyabarongo	Kanzenze	5	-2,060	30,110	14600	3,425
Kagera	Rusumo	1	-2,380	30,790	30200	7,046
СОМАЛИ						
Shebelle	Afgoi	5	2,170	45,090	278000	1,467

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
721	1930	42	0,24	-0,18	-0,11	0	-0,08	0				0,11	0	0,13
138	1900	71	0,24	-0,41	0,27	2	0,28	2	-1,32	-0,27	1,73	0,10	0	0,26
233	1912	71	0,18	-0,05	0,19	2	0,19	1	-0,14	-0,98	1,46	0,06	0	0,45
176	1912	61	0,33	1,10	0,00	0	0,02	0	0,52	-0,37	1,11	-0,14	0	
27	1912	71	0,19	1,50	0,86	1	0,78	1	3,57	0,28	1,59	0,61	1	0,77
74	1912	50	0,27	2,08	0,73	2	0,59	2	-0,27	-1,49	-2,00	0,29	1	0,61
118	1951	25	0,76	1,21	-0,45	1	-0,52	1				-0,36	1	
163	1952	32	0,69	0,60	0,04	0	0,00	0				0,04	0	
103	1951	34	0,81	1,10	0,02	0	-0,04	0				0,04	0	
86	1960	23	0,66	0,78	0,22	1	0,05	0				0,32	1	0,40
325	1954	22	0,20	-0,35	0,58	1	0,42	1				0,13	0	0,47
310	1953	23	0,10	-0,22	0,74	1	0,57	1				0,06	0	0,60
238	1920	41	0,16	0,24	0,56	1	0,53	1	0,65	1,59	0,72	0,14	0	0,46
116	1934	42	0,49	1,16	0,33	1	0,31	1	2,55	0,21	-0,06	0,01	0	0,26
86	1904	61	0,22	-0,52	0,39	2	0,33	1	0,08	0,19	1,36	0,20	0	0,47
104	1904	70	0,32	0,21	0,23	0	0,23	2	-0,79	-0,35	1,17	0,19	0	0,28
166	1974	21												
147	1971	24	0,47	0,98	0,04	1	-0,10	0				-0,13	0	0,85
6	1960	21	0,35	1,20	-0,22	1	-0,29	1				-0,42	1	0,44
235	1965	20	0,13	0,32	0,05	0	-0,02	0				0,15	0	0,16
233	1965	20	0,16	0,92	0,40	1	0,21	0				0,23	0	0,41
5	1952	20	0,28	-0,12	0,58	1	0,50	1				0,27	1	0,10

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Shebelle	Balad	5	2,370	45,420	272700	1,572
Shebelle	Bulo Burti	5	3,870	45,670	231000	2,067
Shebelle	Belet Uen	1	4,780	45,200	211800	2,166
Juba	Lugh Ganana	1	3,560	42,320	179520	5,990
БУРКИНА ФАСО						
Black Volta	Banzo	1	11,320	-4,820	2816	0,362
White Volta	Wayen	1	12,380	1,080	20880	0,219
МАЛАВИ						
Shire	Liwonde	2	-15,070	35,200	130200	14,900
Shire	Chiromo	2	-16,550	35,130	149500	15,300
США						
Kuparuk	Near Readhorse,Alas	1	70,281	-148,963	8106	4,068
Kobuk	Near Kiana,Alas.	1	66,973	-160,134	24657	13,300
Kuskokwim	Crooked Creek,Alas	1	61,870	-158,103	80549	37,500
Talkeetna	Near Talkeetna,Alas	1	62,346	-150,019	5170	3,600
Copper	Near Chitina,Alas	3	61,465	-144,458	53354	34,400
Newhalen	NearIliamna,AK	2	59,859	-154,876	9008	6,940
Skwentna	Near Skwentna,AK	3	61,873	-151,369	5828	5,760
Susitna	Gold Creek,AK	3	62,767	-149,693	15954	8,608
Kenai	Soldotna,AK	3	60,477	-151,082	5053	5,208
Yukon	PilotStation,AKtion, AK	1	61,934	-162,883	831390	204,000
Yukon	Ruby,AK	1	64,741	-155,492	670810	138,000
Koyukuk	Hughes,Anhom	1	66,047	-154,261	47656	12,800
Yukon	Near Stevens Village, A K	1	65,875	-149,720	508417	105,000
Chisana	Northway Junction, AK	3	63,006	-141,807	8495	2,080
Tanana	Nenana,Anhom	3	64,565	-149,094	66304	21,600
Nenana	Near Healy, AK	3	63,845	-148,946	4947	3,081
Chena	Fairbanks, AK	1	64,845	-147,704	5167	1,220
Salcha	Near Salchaket, AK	1	64,472	-146,926	5620	1,410
Tanana	Tanacross,Alas	3	63,388	-143,749	22145	7,203
Yukon	Eagle,AK	1	64,789	-141,200	293965	74,300
Red River Nor.	Grand Forks,N.D.	4	47,928	-97,028	77959	2,578
Wild Rice	Near Abercombie, ND	4	46,468	-96,784	5387	0,087
Pembina	Walhalla,ND	4	48,914	-97,917	8677	0,183
Pembina	Neche,ND	4	48,990	-97,560	8832	0,189



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
6	1952	20	0,30	0,69	0,55	1	0,39	1				0,08	0	0,32
9	1952	21	0,37	0,16	0,35	1	0,25	1				0,07	1	0,37
10	1952	22	0,34	0,17	0,13	0	0,10	0				0,06	0	0,32
33	1951	25	0,28	0,59	0,14	0	0,09	0				-0,45	1	0,49
129	1956	23	0,34	-0,04	0,38	1	0,26	1				0,21	0	0,37
11	1958	23	0,68	0,88	0,01	0	-0,15	0				-0,10	0	
114	1965	20	0,44	0,39	1,21	0	0,91	0				0,87	1	0,84
89	1953	29	0,41	1,01	0,86	1	0,61	1				0,45	1	0,57
502	1971	30	0,46	0,19	0,25	0	0,25	1				-0,16	0	0,02
539	1976	25	0,31	0,37	0,01	0	0	0				-0,11	0	0,03
466	1952	42	0,18	0,51	0,2	1	0,2	1	-1,29	0,16	-0,59	0,3	2	0,17
696	1965	36	0,16	-0,4	-0,07	0	-0,1	0				0,09	0	0,07
644	1956	34	0,12	0,39	0,08	1	0,03	1				0,01	0	0,49
771	1951	36	0,35	-1,08	0,38	1	0,06	0				0,36	2	0,31
988	1959	24	0,19	1,16	0,28	1	0,2	1				0,01	0	0,56
540	1949	48	0,14	-0,65	0,1	1	0,06	0	-0,43	0,07	-1,57	0,13	0	0,62
1031	1965	36	0,18	0,42	0,12	0	0,01	0				-0,17	0	0,25
245	1976	20	0,1	-0,77	0,34	1	0,24	0				-0,22	0	0,27
205	1957	21	0,17	0,49	0,53	1	0,43	1				0,14	0	-0,04
268	1960	22	0,3	0,28	0,36	2	0,32	1				0,14	0	0,34
207	1977	24	0,12	-0,5	-0,14	2	-0,14	1				-0,02	0	0,1
245	1950	21	0,16	0,99	0,1	0	0,11	0				-0,01	0	0,48
326	1963	38	0,12	-0,16	0,13	0	0,12	0				0	0	0,6
623	1951	28	0,17	-0,21	0,15	0	0,03	0				0,16	0	-0,11
236	1949	52	0,33	0,91	0,23	1	0,23	1	-1,31	-1,19	0,73	0,36	1	0,44
251	1949	52	0,31	0,62	0,14	1	0,11	0	-1,34	-0,86	0,46	0,37	2	0,39
325	1954	36	0,13	0,49	0,08	0	0,11	0				0,12	0	0,47
253	1951	50	0,15	0,08	0,27	2	0,25	2	0,7	-0,95	-1,16	0,14	1	0,43
33	1904	96	0,7	1,06	0,57	1	0,64	1	1,66	-0,04	-1,51	0,33	1	0,79
16	1932	70	1,2	1,74	0,43	1	0,36	3	1,48	0,62	-0,25	0,2	1	0,68
21	1940	51	0,89	1,44	0,16	0	0,19	1	0,46	0,98	-0,39	0,12	1	0,53
21	1903	99	1,02	1,75	0,47	2	0,46	2	1,78	0,73	-1,09	0,33	2	0,6

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Sheyenne	Warwick,ND	4	47,806	-98,716	5361	0,061
Sheyenne	Cooperstown,ND	4	47,433	-98,028	16757	0,116
Little Fork	Littlefork,Minn.	2	48,396	-93,549	4351	0,935
Cowlitz	Castle Rock, WA	4	46,275	-122,915	5796	8,450
Willamette	Salem,OR	4	44,944	-123,043	18855	20,800
Klickitat	Pitt,WA	1	45,757	-121,210	3359	1,853
John Day	Service Creek,OR	1	44,794	-120,007	13183	1,791
John Day	Mc Donald Ferry,OR	1	45,588	-120,410	19632	1,881
Crooked River	Prineville,OR	5	44,113	-120,796	6993	0,482
Wenatchee	Peshastin,WA	3	47,583	-120,614	2590	2,732
Wenatchee	Monitor,WA	3	47,499	-120,425	3369	2,921
Methow	Pateros,WA	1	48,077	-119,985	4590	1,406
Okanogan	Tonasket,WA	5	48,632	-119,462	18803	2,710
Okanogan	Malott,Wor	5	48,281	-119,705	20927	2,700
Similkameen	Nighthawk,WA	5	48,985	-119,618	9195	2,049
Kettle	Ferry,WA	1	48,981	-118,766	5698	1,377
Kettle	Laurier,WA	1	48,984	-118,216	9842	2,647
Kootenay	Libby,MT	5	48,401	-115,553	26522	10,600
Kootenay	Copeland,ID	5	48,912	-116,417	34706	13,543
Kootenay	Porthill,ID	5	48,996	-116,509	35483	13,900
Flathead	West Glacier,MT	3	48,495	-114,010	2922	2,563
Blackfoot	Bonner,Muar	1	46,900	-113,757	5931	2,261
Clark Fork	St.Regis,MT	1	47,302	-115,087	27736	6,438
Coeur D'Alene	Cataldo,ID	1	47,555	-116,324	3167	2,862
Snake	Clarkston,WA	4	46,428	-117,165	267288	43,800
Snake	Anatone,WA	4	46,097	-116,978	240766	31,500
Palouse	Hooper,Wor	5	46,759	-118,149	6475	2,304
Clearwater	Spalding,ID	5	46,449	-116,827	24786	13,400
Clearwater	Orofino,ID	1	46,479	-116,257	14452	6,898
Clearwater	Kamiah,lind Dam	1	46,233	-116,018	12562	7,199
Clearwater	Ahsahka,ID(NorthFork)	4	46,504	-116,320	6320	4,997
Clearwater	Canyon Ranger Station,ID(NF)	1	46,841	-115,651	3522	3,080
Selway	Lowell,lind Dam	1	46,087	-115,514	4947	3,653
Lochsa	Lowell,lind Dam	1	46,151	-115,587	3056	2,930
Salmon	Shoup,ID	1	45,322	-114,441	16239	2,858
Salmon	Salmon,lind Dam	1	45,184	-113,895	9738	1,705
Bruneau	Hot Spring,ID	4	42,771	-115,720	6812	1,684
Carson	Fort Churchill,NV	1	39,293	-119,252	3756	0,462

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
11	1949	53	0,82	1,13	0,43	2	0,33	2	1,85	0,97	2,94	0,18	2	0,57
7	1944	58	0,79	1,04	0,52	2	0,44	1	1,34	0,55	0,97	0,35	1	0,5
215	1929	73	0,35	0,15	0,23	1	0,22	1	2,22	-0,39	-1,04	0,03	1	0,34
1458	1927	59	0,35	0,15	0,23	1	0,22	1	2,22	-0,39	-1,04	0,22	1	0,59
1101	1923	78	0,23	0,42	0,28	0	0,27	0	0,33	-0,39	0,52	0,28	1	0,79
552	1928	73	0,3	0,38	0,37	2	0,33	2	0,09	0,67	0,93	0,3	1	0,53
136	1930	71	0,39	0,32	0,24	2	0,21	1	1,2	0,38	-0,3	-0,05	1	0,38
96	1905	96	0,46	1,61	0,22	0	0,2	0	1,26	0,28	-0,33	0,05	0	0,28
69	1941	51	0,55	1,55	0,07	2	0,03	0	0,57	0,1	0,96	0	2	0,61
1055	1929	72	0,24	0,26	0,2	0	0,21	0	0,2	-0,16	-1,65	0,19	0	0,32
867	1962	39	0,26	0,38	-0,08	0	-0,1	0				-0,25	0	0,18
306	1959	42	0,36	0,73	-0,02	1	-0,07	0	-0,07	-1,19	2,33	-0,14	0	0,2
144	1912	89	0,36	1,05	0,23	0	0,15	0	-0,38	-0,21	-1,93	0,15	0	0,38
129	1965	36	0,39	0,65	0,01	0	-0,06	0				-0,01	0	0,1
223	1928	73	0,31	0,61	0,1	0	0,09	0	-0,02	-0,06	-2,19	0,16	0	0,34
242	1928	73	0,27	0,05	0,09	0	0,07	0	1,05	0,65	0,02	0,11	0	0,44
269	1929	72	0,3	1,47	-0,04	2	0,02	2	0,34	0,79	0,79	0,01	2	0,35
399	1911	81	0,2	-0,09	-0,02	0	-0,04	0	1,64	-0,15	-1,14	0,36	3	0,54
390	1930	63	0,23	-0,01	0,15	0	0,13	0	0,16	-1,02	-1,85	0,64	2	0,58
391	1929	73	0,24	-0,02	0,17	1	0,13	1	-0,09	0,33	-1,34	0,61	2	0,64
877	1939	63	0,22	-0,2	0,09	2	0,05	1	-0,66	-0,07	0,31	0,24	1	0,13
381	1925	62	0,31	-0,04	0,15	0	0,14	0	-0,34	0,91	0,24	0,22	0	0,3
232	1911	91	0,3	0,02	0,29	1	0,27	1	0,36	-0,73	-1,16	0,23	0	0,49
904	1914	81	0,63	2,5	0,58	1	0,44	1	1,58	1,44	0,73	0,2	0	0,6
164	1929	44	0,23	0,25	0,4	2	0,39	2	1,93	-0,61	0,15	0,4	2	0,55
131	1959	42	0,33	0,33	0,39	1	0,34	3	0,04	1,36	1,63	0,25	0	0,2
356	1918	79	1,04	0,59	-0,8	1	-0,81	2				-0,1	0	0,29
541	1919	76	0,26	0,21	0,19	0	0,15	0	0,1	0,81	-1,16	0,4	1	0,56
477	1930	72	0,38	-0,16	0,31	1	0,3	1	2,55	-0,99	-0,36	0,2	0	0,56
573	1911	55	0,23	0,06	0,25	0	0,22	0	0,08	-1,11	0,26	0,23	0	0,27
791	1926	43	0,27	-0,2	0,38	1	0,29	1	1	-0,93	-1,32	0,3	1	0,46
874	1967	35	0,27	0,3	0,12	0	0,12	0				-0,11	0	0,21
738	1913	80	0,4	2,22	0,43	4	0,16	2	-0,77	-0,44	-0,9	0,2	3	0,33
960	1914	80	0,53	2,85	0,56	5	0,25	2	-0,8	-0,98	-1,43	0,31	2	0,23
176	1944	38	0,44	3,91	-0,08	1	-0,11	0				-0,1	0	-0,03
175	1918	82	0,28	0,22	0,21	0	0,17	3	0,44	1,96	-0,36	0,09	0	0,39
247	1939	58	0,45	0,99	0,28	1	0,21	1	-0,28	0,78	-0,57	0,25	1	0,23
123	1912	88	0,44	0,34	0,15	0	0,15	0	1,27	-1,04	-1,4	0,19	0	0,23

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	Тип	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Walker	Wabuska,NV	4	39,153	-119,098	6734	0,396
Humboldt	Palisade,NV	1	40,607	-116,202	13088	0,349
Humboldt	Imlay,NV	4	40,692	-118,204	40155	0,245
Sevier	Juab,UT	4	39,375	-112,040	13377	0,229
Crow	Rockford,MN	2	45,087	-93,734	6838	0,595
St.Croix	St.CroixFalls,WI	2	45,407	-92,647	16162	3,683
Le Sueur	Rapidan,MN	2	44,111	-94,041	2875	0,445
Mississippi	St.Paul,MN	2	44,934	-93,106	95312	10,488
Turkey	Garber,Ior	1	42,740	-91,262	4002	0,820
Wapsipinicon	DeWitt,Ior	1	41,767	-90,535	6050	1,453
Rock	Joslin,legni	2	41,560	-90,182	24732	5,718
Rock	Afton,WI	2	42,609	-89,071	8651	1,692
Pecatonica	Freeport,IL	1	42,303	-89,620	3434	0,835
Kishwaukee	Perryville,IL	1	42,195	-88,999	2846	0,684
Green	Geneseo,IL	1	41,489	-90,158	2598	0,581
Iowa	Wapello IA	4	41,178	-91,182	32375	6,671
Iowa	IowaCity,IA	4	41,657	-91,541	8472	1,634
Iowa	Marshalltown,IA	4	42,066	-92,908	3968	0,650
Cedar	Cedar Rapids,IA	5	41,971	-91,667	16861	3,303
Cedar	Waterloo,IA	5	42,496	-92,334	13328	2,886
Cedar	Janesville,IA	5	42,648	-92,465	4302	0,697
Cedar	CharlesCity,IA	5	43,063	-92,673	2730	0,593
Shell Rock	ShellRock,IA	5	42,712	-92,583	4522	0,942
Skunk	Augusta,IA	5	40,754	-91,278	11168	2,237
Skunk	Oskaloosa,IA	5	41,356	-92,657	4235	0,898
Des Moines	Keosauqua,IA	4	40,728	-91,960	36358	5,424
Des Moines	Stratford,IA	5	42,251	-93,998	14121	1,990
Des Moines	Dakota City,IA	1	42,724	-94,192	3388	0,577
Racoon	Van Meter,IA	4	41,534	-93,950	8912	1,369
North Racoon	Jefferson,IA	5	41,988	-94,377	4193	0,706
Salt	New London, MD	4	39,612	-91,409	6423	1,544
Kankakee	Wilmington,IL	1	41,347	-88,186	13339	3,827
Kankakee	Momence,IL	1	41,160	-87,669	5942	1,671
Kankakee	Shelby,Ikana	1	41,183	-87,340	4608	1,496
Kankakee	Dunns Bridge,IN	1	41,220	-86,969	3502	1,212
Iroquois	Chebanse,IN	1	41,009	-87,823	5416	1,512
Fox	Dayton,legni	2	41,385	-88,789	6843	1,588
Vermilion	Leonore,IL	1	41,208	-88,931	3240	0,400

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
59	1903	85	2,54	4,7	0,48	1	0,49	1	-0,92	-1,15	0,41	0,41	1	0,41
27	1908	89	0,72	1,75	0,33	1	0,23	0	0,98	0,08	0,16	0,19	0	0,38
6	1943	53	1,08	3,07	0,46	1	0,34	1	1,14	0,71	0,95	0,27	1	0,36
17	1912	88	0,75	3,95	0,73	4	0,77	1	-0,26	0,7	-0,11	0,46	1	0,69
87	1941	61	0,68	0,85	0,44	1	0,43	1	1,74	1,33	1,25	0,09	0	0,69
228	1914	87	0,32	0,3	0,6	1	0,62	1	1,21	-1,02	-1,31	0,3	1	0,71
155	1939	63	0,75	0,77	0,51	1	0,53	1	1,87	0,1	-0,13	0,38	1	0,69
110	1907	95	0,52	0,68	0,58	1	0,63	1	1,87	0,2	-2,1	0,42	2	0,71
205	1913	89	0,55	0,62	0,47	1	0,49	1	2,34	0,61	-0,27	0,28	1	0,63
240	1935	67	0,5	1,18	0,37	1	0,42	1	2	0,75	-0,43	0,26	0	0,53
231	1940	61	0,37	0,8	0,49	1	0,5	1	3,06	0,04	0,27	0,24	1	0,58
196	1914	87	0,37	0,5	0,46	1	0,46	1	1,33	1,03	0,47	0,09	0	0,49
243	1915	86	0,36	1,13	0,41	1	0,46	2	1,08	1,19	-0,58	0,12	0	0,62
240	1940	61	0,42	0,67	0,41	1	0,41	1	3,75	0,51	-0,46	0,16	1	0,44
224	1936	65	0,42	0,48	0,3	1	0,3	1	3,25	0,64	-0,4	0,1	0	0,36
206	1915	87	0,54	1,89	0,37	1	0,45	1	2,57	1,17	-0,6	0,21	0	0,54
193	1903	99	0,62	2,12	0,3	0	0,36	1	1,54	2,15	1	0,17	0	0,38
164	1932	70	0,65	1,43	0,31	1	0,3	1	2,02	0,94	0,15	0,23	0	0,44
196	1903	99	0,56	1,85	0,38	1	0,44	1	1,59	2,36	1,62	0,23	0	0,56
217	1940	62	0,55	1,12	0,38	1	0,45	1	2,08	1,05	0,46	0,21	1	0,58
162	1946	56	0,56	1,19	0,42	1	0,48	1	1,95	0,59	0,48	0,27	1	0,62
217	1964	36	0,65	0,63	0,39	1	0,43	1				0,1	0	0,52
208	1953	49	0,59	0,81	0,42	1	0,43	1	1,68	1,15	-0,07	0,33	1	0,61
200	1913	89	0,6	1,41	0,24	0	0,29	2	2,23	1,29	-1,03	0,16	1	0,4
212	1946	56	0,67	1,42	0,27	0	0,33	2	1,39	1,11	-0,61	0,06	0	0,5
149	1910	92	0,65	1,59	0,33	1	0,38	2	1,79	1,49	0,26	0,07	0	0,5
141	1920	82	0,74	1,69	0,38	2	0,44	1	2,24	1,02	-0,28	0,24	1	0,51
170	1940	62	0,9	2,46	0,19	2	0,39	1	1,59	1,49	0,68	0,16	1	0,58
154	1915	87	0,68	1,48	0,31	1	0,3	1	2,21	1,47	-1,46	0,05	0	0,54
168	1940	62	0,72	1,13	0,24	0	0,25	1	1,8	1,43	-0,21	0,03	0	0,53
240	1923	78	0,6	1,05	0,17	0	0,2	1	0,9	1,75	-0,12	0,19	1	0,54
287	1936	65	0,36	1,04	0,43	1	0,52	1	3,1	0,14	-0,43	0,33	1	0,1
281	1915	86	0,3	0,58	0,42	1	0,42	1	2,68	0,51	1,05	0,19	0	0,27
325	1923	79	0,27	0,36	0,36	1	0,36	1	2,47	0,71	0,93	0,16	0	0,2
346	1949	53	0,24	0,23	0,35	2	0,34	2	1,53	-0,08	-0,02	-0,06	0	0,34
279	1923	76	0,44	1,19	0,24	1	0,29	1	1,76	0,02	0,3	0,26	0	0,16
232	1915	86	0,38	0,41	0,44	1	0,4	1	3,64	1,68	0,99	0,1	0	0,49
123	1972	28	0,45	1	0,07	0	0,21	0				0,05	0	0,08

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Spoon	London Mills,IL	1	40,707	-90,280	2777	0,660
Spoon	Seville,IL	6	40,490	-90,340	4237	0,975
Salt Creek	Greenview,IL	5	40,132	-89,736	4672	1,179
La Moine	Ripley,Iegni	1	40,025	-90,632	3349	0,744
Maquoketa	Maquoketa,IA	1	42,083	-90,633	4022	0,935
Mississippi	Alton,IL	5	38,885	-90,181	444185	91,800
Big Dry Creek	Van Norman,MT	1	47,349	-106,358	6615	0,042
Missouri	Culbertson,MT	6	48,125	-104,473	237133	8,805
Yellowstone	Sidney,Muar	5	47,678	-104,157	178977	11,200
Yellowstone	Billings,MT	5	45,800	-108,467	30549	4,710
Yellowstone	Livingston,MT	5	45,597	-110,566	9197	2,403
Yellowstone	Corwin Springs,MT	4	45,112	-110,794	6794	2,729
Wind	Crowheart,WY	1	43,243	-109,010	4898	1,040
Little Powder	Weston,WOUed	1	44,927	-105,353	3199	0,019
Little Missouri	WatfordCity,ND	1	47,596	-103,262	21523	0,475
Little Missouri	Marmarth,ND	1	46,298	-103,918	12018	0,272
Little Missouri	Camp Crook,SD	1	45,547	-103,974	5102	0,054
Knife	Hazen,ND	1	47,285	-101,622	5802	0,138
Cannonball	Breien,Nind Dam	1	46,376	-100,934	10619	0,214
Moreau	Faith,SD	1	45,198	-102,157	6889	0,124
Cheyenne	Edgemont,SD	5	43,306	-103,821	18500	0,057
Bad	Fort Pierre,SD	1	44,327	-100,384	8047	0,152
White	Oacoma,SindDam	1	43,748	-99,557	26418	0,507
James	Scotland,SD	5	43,186	-97,636	53491	0,537
Vermillion	Waconda,SD	5	42,991	-96,964	4351	0,108
Big Sioux	Akron,IA	1	42,837	-96,562	21818	1,088
Big Sioux	Brookings,SD	1	44,180	-96,749	10096	0,276
Little Sioux	Correctionville,IA	6	42,472	-95,797	6475	0,714
Missouri	Yankton,SD	4	42,866	-97,394	723905	22,900
Elkhorn	Waterloo,NE	1	41,294	-96,284	17871	1,194
Elkhorn	Neligh,Nhitra	1	42,122	-98,028	5698	0,264
Logan Creek	Uehling,NE	5	41,713	-96,522	2629	0,204
Dismal	Dunning,NE	4	41,823	-100,102	5284	0,285
Platte (North)	Near Sinca,WY?	5	41,872	-107,058	10813	0,980
Medicine Bow	Near Hanna,WY?	5	42,010	-106,513	6055	0,157
Nishnabotna	Above Hamburg,IA	1	40,633	-95,626	7268	1,041
Nishnabotna	Randolph,IA(West)	1	40,873	-95,580	3434	0,574
Big Nemaha	Falls City,NE	6	40,036	-95,596	3468	0,562

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
238	1943	58	0,5	0,98	0,13	0	0,12	1	2,52	0,36	0,32	0,07	0	0,22
230	1915	86	0,52	1,14	0,2	0	0,19	0	1,7	0,8	-0,06	0,13	0	0,3
252	1941	60	0,48	0,71	0,3	1	0,34	1	1,8	0,97	-1,09	0,32	1	0,27
222	1921	80	0,55	0,62	0,22	0	0,23	0	1,5	1,52	0,11	0,26	1	0,29
232	1914	88	0,4	1	0,43	1	0,48	1	1,52	1,28	-0,25	0,23	0	0,52
207	1940	41	0,29	0,44	0,45	2	0,38	2	0,88	0,41	-0,55	0,22	1	0,22
6	1959	43	1,19	1,64	0,09	0	-0,05	0	-0,32	0,03	-0,13	-0,08	0	0,24
37	1953	43	0,27	0,55	0,52	1	0,55	1	-0,85	-0,85	0,42	0,42	2	0,25
62	1933	66	0,27	0,12	0,25	1	0,24	1	1,33	0,08	-0,54	0,13	1	0,54
154	1929	73	0,25	0,37	0,33	1	0,32	1	1,36	1,41	-0,44	0,14	0	0,5
261	1938	64	0,22	0,38	0,19	0	0,16	0	0,64	1,71	0,77	0,06	0	0,34
402	1911	91	0,23	0,29	0,15	0	0,11	0	1,03	-0,13	0,22	-0,02	1	0,51
213	1946	56	0,23	-0,05	0,08	0	0,03	0	-1,12	0,39	0,48	0,01	1	0,58
6	1979	23	0,9	0,98	0,71	1	0,48	1				0,52	1	0,57
22	1934	68	0,7	1,15	0,17	0	0,17	1	-0,21	1,05	-0,1	0,17	0	0,48
23	1938	64	0,7	1,15	0,17	0	0,17	1	-0,21	1,05	-0,1	0,07	0	0,38
11	1956	46	0,87	1,27	0,11	0	0,08	0	-0,71	0,08	1,2	0,11	0	0,48
24	1929	73	0,72	0,77	0,26	0	0,34	1	0,76	-0,43	-1,6	0,31	1	0,65
20	1935	67	0,9	1,47	0,15	0	0,26	1	0,43	0,84	-0,8	0,19	0	0,47
18	1943	59	0,9	1,29	0,09	0	0,13	0	0,01	0,18	0,11	0,07	0	0,47
3	1963	39	0,77	1,86	-0,26	0	-0,25	0				-0,33	1	0,26
19	1929	73	1,16	2,73	0,22	0	0,25	0	0,29	1,74	1,21	0,23	0	0,6
19	1928	74	0,6	1,21	0,16	0	0,13	1	1,21	0,32	2,27	0,1	1	0,46
10	1953	49	1,23	1,76	0,32	2	0,28	2	2,25	1,81	2,69	0,11	0	0,64
25	1945	39	0,97	1,25	0,02	0	0,09	0				-0,03	0	0,55
50	1928	74	0,94	1,92	0,46	2	0,43	1	1,85	0,88	1,14	0,19	1	0,66
27	1953	40	1,1	2,32	0,38	1	0,34	1	0,83	0,38	2,12	0,15	0	0,42
110	1918	84	0,9	1,78	0,53	1	0,54	2	2,3	0,27	-1,43	0,39	2	0,61
32	1931	64	0,26	0,29	0,72	3	0,67	3	0,82	-0,94	0,15	0,64	3	0,72
67	1929	72	0,59	1,2	0,52	2	0,55	2	1,69	-0,05	-0,08	0,1	0	0,72
46	1930	64	0,69	1,49	0,51	1	0,47	1	1,3	-1,02	-0,17	0,23	1	0,46
78	1941	60	0,65	1,28	0,46	2	0,44	3	1,68	1,28	2,47	-0,02	0	0,69
54	1945	51	0,12	-4,86	0,18	1	0,56	3	1,2	1,35	-0,72	0,27	1	0,36
91	1940	62	0,37	0,39	0,2	0	0,18	0	0,75	1,31	0,65	0,13	0	0,34
26	1940	62	0,54	1,33	0,16	0	0,09	0	1,54	0,95	-0,15	-0,02	0	0,28
143	1982	20	0,58	1,08	-0,08	0	-0,08	0				-0,39	2	
167	1948	20	0,59	0,76	0,39	1	0,3	1				-0,2	2	
162	1944	57	0,76	1,7	0,02	0	0,08	0	0,96	0,48	-0,64	-0,15	0	0,27

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Big Blue	Randolph,KS	4	39,450	-96,710	23569	1,467
Little Blue	Waterville,KS	1	39,700	-96,755	9088	0,479
Little Blue	Barnes,KS	1	39,776	-96,858	8609	0,616
Little Blue	Deweese,NE	1	40,333	-98,067	2549	0,124
Smoky Hil	Ellsworth,KS	5	38,727	-98,234	19632	0,184
Smoky Hil	Elkader,KS	5	38,793	-100,856	9208	0,020
Saline	Tescott,KS	4	39,004	-97,874	7304	0,198
Solomon	Niles,KS	4	38,969	-97,476	17534	0,443
Grand	Gallatin, Missouri	1	39,927	-93,943	5828	1,101
Thompson	Trenton, Missouri(MO)	5	40,080	-93,644	4325	0,902
Blackwater	BlueLick,MO	1	38,992	-93,197	2901	0,668
Marais Des Signes	Near Ottawa,KS	4	38,619	-95,268	3238	0,530
Gasconade	Jerome,MnG/W	1	37,930	-91,977	7356	1,938
Missouri	NebraskaCity,NE	5	40,682	-95,847	1072154	33,600
Kansas	Desoto,Ks	4	38,983	-94,965	154768	6,590
Kansas	Bonner Springs,KS	4	39,060	-94,873	155214	5,957
Missouri	Hermann,MO	5	38,710	-91,439	1357678	74,080
Ohio	Metropolis,IL	4	37,148	-88,741	525770	244,000
Cumberland	Grand Rivers,KY	4	37,022	-88,223	45579	29,200
Duck	Hurricane Mills,TeVe	1	35,930	-87,743	6623	2,804
Little Wabash	Clay City,IL	5	38,635	-88,297	2929	0,828
Little Wabash	Carmi,IL	5	38,061	-88,160	8034	2,399
Wabash	Lafayette,IN	5	40,422	-86,897	18821	5,859
Embarras	Ste.Marie,IL	4	38,936	-88,023	3926	1,068
White	Newberry,IN	5	38,928	-87,011	12142	4,305
White	Petersburg,IN	5	38,511	-87,290	28814	10,700
White	Columbus,IN	5	39,200	-85,926	4421	1,666
White	Seymour,in	5	38,983	-85,899	6063	2,249
White	Shoals,Ikana	5	38,667	-86,792	12761	4,419
Driftwood	Edinburgh,IN	5	39,339	-85,986	2745	1,031
Green	Munfordville,KY	4	37,268	-85,886	4333	2,071
Great Miami	Hamilton,OH	5	39,391	-84,572	9402	2,964
Rolling Fork	Boston,KOued	1	37,767	-85,704	3364	1,576
Licking	Catawba,auseway	4	38,709	-84,311	8547	3,155
Licking	Mc Kinneysburg,KY	4	38,598	-84,267	6024	2,026
Scioto	Higby,OH	5	39,212	-82,864	13289	4,133
Greenbrier	Hilldale,WV	1	37,640	-80,805	4193	1,986
New	Allisonia,VA	1	36,938	-80,746	5703	2,798



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
62	1918	43	0,68	1,69	0,5	1	0,45	1	2,41	1,8	1,42	0,25	0	0,36
53	1922	37	0,87	1,7	0,59	1	0,5	2				0,33	2	0,48
72	1958	44	0,58	1,88	0,01	0	-0,04	0	0,86	0,49	1,37	-0,09	0	0,31
49	1953	48	0,6	1,81	-0,07	0	-0,02	0	1,31	-1,19	-0,32	-0,11	0	0,39
9	1919	83	0,94	2,39	0,13	0	0,21	0	-0,19	-0,79	-1,15	0,06	0	0,59
2	1940	62	1,93	4,14	0,27	0	0,45	3	-4,49	-0,13	-0,17	0,28	2	0,23
27	1919	83	1,21	3,43	0,17	0	0,33	1	-0,68	1,14	-0,31	0,18	0	0,67
25	1918	84	1,07	3,48	0,23	0	0,28	0	-0,13	-0,4	-0,7	0,2	0	0,59
189	1921	80	0,7	1,55	0,14	0	0,21	1	1,55	0,42	-1,2	0,08	0	0,47
209	1928	73	0,64	1,01	0,22	0	0,23	1	1,23	0,31	-1,13	0,12	0	0,42
230	1941	60	0,66	0,72	0,23	0	0,29	1	0,89	0,1	0,31	0,22	0	0,31
164	1919	83	0,77	0,99	0,25	0	0,3	1	1,91	-0,85	-1,53	0,18	0	0,48
263	1924	77	0,46	0,86	0,28	1	0,28	1	0,35	-0,34	0,59	0,05	1	0,33
31	1930	72	0,28	0,52	0,68	2	0,67	2	1,87	-0,57	-0,55	0,25	0	0,82
43	1918	84	0,71	2,31	0,17	0	0,33	1	1,65	-0,54	-1,85	0,06	0	0,43
38	1918	55	0,68	2,46	0,33	1	0,42	1	0,87	0,6	1,09	0,15	0	0,41
55	1898	103	0,34	0,66	0,45	1	0,5	1	0,28	0,79	0,19	0,19	0	0,64
465	1929	72	0,26	0,26	0,35	1	0,34	1	1,52	0,18	0,36	0,2	0	0,39
641	1941	56	0,33	0,53	0,4	1	0,37	1	2,45	0,99	-0,36	0,27	3	0,54
423	1926	56	0,32	0,52	0,25	1	0,19	1	0,58	0,2	-0,49	0,17	1	0,51
283	1915	86	0,49	0,57	0,21	0	0,25	0	0,47	0,21	0,12	0,17	0	0,23
299	1940	61	0,49	0,41	0,31	1	0,33	1	1,27	-0,6	-1,45	0,2	0	0,2
311	1924	78	0,33	0,32	0,28	0	0,27	1	1,01	-0,88	0,4	0,14	0	0,45
272	1915	86	0,44	0,74	0,24	0	0,27	0	0,39	-0,3	0,25	0,18	0	0,15
355	1929	73	0,36	0,33	0,26	0	0,27	2	1,39	-0,85	-0,65	0,15	0	0,31
373	1928	74	0,36	0,34	0,22	0	0,23	0	1,42	-0,89	-0,01	0,04	0	0,21
377	1951	51	0,31	0,36	0,2	0	0,21	0	0,9	0,71	-1,31	-0,04	0	0,16
371	1927	75	0,37	0,35	0,25	2	0,25	2	1,34	-0,92	-0,72	0,1	0	0,18
346	1923	79	0,38	0,28	0,23	1	0,21	0	0,73	-1,58	0,11	0,06	0	0,22
376	1942	50	0,3	0,63	0,33	2	0,31	2	0,6	0,24	-1,2	0,01	0	0,2
478	1937	64	0,36	0,36	0,4	1	0,38	1	0,51	0,77	-0,27	0,18	1	0,43
315	1927	75	0,35	0,27	0,23	0	0,2	0	1,19	-1,24	-0,7	0,13	0	0,24
468	1939	62	0,38	0,63	0,29	1	0,26	2	1,31	-0,07	-0,15	0,09	0	0,3
369	1928	73	0,37	0,32	0,09	0	0,06	1	0,69	-0,88	1,27	0,09	0	0,2
336	1939	56	0,35	0,53	0,18	0	0,17	0	0,27	-0,02	0,07	0,11	2	0,25
311	1931	71	0,31	0,25	0,3	1	0,25	1	1,75	-0,61	0,38	0,07	0	0,63
474	1937	64	0,24	0,73	0,05	0	0,05	0	1,62	1,85	0,28	-0,08	0	-0,09
491	1930	71	0,24	-0,1	0,34	1	0,29	1	1,47	1,56	-0,62	0,06	3	0,34

СТРАНА, РЕКА	СТВОР (ГИДРОЛОГ. ПОСТ)	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
New	Galax,VA	1	36,647	-80,979	2929	1,681
Allegheny	Salamanca,NY	5	42,157	-78,715	4165	2,430
French Creek	Utica,PA	5	41,438	-79,956	2663	1,612
Clinch	Above Tazewell,TN	1	36,425	-83,398	3818	1,515
Tug Fork	Kermit,WVAval	5	37,818	-82,389	3077	1,229
Spring	Waco,MO	1	37,246	-94,566	3015	0,832
Neosho	Iola,KS	4	37,891	-95,431	9889	1,433
Neosho	Parsons,KS	5	37,340	-95,110	12704	2,429
Neosho	Commerce,OK	5	36,929	-94,958	15219	3,389
Neosho	Chouteau,OK	4	36,230	-95,183	29873	7,943
Verdigris	Claremore,OK	4	36,307	-95,698	16923	3,612
Cimarron	Perkins,ok	1	35,958	-97,032	46237	1,146
Walnut	Winfield,KS	5	37,224	-96,995	4869	0,757
Pawnee	Rozel,KS	1	38,200	-99,348	5563	0,054
Arkansas	Tulsa,OK	4	36,141	-96,006	193252	6,768
Canadian	Whitefield,OK	4	35,264	-95,239	123221	5,437
Canadian	Canadian,TX	4	35,935	-100,371	59223	0,252
Canadian	Taylor Springs,NM	5	36,297	-104,494	7382	0,063
North Canadian	Wetumka,ok	4	35,266	-96,206	37011	0,717
Beaver	Beaver,Onhom(Ban	4	36,822	-100,519	20604	0,063
Beaver	Guymon,Onhom(Ban	5	36,721	-101,490	5540	0,016
Deep Fork	Beggs,OK	5	35,674	-96,069	5227	0,834
Arkansas	Hutchinson,KS	5	37,946	-97,775	100777	0,474
Arkansas	Above Pueblo,CO	5	38,272	-104,718	12095	0,612
Little Arkansas	Valley Center,KS	5	37,832	-97,388	3437	0,274
White	Devalls Bluff,AR	5	34,790	-91,446	60686	20,560
Current	Doniphan,MO	1	36,622	-90,848	5278	2,446
Current	Van Buren,MO	1	36,991	-91,015	4318	1,741
Spring	Imboden,AR	1	36,205	-91,172	3064	1,224
Elevenpoint	Ravenden Springs,AR	1	36,347	-91,114	2937	0,941
James	Galena,MnG/W	4	36,805	-93,462	2556	0,860
Little	Horatio,AR	4	33,920	-94,388	6895	3,516
Twelvemile	Dixie,LA	4	32,646	-93,878	8125	2,259
Ouachita	Camden,AK	4	33,597	-92,818	13875	6,801
Saline	Rye,AR	1	33,701	-92,026	5444	2,310
Red	Alexandria,LA	5	31,313	-92,443	174825	27,330
Red	Index,AR	5	33,552	-94,041	124398	16,060
Red	Burkburnett,TX	5	34,110	-98,532	53276	1,109

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
574	1930	71	0,23	0,02	0,26	1	0,25	1	1,47	0,88	-1,11	0,03	3	0,33
583	1904	97	0,21	0,43	-0,12	0	-0,12	0	-0,67	0,38	-1,17	0	1	-0,05
605	1933	68	0,23	0,16	-0,02	0	-0,03	0	3,18	-0,31	-1,1	0	0	0,02
397	1920	63	0,24	-0,09	0,33	1	0,3	1	-0,05	-0,32	0,4	0,02	0	0,01
399	1935	51	0,31	0,45	0,35	1	0,32	1	0,74	0,26	-0,52	0,02	0	0,24
276	1924	77	0,59	1	0,3	1	0,3	1	0,97	-0,33	0,65	0,04	0	0,28
145	1918	84	0,76	1,25	0,21	0	0,31	1	2,04	-0,89	-1,54	0,2	0	0,51
191	1957	45	0,6	0,98	0,15	0	0,1	0	0,63	0,35	0,02	0	0	0,29
223	1941	59	0,61	0,73	0,25	1	0,29	1	1,11	-0,48	-0,67	0,22	0	0,48
266	1964	36	0,52	0,94	0,36	1	0,33	1				0,33	1	0,29
213	1935	66	0,64	0,58	0,4	1	0,4	1	1,73	-0,6	0,29	0,2	0	0,54
25	1940	52	0,69	0,71	0,22	0	0,12	0	0,5	0,45	2,13	-0,12	0	0,22
155	1922	80	0,69	0,73	0,22	0	0,27	0	1,18	-0,94	-1,21	0,12	0	0,49
10	1924	78	1,11	2,39	0,3	1	0,17	0	-2,95	-0,37	-1,06	0,09	0	0,6
35	1926	74	0,62	0,74	0,31	2	0,31	1	1,38	-0,33	0,06	0,22	0	0,5
44	1939	61	0,61	0,48	0,36	1	0,38	1	1,24	-0,75	-0,07	0,3	3	0,39
4	1961	40	0,52	1,43	0,09	1	-0,03	0	-0,63	-2,35	0,29	-0,03	0	0,37
9	1964	37	0,97	1,81	0,02	0	0,16	0				0,09	0	0,44
19	1937	64	0,63	0,39	0,44	2	0,38	2	1,64	-0,66	1,14	0,28	2	0,51
3	1937	64	1,24	1,81	0,3	1	0,45	3	-4,22	-0,53	1,28	0,35	2	0,21
3	1937	57	1,35	3,08	0,35	1	0,62	2	-2,73	-0,14	2,58	0,51	2	0,66
160	1939	62	0,67	0,7	0,36	1	0,4	1	1,34	-0,01	-0,13	0,33	2	0,24
5	1959	43	0,79	2,49	-0,03	0	0,05	0	-1,24	0,79	1,3	-0,04	0	0,43
51	1966	35	0,33	0,56	0,52	1	0,42	1				0,15	0	0,57
80	1922	80	0,87	2,05	0,05	0	0,19	0	2,48	-0,75	-2,33	0,06	0	0,41
339	1950	20	0,44	0,69	0,42	1	0,33	1				0,17	1	0,35
463	1921	80	0,34	0,72	0,32	1	0,27	1	0,73	-1,3	0,47	0,04	0	0,46
403	1921	80	0,39	0,74	0,39	1	0,35	1	0,88	-0,54	0,55	0,09	0	0,46
399	1937	58	0,39	0,63	0,21	0	0,22	0	1,03	-0,74	-1,39	-0,12	0	0,32
320	1929	66	0,44	0,39	0,36	1	0,34	1	1,01	-1,09	-0,84	0,03	0	0,46
336	1922	79	0,46	0,97	0,15	0	0,16	0	0,75	-0,97	0,49	-0,03	0	0,28
510	1932	62	0,42	0,59	0,25	0	0,24	0	-0,02	0,45	1,69	0,11	0	0,51
278	1943	53	0,55	0,52	0,33	3	0,27	3	0	-0,19	-0,36	0,1	0	0,04
490	1929	72	0,41	0,72	0,24	0	0,18	0	0,78	-0,86	0,96	0,02	0	0,57
424	1938	63	0,46	0,63	0,29	2	0,24	2	0,32	-0,36	-0,25	0,13	3	0,26
156	1929	54	0,45	0,69	0,22	0	0,16	0	-0,89	0,72	0,54	0,02	0	0,17
129	1937	64	0,5	0,85	0,28	0	0,26	0	1,38	-0,69	1,32	0,21	0	0,26
21	1960	41	0,68	1,43	0,3	0	0,33	1	2,47	0,69	0,04	0,03	0	0,57

СТРАНА, РЕКА	СТВОП	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
North Fork Red	Headrick,OK	5	34,635	-99,097	10992	0,317
Pease	Childress,TX	1	34,228	-100,074	7133	0,057
Meramec	Eureka,Mn G/W	1	38,506	-90,592	9811	2,402
Hatchie	Bolivar,TN	1	35,275	-88,977	3833	1,721
Kaskaskia	New Athens,IL	4	38,329	-89,879	13419	2,405
Kaskaskia	Carlyle,IL	4	38,612	-89,356	7042	1,374
Kaskaskia	Vandalia,IL	4	38,961	-89,089	5024	1,322
Mississippi	Arkansas,AR	5	33,558	-91,238	2928254	490,000
Big Black	Bovina,Ms	1	32,348	-90,697	7283	3,337
Mississippi	Vicksburg,MS	5	32,300	-90,906	2964255	534,611
Amite	DenhamSprings,LA	5	30,464	-90,990	3315	1,870
Fox	Rapid Croche Dam Wrightstown	4	44,318	-88,197	15566	3,798
Wolf	New London,WI	6	44,392	-88,740	5853	1,576
Grand	Grand Rapids,MICH	5	42,965	-85,676	12691	3,545
Grand	Lansing,MI	1	42,751	-84,555	3186	0,561
Raisin	Monroe,Mown,ND	1	41,961	-83,531	2699	0,661
Maumee	Waterville,OH	1	41,500	-83,713	16395	4,385
Auglaize	Defiance,OH	5	41,238	-84,399	6004	1,567
Sandusky	Fremont,OH	1	41,308	-83,159	3240	0,905
Genesee	Rochester,NY	5	43,181	-77,628	6390	2,471
Genesee	Portageville,NY	1	42,570	-78,042	2549	1,107
St Lawrence	Ogdensburg,NY	4	44,700	-75,500	764600	214,000
St Lawrence	Massena,NY	2	45,006	-74,795	773892	223,000
Umpqua	Elkton,OAK	1	43,586	-123,555	9539	6,568
Rogue	Agness,OAK	1	42,580	-124,060	10202	5,186
Rogue	Raygold (CentralPoint),OR	1	42,437	-122,987	5317	2,673
Klamath	Klamath,CA	6	41,514	-124,000	31339	13,540
Trinity	Hoopa,CA	4	41,050	-123,672	7389	4,677
Eel	Scotia,Cor	1	40,492	-124,100	8063	6,464
San Joaquin	Vernalis,CA	5	37,676	-121,266	35058	4,018
Penobscot	West Enfield,ME	2	45,237	-68,649	16633	10,500
St John	Fort Kent,ME	2	47,260	-68,595	15317	8,454
St John	Dickey,Mhitra	6	47,112	-69,090	6941	2,547
Kennebec	Bingham,ME	2	45,052	-69,886	7032	3,857
Androscoggin	Auburn,Mhitra	2	44,072	-70,208	8451	5,460
Merrimack	Lowell,MAS	1	42,646	-71,298	12005	6,800
Connecticut	Thompsonville,CNN	5	41,987	-72,605	25019	14,900
Housatonic	Stevenson,CONN	5	41,384	-73,168	3999	2,339

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
29	1958	42	0,77	1,34	0,27	0	0,3	1	1,46	0,84	0,72	-0,04	0	0,51
8	1968	33	0,71	1,24	-0,25	0	-0,28	1				-0,39	1	0,1
245	1921	80	0,47	0,78	0,25	1	0,23	1	0,93	-0,51	0,52	0,15	0	0,35
449	1930	53	0,37	0,72	0,39	1	0,38	1	0,12	-0,22	0	0,23	0	0,46
179	1935	37	0,54	0,33	0,43	2	0,45	2				0,34	1	0,41
195		62	0,47	0,42	0,38	2	0,4	2	0,83	-0,14	-0,87	0,3	2	0,35
263	1908	93	0,48	0,55	0,34	2	0,33	2	0,78	-0,04	0,02	0,17	0	0,28
167	1928	52	0,26	0,3	0,41	1	0,31	1	-0,04	-0,46	0,84	0,2	0	0,44
458	1936	60	0,45	0,84	0,24	0	0,22	1	1,91	0,22	-0,5	0,03	0	0,25
180	1932	66	0,24	0,31	0,41	1	0,36	1	1,7	-0,25	0,37	0,25	1	0,47
564	1939	61	0,37	0,12	-0,03	0	-0,02	0	3,63	0,7	0,13	-0,15	0	0,38
244	1918	83	0,29	0,51	0,42	1	0,45	1	1,07	-0,31	-0,04	0,28	2	0,21
269	1914	87	0,26	0,28	0,44	1	0,42	1	0,6	0,66	-0,76	0,15	0	0,54
279	1908	69	0,29	0,27	0,54	1	0,48	1	2,39	-0,73	0,91	0,07	0	0,42
176	1965	36	0,26	0,13	0,53	2	0,47	2				0,24	2	0,22
245	1965	36	0,22	0,11	0,36	2	0,32	2				0,04	0	0,03
267	1917	62	0,33	0,6	0,35	1	0,34	1	1,52	-0,45	-0,73	0,13	0	0,25
261	1916	86	0,36	0,51	0,2	0	0,17	0	1,28	-0,19	0,09	-0,03	0	0,25
279	1937	63	0,35	0,23	0,21	0	0,2	0	2,52	0,29	-0,09	0,07	0	0,16
387	1919	81	0,23	0,61	0,13	0	0,14	0	0,76	1,16	0,77	-0,07	0	0,26
434	1909	92	0,25	0,75	0,07	0	0,07	0	0,95	1	0,35	-0,02	0	-0,05
280	1861	112	0,09	-0,28	0,73	1	0,68	1	-1,41	0,55	1,75	0,58	1	0,5
288	1936	65	0,12	-0,13	0,82	1	0,75	1	2,61	0,07	-1,46	0,63	1	0,53
689	1906	95	0,27	0,41	0,25	0	0,25	0	0,54	0,54	0,88	0,15	0	0,43
508	1962	39	0,36	0,31	0,58	1	0,5	1	-0,36	1,08	-0,24	0,49	1	0,62
503	1906	95	0,28	0,34	0,39	2	0,36	2	1,07	0,84	1,01	0,29	2	0,54
432	1928	45	0,37	0,7	0,35	2	0,31	2	-0,93	2,06	-0,13	0,17	0	0,17
633	1918	79	0,43	0,73	0,3	1	0,3	1	-1,7	0,39	0,53	0,26	1	0,53
802	1916	84	0,45	0,66	0,33	1	0,33	1	0,78	1,22	-0,6	0,14	0	0,14
115	1926	71	0,86	1,7	0,18	0	0,25	0	0,01	0,5	0,07	0,24	0	0,34
634	1903	98	0,2	0,58	0,08	0	0,06	0	2,04	1,07	-0,04	-0,04	1	0,16
552	1927	74	0,19	0,31	-0,11	0	-0,11	0	0,55	1,31	0,79	0,14	0	0,05
367	1947	54	0,21	0,46	-0,04	0	-0,01	0	1,8	-0,12	-1,09	0,23	1	-0,01
549	1911	70	0,22	0,55	0,17	0	0,19	0	1,67	0,02	-0,4	0,11	0	0,37
646	1929	72	0,21	0,57	0,24	0	0,26	0	0,9	0,45	-0,41	0,03	0	0,1
566	1924	77	0,23	0,15	0,34	1	0,32	1	1,12	0,78	-0,36			
594	1929	72	0,2	0,15	0,27	0	0,28	1	1,39	1,04	-0,94	0,04	0	0,19
585	1929	72	0,27	0,29	0,25	0	0,22	0	1,12	0,59	-0,1	-0,07	0	0,1

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Hudson	GreenIsland,NY	5	42,752	-73,689	20953	12,710
Delaware	TrentonNJ	5	40,222	-74,778	17560	10,293
Schuylkill	Pottstown,PA	5	40,242	-75,652	2971	1,684
Susquehanna	Harrisburg,PA	5	40,255	-76,886	62419	30,300
Susquehanna	Conklin,NY	5	42,035	-75,803	5781	3,167
Susquehanna	Unadilla,NY	5	42,322	-75,317	2543	1,353
Chenango	Chenango Forks,NY	5	42,218	-75,848	3841	2,119
Chemung	Chemung,NY	5	42,002	-76,635	6491	2,267
Potomac	Washigton,DC	1	38,950	-77,128	29940	10,279
Potomac	Hancock,MD	1	39,698	-78,178	10593	3,637
Potomac	Paw Paw,WVAval	1	39,539	-78,456	8104	2,918
Potomac	Springfield,WV(SouthBranch)	1	39,447	-78,654	3849	0,907
Shenandoah	Front Royal,VA(SouthFork)	1	38,914	-78,211	4253	1,391
Rappahannock	Fredericksburg,Vuence	1	38,309	-77,529	4134	1,474
James	Richmond,VA	1	37,563	-77,547	17503	6,119
Roanoke	Roanoke Rapids,NC	4	36,461	-77,635	21715	7,149
Tar	Tarboro,NC	1	35,894	-77,533	5654	1,790
Deep	Moncure,NC	1	35,627	-79,116	3714	1,266
Cape Fear	Lillington,NC	4	35,406	-78,813	8972	2,960
Cape Fear	Tarheel,NC	5	34,835	-78,824	12567	4,271
Pee Dee	Pee Dee,SC	4	34,204	-79,548	22870	8,693
Little Pee Dee	Galivants Ferry,SC	5	34,057	-79,247	7226	2,751
Yadkin	Salisbury,NC	5	35,720	-80,390	8936	4,321
Yadkin	Yadkin College,NC	5	35,857	-80,387	5905	2,609
Rocky	Norwood,NC	1	35,149	-80,176	3554	1,174
Broad	Carlisle,SC	4	34,596	-81,422	7226	3,481
Ogeechee	Eden,GA	1	32,192	-81,416	6864	2,036
Savannah	Clyo,GA	4	32,528	-81,269	25512	10,300
Broad	Bell,GA	1	33,974	-82,770	3704	1,440
Altamaha	Doctortown,GA	5	31,655	-81,828	35224	11,970
Satilla	Atkinson,GA	1	31,221	-81,867	7226	1,974
StJohns	Deland,Fn,MO	2	29,008	-81,383	7951	2,718
Kissimmee	Okeechobee,FLA	2	27,226	-80,927	7475	1,497
Bogue Chitto	Bush,LA	1	30,629	-89,897	3142	1,777
Pearl	Bogalusa,LA	5	30,793	-89,821	17024	8,915
Pearl	Monticello,MS	5	31,554	-90,088	12932	5,914
Pearl	Jackson,MS	4	32,281	-90,179	8213	2,972
Pascagoula	Merrill,MS	1	30,978	-88,724	17068	8,799

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
607	1946	51	0,23	0,45	0,46	2	0,45	3	1,58	0,75	-1,78	0,01	0	0,2
586	1913	88	0,23	0,23	0,22	0	0,23	0	-0,94	1,37	1,18	-0,02	0	0,23
567	1928	73	0,27	0,25	0,24	0	0,23	0	0,58	1,55	0,32	0,13	0	0,19
485	1911	90	0,23	0,6	0,07	0	0,08	0	0,11	1,36	0,23	-0,02	0	0,1
548	1913	88	0,22	0,43	-0,01	0	-0,02	0	-1,08	1,43	1,13	-0,16	0	0,13
532	1939	56	0,22	0,68	0,2	0	0,15	0	0,51	-0,43	0,5	-0,03	0	0,3
552	1913	88	0,21	0,44	-0,01	0	-0,04	0	-0,84	1,35	-0,01	-0,09	0	-0,01
349	1904	97	0,28	0,58	0,03	0	0,04	0	0,32	0,83	0,31	-0,07	0	0,18
343	1931	71	0,34	1,32	0,11	0	0,1	1	1,31	1,31	0,39	0,07	0	-0,01
343	1933	69	0,3	1,05	0,1	0	0,1	0	1,04	1,42	0,12	0,06	0	0,04
360	1939	63	0,29	1,36	0,11	0	0,15	0	2,13	1,53	-0,12	0,11	0	0,13
236	1929	72	0,35	1,25	0,11	0	0,15	0	1,15	1,03	-0,16	0,11	0	0,16
327	1931	70	0,35	0,92	0,13	0	0,1	0	1,04	1,2	-0,12	-0,11	0	0,15
357	1908	93	0,36	0,86	0,13	0	0,14	0	-0,53	1,23	1,23	0	0	0,05
350	1935	66	0,34	0,64	0,26	0	0,21	0	1,51	1,05	-1,36	-0,16	0	0,17
329	1912	90	0,28	0,12	0,24	0	0,2	0	-0,26	2,38	-0,63	0,19	1	0,13
317	1902	70	0,34	0,32	0,17	0	0,14	0	-0,39	1,16	-1,72	0,06	0	0,11
341	1931	71	0,34	0,17	0,13	0	0,13	0	-0,28	1,13	-0,49	-0,02	0	0,03
330	1924	78	0,33	0,26	0,12	0	0,11	0	-0,18	0,74	-0,69	-0,05	0	0,15
340	1938	64	0,3	-0,02	0,16	0	0,13	0	0,21	1,42	-1,81	-0,08	0	0,02
380	1939	62	0,28	-0,01	0,32	1	0,25	1	1,51	1,54	-1,62	0,05	0	0,25
381	1942	59	0,33	0,19	0,44	1	0,41	1	-0,05	-0,89	-1,32	0,26	0	0,04
483	1900	26	0,25	0,83	0,08	0	0	0				0	0	-0,08
442	1928	74	0,27	-0,08	0,34	1	0,3	1	0,59	1,85	0,98	0,14	2	0,3
330	1929	73	0,37	0,39	0,12	0	0,13	1	0,77	0,6	-0,55	0,03	0	0,13
482	1939	61	0,24	-0,14	0,37	1	0,32	1	0,39	0,62	-1,49	0,02	1	0,34
297	1938	64	0,43	0,82	0,27	1	0,33	1	0,03	0,22	-1,3	0,12	0	0,17
404	1935	63	0,29	0,64	0,38	1	0,4	1	0,35	0,67	-1,25	0,1	1	0,68
389	1937	65	0,32	0,11	0,43	1	0,42	1	0,69	0,39	-0,6	0,08	1	0,34
340	1932	70	0,35	0,52	0,24	0	0,24	0	-0,06	0,34	-0,83	0,02	0	0,14
273	1930	72	0,53	0,45	0,27	2	0,26	2	0,63	0,52	-0,74	0,21	0	0,09
342	1934	67	0,37	0,97	0,12	0	0,13	0	-1,26	-0,1	0,14	0,12	0	0,11
200	1928	73	0,62	1,35	0,38	2	0,34	2	-1,97	-1,26	-0,69	0,16	0	0,66
566	1938	62	0,34	0,33	0,22	0	0,19	0	1,96	-0,29	-0,43	-0,1	0	0,53
524	1939	42	0,4	0,57	0,45	2	0,33	2	0,82	1,25	-0,38	0,17	1	0,38
457	1939	63	0,42	0,73	0,22	0	0,14	0	1,86	0,85	0,05	-0,04	0	0,19
362	1929	73	0,46	1	0,14	0	0,05	0	0,87	1,2	-0,15	-0,07	0	0,31
516	1933	69	0,35	0,72	0,24	0	0,17	0	0,97	-0,06	-0,15	-0,01	0	0,19

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Chikasawhay	Leakesville,MS	1	31,148	-88,564	6967	3,384
Leaf	Mc Lain,Ms	1	31,103	-88,806	9052	4,725
Alabama	Claiborne,ALA	4	31,547	-87,513	56895	59,686
Tallapoosa	Wadley,Aegni	4	33,117	-85,561	4338	2,250
Tombigbee	Coatopa,al	5	32,520	-87,878	39847	20,900
Tombigbee	Columbus,MS	5	33,490	-88,424	11559	4,265
Escambia	Century,FLA	5	30,965	-87,234	9886	5,560
Apalachicola	Chattahoochee,FLuence	4	30,701	-84,859	44548	19,516
Flint	Bainbridge,GA	5	30,912	-84,580	19606	5,134
Flint	Montezuma,GA	1	32,298	-84,044	7511	2,474
Flint	Culloden,GA	1	32,721	-84,233	4792	1,794
Choctawhatchee	Bruce,FLor	1	30,451	-85,898	11355	6,108
Choctawhatchee	Caryville,FLA	1	30,776	-85,828	9062	4,730
Ochlockonee	Havana,Fn,MO	5	30,554	-84,384	2953	0,919
Suwannee	Branford,FLA	2	29,956	-82,928	20409	6,130
Santa Fe	Fort White,FLA	5	29,849	-82,715	2634	1,369
Withlacoochee	Holder,Fn,MO	2	28,989	-82,350	4714	0,879
Peace	Arcadia,FLA	6	27,222	-81,876	3541	0,940
Nueces	Marthis,TX	4	28,038	-97,860	43149	0,616
Nueces	Three Rivers,TX	4	28,428	-98,178	39956	0,671
Nueces	Tilden,TX	1	28,309	-98,557	20961	0,594
Guadalupe	Victoria,TX	5	28,793	-97,013	13463	1,747
Guadalupe	Spring Branch,TX	1	29,861	-98,384	3406	0,412
Colorado	Wharton,TX	4	29,309	-96,104	108788	2,410
Colorado	Ballinger,TX	4	31,733	-99,954	42510	0,279
Llano	Llano,TX	1	30,751	-98,670	10870	0,378
Llano	Mason,TX	1	30,661	-99,109	8410	0,239
Llano	Junction,TX	1	30,504	-99,735	4805	0,486
San Saba	San Sana,TX	5	31,213	-98,720	7889	0,481
Middle Concho	Tankersley,TX	1	31,377	-100,614	6871	2,331
Middle Concho	Above Tankersley,TX	1	31,427	-100,711	5398	0,906
Brazos	Richmond,TX	5	29,583	-95,758	116827	6,940
Brazos	Aquilla,TX	4	31,812	-97,298	70562	1,449
Brazos	South Bend,TX	5	33,024	-98,644	58723	0,773
Brazos	Seymour,TX	1	33,581	-99,268	40243	0,438
Salt Fork Brazos	Aspermont,TX	5	33,334	-100,238	13287	1,017
DMF_Brazos	Near Aspermont,TX	5	33,008	-100,181	22782	0,501
North Bosque	Clifton,TX	1	31,786	-97,568	2507	0,293



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
486	1939	63	0,39	0,52	0,25	0	0,19	0	1,3	0	-0,48	-0,04	0	0,25
522	1940	62	0,37	0,51	0,23	0	0,18	0	1,18	-0,23	-0,53	-0,03	0	0,24
522	1938	44	0,24	0,33	0,2	0	0,21	1	-0,23	-0,34	0,3	0,03	0	0,09
519	1924	77	0,3	0,36	0,28	1	0,29	1	1,51	1,03	0,81	0,1	0	0,03
524	1929	72	0,34	0,54	0,21	0	0,2	0	1,28	0,84	-0,03	0,11	0	0,32
369	1929	52	0,36	0,36	0,33	1	0,3	1	1,21	-1,23	-0,89	0,29	1	0,5
562	1935	65	0,35	0,71	0,24	0	0,28	2	0,72	-0,01	-0,98	0,06	0	0,08
438	1929	72	0,3	0,43	0,28	1	0,3	2	0,4	-0,45	-0,1	0,14	1	0,3
262	1929	39	0,33	0,55	0,39	2	0,35	1				0,18	1	0,32
329	1931	71	0,3	0,37	0,3	1	0,35	1	-0,47	-0,66	-0,27	0,2	1	0,28
374	1942	60	0,3	0,35	0,27	0	0,29	1	-0,84	0,15	0,53	0,08	0	0,23
538	1931	70	0,34	0,36	0,3	1	0,31	1	-0,16	0,27	0,19	0,1	1	0,06
522	1929	70	0,35	0,31	0,25	1	0,24	1	0,61	0,71	-0,28	0,16	3	0,07
311	1928	72	0,52	0,73	0,26	1	0,3	2	1,09	0,22	-0,53	0,25	1	0,02
300	1932	69	0,46	0,68	0,28	1	0,31	3	0,32	-0,43	-1,7	0,17	0	0,32
520	1932	68	0,32	0,65	0,37	1	0,36	2	-0,81	-0,49	-1,01	0,19	3	0,57
186	1932	67	0,55	1,8	0,4	3	0,34	3	-2,05	0,16	-1,01	0,24	2	0,37
265	1933	67	0,53	1,25	0,22	0	0,18	0	-2,63	-0,03	0,81	0,05	1	0,23
14	1940	61	0,96	1,86	0,1	0	0,24	1	-0,91	-0,48	-0,74	0,38	1	0,63
17	1916	85	0,92	2	0,04	0	0,07	0	-0,99	-0,84	0,95	0,1	0	0,51
28	1943	58	0,94	1,96	-0,13	0	-0,23	0	-0,27	1,09	-0,66	-0,17	0	0,27
130	1935	66	0,65	1,14	0,22	0	0,3	1	1,52	0,22	-1,12	0,23	0	0,44
121	1923	78	0,79	1,65	0,27	0	0,38	1	1,64	0,08	-0,79	0,25	0	0,36
22	1939	62	0,72	1,53	0,18	0	0,23	0	0,41	-0,84	-0,71	0,17	0	0,6
7	1908	72	0,89	1,26	0,2	0	0,44	1	-2,9	0,27	2,3	0,37	1	0,45
35	1940	60	0,59	1,03	0,17	0	0,21	0	1,72	-0,74	-0,09	0,1	0	0,41
28	1968	26	0,45	0,47	-0,03	0	-0,11	1				-0,14	0	-0,14
40	1916	77	0,73	1,52	0,14	0	0,28	1	1,14	-1,72	-0,51	0,12	0	0,58
61	1916	78	0,9	2,65	0,08	1	0,18	1	-0,02	-0,26	0,6	0,06	0	0,33
339	1930	32	0,97	1,21	-0,1	0	0	0				0,09	0	0,09
168	1962	34	1,43	1,82	0,4	2	0,52	1				0,32	1	0,34
59	1908	78	0,6	0,96	0,12	0	0,11	0	-0,08	-0,5	-0,76	0,02	0	0,16
21	1958	25	0,48	0,38	0,08	1	0,02	0				-0,03	0	-0,01
13	1958	41	0,64	1,45	0,25	0	0,17	0	0,46	1,1	0,31	-0,04	0	0,23
11	1958	43	0,54	0,5	0,31	2	0,17	0	0,16	1,1	-0,47	0,18	0	0,3
77	1956	45	0,84	1,74	-0,02	0	-0,03	0	-0,39	0,91	0,93	0,02	0	0,12
22	1957	44	1,07	3,68	0,03	0	-0,02	0	-1,12	-0,05	0,08	-0,14	0	0,31
117	1924	66	0,81	1,47	0,17	0	0,14	0	-0,69	1,28	-1,16	0,03	0	0,28

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Frio	Derby, TX	1	28,737	-99,145	8881	0,954
Trinity	Romayor, TX	4	30,425	-94,851	44512	6,941
Elm Fork Trinity	Carrollton, TX	4	32,966	-96,944	6369	0,771
Neches	Evadale, TX	4	30,356	-94,093	20593	6,241
Neches	Rockland, TX	5	31,025	-94,399	9417	2,108
Neches	Neches, TX	4	31,892	-95,431	2966	0,691
Sabine	Ruliff, TX	4	30,304	-93,744	24162	7,423
Calcasieu	Kinder, Lor	1	30,503	-92,915	4403	2,335
Pecos	Lake Arthur, NM	5	32,988	-104,323	38228	0,262
Pecos	Below Sumner Dam, NM	4	34,604	-104,388	11370	0,182
Pecos	Puerto De Luna, NM	5	34,730	-104,525	10282	0,184
Pecos	Girvin, TX	5	31,113	-102,417	76560	0,062
Rio Grande	Laredo, TX	5	27,500	-99,500	352178	3,360
Rio Grande	Below Cab	4	32,885	-107,293	79513	0,830
Rio Grande	Otowi Bridge, NM	5	35,875	-106,142	37037	1,351
Rio Grande	Taos, NM	4	36,320	-105,754	25201	0,674
Colorado	Yuma Main Canal, AZ	4	32,732	-114,632	618715	2,124
Gila	Redrock, NM	1	32,727	-108,676	7327	0,723
Salt	Chrysofile, AZ	1	38,798	-110,500	7379	0,682
Verde	Horsehoe Dam, AZ	1	34,073	-111,716	15175	0,640
Colorado	Lees Ferry, AZ	4	36,865	-111,588	289562	14,000
Colorado	Cisco, UTAH	5	38,811	-109,293	62419	6,367
Little Colorado	Cameron, AZ	6	35,926	-111,567	68529	0,951
Little Colorado	Woodruff, AZ	1	34,783	-110,044	20907	0,050
Green	Green River, UTAH	4	38,986	-110,151	116162	5,445
San Juan	Bluff, UTAH	5	37,147	-109,865	59570	1,949
Yampa	Maybell, CO	5	40,503	-108,030	8832	1,388
Virgi	Littlefield, AZ	1	36,892	-113,924	13183	0,299
San Francisco	Clifton, AZ	5	33,050	-109,296	7164	0,277
КАНАДА						
Alsek	Above Bates River, BC	3	60,119	-137,974	16200	6,920
Dezadeash	Haines Junction, Yt	2	60,748	-137,505	8500	1,372
Aishihik	Below Aishihik Lake, YT	2	61,184	-136,990	2960	0,288
Taku	Tulsequah, BC	3	58,640	-133,540	15500	9,228
Stewart	Mayo, UT	1	63,590	-135,890	31598	12,050
Stewart	At The Mouth, UT	1	63,282	-139,249	51000	14,668
Mcquesten	Near The Mouth, UT	1	63,611	-137,269	2870	1,185

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
130	1919	82	1,45	2,37	0,28	0	0,44	1	-0,27	-1,26	-0,91	0,39	1	0,21
156	1925	76	0,52	0,44	0,26	0	0,23	0	0,69	-0,06	0,37	-0,01	0	0,32
121	1919	82	0,74	0,78	0,22	0	0,22	0	-0,06	0,5	-0,4	0,09	0	0,65
303	1908	79	0,5	0,16	0,24	0	0,22	0	-0,59	0,66	0,27	0,11	0	0,65
224	1919	82	0,53	0,3	0,28	0	0,27	0	0,05	0,01	0,03	0,13	0	0,39
233	1939	62	0,61	1,55	0,21	1	0,26	1	-0,32	-0,14	0,05	0,11	1	0,32
307	1925	76	0,45	0,29	0,19	0	0,17	0	-1,01	0,37	0,09	0,02	0	0,4
530	1962	27	0,42	0,61	0,21	0	0,08	0				0	0	-0,05
7	1943	58	0,36	0,55	0,24	0	0,25	0	0,19	-0,86	1,84	0,11	0	0,28
16	1927	74	0,51	4,16	0,41	1	0,24	0	-0,74	-0,04	-0,53	-0,05	0	0,67
18	1942	59	0,38	1,73	0,03	1	0,04	3	0,7	-0,64	1,02	0,1	2	0,43
1	1943	59	0,75	3,21	0,36	1	0,52	1	-0,21	-0,09	-0,97	0,24	1	0,64
10	1901	64	0,51	0,88	0,39	1	0,29	1	-2,4	-0,09	0,4	0,04	0	0,58
10	1938	63	0,39	1,49	0,59	1	0,78	1	0,39	-0,5	0,15	0,48	1	0,73
37	1914	82	0,46	0,52	0,25	0	0,21	0	-0,25	-1,37	0,3	0,17	0	0,31
27	1925	76	0,49	0,72	0,17	0	0,14	0	-0,13	-0,17	0,07	0,15	0	-0,12
3	1964	38	1,42	2,45	0,76	1	0,69	1				0,58	2	0,66
99	1964	37	0,61	0,7	0,19	0	0,19	0				0	0	0,09
92	1925	77	0,62	1,3	0,09	0	0,05	0	1,3	0,97	0,41	-0,07	0	0,42
42	1946	56	0,74	1,9	0,07	0	-0,01	0	0,99	1,2	-0,06	-0,05	0	0,41
48	1922	80	0,36	0,46	0,41	1	0,37	1	-1,31	-0,1	1,26	0,6	1	0,61
89	1919	80	0,37	0,42	0,34	1	0,29	1	-0,61	0,95	0,59	0,29	1	0,45
14	1948	54	1,01	2,19	-0,05	0	0	1	-0,42	-0,46	-0,39	-0,03	0	0,06
2	1936	66	0,74	1,31	0,14	0	0,1	0	-0,32	0,65	1,95	-0,03	0	0,42
47	1905	97	0,36	0,49	0,37	1	0,36	1	-1,78	-0,04	0,93	0,32	1	0,66
33	1919	74	0,5	1,07	0,06	0	0,07	0	-0,04	-0,85	0,72	0,15	0	0,32
157	1917	84	0,34	0,48	0,27	1	0,26	1	-0,19	1,07	0,05	0,24	1	0,35
23	1930	71	0,57	1,6	0,03	0	0,19	0	0,32	1,28	0,15	0,03	0	0,43
39	1928	66	0,77	1,66	0,19	0	0,21	0	1,75	-0,03	0,25	0,15	0	0,26
427	1977	25	0,18	1,05	0,51	1	0,42	1				0,33	2	0,19
161	1953	44	0,2	0,49	0,24	0	0,25	0	0,13	0,2	0,64	-0,02	0	0,61
97	1981	21	0,45	0,5	0,53	1	0,38	1				0,27	1	0,38
595	1966	22	0,14	0,1	-0,05	0	-0,04	0				-0,39	2	-0,41
381	1958	22	0,2	0,74	-0,08	0	-0,2	0				-0,3	1	0,1
288	1964	38	0,19	0,94	0,01	1	-0,07	1				0,03	1	0,02
413	1979	23	0,21	0,71	0,23	2	0,17	2				0,36	1	0,13

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Yukon	Dawson,Uuar	1	64,070	-139,430	264000	70,200
Klondike	Above Bonanza Creek	1	64,043	-139,408	7800	2,017
Yukon	Above White River	5	63,084	-139,494	149961	38,100
White	Km1881.6Alaska Highway	6	61,987	-140,553	6240	3,446
Kluane	Outlet Of Kluane Lake	2	61,427	-139,049	4950	2,373
Yukon	Carmacks	6	62,096	-136,272	81800	24,200
Big Salmon	Near Carmacks	2	61,873	-134,833	6760	2,103
Pelly	Pelly Crossing	6	62,830	-136,581	49000	12,400
Pelly	Below Vangorda Creek	6	62,222	-133,378	22100	6,293
Ross	Ross River	6	61,994	-132,378	7250	2,074
Teslin	Whitehorse	6	61,490	-134,780	36519	26,501
Teslin	Teslin	2	60,484	-133,302	30300	9,578
Swift	Swift River.BC	6	59,931	-131,768	3320	1,463
Atlin	Atlin	2	59,599	-133,813	6810	3,055
Yukon	Above Frank Creek	2	61,434	-135,188	30821	10,365
Yukon	Whitehorse	4	60,714	-135,043	19400	7,649
Takhini	NearWhitehorse	1	60,852	-135,739	6990	1,981
Stikine	Above Butterfly Creek	1	57,486	-131,750	36000	20,293
Stikine	Telegraph Creek	1	57,901	-131,154	29300	13,569
Stikine	Wrangell	3	56,708	-132,132	51593	49,794
Nass	Above Shumal Creek	1	55,264	-129,086	19200	25,703
Skeena	Usk	1	54,631	-128,432	42200	28,700
Babine	Babine	2	55,320	-126,630	6480	1,351
Bella Coola	Above Burnt Bridge Creek	1	52,422	-126,157	3730	2,898
Wannock	Outlet Of Owikeno Lake	1	51,679	-127,179	3940	10,000
Homathko	At The Mouth	1	50,985	-124,917	5720	8,865
Skeena	Above Babine River	1	55,716	-127,685	12400	11,200
Stuart	Near Fort St.James	1	54,416	-124,269	14600	4,035
Nechako	Vanderhoof	4	54,026	-124,008	22500	3,792
Nechako	Isle Pierre	4	53,960	-123,234	42500	8,837
Fraser	Shelley	1	54,011	-122,617	32400	25,618
Willow	Above Hay Creek	1	54,046	-122,373	2875	1,164
Salmon	Prince George	1	54,096	-122,678	4300	0,930
West Road	Cinema	1	53,311	-122,888	12400	1,187
Chilko	Near Redstone	2	52,070	-123,537	6940	3,002
Chilkotin	Below Big Creek	1	51,849	-122,653	19300	3,187
Fraser	Marguerite	1	52,530	-122,442	114000	46,100
Quesnel	Quesnel	1	52,844	-122,224	11500	7,580

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
266	1955	24	0,15	0,43	0,17	0	0,1	0				-0,09	0	0,15
259	1974	27	0,2	0,46	-0,31	1	-0,38	1				-0,07	1	-0,01
254	1966	36	0,14	0,25	0,35	1	0,33	1				0,25	1	0,31
552	1975	26	0,17	-0,32	-0,11	0	0	0				0,22	0	0,48
479	1964	32	0,17	-1,54	0,09	0	0,39	1						
296	1964	32	0,12	-0,27	0,09	0	-0,01	0				-0,2	1	0,53
311	1961	33	0,17	0,49	0,24	1	0,17	1				-0,09	2	0,33
253	1960	42	0,19	0,42	0,38	1	0,32	1	-0,34	0,42	0,39	0,24	1	0,33
285	1973	29	0,17	-0,16	0,36	1	0,34	1				0,24	1	0,23
286	1965	37	0,16	-0,16	0,27	1	0,28	1				0,21	1	0,1
726	1974	23	0,14	0,5	0,36	0	0,31	0				0,08	0	0,07
316	1955	39	0,17	-0,47	0,14	0	0,11	0				-0,22	0	0,36
441	1958	38	0,19	-0,06	0,28	1	0,23	1				-0,05	1	0,2
449	1951	47	0,15	0,07	0,44	1	0,38	1	1,95	0,47	1,3	0,12	0	0,55
336	1961	34	0,11	-0,38	0,46	1	0,39	1				-0,07	0	0,57
394	1944	58	0,13	0,26	0,34	1	0,3	1	0,41	0,29	1,08	0,11	0	0,81
283	1964	27	0,13	-0,89	-0,01	0	-0,09	0				-0,18	0	0,11
564	1972	23	0,11	-0,85	0,37	1	0,29	1				-0,34	1	0,02
463	1965	37	0,12	-0,55	0,19	0	0,2	0				-0,23	0	-0,15
965	1977	24	0,12	0,12	0,74	1	0,6	1				0,16	0	0,06
1339	1953	43	0,1	0,01	0,22	0	0,16	0	-0,62	0,03	1,65	0,03	0	0,13
680	1934	64	0,13	0,59	0	0	0,04	0	-0,8	-0,05	-1,97	-0,05	1	0,2
208	1945	28	0,24	0,57	0,21	0	0,17	1				0,06	0	0,49
777	1970	32	0,14	0,64	0	0	-0,06	1				0,03	0	0,03
2545	1940	36	0,12	0,98	0,25	0	0,12	0				0,2	0	0,07
1550	1982	20	0,11	-0,05	0,43	2	0,32	2				0,14	0	0,07
903	1971	25	0,11	0,24	-0,11	0	-0,1	0				0,09	0	-0,08
276	1949	52	0,21	0,4	0,15	0	0,15	0	-1,58	-0,01	-0,82	0,02	0	0,15
169	1924	46	0,49	0,93	0,56	1	0,51	2	-3,07	-1,66	0,61	0,28	1	0,52
208	1951	51	0,33	0,73	0,46	1	0,4	1	-3,03	-0,82	-1,34	0,18	0	0,53
791	1951	51	0,14	0,1	0,07	0	0,06	0	-1,56	0,43	-2,24	-0,03	0	0,13
405		24	0,22	0,45	-0,08	1	-0,11	0				-0,43	2	0,27
216	1957	38	0,27	0,73	0,11	0	0,05	0				0,08	0	0,47
96	1971	31	0,35	1	0,19	0	0,27	0				0,17	0	0,55
433	1966	36	0,16	0,98	0,42	1	0,36	1				0,29	1	0,04
165	1971	31	0,18	1,72	0,29	0	0,16	0				0,07	0	0,31
405	1963	39	0,18	0,86	0,25	0	0,15	0				-0,01	0	0,39
659	1946	56	0,14	0,5	-0,05	0	-0,06	0	0,57	0,14	-0,5	-0,09	0	0,1

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Quesnel	Likely	4	52,616	-121,571	5930	4,110
Clearwater	Outlet Of Clearwater Lake	2	52,139	-120,192	2950	4,360
Thompson	Spences Bridge	4	50,357	-121,394	54900	24,630
Nicola	Near Spences Bridge	1	50,330	-121,226	7280	0,687
Adams	Squilax	5	50,938	-119,654	3080	2,254
South Thompson	Chase	2	50,765	-119,740	16200	9,197
Fraser	Hope	1	49,381	-121,451	217000	85,500
Mackenzie	Fort Simpson	2	61,869	-121,357	1270000	231,900
Mackenzie	Arctic Red River	2	67,458	-133,745	1660000	286,289
Peel	Above Fort Mcpherson	1	67,249	-134,883	70600	21,200
Ogilvie	Km197.9Dempster Highway	1	65,363	-138,297	5410	0,968
Arctic Red	Near The Mouth	1	66,790	-133,082	18600	4,820
Notikewin	Manning	1	56,919	-117,618	4680	0,437
Camsell	Outlet Of Clut Lake	2	65,598	-117,760	31100	3,717
Johnny Hoe	Above Lac Ste.Therese	1	64,568	-121,743	17300	1,223
Root	Near The Musen Cree	1	62,480	-123,433	9840	3,236
South Nahanni	Above Clausen Creek	1	61,263	-124,070	33400	13,700
South Nahanni	Above Virginia Falls	1	61,636	-125,795	14600	7,285
Flat	Near The Mouth	1	61,530	-125,411	8560	2,999
Hyland	Near Lower Post	1	59,951	-128,151	9450	4,402
Dease	Mc Dame	1	59,189	-129,212	6940	3,337
Kechika	At The Mouth	1	59,615	-127,310	22700	7,418
Kechika	Above Boya Creek	1	59,098	-127,534	11200	4,433
Coal	At The Mouth	1	59,691	-126,951	9190	3,047
Liard	Lower Crossing	1	59,413	-126,097	104000	36,200
Liard	Near The Mouth	1	61,747	-121,224	275000	77,600
Liard	Above Beaver River	1	59,743	-124,476	119000	44,100
Liard	Above Kechika River	1	59,701	-127,228	61600	22,100
Liard	Upper Crossing	1	60,050	-128,900	33400	11,800
Frances	Near Watson Lake	1	60,474	-129,119	12800	5,030
Toad	Above Nonda Creek	1	58,856	-125,381	2570	1,360
Trout	Highway N0.1	6	61,140	-119,836	9270	1,098
La Martre	Below Outlet Of Lac La Martre	2	63,108	-116,974	13900	0,972
Snare	Bigspruce Lake	1	63,510	-116,000	15200	1,524
Muskwa	Near Fort Nelson	1	58,788	-122,659	20300	6,986
Fort Nelson	Above Muskwa River	1	58,671	-122,638	22800	4,284
Yellowknife	Inlet To Prosperous Lake	6	62,671	-114,263	11300	1,015
Cameron	Below Reid Lake	6	62,491	-113,523	3630	0,190

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
694	1948	54	0,15	0,24	0,12	0	0,11	0	-0,43	0,36	-1,67	-0,03	0	0,16
1476	1958	37	0,11	0,31	0,36	1	0,33	1				0,21	0	-0,04
449	1952	50	0,15	0,63	0,05	0	0,03	0	-1,2	1,16	2,23	0,16	0	0,12
94	1925	41	0,32	0,58	0,02	0	0,02	0	-1,21	-0,44	1,1	0,05	0	-0,05
732	1947	49	0,14	0,23	0,1	0	0,07	0	-0,53	1,03	0,98	0,22	0	0,11
568	1959	31	0,2	0,63	0	0	-0,04	0				0,03	0	0,18
394	1912	90	0,14	0,44	0,24	0	0,27	0	1,68	0,65	-1,39	0,19	0	0,48
183	1965	37	0,13	0,15	0,46	1	0,41	1				0,02	0	0,54
172	1973	25	0,14	0,3	0,41	1	0,39	1				-0,16	0	0,25
300	1972	29	0,19	0,09	-0,12	0	-0,11	0				0	0	0,59
179	1975	22	0,24	0,21	-0,49	1	-0,49	1				-0,26	1	0,4
259	1974	28	0,23	0,14	0,03	0	-0,04	0				0,2	1	0,73
93	1962	40	0,47	0,76	0,23	0	0,17	0	-1,02	-0,22	-0,7	0,06	0	0,14
120	1936	33	0,25	0,53	0,66	1	0,6	1				0,38	1	0,45
71	1970	21	0,32	0,04	0,31	1	0,14	0				0,04	1	-0,21
329	1975	21	0,35	0,51	-0,14	0	-0,12	0				-0,15	0	0,56
410	1973	23	0,12	0,47	0,51	1	0,4	1				0,01	0	0,49
499	1970	32	0,32	0,04	0,31	1	0,14	0				0,19	0	0,66
350	1973	29	0,18	0,01	0,24	0	0,18	0				-0,36	2	0,45
466	1966	28	0,16	0,26	-0,05	0	-0,03	0				-0,04	0	0,17
481	1964	30	0,14	-0,71	-0,02	0	-0,04	0				-0,5	2	-0,11
327	1967	23	0,11	-0,58	-0,08	0	-0,01	0				-0,36	1	-0,01
396	1968	27	0,11	-0,05	0,28	1	0,22	1						
332	1967	28	0,2	0,34	0,22	0	0,2	0				0,11	0	0,49
348	1965	36	0,13	-0,11	0,2	0	0,13	0				-0,21	0	0,32
282	1973	29	0,17	0,11	0,18	0	0,14	0				-0,23	1	0,59
371	1969	26	0,14	0,02	0,39	1	0,35	1				-0,24	1	0,51
359	1970	26	0,13	-0,36	0,11	0	0,04	0				-0,22	1	0,06
353	1961	41	0,16	0,1	0,33	1	0,32	1	-1,09	0,75	0,3	0,09	0	0,18
393	1967	35	0,17	0,23	0,25	0	0,13	0				0,24	1	0,41
529	1967	35	0,14	0,02	0,1	0	0,09	0				-0,34	1	0,41
118	1970	32	0,42	0,41	0,1	0	0,1	0				0,06	0	0,44
70	1977	25	0,35	0,38	0,88	1	0,73	1				0,63	1	0,6
200	1950	27	0,22	-0,32	-0,09	1	-0,18	2				-0,24	1	0,04
344	1965	37	0,2	0,44	0,19	0	0,23	0				-0,15	0	0,46
188	1979	23	0,46	1,6	0,28	0	0,13	0				-0,19	0	0,09
90	1941	40	0,39	0,43	0,54	1	0,47	1	0,24	1,62	0,9	0,32	1	0,19
52	1976	26	0,68	0,67	0,53	1	0,5	2				0,36	1	0,55

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Willowlake	Above Metahdali Creek	6	62,651	-122,900	20200	2,316
Slave	Fitzgerald(Alberta???)	2	59,872	-111,583	606000	104,500
Lockhart	Outlet Of Artillery Lake	2	62,895	-108,468	26600	4,068
Taltson	Outlet Of Tsu Lake	2	60,650	-111,947	58700	5,763
Thoa	NearInlet To HillIsland Lake	6	60,505	-109,000	649	1,344
Hay	Near Hay River	1	60,743	-115,858	52300	3,548
Peace	Peace Point	5	59,114	-112,426	293000	66,400
Peace	Near Taylor	5	56,136	-120,670	97100	46,200
Chinchaga	Near High Level	1	58,597	-118,333	10400	0,936
Buffalo	Highway No.5	2	60,712	-114,903	18500	1,552
Kakisa	Outlet Of Kakisa Lake	2	60,940	-117,422	15600	1,330
Finlay	Above Akie River	1	57,128	-125,250	16000	8,262
Finlay	Ware	1	57,420	-125,620	11100	6,017
Omineca	Above Osilinka River	1	55,919	-124,564	5490	2,809
Mesilinka	Above Gopherhole Creek	1	56,244	-124,643	2980	1,428
Ingenika	Above Swannel River	6	56,727	-125,111	4200	1,847
Nation	Near The Mouthouth	5	55,200	-124,233	6720	2,547
Nation	Near Fort James_	5	55,435	-123,616	4350	1,947
Pack	Outlet Of Mcleod Lake	2	54,996	-123,036	3690	1,338
Murray	Near The Mouth	1	55,556	-121,204	5620	2,621
Sukunka	Near The Mouth	1	55,543	-121,624	2510	1,695
Peace	Hudson Hopr	4	56,028	-121,899	70200	36,158
Halfway	Near Farrell Creek	1	56,230	-121,480	9400	2,434
Halfway	Near Farrell Creek	1	56,251	-121,628	9350	2,495
Beatton	Near Fort St.John	1	56,280	-120,700	15600	1,797
Pine	East Pine	1	55,720	-121,208	12100	6,227
Parsnip	Above Misinchinka River	1	55,078	-122,905	4900	4,610
Wapiti	Near Grande Prairie	1	55,072	-118,803	11300	2,779
Peace	Peace River	5	56,245	-117,313	186000	57,560
Smoky	Watino	1	55,716	-117,622	50300	10,151
Smoky	Above Hells Creek	1	53,946	-119,161	3840	2,802
Little Smoky	Near Guy	2	55,457	-117,161	11100	1,519
Athabaska	BelowMcmurray	1	56,781	-111,400	133000	20,168
Athabaska	Hinton	5	53,423	-117,571	9780	5,462
Athabaska	Entrance	5	53,370	-117,690	9530	6,224
Lesser Slave	Highway No.2A	2	55,290	-114,590	14400	1,625
Wabasca	Wadlin Lake Road	2	57,875	-115,389	35800	2,869
Birch	Below Alice Creek	1	58,322	-113,068	9860	1,186



СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
115	1975	21	0,42	0,12	0,37	1	0,3	1				0,02	0	0,58
172	1932	42	0,16	0,51	0,57	1	0,54	1	-0,57	-0,56	-0,58	0,38	1	0,64
153	1954	35	0,21	0,03	0,78	1	0,68	1				0,49	1	0,49
98	1962	20	0,37	0,62	0,68	2	0,61	1				0,48	2	0,64
152	1970	26	0,32	0,74	0,58	1	0,55	1				0,08	0	0,46
68	1964	38	0,5	0,79	0,4	1	0,39	1				0,08	0	0,56
227	1960	42	0,21	0,37	0,36	1	0,33	1	-0,37	-0,75	-1,17	0,36	1	0,62
476	1958	44	0,2	-0,74	0,26	0	0,09	0	0,36	-0,72	-1,73	0,39	1	0,51
90	1970	32	0,54	1,27	0	0	0	0				-0,05	0	0
84	1969	22	0,51	0,23	0,82	1	0,66	1				0,4	1	0,66
85	1964	27	0,57	1,74	0,23	0	0,45	1				-0,13	0	0,63
516	1979	23	0,1	0,04	-0,14	0	-0,18	0				-0,46	1	-0,18
542	1961	23	0,12	-0,28	-0,12	0	-0,02	0				-0,13	0	0,19
512	1976	26	0,17	0,53	0,06	1	-0,03	0				-0,11	0	-0,41
479	1976	26	0,13	0,39	0,01	0	0	0				-0,16	0	0,07
440	1978	24	0,12	0	-0,05	1	-0,17	1				-0,32	1	-0,1
379	1981	21	0,21	0,87	-0,03	0	-0,25	0				-0,39	1	0,05
448	1972	21	0,21	0,54	-0,04	0	-0,06	0				-0,38	1	0,27
363	1981	21	0,18	0,17	-0,23	0	-0,34	1				-0,27	0	0,26
466	1978	24	0,2	0,13	0,14	0	0,11	0				0,17	0	-0,12
675	1978	24	0,17	0,56	-0,18	0	-0,12	0				-0,2	1	-0,16
515	1932	44	0,23	-1,12	0,28	0	0,07	0	0,86	-0,23	-1,59	0,48	1	0,42
259	1965	29	0,3	0,86	-0,19	2	-0,32	2				-0,41	2	0,21
267	1965	37	0,31	0,9	-0,01	0	-0,07	0				-0,22	1	0,31
115	1966	36	0,43	1,31	0,02	0	-0,14	0				-0,09	0	0,3
515	1965	37	0,19	0,48	0,08	0	0,05	0				0,07	0	-0,17
941	1968	34	0,16	0,09	-0,15	0	-0,17	0				-0,18	0	-0,02
246	1920	41	0,3	0,59	0,22	0	0,11	0	-1,88	-0,27	0,25	0,21	0	0,01
309	1934	44	0,19	-0,04	0,31	0	0,18	0	-0,21	-1,63	-1,39	0,42	1	0,57
202	1924	46	0,26	0,43	0,21	0	0,13	0	-2,01	-0,04	-0,77	0,17	0	0,18
730	1968	20	0,14	0,45	-0,28	0	-0,31	1				-0,47	1	-0,22
137	1965	37	0,44	0,52	0,21	1	0,24	1				0,02	0	0,42
152	1970	32	0,22	0,34	0,49	1	0,52	1				0,18	0	0,37
558	1962	40	0,13	0,47	0,04	0	-0,04	0	-0,45	0,94	0,23	0,08	0	0,53
653	1924	22	0,09	0,11	-0,12	0	-0,17	0				-0,16	1	0,1
113	1964	25	0,34	0,2	0,87	1	0,78	1				0,48	1	0,75
80	1971	31	0,62	1,11	0,43	2	0,37	2				0,42	1	0,34
120	1968	20	0,55	0,62	0,66	1	0,58	1				0,18	0	0,35

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Athabasca	Athabasca	1	54,722	-113,286	74600	13,755
Clearwater	Draper	2	56,685	-111,254	30800	3,438
Clearwater	Above Christina River	6	56,661	-110,928	17000	2,467
Clearwater	Outlet Of Lloyd Lake	2	57,331	-108,764	4250	0,722
Athabasca	Near Jasper	1	52,910	-118,057	3900	2,577
Mcleod	Above Embarras River	1	53,470	-116,629	2560	0,623
Mcleod	Near Wolf Creek	1	53,650	-116,280	6310	1,138
Pembina	Near Entwistle	1	53,605	-115,004	4430	0,613
Pembina	Jarvie	1	54,451	-113,992	13100	1,102
Fond Du Lac	Outlet Of Black Lake	2	59,147	-105,539	50700	9,603
Cree	Outlet Of Wapata Lake	2	58,858	-105,819	20700	3,852
Waterfound	Below Theriau Lake	2	58,386	-104,608	3160	0,673
Macfarlane	Outlet Of Davy Lake	2	58,967	-108,175	9120	1,699
Anderson	Below Carnwath River	6	68,632	-128,413	56300	4,805
Coppermine	Outlet Of Point Lake	2	65,414	-114,008	19300	3,515
Ellice	Near The Mouth	6	67,708	-104,140	16900	2,694
Back	Below Deep Rose Lake	2	66,080	-96,500	98200	15,161
Limestoneee	Near Bird	1	56,519	-94,206	3290	0,618
N. Saskatchewan	Edmonton	1	53,538	-113,484	28000	6,692
N..Saskatchewan	Below Bighorn Planke	4	52,310	-116,323	3890	2,393
N. Saskatchewan	Near Rocky Mountain House	4	52,381	-114,939	11000	4,592
Bow	Calgary	4	51,050	-114,050	7860	2,857
Bow	Near Seebye	4	51,119	-115,033	5170	2,382
Bow	Near The Mouth	4	50,046	-111,591	25300	2,758
Oldman	Near Brocket	1	49,558	-113,822	4400	1,171
Oldman	near Lethusen Cree	1	49,708	-112,875	17000	2,429
St.Mary	Iowa Cityusen Cree	5	49,573	-112,844	3530	0,477
Highwood	Near The Mouth	1	50,783	-113,820	3990	0,573
Moose Jaw	Near Burdick	1	50,400	-105,397	3470	0,099
Little Red Deer	Near The Mouth	1	52,078	-114,139	2560	0,137
Pembina	Below Crystal Creek	4	49,219	-99,028	4510	0,136
Pembina	Near Windygates	5	49,031	-98,278	7510	0,221
Qu'appelle	Below Craven Dam	4	50,706	-104,797	10400	0,139
Qu'appelle	Below Loon Creek	4	50,786	-104,289	36500	0,180
Qu'appelle	Near Welby	4	50,491	-101,558	50900	0,321
Rainy	Fort Frances	2	48,608	-93,400	38600	8,761
Rainy	Manitou Rapids	2	48,634	-93,913	50200	11,580
Whitemud	Westbourlet Of Lac	1	50,134	-98,583	6390	0,195

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
184	1946	50	0,23	0,97	0,15	0	0,16	0	-0,43	0,41	-0,61	0,02	0	0,33
112	1933	44	0,29	0,89	0,47	1	0,53	1	-2,59	0,31	0,83	0,39	1	0,17
145	1976	21	0,17	0,68	0,73	1	0,44	1				-0,19	0	0,42
170	1974	21	0,13	-0,76	0,81	1	0,59	1				0	0	-0,14
661	1933	31	0,12	0,69	-0,09	0	-0,16	0				-0,18	0	-0,04
243	1955	47	0,31	0,47	-0,09	0	-0,11	0	-0,4	0,28	-0,35	-0,18	0	0,03
180	1933	26	0,38	0,62	-0,08	0	-0,1	0				-0,16	0	0,09
138	1925	47	0,43	0,8	0,06	0	0,06	0	0,98	-0,42	-0,52	0,01	0	0,37
84	1961	41	0,49	0,91	-0,01	0	0,05	0	-0,89	-0,86	0,08	-0,12	1	0,36
189	1963	32	0,16	0,89	0,49	1	0,51	1				0,25	1	0,46
186	1975	20	0,11	0,19	0,63	1	0,44	1				-0,09	0	0,37
213	1975	27	0,16	0,37	0,45	1	0,36	1				0,28	1	0,26
186	1968	34	0,17	0,48	0,66	1	0,64	2						
85	1970	26	0,36	0,57	0,33	0	0,39	1				-0,03	0	0,35
182	1973	29	0,27	0,82	0,29	1	0,38	1				0,16	0	0,55
159	1971	26	0,28	0,6	0,69	1	0,59	1				0,37	1	
154	1965	32	0,18	0,69	0,59	2	0,53	2				0,11	0	0,51
188	1979	20	0,3	0,72	0,1	0	-0,02	0				0,19	0	0,15
239	1912	90	0,23	0,97	0,18	0	0,16	0	0,26	-0,87	-0,53	0,05	0	0,73
615	1973	29	0,12	0,51	0,31	1	0,22	1				0,3	1	0,4
417	1941	20	0,18	1,14	0,47	1	0,4	1				0,4	1	0,33
363	1953	48	0,16	0,18	0,15	1	0,12	1	-2,35	0,44	1,07	0,12	0	0,22
461	1963	23	0,15	0,42	0,17	1	0,16	1				0,05	1	-0,1
109	1965	37	0,34	0,12	0,28	2	0,23	2				0,25	1	0,1
266	1967	28	0,36	0,17	-0,06	0	-0,11	0				0,06	0	0,24
143	1950	44	0,48	0,18	0,28	1	0,25	1	-2,13	-0,34	0,91	0,29	1	0,52
135	1920	82	0,63	1	0,29	1	0,29	1	-1,85	0,53	0,1	0,25	1	0,3
144	1971	31	0,41	0,41	0,22	0	0,24	0				0,3	1	0,24
29	1972	30	1,28	1,32	0,12	0	0,25	0				0,19	0	0,78
54	1961	41	0,51	0,58	0,38	1	0,34	1	0,15	0,27	-0,15	0,33	1	0,25
30	1963	34	0,99	1,27	0,3	2	0,29	1				0,13	0	0,54
29	1962	32	0,96	1,35	0,14	0	0,16	0				-0,05	0	0,52
13	1939	47	1,02	1,36	0,44	1	0,56	1	0,65	-1,83	-0,96	0,36	1	0,6
5	1959	32	0,88	1,16	0,34	1	0,35	1				0,24	0	0,23
6	1956	28	0,88	1,02	0,52	1	0,48	1				0,3	1	0,51
227	1906	96	0,35	0,54	0,34	1	0,37	1	1,52	-0,73	-2,1	0,3	1	0,15
231	1929	73	0,31	0,3	0,3	1	0,3	1	1,67	0,03	-1,46	0,12	0	0,18
31	1973	29	0,82	1,27	0,07	1	0,29	1				-0,02	0	0,32

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
South Saskatchewan	Medecin Hat	5	50,043	-110,678	56500	5,960
Geikie	Below Weeler River	2	57,589	-104,203	7730	1,424
Battle	Chebansen	2	52,940	-109,870	25900	0,303
North Saskatchewan	Near Deer Creek	1	53,517	-109,611	57000	6,344
Swift Current Creek	Near Leinan	5	50,494	-107,659	3730	0,038
Bloodvein	Above Bloodvein Bay	6	51,703	-96,604	9090	1,420
Brazeau	Below Brazeau Planke	2	52,913	-115,364	5660	1,700
South Saskatchewan	Saskatoon	5	52,140	-106,643	141000	7,900
South Saskatchewan	St. Loulousperu	5	52,924	-105,806	148000	6,528
Burntwood	Near Thompson	2	55,744	-97,892	18500	16,600
Chukuni	Near Ear Falls	2	50,872	-93,483	4920	0,915
North Saskatchewan	Prince Albert	1	53,203	-105,768	131000	7,570
LongCreek	Near Estevan	4	49,104	-103,013	4840	0,027
Carrot	Turnberry	2	53,613	-102,104	12600	0,569
Swan	Minitonater LakeO	1	52,196	-101,060	4230	0,214
Saskatchewan	The Pass	2	53,842	-101,186	347000	19,800
Saskatchewan	Grand Rapids	2	53,164	-99,349	364000	15,010
Saskatchewan	Below Tobin Lake	4	53,703	-103,297	289000	13,700
Little Saskatchewan	Minnedosa	1	50,358	-99,900	2630	0,173
Red Deer	Near The Mouth	2	52,879	-101,043	14300	0,757
Red Deer	Drumheller	6	51,467	-112,711	24800	1,466
Red Deer	Red Deer	1	52,277	-113,816	11600	1,509
Red Deer	Erwood	5	52,860	-102,194	11000	0,527
Assiniboine	Brandon	5	49,872	-100,103	58700	1,061
Assiniboine	Kamsack	5	51,565	-101,916	13000	0,221
Assiniboine	Holland	5	49,698	-98,899	160000	1,802
Assiniboine	Miniota	5	50,111	-101,036	84700	0,841
Assiniboine	Portage La Prairie	5	49,936	-98,280	161000	2,275
Assiniboine	Russell	5	50,810	-101,436	19300	0,452
Souris	Wawanesa	5	49,601	-99,682	60300	0,398
Souris	Sherwood	5	48,990	-101,958	23100	0,115
Souris	Westhope	5	48,996	-100,958	43700	0,224
Grass	Wekusko Falls	2	54,789	-99,969	3290	0,279
Grass	Above Standing Stone Falls	2	55,743	-97,000	15400	2,079
Waterhen	Waterhen	2	51,853	-99,547	55100	2,461
Assiniboine	Headingley	5	49,869	-97,403	153000	1,497
Mossy	Below Outlet Of Dauphin Lake	2	51,450	-99,967	8700	0,352
Red Of The North	Emerson	5	49,008	-97,211	104000	3,445

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
120	1933	69	0,4	0,65	0,36	1	0,37	2	-1,79	0,18	-0,49	0,25	1	0,42
184	1967	35	0,24	1,13	0,75	1	0,48	1				0,1	0	0,61
12	1949	31	0,87	2,31	0,26	0	0,34	1				0,16	0	0,51
111	1939	32	0,2	0,2	0,02	0	-0,03	0				0,06	0	0,42
10	1973	29	0,85	1,74	0,23	0	0,01	0				-0,18	0	0,1
156	1976	26	0,39	0,29	0,02	0	0	0				-0,12	0	0,21
300	1962	40	0,24	0,58	0,07	0	0,06	0	-0,32	0,05	0,16	0,04	0	0,44
56	1912	77	0,41	0,94	0,5	1	0,46	1	-0,96	0,08	0,86	0,55	1	0,63
44	1959	38	0,33	-0,06	0,27	0	0,25	0				0,55	1	0,35
898	1958	44	0,72	-0,1	1,03	0	0,74	4	3,34	-0,12	-1,17	0,72	3	0,78
186	1963	39	0,35	0,29	0,18	0	0,16	0				-0,05	0	0,08
58	1945	57	0,26	1,34	0,07	0	0,23	1				-0,31	1	0,71
6	1949	43	1,63	2,29	0,31	1	0,32	2	-3,01	-0,25	-2,1	0,27	2	0,59
45	1966	36	0,52	0,39	0,4	1	0,3	1				0,25	1	0,23
51	1961	37	0,61	0,53	0,34	1	0,35	1				0,11	0	0,42
57	1942	60	0,27	0,88	0,45	1	0,44	1	-1,21	-0,01	-0,31	0,37	1	0,77
41	1933	36	0,25	0,09	0,32	1	0,28	1				-0,06	1	0,23
48	1964	38	0,25	0,24	0,19	0	0,14	2				0,17	1	0,23
66	1944	30	0,57	0,85	0,3	1	0,23	1				-0,08	0	0,46
53	1962	32	0,53	0,16	0,38	1	0,3	1				0,21	0	0,28
59	1950	25	0,38	1,03	0,31	1	0,3	1				0,21	1	0,3
131	1935	67	0,38	1,13	0,42	1	0,4	1	-0,61	-0,93	-0,38	0,26	1	0,41
48	1973	29	0,63	0,44	0,46	1	0,36	1				0,21	1	0,31
12	1913	89	0,74	1,16	0,48	1	0,45	1	-0,1	-1,23	-1,33	0,26	1	0,77
17	1957	45	0,91	1,93	0,26	0	0,22	0	0,24	-0,84	-0,03	0,09	0	0,56
11	1967	35	0,73	1,14	0,3	0	0,22	0				-0,04	0	0,47
10	1973	24	0,76	1,05	0,45	2	0,14	0				-0,02	0	0,3
14	1932	35	0,68	0,99	0,56	1	0,4	1				0,21	0	0,68
23	1942	51	0,73	1,44	0,52	1	0,38	1	-0,05	-0,84	-0,68	0,24	0	0,49
7	1954	48	1,22	1,97	0,31	1	0,3	1	-0,19	-0,61	0,05	0,08	0	0,59
5	1931	71	1,22	2,14	0,26	1	0,2	1	0,78	1,22	-1,01	0,18	1	0,62
6	1931	71	1,27	1,98	0,34	1	0,58	1	1,52	0,1	-1,96	0,52	1	0,62
85	1936	34	0,42	0,23	0,73	1	0,67	1				0,42	1	0,7
135	1960	25	0,3	0,26	0,59	1	0,5	1				0,14	0	0,24
45	1951	51	0,52	1,23	0,83	1	0,77	1	-0,27	-1,22	-0,41	0,66	1	0,63
10	1913	89	0,63	0,96	0,46	1	0,42	1	-0,22	-0,92	-1,57	0,21	0	0,77
41	1966	36	0,7	0,67	0,13	0	0,06	0				-0,16	0	0,21
33	1913	89	0,72	1,11	0,56	5	0,62	1	1,98	0,29	-1,19	0,27	1	0,79

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ	СТОК
Red Of The North	Lockport	5	50,108	-96,932	278000	7,644
RedR.Of The North	Ste.Agathe	5	49,554	-97,185	115000	5,256
Roseau	Dominion City	5	49,189	-96,996	5150	0,360
Nelson	Above Bladder Rapids	2	54,775	-97,931	1000000	70,100
Nelson	Kelsey Generating Station	4	56,039	-96,525	1010000	68,514
Poplar	Outlet O fWeaver Lake	2	52,778	-96,753	6790	1,023
Whitemouth	Whitemouth	2	49,939	-95,956	3700	0,449
Winnipeg	Slave Falls	2	50,225	-95,571	126000	27,100
Winnipeg	Below Lake Of The Woods	2	49,783	-94,514	70400	13,700
Odei	Thompson	2	55,996	-97,356	6130	1,036
Turtle	Mine Centre	2	48,850	-92,725	4870	1,180
Namakan	Outlet Of Lac La Croix	2	48,383	-92,178	13400	3,421
Seine	Sturgeon Falls Generating St.	4	48,744	-92,285	5880	1,380
English	Umfreville	2	49,875	-91,458	6230	1,813
English	Ear Falls	2	50,633	-93,208	26400	6,850
Torch	Near Love	4	53,588	-104,161	4650	0,291
Wabigoon	Quibell	2	49,956	-93,397	6370	1,403
Dubawnt	Outlet Of Marjorie Lake	2	64,264	-99,594	67300	11,900
Aux Melezes	En Amont De La Riviere Du Gue	4	57,258	-71,080	8830	3,162
Caniapiscau	Chute De La Pyrite	2	57,430	-69,250	86800	39,386
Thelon	Above Beverly Lake	6	64,530	-101,362	65300	9,757
Attawapiskat	Below Muketei Rive	2	53,092	-85,008	36000	11,005
Kazan	Above Kazan Falls	2	63,653	-95,852	72300	14,000
Seal	Below GreatIsland	2	58,892	-96,275	48100	10,900
South Seal	Above Fox Lake	2	58,143	-98,228	13000	2,544
North Seal	Below Stony Lake	2	58,844	-98,289	18400	4,020
Beaver	Cold Lake Reserve	5	54,354	-110,217	14500	0,609
Churchill	Above Granville Falls	2	56,150	-100,458	228000	24,500
Churchill	Above Leaf Rapids	2	56,494	-100,049	244000	27,300
Churchill	Sandy Bar	2	55,523	-102,318	212000	21,600
Churchill	Patuanak	2	55,925	-107,728	78700	3,740
Wathaman	Below Wathaman Lake	2	57,089	-103,711	10200	1,876
Haultain	Above Norbert River	6	56,244	-106,561	3680	0,557
Canoe	Beauval	2	55,408	-108,040	4730	0,300
Dore	Near The Mouthouth	2	54,930	-107,744	2960	0,094
Beaver	Below Waterhen River	6	54,819	-107,811	45000	1,500
Beaver	Dorintosh	2	54,296	-108,604	20500	1,188
Island Lake	NearIsland Lake	2	54,059	-94,659	14000	2,669

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
28	1963	39	0,52	0,3	0,54	1	0,45	1				0,13	0	0,73
46	1960	42	0,56	0,37	0,5	1	0,39	1	0,71	0,47	2,55	0,15	0	0,71
70	1948	48	0,62	0,45	0,26	2	0,27	2	-0,85	0,01	0,31	0,16	0	0,3
70	1959	32	0,26	0,14	0,53	1	0,48	1				0,24	0	0,62
68	1961	41	0,25	0,21	0,66	1	0,64	1	-0,93	-0,58	0,74	0,43	1	0,57
151	1968	29	0,46	1,12	0,18	2	-0,07	0				-0,22	0	0,5
121	1956	46	0,53	0,38	0,45	1	0,41	1	-0,16	1,05	1,97	0,19	0	0,43
215	1907	95	0,32	0,59	0,38	1	0,39	1	2,23	0,65	-0,49	0,15	0	0,35
194	1893	109	0,36	0,34	0,31	1	0,33	1	1,27	0,11	-1,96	0,12	0	0,34
169	1979	23	0,31	0,35	0,15	0	0,09	0				-0,2	0	-0,11
242	1921	59	0,37	0,69	0,37	1	0,37	1	1,53	-0,93	0,22	0,04	0	0,41
255	1922	80	0,3	0,18	0,35	1	0,32	4	1,96	-0,85	-2,09	0,22	3	0,27
235	1963	39	0,29	-0,04	0,26	0	0,22	0				-0,09	0	0,19
291	1922	80	0,34	0,37	0,23	0	0,24	0	1,55	0,23	-0,07	-0,03	0	0,42
259	1907	88	0,31	0,56	0,44	1	0,45	1	3,39	0,39	0,19	0,31	4	0,27
63	1972	27	0,74	1,51	0,65	2	0,52	2				0,49	2	0,29
220	1954	48	0,35	0,4	0,29	1	0,31	1	-0,92	1,41	-0,72	0,09	0	0,55
177	1969	27	0,19	0,33	0,92	0	0,78	1				0,26	1	0,77
358	1963	23	0,14	0,44	0,07	0	-0,02	0				-0,05	0	0,15
454	1962	36	0,36	0,14	0,95	0	0,68	2				0,54	2	0,8
149	1971	26	0,37	0,34	0,86	2	0,65	2				0,56	2	0,51
306	1968	27	0,33	0,31	0,22	0	0,15	0				0,2	0	0,37
194	1972	25	0,16	-0,12	0,12	0	-0,04	0				0,06	0	0,15
226	1955	42	0,24	0,76	-0,03	0	-0,12	0	0,44	0,47	-0,2	-0,05	0	0,12
196	1975	22	0,3	0,22	-0,22	1	-0,37	1				-0,55	2	0,05
219	1973	21	0,25	0,39	0,05	0	0,04	0				0,3	1	0,07
42	1956	46	0,77	1,16	0,42	1	0,6	1	-3,02	0,61	0,77	0,44	1	0,59
108	1952	28	0,16	-0,03	0,69	1	0,6	1				0,37	1	0,33
112	1974	28	0,21	0,49	0,8	1	0,68	1				0,45	1	0,82
89	1929	73	0,25	0,05	0,77	1	0,73	1	0,29	-1,02	-0,41	0,65	1	0,65
48	1973	22	0,66	1,85	0,87	1	0,9	1				0,84	1	0,85
184	1976	26	0,35	0,77	0,51	1	0,24	1				-0,04	1	0,17
151	1971	31	0,27	0,21	0,37	1	0,25	0				-0,07	0	0,41
63	1976	26	0,52	0,05	0,75	1	0,7	1				0,48	1	0,51
32	1979	23	0,53	0,18	0,74	1	0,62	1				0,18	0	0,78
33	1971	26	0,72	1,91	0,75	1	0,75	1				0,66	1	0,57
58	1952	26	0,8	1,63	0,61	1	0,71	2				0,55	1	0,75
191	1933	32	0,3	0,36	0,22	0	0,24	1				-0,08	0	0,2

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОС.	СТОК
Gods	Below Allen Rapids	2	55,026	-93,836	25900	4,965
Severn	Outlet Of Muskrat Dam Lake	4	53,491	-91,515	36500	8,410
Cat	Below Wesleyan Lake	2	51,167	-91,597	5390	1,403
Pipestone	Karl Lake	2	52,581	-90,189	5960	1,767
Pineimuta	Eyes Lake	2	52,308	-88,754	4900	1,626
Asheveig	Straight Lake	2	53,717	-87,944	7950	2,299
Shamattawa	Outlet Of Shamattawa Lake	2	54,283	-85,650	4710	1,186
Attawapiskat	Below Attawapiskat Lake	2	52,088	-87,078	24200	7,690
Ogoki	Above Whiteclay Lake	2	50,867	-88,931	11200	3,371
Kabinakagami	Highway No.11	2	49,740	-84,100	3780	1,498
Abitibi	Abitibi Canyon	2	49,882	-81,567	22900	9,527
Albany	Near HatIsland	2	51,331	-83,839	118000	30,200
Missinaibi	Mattice	2	49,617	-83,263	8940	3,237
Missinaibi	Below Waboose River	6	50,583	-82,117	22900	7,489
Moose	Moose River Crossing	6	50,814	-81,294	61100	24,400
Moose	Above Moose River	6	50,743	-81,458	60100	23,700
North French	Near The Mouth	1	51,083	-80,767	6680	2,928
Kwataboahegan	Near The Mouth	1	51,150	-80,867	4250	1,229
Harricanaw	Amos	4	48,601	-78,109	3680	1,868
Bell	En Amont Du Lac Matagami	6	49,753	-77,614	22200	12,300
Nottaway	Tete Du Lac Soscumica	1	50,130	-77,420	57500	32,050
Waswanipi	A La Chute Rouge	2	49,858	-77,187	31900	18,538
Rupert	En Aval Du Lac Nemisau	2	51,449	-76,866	40900	26,400
Pontax	Pres De L'&Ecirc; Embouchure	6	51,534	-78,097	6090	3,160
Eastmain	Tete De La Gorge De Basile	2	52,250	-78,070	44300	28,800
Grande Riviere	En Amont De Riviere De Pontois	6	53,630	-74,530	37000	23,500
Riviere De Pontois	En Amont De La Riviee Sakami	6	53,168	-74,473	13200	8,261
Grande Riviere DeL	aBaleine En Am.Riviere Denys1	6	55,238	-76,984	36300	16,300
PtRiviere Baleine	En Amont Du Chenal Ancel	2	55,684	-74,340	10400	3,212
Tunulik	Pres De L'&Ecirc; Embouchure	2	57,911	-66,373	3680	2,166
Arnaud	En Amont De LaRiv. Hamelin	2	59,980	-71,900	26900	11,040
Aux Feuilles	En AvalRiv.Paladeau	2	58,640	-70,421	41700	17,600
Similkameen	Near Hedley	5	49,378	-120,152	5590	1,540
Okanagan	Oroville	4	48,931	-119,419	8280	0,624
Okanagan	Oliver	4	49,115	-119,564	7590	0,586
Okanagan	Okanagan Falls	4	49,341	-119,578	6860	0,514
Okanagan	Pentincton	4	49,496	-119,615	6090	0,487
Kettle	Laurier	5	48,984	-118,215	9840	2,604



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
192	1946	45	0,28	0,52	0,4	1	0,37	1	-2	-0,86	-0,82	0,27	1	0,46
230	1971	24	0,33	0,09	0,14	0	0,04	0						
260	1971	31	0,32	0,7	0,02	0	0,05	0				0,05	0	0,06
296	1967	35	0,34	0,61	0,24	0	0,24	0				0,15	0	0,16
332	1967	28	0,37	0,33	0,27	0	0,19	0				-0,02	0	0,38
289	1967	28	0,32	0,27	0,2	0	0,19	0				0,04	0	0,49
252	1968	27	0,33	0,05	0,18	0	0,14	0				0,18	0	0,11
318	1966	29	0,33	0,22	0,2	0	0,19	0				0,16	0	0,44
301	1972	29	0,28	0,37	0,11	0	0,13	0				0,06	0	0,2
396	1951	36	0,18	0,51	-0,08	0	-0,13	0				-0,11	0	0,02
416	1932	62	0,15	0,53	0,08	0	0,06	0	-0,52	0,25	0,72	-0,06	0	0,22
256	1972	23	0,3	0,92	-0,11	0	-0,2	0				-0,25	0	0,1
362	1921	81	0,22	0,44	0,28	1	0,3	1	-0,09	-0,4	-1,49	0,1	0	0,11
327	1976	26	0,23	0,33	-0,01	0	-0,09	0				0,16	0	0,14
400	1960	23	0,2	0,25	0,14	0	0,07	0				0	0	0,11
395	1960	38	0,19	0,33	0,06	0	0,04	0				0,01	0	0,11
438	1967	35	0,22	0,12	-0,2	0	-0,25	0				0,09	0	0,24
289	1976	25	0,29	-0,22	0,22	0	0,2	0				-0,1	0	-0,22
508	1933	65	0,17	0,4	-0,11	0	-0,11	0	-0,51	-0,12	-0,26	-0,12	0	0,18
555	1962	38	0,18	1,25	-0,09	0	-0,11	0				-0,25	0	0,18
557	1960	21	0,17	0,36	0,19	0	0,14	0				-0,03	0	0,07
581	1968	32	0,13	0,57	-0,16	1	-0,2	1				-0,28	1	0,11
646	1964	30	0,11	0,7	0,3	1	0,29	1				-0,11	0	0,13
519	1976	21	0,13	0,24	-0,04	0	-0,12	0				-0,07	0	0,09
649	1960	20	0,17	-0,09	0,41	1	0,24	1				0,03	0	-0,05
634	1961	20	0,19	0,38	0,64	1	0,51	1				0,49	1	0,21
626	1971	20	0,14	0,14	0,12	0	0,08	0				0,26	0	0,46
450	1974	25	0,14	-0,48	0,08	0	0,01	0				-0,14	0	0,16
309	1970	30	0,11	-0,68	-0,25	2	-0,27	1				0,07	0	0,16
589	1973	20	0,15	-0,99	-0,7	1	-0,74	1				-0,26	0	0,65
411	1962	20	0,19	0,65	-0,37	1	-0,2	0				-0,25	0	-0,41
422	1962	20	0,14	0,11	-0,02	0	-0,02	0				-0,06	0	0,44
275	1966	36	0,37	1,01	-0,07	0	-0,12	1				-0,11	0	0,02
75	1943	59	0,48	0,72	0,19	0	0,13	0	0,36	2,27	0,63	0,14	0	0,15
77	1955	44	0,53	0,94	0,27	0	0,18	0	1,42	1,33	2,65	0,15	0	0,3
75	1917	85	0,5	0,8	0,23	0	0,23	0	1,24	0,16	-0,53	0,1	0	0,44
80	1922	80	0,5	0,76	0,25	0	0,25	0	0,9	0,37	-0,51	0,18	0	0,43
265	1930	72	0,26	0,08	0,13	1	0,1	1	0,52	1,57	-0,09	0,11	1	0,3

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Columbia	Birchbank	4	49,178	-117,716	88100	63,600
Columbia	International Boundary	4	49,001	-117,628	155000	89,100
Pend Oreille	Int.Boundary	2	48,999	-117,353	65300	24,000
Slogan	Crescent Valley	4	49,461	-117,564	3320	2,712
Kootenay	Copeland	4	48,905	-116,402	34700	13,800
Duncan	Below Lardeau River	4	50,232	-116,955	4070	5,106
Columbia	Donald	4	51,483	-117,179	9710	5,439
Kootenay	Skookumchuk	4	49,911	-115,736	7120	3,544
Kootenay	Wardner	4	49,420	-115,420	13600	6,557
Kootenay	Fort Steele	5	49,612	-115,634	11400	5,456
Elk	Fernie	1	49,510	-115,071	3110	1,096
Milk	Milk River	5	49,144	-112,079	2720	0,280
Saint Croix	Baring	2	45,137	-67,318	3550	2,268
St.John	Pokiok	5	45,970	-67,230	38800	23,000
St.John	East Florenceville	5	46,470	-67,590	34200	20,800
St.John	Grand Falls	5	47,040	-67,742	24900	12,960
Madawaska	En Aval Barrage Temiscouata	4	47,548	-68,636	2690	1,535
Tibique	Narrows	6	46,792	-67,683	4330	2,709
Saint John	Below Mastaquac	5	45,962	-66,831	39900	25,500
Black Sturgeon	Highway No.17	2	48,904	-88,377	2980	0,790
Pic	Marathon	1	48,774	-86,297	4270	1,628
White	Below White Lake	2	48,655	-85,742	4170	1,597
Michipicoten	High Fallter LakeO	2	47,901	-84,710	5130	2,199
Montreal	Montreal River Harbour	4	47,214	-84,619	2880	1,302
St.Marys	Sault Ste.Marie	4	46,509	-84,362	210000	67,600
Severn	Swift Rapids	2	44,857	-79,542	5820	1,743
French	Dry Pine Bay	2	46,068	-80,601	13900	5,778
Saugeen	Fort Elgin	1	44,456	-81,327	3960	1,792
Grand	Brantford	1	43,132	-80,267	5210	1,835
Grand	Galt	1	43,353	-80,317	3520	1,138
Thames	Thamesville	1	42,545	-81,968	4300	1,720
Thames	Byron	1	42,963	-81,332	3110	1,307
Niagara	Queenston	2	43,157	-79,047	686000	185,000
Trent	Healey Falls	2	44,371	-77,778	9090	2,981
Moira	Foxboro	6	44,254	-77,419	2620	0,957
Ottawa	La Cave Rapids	2	46,378	-78,723	47900	21,600
Gatineau	Aux Rapides Ceizur	6	47,084	-75,754	6840	4,016
Ottawa	Chats Falls	2	45,475	-76,239	89600	36,300

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
722	1938	64	0,14	0,08	0,14	0	0,13	0	-0,28	0,94	-1,18	0,6	3	0,73
575	1938	64	0,16	0,02	0,14	0	0,12	0	-0,29	0,86	-0,75	0,59	3	0,79
368	1914	77	0,24	-0,07	0,18	0	0,15	0	1,07	-1,25	-1	0,15	0	0,5
817	1916	77	0,19	0,07	0,18	0	0,15	1	1,42	0,37	-1,55	0,17	0	0,31
397	1930	63	0,23	-0,01	0,1	0	0,08	0	-0,17	-0,94	-2,08	0,59	2	0,59
1255	1964	38	0,16	-0,27	-0,25	1	-0,25	1				0,13	0	-0,06
560	1945	57	0,14	-0,09	-0,05	1	-0,03	1	-1,79	-0,2	-0,06	-0,13	1	0,1
498	1950	46	0,15	0,01	-0,22	0	-0,21	0	-2,65	0,28	0,36	0,01	0	0,31
482	1933	40	0,19	-0,11	0,12	0	0,05	0	1,93	-0,02	-1,85	0,21	1	0,14
479	1964	38	0,19	-0,1	-0,08	0	-0,07	0				0,11	1	0,14
352	1928	32	0,26	0,42	0,2	1	0,15	1				0,3	1	-0,06
400	1912	90	0,28	-0,32	0,43	2	0,42	2	2,11	-0,8	-1,52	0,3	1	0,45
639	1975	27	0,25	0,14	-0,02	0	-0,04	0				-0,26	1	-0,11
594	1919	48	0,18	0,43	-0,06	0	-0,11	0	-0,27	1,46	0,94	-0,11	0	0
607	1952	43	0,22	0,27	0,06	0	0,09	0	1,87	0,08	-1	0,25	0	0,24
520	1931	71	0,2	0,29	-0,07	0	-0,1	0	1,7	0,43	-0,27	0,14	1	0,08
571	1919	78	0,18	0,15	0,09	0	0,07	0	0,95	0,57	-1,17	0,19	0	0,19
626	1954	46	0,2	-0,04	0,17	0	0,16	0	0,67	-0,21	0,83	0,04	0	0,04
639	1967	28	0,21	0,27	-0,04	0	-0,02	0				0,22	0	-0,17
265	1972	30	0,26	0,34	0,02	0	0,04	0				-0,17	0	0,19
381	1970	32	0,22	-0,28	0,03	0	0,05	0				-0,12	0	0,27
383	1980	22	0,17	0,21	-0,08	0	-0,1	0				-0,08	0	-0,19
429	1933	69	0,19	0,16	0,09	0	0,14	2	-0,03	0,66	0,08	0,28	0	0,43
452	1936	66	0,2	-0,07	0,22	0	0,21	0	-0,08	-0,66	-1,17	0,3	1	0,55
322	1860	134	0,15	0,13	0,57	1	0,56	1	1,12	0,99	-2,27	0,45	1	0,49
299	1954	48	0,24	-0,02	0,34	1	0,3	1	1,28	-0,65	0,15	0,12	0	0,19
416	1962	40	0,22	-0,28	0,23	1	0,17	0	-0,23	-0,94	-0,33	0,1	1	0,12
453	1915	87	0,22	0,23	0,1	0	0,09	0	0,58	-0,5	1,17	0,23	3	0,04
352	1925	54	0,25	0,01	0,33	1	0,26	0	1,84	0,03	0,32	0,18	1	0,58
323	1914	88	0,27	0,24	0,19	0	0,16	1	1,59	0,8	1,27	0,25	0	0,79
400	1948	47	0,3	-0,01	0,37	1	0,3	1	1,41	0,27	-0,64	0,32	2	0,34
420	1949	46	0,3	-0,08	0,34	1	0,3	1	1,52	0,51	-0,79	0,28	2	0,43
270	1860	142	0,1	-0,24	0,82	1	0,79	1	-0,14	1,21	1,28	0,68	1	0,71
328	1950	52	0,24	-0,12	0,34	1	0,27	0	1,07	-0,82	-0,05	0,25	0	-0,03
365	1916	86	0,25	0,31	0,17	0	0,12	0	-0,1	-1,38	1,32	0,02	0	0,09
451	1952	43	0,17	0,29	-0,01	0	-0,02	0	-0,29	-0,39	-1,33	-0,18	0	0,07
587	1976	24	0,15	0,02	-0,66	1	-0,65	1				-0,26	1	-0,2
405	1916	79	0,19	0,96	0,14	0	0,08	0	-0,02	-0,1	0,49	-0,03	2	0,21

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОС.	СТОК
Ottawa	Au Barrage De Carillon	2	45,570	-74,393	143000	60,9
St.Lawrence	Cornwall	2	45,006	-74,795	774000	231,7
Rouge	Rouge	6	45,736	-74,690	5460	3,311
Millelsles	Aval Lac Deux Montagnes	4	45,542	-73,873		6,326
Richelieu	Rapides Fryersryers	2	45,398	-73,259	22000	10,900
St.Maurice	Centrale De Grande-Mere	5	46,616	-72,679	42000	22,000
St.Maurice	Aval Barrage Gouin	4	48,336	-74,059	9480	5,038
Chaudiere	Saint-Lambert-de-Levis	5	46,588	-71,216	5820	3,737
Saguenay	Centrale Dapos;Isle Maligne	4	48,577	-71,635	73000	46,000
Peribonca	Centrale Chute-a-la-Savane	4	48,754	-71,840	26900	19,300
Outardes	Centrale No.3	4	49,558	-68,721	17900	11,800
Outardes	CentraleChute-aux-Outardes	4	49,155	-68,404	18900	12,200
Manicouagan	Centrale No.2	4	49,335	-68,348	45600	27,400
Manicouagan	Centrale Mc Cormick	4	49,201	-68,339	45800	27,600
Moisie	Above QNLS Rbridge	6	50,350	-66,190	19000	13,200
Magpie	Sortie Du Lac Magpie	2	50,686	-64,581	7230	5,236
Churchill (Labr.)	Above Upper Muskrat Falls	4	53,248	-60,789	92500	55,050
Churchill (Labr.)	Churchill Falls Powerhouse	4	53,536	-63,964	69200	42,100
Little Mecatina	Above Lac Fourmont	1	52,228	-61,323	4540	2,972
Exploits	Grand Falls	2	48,931	-55,669	4400	7,038
Gander	Big Chute	4	49,015	-54,854	4400	3,759
Restigouche	Below Kedwick River	1	47,667	-67,484	3160	2,084
Southwest Miramichi	Blackville	1	46,736	-65,827	5050	3,278
МЕКСИКА						
Bravo	Matamoroter LakeO	5	25,900	-97,520	450902	1,498
Santiago (GrandeDe)	El Capomal	5	21,830	-105,120	128943	8,370
Papaloapan	Papaloapan	4	18,170	-96,080	21419	21,500
Grisalva	Reforma	4	17,350	-93,230	37702	17,300
Usumacinta	Boca Del Cerro	1	17,420	-91,500	50743	58,600
НИКАРАГУА						
Coco	Guanas	1	13,500	-85,950	5511	0,979
КОЛУМБИЯ						
Atrato	Tagachi	1	6,220	-76,720	9432	56,036
Magdalena	Calamar	1	10,270	-74,920	257438	230,5



СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
ЧИЛИ						
Biobo	Desembocadura	1	-36,830	-73,070	24029	30,400
Baker	Colonia	3	-47,350	-72,850	23736	27,323
ВЕНЕСУЭЛА						
Orinoco	Puente Angostura	1	8,150	-63,600	836000	983,15
АРГЕНТИНА						
Parana	Posadas	1	-27,370	-55,880	975000	381,82
Calchaqui	La Punilla	1	-26,100	-65,830	19800	0,204
Arias	San Gabriel	1	-25,280	-65,380	7100	0,784
Juramento	Cabra Corral (1967LaPuerta )	4	-25,300	-65,320	31900	0,941
Pasaje	Miraflores	4	-25,370	-64,830	34500	1,102
Pasaje	El Tunal	5	-25,230	-64,470	38000	1,201
Salado (tr Parana)	El Arenal	5	-26,220	-63,750	40000	0,620
Parana	Corrientes	1	-27,470	-58,850	1950000	523,34
Parana	Timbues	1	-32,670	-60,710	2346000	476,31
Tercero	Embalse	4	-32,170	-64,380	3300	0,846
Bermejo	Aguas Blancas	1	-22,720	-64,370	4450	2,668
Bermejo	Zanja De ITigre	5	-23,100	-64,220	24931	10,013
Lavayen	Bajada De Pinto	1	-24,430	-64,830	4100	0,473
San Francisco(Py)	Caimancito (PteCarretero)	1	-23,730	-64,470	25800	3,093
Abaucan	Tinogasta	1	-28,080	-67,580	14000	0,066
Dulce	El Sauce	4	-27,580	-64,500	20200	2,976
Jachal	Pachimoctovka	3	-30,220	-68,830	25500	0,278
Castano	Castano Nuevo	3	-30,970	-69,530	5280	0,312
San Juan	La Puntilla	3	-31,520	-68,630	25000	1,771
Blanco	El Horcajto	3	-31,920	-69,680	4790	0,665
Rio De Los Patos	La Plateada	3	-31,880	-69,680	8500	1,558
Rio De Los Patos	Alvarez Condarco	3	-31,950	-69,700	3710	0,550
Mendoza	Guido	1	-32,850	-69,270	8180	1,185
Mendoza	Usina Cacheuta	1	-33,020	-69,120	9040	1,730
Diamante	Los Reyunos	4	-34,570	-68,570	4150	1,054
Quinto	Villa Mercedes	4	-33,670	-65,480	4500	0,135
Atuel	La Angostura	2	-35,030	-68,870	3800	1,072
Colorado	Pichi Mahuida	1	-38,830	-64,830	223000	4,130
Neuquen	Paso De LosIndios	5	-38,530	-69,420	30200	9,852
Limay	Paso Limay	4	-40,530	-70,430	26400	23,525

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R
1265,138	1964	28	0,23	0,01	0,05	0	0,07	0				0,2	0	0,05
1151,121	1964	21	0,13	0,6	0,62	1	0,48	1				0,59	1	0,34
1176,019	1925	65	0,11	-0,16	0,24	0	0,23	0	-0,14	-0,63	1,05	0,2	0	0,21
391,615	1930	50	0,16	0,32	0,25	0	0,24	0	0,69	-0,3	0,11	-0,03	0	0,39
10,303	1948	20	1,19	1,3	-0,31	2	-0,11	0				-0,22	0	
110,423	1942	25	0,27	0,62	0,19	0	0,13	0				0,25	1	0,11
29,498	1935	33	0,41	1,54	-0,01	0	0,16	0				0,25	1	0,43
31,942	1933	45	0,37	1,68	0,06	0	0,21	0	-0,02	-1,48	-0,01	0,38	1	0,13
31,605	1942	38	0,44	1,8	0	0	0,06	1				0,09	0	0,25
15,500	1933	45	0,59	1,04	0,29	1	0,33	1	-0,06	0,37	1,31	0,26	0	
268,383	1905	78	0,21	0,34	0,31	1	0,29	1	-0,55	0,34	-0,18	0,15	1	0,43
203,031	1906	88	0,2	0,46	0,57	1	0,54	1	1,83	0,91	1,15	0,38	1	0,62
256,364	1914	66	0,46	0,94	0,32	1	0,28	1	0,2	-0,84	1,1	0,17	3	0,23
599,551	1945	37	0,31	0,62	0,35	1	0,34	1				0,2	1	0
401,625	1941	39	0,34	0,69	0,47	1	0,47	1				0,45	1	0,16
115,366	1951	27	0,35	0,71	0,49	1	0,33	1				0,42	1	0,38
119,884	1947	28	0,59	2,49	0,33	1	0,18	0				0,07	0	0,58
4,714	1920	37	0,59	2,49	0,33	1	0,18	0				0,07	0	0,58
147,327	1927	52	0,52	0,82	0,61	1	0,55	1	0,47	-0,32	-0,96	0,21	0	0,55
10,902	1930	43	0,61	3,18	0,66	1	0,71	1	-1,08	0,17	-0,53	0,54	1	0,79
59,091	1952	28	0,48	0,63	0,53	2	0,47	2				0,39	1	0,25
70,840	1910	70	0,56	1,92	0,5	2	0,6	2	-1,81	-0,54	-0,02	0,46	2	0,59
138,831	1951	29	0,5	0,43	0,54	2	0,48	2				0,39	1	0,25
183,294	1910	70	0,61	2,03	0,49	2	0,57	2	-1,61	-0,93	-0,05	0,46	2	0,56
148,248	1951	31	0,36	0,7	0,38	2	0,38	2				0,22	0	0,18
144,866	1957	23	0,22	0,98	0,48	1	0,35	1				0,2	1	0,26
191,372	1916	64	0,34	2,18	0,33	1	0,5	1	-2	-0,38	0,67	0,36	1	0,36
253,976	1927	38	0,34	1,18	0,55	1	0,55	2				0,29	1	0,49
30,000	1916	52	0,65	0,77	0,25	1	0,16	1	-1,17	-0,87	0,21	0,05	1	
282,105	1907	70	0,22	0,77	0,52	3	0,51	3	-1,55	-0,13	0,52	0,28	2	0,55
18,520	1919	75	0,3	0,08	0,49	3	0,45	3	-0,58	0,25	0,23	0,32	2	0,35
326,225	1904	76	0,35	0,03	0,34	1	0,34	1	-0,87	-1,9	-2,7	0,23	0	0,19
891,098	1904	76	0,23	0,31	0,26	1	0,27	1	-1,64	-0,18	-1,67	0,05	1	0,43

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Limay	Paso Flores	4	-40,530	-70,670	9800	9,100
Limay	Nahuel Huapi	4	-41,070	-71,150	3900	6,967
Negro	Primera Angostura	5	-40,430	-63,670	95000	26,751
Gualjaina	Gualjaina	5	-42,700	-70,530	2800	0,471
Chubut	Los Altares	5	-43,850	-68,500	16400	1,489
Senguerr	Vuelta Del Senguerr	1	-45,450	-69,420	17500	1,541
Santa Cruz	Charles Fuhr	2	-50,270	-71,900	15500	21,846
Futaleufu	Balsa Garzon	2	-43,130	-71,580	4650	9,019
ГАЙАНА						
Essequibo	PlantainIsland	1	5,850	-58,580	66600	66,754
Uruguay						
Negro	Palmar	4	-33,120	-57,180	63000	21,852
ФР. ГВИАНА						
Maroni	Langa Tabiki	1	4,980	-54,430	60930	52,847
Оуарок	Maripa	1	3,820	-51,880	25120	26,386
БРАЗИЛИЯ						
Rio Branco	i	1	1,800	-61,130	124980	92,170
Rio Jurua	Gaviao	1	-4,830	-66,750	162000	149,195
Rio Jurua	Cruzeiro DoSul	1	-7,620	-72,670	38537	28,718
Rio Acre	Rio Brancovka	1	-9,970	-68,590	22670	10,862
Rio Purus	Labrea	1	-7,250	-64,800	220351	173,764
Amazonas	Obidos	1	-1,900	-55,500	4640300	5448,887
Xingu	Altamira	1	-3,200	-52,220	446570	269,750
Rio Curua	Boca Dolinferno	1	-6,570	-54,820	20803	4,148
Rio Maicuru	Arapari	1	-1,750	-54,420	17072	3,562
Rio Jari	Sao Francisco	1	-0,680	-52,550	51343	31,538
Tokantins	Porto Nacional	1	-10,700	-48,430	175360	70,849
Rio Das Balsas	Balsas	1	-7,530	-46,030	8800	3,285
Rio Das Garcas	Tesouro	1	-16,050	-53,550	5519	3,440
Tocantins	Tucuruí	4	-3,760	-49,670	742300	352,889
Rio Amapari	Sierra Do Naviro	1	0,980	-52,050	7246	10,370
Rio Pindare	Pindare Mirim	5	-3,660	-45,460	34300	6,423
Rioltapecuru	Caxias	1	-4,870	-43,360	31750	2,514
Rioltapecuru	Cantanhede	1	-3,630	-44,380	50800	7,578
Rio Correntes	Mendes	1	-5,710	-43,600	4970	0,201



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
928,571	1942	38	0,21	0,39	0,2	0	0,11	0				0,15	0	-0,01
1786,410	1922	44	0,19	0,62	-0,19	0	-0,2	0	0,35			-0,3	1	-0,03
281,589	1928	66	0,26	-0,05	0,25	0	0,2	0	-2,63			0,28	0	0,55
168,214	1957	23	0,26	0,35	0,02	0	0,01	0				0,04	0	0,51
90,793	1944	50	0,32	0,34	0,34	3	0,33	1	-0,13			0,24	1	0,26
88,057	1938	21	0,35	0,66	0,37	1	0,23	0				0,2	0	0,11
1404,000	1956	20	0,19	-0,24	0,17	1	0	0				-0,19	0	-0,18
1939,570	1949	29	0,15	-0,09	-0,13	0	-0,14	0				-0,16	0	0,16
1002,312	1965	31	0,23	0,08	0,16	0	0,14	0				-0,21	0	0,03
346,857	1910	34	0,56	1,039	0,18	0	0,09	0				-0,05	0	0,36
867,340	1952	44	0,28	0,09	0,32	1	0,28	0	-0,23			0,17	0	0,19
1050,398	1954	42	0,26	0,52	0,18	0	0,16	0	-0,66			0,16	0	0,16
737,478	1967	22	0,28	0,04	0,36	1	0,34	1				0,23	2	0,29
920,957	1973	20	0,1	-0,50	0,09	1	0,06	1				-0,16	0	0,23
745,206	1968	25	0,15	0,78	-0,06	0	-0,08	0				-0,17	0	0,12
479,135	1971	22	0,2	-0,17	0,1	0	0,12	0				-0,15	1	0,15
788,578	1968	25	0,1	-0,05	0,2	0	0,21	0				0,22	1	0,34
1174,253	1950	27	0,11	-0,15	0,08	0	0,02	0				0,01	0	0,3
604,049	1972	23	0,18	0,23	-0,16	0	-0,18	0				-0,21	0	0,1
199,394	1974	21	0,66	0,89	0,36	1	0,24	1				0,24	0	0,23
208,646	1973	25	0,59	0,58	0,28	0	0,22	0				0,13	0	0,37
614,261	1973	27	0,33	0,10	0,16	0	0,13	0				0,05	0	0,33
404,020	1949	35	0,32	0,77	0,58	1	0,51	1				0,32	2	0,72
373,295	1966	28	0,18	0,39	0,72	1	0,62	1				0,49	1	0,56
623,301	1967	21	0,44	0,62	0,88	0	0,89	1				0,71	1	0,71
475,399	1978	22	0,19	-0,33	0,26	1	0,27	1				0,3	1	0,52
1431,134	1973	21	0,22	0,02	0,08	0	0,03	0				0,1	0	0,22
187,259	1972	20	0,42	0,03	0,39	1	0,37	1				0,06	0	0,44
79,181	1969	23	0,38	1,50	0,55	1	0,57	1				0,49	1	0,69
149,173	1978	22	0,59	1,31	0,53	1	0,24	0				0,33	1	0,59
40,443	1971	21	0,79	1,56	0,43	1	0,32	2				0,3	0	0,56

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГОД. СТОК
Rio Munim	Munim	1	-3.580	-43.700	4240	1,141
Rio Itaim	Santa Cruz	1	-7.150	-41.830	17500	0.391
Rio Poti	Fazenda Cantinho	1	-5.120	-42.730	50300	4.867
Rio Poti	Fazenda Boa	1	-5.220	-41.750	19300	1.320
Rio Longa	Esperantina	5	-3.900	-42.200	11250	3.162
Rio Longa	Tinguis	5	-3.780	-41.980	24100	4.889
Rio Paranaiba	Fazenda Paracati	1	-8.300	-45.680	26000	6.326
Rio Coreau	Granjall	5	-3.120	-40.830	3720	0.811
Rio Acarau	Sobral	4	-3.680	-40.350	11160	1.593
Rio Curu	Santo Luiz Do Curu	1	-3.680	-39.250	7350	0.695
Rio Jaguarbe	Ameiroz	1	-6.330	-40.150	5900	0.221
Rio Banaburu	Senador Pompeu	1	-5.580	-39.360	4730	0.363
Rio Jaguarbe	Iguatu	1	-6.350	-39.300	21770	0.877
Rio Salgado	Ponte Patos	1	-6.650	-38.970	9510	0.986
Rio Apodi	Pedra De Abelhas	1	-5.580	-37.680	6450	0.469
Rio Salgado	Ico	4	-6.400	-38.870	12000	0.865
Rio Piranhas	Jardin De Piranhas	1	-6.380	-37.370	22875	2.525
Rio Paraiba	Bocueirao Cabec	4	-7.480	-36.130	12130	0.183
Rio Capibaribe	Limoeira	1	-7.880	-35.450	5695	0.247
Rio Das Velhas	Varzea Da Palma	1	-17.590	-44.710	25940	10.650
Rio Carinhanha	Sao Goncalo	1	-14.310	-44.460	6186	2.101
Rio Grande Bahia	Bocueirao	1	-11.330	-43.800	65900	8.548
Sao Francisco	Juazeiro	4	-9.420	-40.520	510800	85.586
Sao Francisco	Manga	4	-14.760	-43.930	200789	65.202
Sao Francisco	Morpara	5	-11.570	-43.300	344800	87.917
Rio Pajeu	Flores	1	-7.860	-37.960	4755	0.316
Sao Francisco	Traipu	5	-9.970	-36.980	622600	86.386
Rio Itapicuru	Queimadas	5	-10.970	-39.630	12240	0.437
Rio Jacuipe	Porte Rio Branco	1	-12.280	-39.000	10560	0.313
Rio Santo Antonio	Fertem	1	-12.750	-41.310	8189	1.135
Rio Paraguacu	Andarai	1	-12.850	-41.320	2604	0.798
Rio De Contas	Jequeie	1	-13.880	-40.100	42245	0.932
Rio Prado	Mascote	1	-15.570	-39.280	30360	2.484
Rio Catole Grande	Itapetinga	1	-15.230	-40.230	2810	0.399
Rio Araquai	Araquai	1	-16.870	-42.080	14621	3.209
Jequitinhonha	Jacinto	1	-16.130	-40.300	62365	12.887
Jequitinhonha	Itapebi	1	-15.950	-39.520	67769	14.483

СЛОЙ	1-й Г.	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
269,104	1972	20	0,76	1,17	0,63	1	0,49	1				0,23	0	0,71
22,343	1964	29	1,27	2,63	0,1	0	0,09	0				0,18	0	
96,759	1964	27	0,84	1,58	0,29	2	0,27	2				0,23	2	0,44
68,394	1964	29	1,28	2,22	0,3	0	0,32	1				0,28	1	
281,067	1964	29	0,79	1,32	0,38	1	0,22	1				0,32	1	
202,863	1965	28	0,85	1,35	0,36	1	0,34	1				0,27	1	
243,308	1969	25	0,12	-0,06	0,35	1	0,31	1				0,24	1	0,22
218,011	1969	25	1,16	1,91	0,61	1	0,41	1				0,41	1	0,34
142,742	1931	44	1,19	2,26	0,34	1	0,38	1	0,89	0,25	0,76	0,32	1	0,38
94,558	1968	26	1,63	2,28	0,23	0	0,35	2				0,25	1	0,69
37,458	1917	37	1,49	3,3	-0,14	0	-0,04	0				-0,18	2	
76,744	1932	25	1,15	2,49	0,07	0	0,11	0				-0,17	0	
40,285	1960	26	1,41	2,27	0,09	0	0,3	2				0,34	2	
103,680	1917	31	1,17	1,71	0,25	1	0,39	1				0,4	1	
72,713	1964	28	1,12	1,87	-0,02	0	0,08	0				0,02	0	
72,083	1958	34	1,1	2,45	0,09	0	0,22	2				0,17	2	0,26
110,383	1963	23	1,09	1,95	0,03	1	0,05	1				0,04	2	0,49
15,087	1923	30	1,36	2,77	-0,07	0	0,14	0				0,14	0	
43,371	1957	25	1,21	1,59	-0,03	0	0,03	0				-0,07	0	
410,563	1939	45	0,35	0,79	0,18	1	0,16	1				0,29	1	0,35
339,638	1949	29	0,15	0,97	0,35	1	0,4	1				0,32	2	0,6
129,712	1936	46	0,15	1,19	0,73	3	0,56	2	0,69	0,15	0,32	0,31	3	
167,514	1930	63	0,28	0,95	0,34	2	0,35	1	-0,59	0,14	0,22	0,33	3	0,73
324,729	1936	42	0,29	1,02	0,28	1	0,27	1	-1,12	-1,31	-0,9	0,26	1	0,42
254,980	1946	36	0,37	0,85	0,39	1	0,41	1				0,24	1	0,7
66,456	1968	26	1,35	2,09	0,26	1	0,18	1				0,14	1	
138,750	1939	56	0,31	0,71	0,45	1	0,51	1	-1,38	0,47	0,52	0,38	1	0,77
35,703	1935	46	1	1,1	0,25	0	0,28	1	1,56	1,1	-0,54	0,16	0	0,14
29,640	1930	39	1,08	1,46	-0,22	0	-0,2	0				-0,16	0	0,23
138,601	1964	28	0,45	0,77	0,17	0	0,23	1				-0,16	1	0,47
306,452	1941	39	0,4	0,26	-0,08	0	-0,08	0				-0,08	0	0,21
22,062	1935	43	0,74	2,01	0	0	0,02	0	-0,08	1,82	0,34	0,21	1	0,41
81,818	1937	40	0,5	1,13	0,09	0	0,14	0	0,47	0,58	-0,7	0,03	0	0,19
141,993	1950	30	0,51	0,59	0,16	0	0,17	0				0,04	0	0,44
219,479	1931	52	0,44	1,46	0,39	1	0,41	1	0,39	-0,51	-0,95	0,33	1	0,59
206,638	1943	36	0,42	1,04	0,18	0	0,2	0				0,11	0	0,59
213,711	1937	26	0,4	0,61	0,26	0	0,26	0				0,24	0	0,69
414,640	1968	21	0,28	0,82	0,36	1	0,39	1				0,45	1	0,31

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Rio Pomba	Santo Antonio De Padua	1	-21,540	-42,180	8529	4,201
Paraiba Do Sul	Campos-Ponte Municipal	5	-21,750	-41,330	55083	26,008
Rio Juquia	Juquia 1	1	-24,310	-47,630	4383	3,698
Rioltajai Do Sul	Blumenau	1	-26,920	-49,070	11803	11,683
Rio Tubarao	Rio Do Pustovka	1	-28,410	-49,100	2739	2,101
Rio Mojicuacu	Padua Sales	1	-22,300	-47,150	4650	2,459
Rio Grande	Itutinga (Minas-Gerais)	4	-21,300	-44,620	6280	4,277
Parana	Guaira	4	-24,070	-54,250	802200	270,447
Rio Piquiri	Balsa Santa Maria	1	-24,170	-53,730	20982	15,772
Rio Cantu	Balsa Do Cantu	1	-24,750	-52,700	2513	1,776
Riolvai	Porto Paraiso Do Norte	1	-23,320	-52,670	28427	16,528
Rio Tibaji	Jataizinho	5	-23,250	-50,980	21955	11,604
Rio Das Cinzas	Andira	5	-23,080	-50,280	5622	1,907
Rio Chopim	Aguas Do Vere	1	-25,760	-52,930	6696	5,707
Rio Sapucaí	Salto Ozorio	1	-25,550	-53,050	46400	30,390
Rio Timbo	Santa Cruz Do Timbo	1	-26,380	-50,860	2614	2,662
Rio Sapucaí	Porto Amazonas	1	-25,550	-49,880	3662	2,064
Rio Sapucaí	Uniao Da Vitoria	1	-26,230	-51,070	24211	13,320
Rio Negro (Parana)	Rio Negro	1	-26,100	-49,800	3379	2,036
Paraguay	Caceres (DNPVN)	1	-16,070	-57,680	33890	16,963
Riolbicui	Passo Mariano Pinto	1	-29,320	-56,050	42498	25,234
Uruguay	Marcelino Ramos	1	-27,460	-51,900	41267	26,782
Quevedo	Quevedo	1	-1,000	-79,470	3507	7,409
Daule	La Capilla	1	-1,700	-80,000	8690,	8,292
Zapotal	Lechugal	1	-1,390	-79,350	2980	4,262
КИТАЙ						
Songhua Jiang	Haerbin	5	45,770	126,580	391000	38,314
Songhua Jiang	Jilin	4	43,880	126,530	44100	15,593
Brahmaputra	Yangcun	3	29,280	91,880	153191	28,782
Yongding He	Guanting(Guanking)	4	40,230	115,600	42500	1,126
Luan He	LuanXian	5	39,730	118,750	44100	3,726
Liao He	Chiling	5	42,200	123,500	120764	3,719
Jing He	Zhangjiashan	1	34,630	108,600	43200	1,899
Huang He (Yellos R)	Sanmenxia	4	34,820	111,370	688421	39,749
Huang He (Yellos R)	Shanxian	4	34,820	111,150	687869	42,470
Yilou He	Heishiguan	5	34,720	112,930	18600	2,834
Huang He Yellow Riv	Huayuankou	5	34,920	113,650	730036	45,020

СЛОЙ	1-й Г.	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
488,943	1953	38	0,33	1,14	0,24	0	0,29	0				0,28	0	0,24
472,160	1928	72	0,32	0,48	0,35	2	0,41	1	-1,48	-0,24	-0,88	0,39	1	0,44
843,714	1941	26	0,24	0,52	0,31	2	0,24	2				0,23	1	0,17
989,833	1940	37	0,27	0,09	0,24	0	0,2	0				0,04	0	0,41
767,068	1940	51	0,32	0,49	0,24	0	0,27	0	1,55	-1,26	-0,92	-0,07	0	0,5
528,817	1938	41	0,38	2,26	0,24	0	0,22	1	0,24	0,44	-0,6	0,28	1	0,1
681,051	1946	20	0,23	0,51	0,26	2	0,22	1				0,47	1	0,27
337,132	1921	59	0,21	0,21	0,35	1	0,29	1	0,62	1,17	2,49	0,23	0	0,59
751,692	1970	26	0,38	1,84	0,16	0	0,02	0				0,27	1	0,01
706,725	1968	24	0,42	0,85	0,21	2	0,15	2				0,28	2	0,07
581,419	1954	35	0,39	1,38	0,35	1	0,37	1				0,15	0	0,29
528,536	1932	64	0,44	1,06	0,31	1	0,3	1	3,13	0,22	0,65	-0,01	0	0,42
339,203	1937	55	0,53	1,14	0,48	1	0,49	1	2,67	0,17	0,34	0,31	2	0,49
852,300	1957	38	0,33	0,25	-0,02	0	0	0				-0,02	0	0,08
654,957	1941	35	0,35	0,44	0,24	0	0,23	0				0,21	0	0,25
1018,363	1976	20	0,41	0,4	0,09	0	0,13	0				0,15	0	0,12
563,626	1936	60	0,38	0,99	0,22	0	0,23	1	2,33	1,01	0,55	0,02	0	0,17
550,163	1931	49	0,34	0,41	0,12	0	0,11	0	1,02	0,45	-0,18	0,06	0	0,2
602,545	1931	65	0,34	0,64	0,23	0	0,2	0	2,66	0,43	-0,7	0,15	0	0,3
500,531	1966	24	0,33	-0,16	1,02	0	0,75	1				0,65	2	0,8
593,769	1955	24	0,47	0,68	0,1	0	-0,05	0				-0,28	0	0,26
648,993	1940	47	0,4	1	0,31	0	0,21	0	1,64	0,18	-0,15	0,11	0	0,18
2112,632	1966	29	0,29	0,99	0,2	0	0,08	0				0,1	0	0,43
954,200	1971	22	0,52	0,19	0,25	0	0,19	0				0,09	0	0,76
1430,201	1965	28	0,32	0,21	0,24	0	0,19	0				0,08	0	0,8
98	1894	86	0,39	0,50	0,41	3	0,44	2	1,89	-1,37	-0,50	0,27	0	0,78
354	1941	33	0,33	0,46	0,34	1	0,35	1				0,06	0	0,27
188	1960	21	0,27	1,04	0,52	1	0,29	1				0,38	2	0,32
26	1956	29	0,36	0,77	-0,02	0	-0,02	0				0,11	0	0,15
84	1930	50	0,59	1,18	0,21	0	0,29	1	-1,54	0,29	1,92	0,15	0	0,57
31	1961	20	0,54	1,39	0,21	1	0,33	1				-0,26	0	0,08
44	1953	32	0,37	1,15	-0,21	0	-0,16	0				-0,47	1	0,47
58	1953	36	0,29	0,55	0,15	0	0,11	0				0,02	0	0,16
62	1919	40	0,26	0,18	0,28	0	0,24	0	1,54	-1,18	-1,90	0,01	0	0,56
152	1939	36	0,57	1,49	0,37	1	0,49	1				0,27	1	0,52
62	1947	40	0,31	0,59	0,24	1	0,20	0	-2,47	-0,70	1,13	0,15	2	0,40

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Wu Jiang	Gongtan	1	28,900	108,350	58300	36,446
Yangtze (Chang Jiang)	Yichang	5	30,660	111,230	1010000	448,073
Yangtze (Chang Jiang)	Hankou	5	30,580	114,280	1488036	733,006
Yangtze (Chang..)	Datong	5	30,770	117,620	1705383	885,676
Huai He	Bengbu	5	32,930	117,380	121330	28,451
Han Shui Han Chiang	Ankang	1	32,680	109,020	41400	19,750
Yu Jiang	Nanning	1	22,800	108,370	75500	41,248
Xi Jiang	Wuzhou_3	1	23,480	111,300	329705	215,418
Bei Jiang	Hengshi	5	23,850	113,270	34013	34,519
Bei Jiang	Shijiao	5	23,570	112,950	38363	42,489
Dong Jiang	Boluo	5	23,170	114,300	25325	23,365
ПАКИСТАН						
Indus	Kotri	5	25,370	68,370	832418	81,233
ШРИ ЛАНКА						
Mahaweli Ganga	Manampitiya	4	7,920	81,080	7343	6,057
ИРАН						
Karun	Ahvaz	5	31,320	48,670	60769	23,232
ЛАОС						
Nam Khan	Ban-Mixay (BanMout)	1	19,787	102,177	6100	2,982
Mekong	Luang Prabang	1	19,892	102,137	268000	123,957
Mekong	Near Vientiane	1	17,928	102,620	299000	139,716
Se Bang Fai	Se Bang Fai	1	17,072	104,985	8560	14,148
Nam Ngum	Tha Ngon	2	18,135	102,622	16500	22,006
НЕПАЛ						
Karnali River	Chisapani	3	28,640	81,290	42890	42,724
Karnali River	Benighat	3	28,960	81,120	21240	18,922
Karnali River	Asara Ghat	3	28,950	81,440	19240	15,571
Babai River	Bargadha	1	28,420	81,420	3000	2,742
Rapti River	Jalkundi	5	27,950	82,230	5150	3,861
Burhi Gandaki	Arughat	3	28,040	84,820	4270	5,020
Kali Gandaki	Setibeni	3	28,010	83,600	6630	8,272
Kali Gandaki	Kotagaon Shringe	3	27,750	84,350	11400	14,799
Narayani (GandakIn)	Devghat	3	27,710	84,430	31100	49,198

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
625	1939	41	0,20	0,46	-0,17	0	-0,22	0	-0,45	0,08	-0,92	-0,01	0	0,00
444	1882	80	0,11	0,05	0,22	0	0,24	0	-1,56	0,97	0,74	0,19	0	0,06
493	1865	121	0,14	0,11	0,22	0	0,21	0	-1,64	0,90	0,11	-0,06	0	
519	1936	39	0,15	1,18	0,04	0	0,03	0				-0,19	0	-0,02
234	1932	42	0,53	0,53	0,10	0	0,08	0	-0,64	-0,58	-1,14	-0,13	0	0,47
477	1946	36	0,35	0,82	0,20	0	0,10	0				0,17	0	0,27
546	1937	40	0,25	0,69	0,23	0	0,18	0	-0,16	-0,58	-2,10	0,10	0	0,27
653	1921	41	0,20	0,00	0,26	0	0,22	0	-0,36	-1,85	-2,79	0,09	0	0,25
1015	1954	34	0,28	0,55	-0,24	0	-0,31	1				-0,41	1	0,39
1100	1954	33	0,27	0,48	-0,24	0	-0,32	1				-0,57	1	0,61
923	1954	34	0,29	0,37	-0,10	0	-0,11	0				-0,50	1	0,72
98	1937	24	0,26	0,15	0,25	1	0,25	1				0,16	1	0,48
825	1965	20	0,37	-0,35	0,57	1	0,37	1				0,29	1	0,52
383	1912	36	0,29	0,36	0,08	0	0,02	0				-0,03	0	0,27
489	1960	20	0,26	0,55	0,27	0	0,25	0				-0,05	0	0,44
463	1960	20	0,13	0,70	0,04	0	0,12	0				0,36	1	0,43
467	1960	20	0,13	0,80	-0,20	0	-0,41	1				0,28	0	0,13
1653	1960	20	0,23	-0,11	-0,14	0	-0,15	0				-0,29	1	0,59
1334	1960	22	0,21	0,61	-0,08	1	-0,23	1				-0,08	0	0,48
996	1962	27	0,17	0,01	-0,14	0	-0,16	0				0,01	0	0,01
891	1963	26	0,16	0,11	-0,05	0	-0,08	0				-0,06	1	0,13
809	1962	27	0,15	0,08	-0,16	0	-0,22	1				0,03	1	0,13
914	1967	20	0,33	0,56	0,04	0	0,11	0				0,03	0	0,07
750	1964	22	0,27	0,22	-0,01	0	-0,25	0				0,43	1	-0,08
1176	1964	22	0,09	-0,39	0,20	0	0,10	0				0,34	1	-0,03
1248	1964	30	0,16	0,47	0,34	2	0,25	2				0,49	1	0,82
1298	1964	22	0,17	-0,08	-0,13	0	-0,17	0				-0,25	0	-0,13
1582	1963	25	0,12	0,16	0,13	0	0,04	0				0,09	0	0,09

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Dudh Kosi	Rabuwar Bazar	3	27,270	86,660	4100	7,002
Sun Kosi (Kosi River)	Pachuwar Ghat	3	27,560	85,750	4920	7,879
Sun Kosi (Kosi River)	Kampughat	3	26,870	86,820	17600	24,038
Tamur River	Mulghat	3	26,930	87,330	5640	10,542
ЯПОНИЯ						
Ishikari	Ishikari-Ohashi	1	43,120	141,550	12697	15,344
Yodo	Hirakata	2	34,810	135,650	7281	7,912
Tone	Kurihashi	5	36,140	139,700	8588	7,863
Shinano,Chikuma	Ojiya	1	37,310	138,810	9719	16,422
ИРАК						
Tigris	Baghdad	5	33,300	44,380	134000	37,676
СЕВЕРНАЯ КОРЕЯ						
Han-Gang (Han River)	Indogyo	1	37,520	126,970	25046	16,538
ИНДИЯ						
Ganges	Farakka	1	25,000	87,920	835000	387,691
Narmada	Garudeshuar	1	21,920	73,650	89345	35,998
Tapti River	Kathore	1	21,280	72,950	61575	16,852
Narmada	Jamtara	1	23,020	79,930	16576	9,533
Damodar River	Rhondia	5	23,430	87,370	19220	8,541
Krishna	Vijayawada	4	16,520	80,620	251355	50,160
Cauvery River	Krishnarajasagar	4	12,420	76,580	10600	5,219
Godavari	Polavaram	1	16,920	81,780	299320	94,651
КАЗАХСТАН						
Uy	Krutoyarsky	5	54,180	63,180	32900	0,425
Toguzak	Toguzak	5	53,800	62,180	7970	0,097
Tobol	Kustanay	4	53,200	63,650	44800	0,394
Nura-Churubay	Sergiopolskoye	1	50,070	73,350	12300	0,343
Kara-Tal	Ush-Tobe	1	45,270	77,850	13200	1,750
Syr Darya	Tyumen-Aryk	4	44,050	67,050	219000	16,377
Arys	Arys	5	42,420	68,770	13100	0,657
Ural	Kushum	5	50,850	51,280	190000	9,451
КИРГИЗИЯ						





СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Kurshab	Gulcha	3	40,300	73,470	2740	0,491
Keke-Meren	Ust.Djumgol	3	41,850	74,350	5290	2,453
Tar (Trib.Naryn)	Chalma	3	40,570	73,680	3840	1,486
Naryn (Norin), Uzbekist	Uch-Kurgan	2	41,170	72,100	58400	11,505
Naryn (Norin)	Ust.Kekirim	5	41,420	73,980	34600	6,372
Naryn (Norin)	Naryn	3	41,430	76,020	10500	2,737
УЗБЕКИСТАН						
Amu Darya	Chatly	4	42,280	59,700	450000	43,697
Kashkadarya	Chirakchi	5	39,030	66,350	4550	0,701
Surkhan-Darya	Manguzar	5	37,200	67,250	13500	1,419
Tupalangn	Obizarang	3	38,050	68,000	2630	1,058
ТУПКМЕНИСТАН						
Amu Darya	Kerki	4	37,830	65,250	309000	47,260
ТАДЖИКИСТАН						
Zeravshan	Dupuli	5	39,380	67,770	10200	4,877
Kafirnigan	Chinor	3	38,580	69,050	3040	3,144
Kafirnigan	Tartki	5	37,600	68,150	9780	5,210
Gunt	Khorog	3	37,530	71,520	13700	3,274
Shahdara	Khabost	3	37,350	71,570	4180	1,088
Muksu	Davsear	3	39,130	71,570	6550	3,500
Obikhingou	Tavildara	3	38,700	70,520	5390	4,978
Bartang	Murgab	3	38,170	73,970	10500	0,510
Kudara	Ustie	2	38,330	72,480	4500	1,094
Vakhsh	Tutkaul	5	38,330	69,300	31200	20,062
Vakhsh	Komsomolabad	5	38,870	69,980	29500	16,833
Vakhsh	Garm	3	39,000	70,330	20000	10,164
ТАЙЛАНД						
Nam Nan	Sirikit Dam	4	17,770	100,550	13300	5,541
Chao Phraya	Khai Chira Prawat	5	15,671	100,671	110569	22,030
Quae Yai	Srinagarind Dam	4	14,400	99,140	10880	4,414
Mekong	Mukdahan	5	16,540	104,737	391000	250,146
Mekong	Khong Chiam (BanDan)	5	15,318	105,500	419000	293,618
Lam Chi	Yasothon	1	15,782	104,142	43100	7,772
Nam Mun	Ubon	1	15,222	104,862	104000	19,281

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
179	1949	31	0,23	0,08	0,63	1	0,60	1				0,16	0	0,48
464	1937	43	0,19	0,32	0,36	1	0,33	1	0,12	0,88	-0,39	0,12	0	0,59
387	1939	42	0,28	0,60	0,26	0	0,30	1	-0,09	0,88	0,02	0,02	0	0,61
197	1933	58	0,25	0,34	0,40	1	0,36	1	-1,87	0,92	0,39	0,27	2	0,67
184	1936	43	0,17	0,24	0,19	0	0,21	0	-0,18	-0,57	-1,50	-0,11	0	0,44
261	1937	44	0,18	-0,59	0,19	0	0,07	0	0,81	-0,63	-1,79	-0,19	0	0,54
97	1934	22	0,18	0,08	0,23	0	0,14	0				0,21	0	0,18
154	1965	21	0,55	2,28	-0,02	0	0,04	0				-0,01	0	0,03
105	1940	30	0,47	0,81	0,15	2	0,23	2				0,15	2	0,14
402	1943	30	0,32	0,63	0,19	0	0,17	0				0,21	0	0,50
153	1945	30	0,25	1,46	0,25	0	0,29	1				0,25	0	0,13
478	1932	63	0,14	0,27	0,08	0	0,05	0	0,71	0,76	-0,36	-0,05	0	0,37
1034	1938	49	0,22	0,90	0,11	0	0,10	1	-1,13	-0,26	-0,16	-0,08	2	0,41
533	1938	54	0,22	0,47	-0,04	0	-0,04	0	-0,74	-0,07	-0,65	-0,09	0	0,20
239	1940	46	0,18	0,13	0,02	0	-0,01	0	-0,87	0,18	-0,33	0,10	0	0,60
260	1939	47	0,18	0,39	0,06	0	0,08	0	-2,00	0,75	-0,91	-0,01	0	0,61
534	1961	22	0,25	0,69	0,26	0	0,13	0				0,23	0	0,69
924	1959	27	0,13	0,09	-0,06	0	-0,15	0				-0,18	0	0,14
49	1960	20	0,22	-0,21	-0,47	1	-0,52	1				-0,10	0	0,31
243	1946	22	0,16	0,31	-0,18	0	-0,21	0				-0,29	1	0,59
643	1932	35	0,12	-0,16	0,02	0	-0,04	0				-0,16	0	0,39
571	1949	23	0,14	-0,16	0,06	2	0,07	2				0,02	2	0,02
508	1939	50	0,14	0,07	-0,05	0	-0,03	0	-0,46	0,70	0,15	-0,08	0	0,28
417	1956	33	0,30	0,76	-0,07	0	-0,12	0				-0,09	0	0,71
199	1957	43	0,30	0,61	0,37	2	0,35	1	-0,91	0,01	1,07	0,27	0	0,45
406	1956	33	0,27	0,59	0,02	1	0,01	1				0,00	1	0,18
640	1925	55	0,14	-0,44	0,43	3	0,38	1	-2,31	0,60	-1,16	-0,13	0	0,30
701	1967	20	0,15	0,24	-0,05	0	-0,02	0				-0,15	1	0,41
180	1954	26	0,32	0,59	0,13	0	0,05	0				-0,04	0	0,68
185	1956	24	0,35	0,73	-0,05	0	-0,11	0				-0,12	0	0,81

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Mekong	Chiang Khan	5	17,897	101,668	292000	130,606
<b>АВСТРАЛИЯ</b>						
Herbert River	Abergowrie	1	-18,490	145,920	7530	2,438
Herbert River	Ingham	1	-18,630	146,130	8805	3,372
Burdekin	Clare	1	-19,797	147,233	129712	9,595
Burdekin	Home Hill	1	-19,644	147,396	129760	15,187
Mistake Creek	Charlton	1	-22,510	147,100	2670	0,102
Fitzroy	Yaamba	1	-23,150	150,370	136650	4,559
Fitzroy	The Gap	1	-23,088	150,108	135757	5,016
Dawson River	Utopia Downs	1	-25,746	149,331	6039	0,103
Mary River (Quee)	Miva	1	-25,955	152,495	4755	1,248
Dogwood Creek	Gilweir	1	-26,710	150,180	3010	0,096
Gregory River	Gregory Downs	1	-18,644	139,253	12690	0,704
Clarence River	Tabulam	1	-28,887	152,565	4550	0,837
Clarence River	Lilydale	5	-29,510	152,682	16690	3,578
Macleay River	Turners Flat	1	-31,010	152,712	9980	1,569
Manning River	Killawarra	1	-31,919	152,311	6560	1,996
Hunter River	Greta	1	-32,667	151,400	17320	0,752
Murrumbidgee River	Maude Weir	5	-34,479	144,300	57700	1,824
Murrumbidgee River	Narrandera	5	-34,757	146,547	34200	3,460
Murrumbidgee River	Gundagai	5	-35,076	148,107	21100	3,657
Murrumbidgee River	Burrinjuck Dam	4	-35,003	148,574	13100	1,437
Gwydir River	Bundarra	1	-30,173	151,064	3990	0,368
Gwydir River	Yarraman Bridge	5	-29,417	149,850	12960	0,491
Darling River	Louth	1	-30,533	145,114	489300	3,536
Darling River	Burtundy	5	-33,746	142,267	647200	1,765
Darling River	Menindee Weir32	4	-32,428	142,380	575000	1,734
Darling River	Bourke Town	1	-30,088	145,938	386000	3,991
Lachlan River	Booligal	5	-33,871	144,881	55900	0,301
Lachlan River	Forbes (CottonsWeir)	5	-33,404	147,990	19000	1,332
Lachlan River	Wyangala	4	-33,983	148,935	8290	0,763
Macquairie River	Oxley Station	5	-31,119	147,568	28550	0,360
Macquairie River	Burrendong DaM	4	-32,636	149,078	13980	1,021
Macquairie River	Bruinbun	1	-33,139	149,430	4580	0,471
Barwon River	Brewarrina	1	-29,950	146,867	297850	1,995
Barwon River	Dangar Bridge (Walgett)	5	-30,017	148,067	132200	2,632
Barwon River	Mogil MogIL	5	-29,355	148,688	64800	1,119

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
447	1968	25	0,15	0,37	-0,04	0	-0,03	0				0,06	2	0,33
323,772	1970	20	0,84	1,19	-0,17	0	-0,14	1				-0,32	1	0,51
382,964	1916	81	0,64	0,9	0,01	0	0,02	0	-0,9	1,15	0,9	-0,19	0	0,24
73,972	1951	49	1,07	2,09	0,12	0	0,17	0	-1,15	-0,43	-0,21	0,09	0	0,71
117,039	1932	26	0,85	0,73	0,35	2	0,14	0				0,12	0	0,11
38,202	1970	20	0,93	1,39	0,16	0	0,2	0				0,23	0	
33,363	1915	31	1,49	3,27	0,16	0	0,09	2				0,05	0	
36,948	1965	32	1,08	1,41	0,11	0	0,11	0				0,07	0	
17,056	1967	34	1,19	2,41	0,18	0	0,25	0				0,22	0	0,04
262,461	1910	91	0,87	1,2	0,23	0	0,09	0	-0,02	1,87	-1,26	0,09	0	0,21
31,894	1950	42	1,62	2,48	0,11	0	0,15	0	-0,07	-0,14	1,85	0,16	0	
55,477	1970	31	1,13	2,22	0,09	0	0,05	1				0,07	0	0,74
183,956	1956	45	0,91	0,91	0,07	2	0,06	1	-1,58	-0,13	1,41	0,08	1	0,11
214,380	1950	51	0,85	1,24	0,11	1	0,12	1	-1,6	-0,95	0,97	0,15	0	0,19
157,214	1974	27	0,76	0,66	0,41	2	0,37	1				0,48	1	0,26
304,268	1961	40	0,93	1,99	0,17	0	0,24	0	-0,73	-0,27	-0,6	0,17	0	0,19
43,418	1969	31	0,95	1,12	0,12	0	0,14	0				0,02	0	0,33
31,612	1937	63	0,71	1,24	0,22	0	0,22	0	-1,15	0,03	0,33	0,08	0	0,63
101,170	1914	86	0,67	2,08	0,13	0	0,19	1	0,83	-2,24	-0,25	0,16	0	0,63
173,318	1916	84	0,51	1,66	0,17	0	0,27	1	1,56	-2,39	0,29	0,17	0	0,46
109,695	1962	38	0,61	2,21	0,26	0	0,25	1				0,19	0	0,29
92,231	1937	64	1,02	2,04	0,28	0	0,31	1	-0,28	-0,16	0,39	0,38	1	0,29
37,886	1977	23	1,03	1,32	0,48	2	0,51	1				0,57	1	0,34
7,227	1954	29	1,62	3,65	0,07	0	0,22	0				0,21	0	0,39
2,727	1946	54	1,03	1,65	0,38	1	0,46	1	-0,23	-0,47	0,38	0,43	1	0,31
3,016	1958	42	1,21	1,66	0,2	0	0,3	1	-0,43	-0,66	0,39	0,32	1	0,54
10,339	1947	47	1,31	2,58	0,02	0	0,28	1	0,07	0,55	0,39	0,26	1	0,21
5,385	1934	65	0,99	1,61	0,24	0	0,3	1	-0,16	-1,14	-0,34	0,26	1	0,54
70,105	1944	55	1	2,32	0,1	0	0,29	1	0,37	-1,29	-0,27	0,2	1	0,43
92,039	1919	79	0,93	2,35	0,2	0	0,22	1	1,52	-1,87	-0,02	0,22	1	0,44
12,609	1966	33	0,69	0,94	0,52	1	0,49	1				0,4	1	0,71
73,033	1961	38	0,78	1,68	0,34	1	0,44	1				0,17	0	0,06
102,838	1948	51	0,92	1,74	0,01	0	0,04	0	-1,43	0,64	0,55	0,01	0	0,26
6,698	1930	70	1,06	2,55	0,12	0	0,27	0	-0,26	1,31	0,58	0,35	1	0,28
19,909	1968	26	1,12	1,34	0,09	0	0,29	1				0,33	1	0,26
17,269	1966	28	1,13	1,83	0,31	1	0,36	1				0,31	2	0,28

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Snowy River (SE)	Jarramond	1	-37,662	148,358	13421	1,569
Mitchell River	Glenaladale	1	-37,767	147,375	3903	0,890
Barwon River	Pollocksford	5	-38,142	144,183	2713	0,223
Hopkins River	Hopkins Falls	1	-38,333	142,625	8355	0,274
Glenelg River	Dartmoor	5	-37,927	141,278	11914	0,583
Campaspe River	Barnadown	5	-36,632	144,552	2528	0,220
Avoca River	Coonooer	1	-36,442	143,300	2668	0,089
Drain M	AMTD5.1km	1	-37,435	140,071	2889	0,069
Cooper Creek	Callamurra Water Hole	1	-27,701	140,844	230000	1,784
Pallinup River	Bull Crossing	1	-34,336	118,665	3655	0,022
Kalgan River	Stevens Farm	1	-34,886	118,000	2857	0,044
Frankland River	Mount Frankland	1	-34,907	116,788	5800	0,164
Warren River	Barker Rd Crossing	1	-34,522	115,899	4035	0,288
Blackwood River	Darradup	1	-34,073	115,618	20500	0,625
Murray River (SW)	Baden Powell WTR/SP	1	-32,772	116,084	6840	0,286
Murchison River	Emu Springs	1	-27,855	114,546	82300	0,201
Gascoyne River	Nune Mile Bridge	1	-24,828	113,769	73400	0,807
Ashburton River	Nanutarra	5	-22,544	115,499	70200	0,799
De Grey River	Coolenar Pool	1	-20,311	119,249	49600	1,574
Fitzroy River	Dimond Gorge	1	-17,682	126,026	16800	2,631
Fitzroy River	Fitzroy Crossing	1	-18,206	125,581	45300	6,418
Charnley River	Panta Downs	1	-16,392	125,059	3960	0,802
Durack River	Nettopus Pool	1	-16,317	127,179	4150	0,475
Victoria River	Coolibah Homestea D	1	-15,533	130,950	44900	4,893
Dry River	Manbulloo Boundary	1	-15,087	132,411	6290	0,210
Daly	Mount Nancar	1	-13,833	130,733	47000	7,730
Mary River	Mount Bunday	1	-12,908	131,645	5700	1,719
Roper River	Red Rock	1	-14,700	134,417	47400	3,124
Macarthur River	M.I.M.Pump	1	-16,452	136,085	10400	1,022
South Esk River	Macquarie River Perth	2	-41,599	147,203	3278	0,770
ПОРТУГАЛИЯ						
Tamega	Ponte De Canavezes	1	41,200	-8,170	3180	2,241
Douro	Regua	1	41,150	-7,680	91491	17,300
Tejo	Vila Velha De Rodao	4	39,650	-7,670	59167	9,753
Sado	M.Da Gamitinha	1	38,070	-8,400	2721	0,247
Guadiana	Pulo Do Lobo	4	37,820	-7,630	60883	4,850



СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГODOVOЙ СТОК
ФРАНЦИЯ						
Seine	Paris	5	48,830	2,270	44320	8,560
Loire	Montjean	5	47,380	-0,830	110000	26,400
Loire	Blois	5	47,580	1,330	38240	11,508
Loire	Gien	5	47,680	2,580	35890	10,870
Garonne	Mas-D'Agenais	5	44,420	0,230	52000	19,200
Rhone	Beaucaire	5	43,920	4,670	95590	53,800
Rhone	LaMulatiere	5	45,750	4,830	50200	33,000
ЧЕХИЯ						
Berounka	Berounka	5	49,960	14,090	8284	1,150
Otava	Pisek	5	49,320	14,150	2913	0,757
Labe	Decin	5	50,790	14,230	51104	9,593
Morava	Straznice	5	48,930	17,300	9147	1,869
СЛОВАКИЯ						
Morava	Moravsky Jan	5	48,600	16,930	24129	3,405
Danube	Bratislava	5	48,120	17,100	131338	64,400
Ipel	Ipelsky Sokolec	1	48,040	18,820	4838	0,622
Vah	Sala	5	48,160	17,890	10620	4,596
Hron	Brehy	1	48,410	18,650	3821	1,519
ИСПАНИЯ						
Mino	Orense	1	42,350	-7,870	12925	6,754
Sil	San Pedro	4	42,440	-7,710	7982	4,905
Duero	Villachiva	5	41,500	-5,480	41856	4,508
Duero	Puente Pino	4	41,580	-6,190	63160	8,440
Esla	Breto	4	41,880	-5,750	14263	4,359
Tajo	Alcantara	4	39,720	-6,890	51958	7,391
Tajo	Talavera	1	39,960	-4,830	33849	3,238
Guadiana	Puente De Palmas	4	38,880	-6,970	48515	2,532
Guadalquivir	Alcala Del Rio	4	37,520	-5,980	46995	9,455
Guadalquivir	La Presa	4	39,520	-0,500	6294	0,416
Ebro	Castejon	5	42,180	-1,690	25194	8,517
Ebro	Zaragoza	5	41,670	-0,900	40434	18,800
Segre	Seros	4	41,450	0,420	12782	2,980
Cinca	Fraga	5	41,530	0,340	9612	2,473
Ebro	Tortosa	5	40,820	0,520	84230	13,600



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
193	1928	47	0,38	0,32	0,21	0	0,20	0	-0,22	-0,25	-0,57	0,10	0	0,35
240	1863	117	0,33	0,71	0,23	0	0,25	0	1,06	1,28	1,44	0,07	0	0,22
301	1863	116	0,29	0,38	0,18	0	0,20	0	-0,39	1,30	0,96	0,03	0	0,10
303	1918	47	0,36	0,25	0,25	0	0,24	0	-2,24	0,13	0,14	0,23	0	0,04
368	1921	59	0,30	-0,08	0,39	1	0,40	1	0,04	-2,10	-1,46	0,05	0	0,37
563	1921	79	0,21	-0,13	0,04	1	0,02	1	0,03	-1,11	0,67	0,09	2	-0,10
657	1900	73	0,24	0,00	-0,03	0	-0,04	0	-1,62	-0,59	-0,23	-0,19	0	0,07
139	1980	21	0,35	0,57	0,71	1	0,65	1				0,41	1	0,37
260	1976	25	0,28	0,71	0,66	1	0,59	1				0,06	0	0,51
188	1851	150	0,29	0,89	0,37	1	0,39	1	0,18	1,45	1,15	0,21	0	0,41
204	1931	70	0,31	0,71	0,33	1	0,35	1	0,87	-1,20	-0,17	0,15	0	0,48
141	1922	71	0,37	1,28	0,39	1	0,40	1	0,00	-0,73	-1,38	0,27	0	0,47
490	1901	92	0,16	0,37	0,10	0	0,10	0	-0,60	0,08	0,78	0,13	0	0,20
129	1931	58	0,48	0,98	0,37	1	0,33	1	0,04	-0,81	-0,64	0,07	0	0,39
433	1921	72	0,21	0,31	0,01	0	-0,01	2	-1,04	-2,05	-1,65	-0,07	0	0,18
398	1931	62	0,28	0,41	0,21	0	0,18	0	-0,43	-0,48	-0,13	-0,11	0	0,27
523	1944	37	0,38	0,92	0,35	1	0,41	1				0,14	0	0,60
615	1941	46	0,35	0,77	0,33	1	0,30	1	0,25	-1,02	-0,50	0,20	0	0,53
108	1921	59	0,46	0,92	0,24	1	0,27	1	-0,51	-0,09	0,52	0,25	1	0,40
134	1953	32	0,46	0,99	0,36	1	0,38	1				0,30	1	0,18
306	1933	46	0,38	0,67	0,28	2	0,26	2	-0,50	-0,73	-0,06	0,12	0	0,83
142	1946	37	0,56	0,66	0,33	1	0,37	1				0,21	0	0,16
96	1936	25	0,49	0,49	0,27	0	0,21	0				0,23	2	0,16
52	1942	34	0,93	1,17	0,44	1	0,47	1				0,26	0	0,85
201	1945	42	0,90	1,80	0,50	1	0,55	1	-2,09	-0,18	0,15	0,30	1	0,60
66	1958	30	0,41	-0,44	0,95	0	0,76	1				0,70	1	0,84
338	1935	36	0,27	0,18	0,47	1	0,37	1				0,25	1	0,46
465	1913	58	0,40	0,23	0,67	1	0,65	1	-1,06	0,79	0,72	0,56	1	0,43
233	1934	35	0,35	0,39	0,00	0	-0,02	0				-0,22	0	0,24
257	1938	35	0,42	0,23	0,17	0	0,18	1				0,16	1	0,67
162	1938	30	0,32	0,61	0,43	1	0,33	1				0,30	1	0,06

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГОДОВОЙ СТОК
Jucar	Masia De Pompo	4	37,150	-0,650	17876	1,529
<b>ШВЕЦИЯ</b>						
Vaenern-Goeta	Vaenersborg	2	58,380	12,320	46830	16,800
Angerman	Solleftea	2	63,170	17,270	30640	15,700
Vindaelven	Sorsele	2	65,530	17,520	6110	4,008
Orealven	Torrebole	6	63,530	19,730	2860	1,013
Lule	Boden Waterworks	2	65,830	21,620	24490	15,693
Ranealv	Niemisel	2	66,000	22,000	3768	1,233
Kalixalven	Raktfors	6	65,820	23,210	23103	8,900
<b>АВСТРИЯ</b>						
Danube	Linz	5	48,310	14,300	79490	46,500
Enns	Steyr	3	48,040	14,410	5915	6,311
Danube	Stein-Krems	5	48,400	15,590	96045	58,219
Danube	Kienstock	5	48,380	15,460	95970	59,000
Danube	Wien-Nussdorf	5	48,250	16,300	101700	60,600
Inn	Innsbruck	3	47,260	11,380	5792	5,129
Inn	Scharding	6	48,450	13,430	25665	23,100
Mur	Spielfeld	3	46,710	15,640	9480	4,504
Mur	Landscha	3	46,770	15,590	8340	4,416
Mur	Frohnleiten	3	47,080	15,430	6548	3,624
<b>ГРЕЦИЯ</b>						
Aliakmon	Ilarion	1	40,080	21,800	5005	1,580
Nestos	Temenos	5	41,280	24,480	4393	1,368
<b>ГЕРМАНИЯ</b>						
Rhine	Rees	5	51,750	6,400	159300	73,000
Rhine	Duesseldorf	5	51,226	6,770	147680	68,377
Rhine	Koeln	5	50,937	6,963	144232	66,100
Rhine	Andernach	5	50,443	7,392	139549	64,700
Rhine	Kaub	5	50,086	7,765	103488	50,882
Nahe	Grolsheim	1	49,912	7,911	4013	0,979
Rhine	Mainz	5	50,005	8,275	98206	50,739
Rhine	Speyer	5	49,324	8,449	53131	40,885
Rhine	Worms	5	49,632	8,377	68827	44,982
Rhine	Maxau	5	49,039	8,306	50196	39,953

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
86	1913	68	0,33	0,95	0,54	1	0,53	2	-2,99	-0,34	0,53	0,50	1	0,48
359	1807	192	0,19	-0,12	0,48	4	0,48	4	-0,91	0,84	-0,66	0,54	1	0,63
513	1965	34	0,19	0,32	0,21	1	0,14	0				0,06	0	0,27
656	1920	79	0,16	-0,05	0,04	1	0,03	1	-0,09	0,29	0,45	0,06	0	0,15
354	1950	49	0,23	0,18	0,19	1	0,22	1	0,46	-0,30	-0,70	-0,20	0	0,38
641	1900	96	0,12	0,35	0,31	0	0,30	1	-1,32	1,66	1,66	0,67	4	0,87
327	1924	75	0,21	0,42	0,14	1	0,06	1	-1,06	-0,94	-0,52	0,05	0	0,36
385	1937	62	0,15	0,04	0,08	1	0,08	1	0,47	-0,15	-0,11	0,22	0	0,00
584	1931	60	0,17	0,20	0,23	0	0,20	0	-0,79	0,30	0,15	0,22	0	0,37
1067	1951	47	0,16	0,07	-0,03	0	-0,02	0	1,26	-1,77	0,34	-0,20	0	0,30
609	1931	45	0,18	0,30	0,20	0	0,16	0	0,60	0,47	0,33	0,15	0	0,25
614	1976	21	0,13	0,19	0,44	2	0,30	1				0,03	0	0,33
596	1931	60	0,16	0,22	0,18	0	0,17	0	-0,31	0,79	0,30	0,13	0	0,31
886	1951	47	0,13	-0,23	0,10	0	0,11	0	0,46	-1,63	-0,97	-0,03	0	0,78
899	1930	68	0,14	0,40	0,09	0	0,10	0	-0,86	1,02	0,37	-0,06	0	0,42
475	1968	30	0,18	0,40	-0,43	1	-0,35	1				-0,38	1	0,51
530	1951	26	0,20	0,52	-0,40	1	-0,43	1				-0,22	0	0,17
553	1951	36	0,19	1,00	-0,17	0	-0,22	0				-0,11	0	0,00
316	1964	24	0,25	-0,42	0,28	0	0,21	0				0,23	0	0,45
311	1966	24	0,27	0,60	0,27	1	0,27	1				0,34	1	0,16
458	1815	175	0,20	0,00	0,21	0	0,20	0	0,81	2,29	-0,02	0,01	0	0,16
463	1931	72	0,22	-0,10	0,32	1	0,28	1	1,32	0,14	0,77	0,07	0	0,24
458	1817	186	0,19	-0,08	0,20	0	0,20	0	0,69	2,84	-0,32	0,00	1	0,17
464	1931	72	0,22	-0,13	0,31	1	0,25	1	1,41	-0,24	0,59	0,04	0	0,30
492	1821	182	0,19	0,05	0,21	0	0,21	0	1,54	2,52	0,16	0,03	0	0,28
244	1936	66	0,35	0,00	0,40	1	0,33	1	0,63	-0,13	0,25	0,05	0	0,12
517	1931	71	0,21	-0,11	0,26	1	0,22	0	1,86	-0,25	0,47	0,08	0	0,38
770	1951	51	0,17	-0,07	0,15	0	0,12	0	1,34	-0,44	1,19	0,05	0	0,44
654	1937	66	0,19	-0,17	0,24	0	0,22	1	0,94	0,67	0,25	0,10	0	0,47
796	1946	57	0,19	-0,02	0,19	0	0,21	2	1,28	-0,63	0,72	-0,01	0	0,49

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГODOVOЙ СТОК
Main	Kleinheubach	5	49,716	9,225	21505	5,169
Main	Schweinfurt	5	50,031	10,221	12715	3,203
Main	Steinbach	5	50,010	9,604	17914	4,471
Main	Trunstadt	5	49,930	10,755	12010	3,394
Main	Francfurt A.M.	5	50,106	8,667	24764	6,028
Lahn	Leun(Neu)	1	50,545	8,356	3571	1,030
Rhine	Rhinfeldен	2	47,561	7,799	34550	32,800
Main	Wuerzburg	5	49,796	9,926	14031	3,401
Neckar	Rockenau-Ska	1	49,432	9,004	12710	4,300
Neckar	Lauffen	1	49,073	9,160	7916	2,745
Neckar	Plochingen	1	48,707	9,419	3995	1,472
Main	Kemmern	1	49,951	10,874	4251	1,393
Moselle	Cochem	1	50,143	7,168	27008	10,061
Moselle	TrierUp	1	49,733	6,624	23857	8,951
Moselle	Perl	5	49,473	6,369	11522	5,276
Saar	Fremersdorf	5	49,406	6,648	6983	2,377
Weser	Vlotho	5	52,176	8,862	17618	5,415
Weser	Intschede	5	52,964	9,125	37720	10,231
Aller	Rethem	5	52,789	9,383	14730	3,664
Weser	Hann.-Muenden	5	51,426	9,641	12442	3,477
Aller	Marklendorf	5	52,682	9,704	7209	1,380
Aller	Celle	5	52,622	10,063	4374	0,853
Fulda	Grebenau	1	51,193	9,498	2975	0,836
Fulda	Guntershausen	5	51,227	9,469	6366	1,763
Leine	Herrenhausen	5	52,388	9,676	5304	1,598
Leine	Schwarmstedt	5	52,683	9,604	6443	1,953
Werra	Allendorf	1	51,270	9,980	5166	1,490
Werra	Heldra	1	51,125	10,197	4302	1,266
Werra	Letzter Heller	1	51,408	9,709	5487	1,597
Weser	Bodenwerder	5	51,973	9,516	15924	4,630
Weser	Doerverden	5	52,852	9,211	22110	6,520
Weser	Karlshafen	5	51,648	9,438	14794	4,315
Weser	Liebenau	5	52,594	9,113	19910	6,066
Weser	Porta	5	52,249	8,922	19162	5,821
Weser	Wahmbeck	5	51,625	9,520	12996	3,792
Ems	Versen	5	52,740	7,240	8369	2,530
Ems	Dalum	5	52,596	7,249	4981	1,551
Ems	Greven	5	52,094	7,603	2842	0,873

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
240	1959	44	0,32	0,05	0,44	2	0,42	2	1,16	-0,73	0,03	0,15	0	0,34
252	1845	156	0,28	0,35	0,39	2	0,38	2	0,51	1,18	-0,76	0,22	0	0,38
250	1965	36	0,28	0,21	0,52	1	0,47	1				0,21	0	0,30
283	1976	25	0,25	0,20	0,48	2	0,44	2				0,17	0	0,33
246	1964	39	0,31	-0,03	0,38	2	0,33	2				0,10	2	0,35
288	1936	66	0,33	0,59	0,29	0	0,25	0	0,29	0,01	0,48	0,11	0	0,29
949	1931	72	0,17	-0,21	0,19	0	0,17	0	0,85	0,32	-0,40	-0,04	0	0,49
242	1824	178	0,28	0,36	0,38	2	0,36	2	1,16	2,10	-0,39	0,15	0	0,40
338	1951	51	0,27	0,13	0,29	0	0,22	0	1,73	-1,04	1,02	0,18	0	0,32
347	1949	53	0,27	0,20	0,28	1	0,24	1	1,39	-0,60	0,39	0,17	1	0,24
368	1919	83	0,32	0,25	0,30	0	0,30	1	1,52	-1,04	-0,23	0,09	0	0,20
328	1959	40	0,33	0,10	0,30	1	0,25	2	1,21	-1,44	-0,05	-0,02	0	0,12
371	1901	60	0,27	-0,14	0,05	0	0,01	0	-1,16	0,86	0,02	-0,05	0	0,04
375	1931	30	0,30	0,12	-0,02	0	-0,06	0				-0,05	0	0,07
458	1975	27	0,29	-0,29	0,50	1	0,38	1				0,25	1	0,36
340	1953	50	0,30	-0,08	0,39	1	0,27	1	1,49	-1,18	1,08	0,01	0	0,48
307	1821	180	0,26	0,11	0,40	1	0,40	1	-1,60	0,43	-0,94	0,23	0	0,45
271	1857	145	0,26	0,32	0,35	2	0,36	2	-0,64	0,94	-1,00	0,28	4	0,24
249	1941	61	0,31	0,75	0,27	2	0,26	2	-0,74	-0,62	0,87	0,19	0	0,27
279	1831	170	0,25	0,21	0,31	0	0,32	1	0,17	1,87	-0,55	0,17	0	0,48
191	1941	61	0,31	0,84	0,27	2	0,27	2	-1,03	-0,46	1,10	0,20	3	0,24
195	1891	109	0,30	0,84	0,32	2	0,35	2	0,42	1,21	-0,36	0,25	0	0,25
281	1951	50	0,30	0,30	0,29	0	0,25	0	0,03	-1,03	0,73	0,11	0	0,23
277	1922	79	0,29	0,34	0,27	1	0,25	1	1,67	1,37	0,74	0,15	0	0,29
301	1941	61	0,31	0,64	0,22	0	0,21	0	-0,32	-0,35	1,04	0,23	0	0,19
303	1941	60	0,32	0,61	0,23	0	0,23	0	-0,52	-0,54	1,05	0,23	0	0,33
288	1941	60	0,31	0,50	0,22	2	0,19	2	-0,67	-1,51	1,23	0,16	0	0,20
294	1951	50	0,29	0,30	0,26	0	0,22	0	0,14	-1,48	0,69	0,12	0	0,22
291	1941	60	0,30	0,48	0,23	2	0,21	2	-0,24	-1,31	1,24	0,17	0	0,22
291	1840	161	0,25	0,17	0,35	1	0,36	1	-0,27	2,23	-1,62	0,36	1	0,22
295	1954	48	0,30	0,29	0,29	0	0,25	0	0,44	-1,57	-0,03	0,19	0	0,21
292	1941	60	0,29	0,35	0,23	0	0,21	0	-0,14	-1,19	1,05	0,20	0	0,29
305	1954	47	0,30	0,27	0,29	0	0,25	0	0,47	-1,36	-0,17	0,16	0	0,26
304	1936	65	0,28	0,27	0,23	0	0,22	0	-0,07	-0,76	0,70	0,16	0	0,27
292	1941	60	0,29	0,34	0,23	0	0,21	0	0,02	-0,97	1,19	0,19	0	0,25
303	1940	61	0,28	0,28	0,21	0	0,18	0	0,02	-0,32	1,08	0,14	0	0,19
311	1965	36	0,30	0,40	0,41	1	0,40	1				0,27	1	0,14
307	1941	60	0,33	0,32	0,22	0	0,20	0	0,30	-0,31	0,97	0,06	0	0,24

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОС.	СТОК
Ems	Rheine Unterschleuse Up	4	52,288	7,434	3740	1,141
Elbe	Neu-Darchau	5	53,232	10,889	131950	22,378
Elbe	Dresden	5	51,060	13,739	53096	10,030
Elbe	Wittenberg	5	51,862	12,647	61879	11,087
Elbe	Barby	5	51,991	11,883	94060	17,495
Elbe	Wittenberge	5	52,990	11,752	123532	21,392
Elbe	Tangermuende	5	52,550	11,980	97780	17,938
Elbe	Aken	5	51,863	12,059	70093	13,811
Elbe	Magdeburg-Strombruecke	5	52,135	11,644	94942	17,630
Elbe	Torgau1	5	51,559	13,011	55211	10,728
Unstrut	Laucha	1	51,227	11,685	6218	0,987
Saale	Calbe-Grizehne	1	51,917	11,810	23719	3,632
Havel	Rathenow (Hauptschleuse)	4	52,600	11,330	19246	6,826
Havel	Rathenow Hauptschleuse Up	4	52,605	12,317	19288	2,775
Havel	Ketzin	4	52,463	13,856	16173	2,447
Vereinigte Mulde	Bad Dueben	5	51,591	12,581	6171	2,000
Danube	Ingo Istadt	3	48,754	11,422	20001	9,868
Danube	Regensburg/Schwabelweis	5	49,018	12,144	35399	13,893
Danube	Hofkirchen	5	48,676	13,116	47496	20,147
Danube	Achleiten	5	48,582	13,504	76653	44,747
Danube	Oberndorf	5	48,947	12,015	26448	11,306
Danube	Pfelling	5	48,880	12,747	37687	14,768
Inn	Wasserburg	3	48,059	12,233	11983	11,121
Salzach	Burghausen	3	48,159	12,834	6649	8,179
Inn	Passau-Ingling	3	48,562	13,443	26084	23,117
ИТАЛИЯ						
Po	Piacenza	3	45,070	9,750	42030	30,792
Po	Boretto	3	44,920	10,580	55183	40,840
Po	Pontolagoscuro	3	44,880	11,650	70091	47,690
Adige	Trento	3	46,070	11,330	9763	6,593
Adige	Boara Pisani	3	45,100	11,830	11954	7,054
Tevere	Roma	1	41,900	12,480	16545	7,287
ISLAND						
Oelfusa	Selfoss	3	63,938	-21,007	5678	12,084
Thjorsa	Thjorsarthun	3	63,933	-20,635	7380	10,945
Joekulsaa_Fjoellum	Ferjubakki	3	66,034	-16,449	7074	5,992

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
305	1931	70	0,31	0,28	0,26	0	0,23	0	1,40	0,12	1,41	0,16	0	0,21
170	1875	128	0,25	0,61	0,40	2	0,38	2	0,44	2,28	0,90	0,22	0	0,20
189	1853	149	0,30	0,76	0,42	1	0,43	1	0,21	0,30	0,86	0,18	0	0,40
179	1951	51	0,31	0,58	0,60	1	0,55	1	0,79	-0,05	1,24	0,33	2	0,51
186	1900	99	0,29	1,00	0,42	2	0,41	2	0,18	0,35	0,65	0,30	2	0,36
173	1900	98	0,28	0,76	0,46	2	0,43	2	0,73	0,51	1,12	0,31	2	0,32
183	1961	41	0,29	0,36	0,57	2	0,51	2	-0,55	-0,63	0,51	0,34	3	0,45
197	1936	66	0,32	0,92	0,54	1	0,49	1	0,13	-0,51	0,70	0,35	2	0,50
186	1931	71	0,32	0,90	0,53	2	0,52	2	0,48	-0,90	0,43	0,34	3	0,51
194	1936	66	0,33	1,13	0,50	2	0,49	1	-0,27	-0,31	0,31	0,37	2	0,50
159	1946	44	0,34	0,64	0,22	0	0,23	0	0,65	-0,75	0,03	0,24	3	0,32
153	1932	71	0,33	0,59	0,44	2	0,43	2	1,15	-1,30	0,22	0,27	0	0,56
	1951	49	1,51	2,20	0,99	0	0,72	1	0,26	1,34	0,21	0,62	1	0,62
143	1951	51	0,25	0,29	0,63	2	0,58	2	-0,84	1,19	0,34	0,30	2	0,46
151	1936	66	0,24	0,02	0,66	1	0,61	1	-1,93	0,66	0,55	0,41	2	0,58
324	1961	41	0,32	0,48	0,33	2	0,32	2	-0,46	-0,54	0,46	0,25	0	0,18
493	1924	78	0,20	0,13	0,31	2	0,27	1	1,26	-0,69	-0,55	0,06	0	0,41
392	1930	69	0,22	0,23	0,39	1	0,34	1	1,11	-0,49	-0,23	0,13	0	0,38
424	1901	99	0,20	0,14	0,23	0	0,22	0	0,29	-0,87	1,07	0,11	0	0,31
584	1901	99	0,16	0,13	0,11	0	0,10	0	-0,41	-0,17	1,46	0,13	0	0,32
427	1976	23	0,17	0,14	0,55	1	0,42	1				0,04	0	0,49
392	1961	40	0,20	0,09	0,38	2	0,30	2	0,40	-1,52	0,48	0,10	0	0,48
928	1827	168	0,12	-0,09	0,04	0	0,04	1	0,25	0,69	-1,14	0,06	1	0,41
1230	1827	164	0,15	0,20	0,07	0	0,07	0	-2,78	0,05	-1,06	0,07	0	0,24
886	1921	73	0,14	0,22	0,07	0	0,03	0	-0,44	0,87	0,76	-0,03	0	0,33
733	1924	62	0,27	0,90	0,12	0	0,06	0	0,78	-0,64	1,31	-0,13	0	0,07
740	1965	21	0,25	1,42	0,45	1	0,28	1				0,05	0	-0,27
680	1918	80	0,25	0,75	0,14	0	0,16	0	0,95	-1,35	-0,01	-0,01	0	0,09
675	1955	27	0,20	0,90	0,03	0	0,09	0				0,06	0	0,60
590	1922	62	0,25	0,96	0,27	0	0,26	2	-3,07	-0,78	0,02	0,24	0	0,42
440	1921	59	0,24	0,73	0,47	1	0,48	1	-0,68	0,26	0,02	0,37	2	0,39
2128	1951	51	0,11	0,40	0,46	1	0,38	1	-2,17	-0,56	-0,72	0,27	1	0,61
1483	1948	55	0,09	0,60	0,23	1	0,27	1	-0,37	-0,28	-1,42	0,22	2	0,77
847	1940	52	0,13	0,81	0,38	2	0,40	2	0,81	0,41	1,92	0,34	2	0,74

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК	СЛОЙ
Lagarfjot	Lagarfoster Lake O	3	65,505	-14,368	2782	3,749	1348
<b>НИДЕРЛАНДЫ</b>							
Maas	Lith	5	51,820	5,450	29000	10,290	355
Maas	Borgharen	5	50,870	5,720	21300	7,633	358
Rhine	Lobith	5	51,840	6,110	160800	70,185	436
<b>ВЕНГРИЯ</b>							
Danube	Dunaalmater Lake O	5	47,730	18,330	171720	69,900	407
Danube	Nagyamaroter Lake O	4	47,780	18,950	183533	73,900	403
Danube	Mohacs	5	46,000	18,670	209064	74,200	355
Tisza	Tiszabacter Lake O	5	48,080	22,830	9707	6,972	718
Tisza	Szeged	5	46,250	20,170	138408	25,975	188
Maros	Mako	1	46,180	20,500	30149	5,452	181
Tisza	Szolnok	5	47,170	20,200	75113	18,300	243
Tisza	Polgar	1	47,870	21,120	62723	16,900	270
Sajo	Felsoezsolca	1	48,110	20,840	6440	0,963	150
Szamos	Csenger	1	47,830	22,700	15283	4,020	263
<b>ПОЛЬША</b>							
Oder	Gozdowice	5	52,767	14,317	109729	17,200	157
Oder	Slubice	5	52,350	14,583	53382	11,090	208
Notec	Nowe Drezdenko	5	52,867	15,817	15970	2,405	151
Oder	Polecko	5	52,050	14,900	47293	8,419	178
Bobr	Zagan	1	51,617	15,317	4254	1,231	289
Warta	Gorzow Wielkopolski	6	52,733	16,233	52404	6,482	124
Warta	Skwierzyna	6	52,600	15,500	32054	4,414	138
Warta	Poznan	5	52,417	16,967	25963	3,774	145
Warta	Konin	1	52,217	18,297	13351	2,219	166
Warta	Sieradz	1	51,600	18,750	8140	1,609	198
Warta	Dzialoszyn	1	51,117	18,867	4088	0,942	230
Warta	NowaWies Podgorna	1	52,967	18,100	20767	3,209	155
Prosna	Boguslawice	1	51,900	17,917	4304	0,518	120
Drawa	Drawiny	2	52,900	15,950	3287	0,671	204
Wisla	Tczew	1	54,100	18,820	194376	32,850	169
Wisla	Szczucin	1	50,300	21,080	23901	7,825	327
Wisla	Warsawa	1	52,250	21,030	84857	17,288	204
Bug	Wyszkow	1	52,580	21,450	39119	4,598	118



СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
1348	1950	53	0,21	2,01	0,19	1	0,07	5	-1,02	-1,65	-1,06	0,08	0	0,08
355	1911	80	0,28	-0,19	0,32	1	0,31	1	-0,20	0,44	-0,30	0,06	0	0,24
358	1911	84	0,31	-0,24	0,24	0	0,22	0	-0,93	0,95	-0,03	0,07	0	0,31
436	1901	98	0,21	-0,16	0,17	0	0,16	0	0,73	0,39	1,21	-0,06	0	0,17
407	1948	48	0,17	0,39	0,22	0	0,19	0	-0,58	-1,25	0,88	0,11	0	0,33
403	1893	103	0,17	0,37	0,16	0	0,15	0	-1,37	-0,04	0,44	0,11	0	0,28
355	1931	65	0,20	0,55	0,38	1	0,31	1	-0,40	-0,37	-1,20	0,17	0	0,46
718	1938	39	0,38	0,13	0,43	1	0,31	1				0,26	0	0,23
188	1935	61	0,33	1,09	0,33	1	0,25	1	1,52	-0,59	1,27	0,15	0	0,30
181	1931	65	0,34	1,29	0,40	1	0,36	1	0,83	-0,50	0,57	0,21	0	0,31
243	1973	21	0,28	0,05	0,57	2	0,46	2				0,36	2	0,40
270	1946	31	0,32	0,43	0,18	1	0,14	1				0,12	1	0,15
150	1891	97	0,43	0,67	0,34	1	0,31	1	-0,93	-0,91	0,39	0,22	0	0,30
263	1931	65	0,35	0,94	0,35	1	0,27	0	0,73	0,35	1,34	0,02	0	0,32
157	1901	93	0,26	0,59	0,49	1	0,48	1	-0,38	-0,40	-0,05	0,29	1	0,29
208	1951	39	0,25	0,38	0,36	1	0,31	1				0,05	0	0,47
151	1961	30	0,19	0,29	0,24	0	0,27	1				0,19	0	0,12
178	1946	42	0,25	0,37	0,31	1	0,28	1	1,36	0,47	0,00	0,13	0	0,62
289	1951	40	0,33	0,75	0,34	1	0,35	1	-0,05	0,37	-0,21	0,28	1	0,40
124	1901	94	0,27	0,51	0,47	1	0,48	1	-0,21	0,72	0,04	0,31	1	0,30
138	1961	20	0,28	0,24	0,19	0	0,16	0				-0,15	0	-0,02
145	1951	39	0,33	0,36	0,36	1	0,26	1	1,89	0,50	-0,19	-0,01	0	0,46
166	1961	20	0,24	0,24	0,26	0	0,21	0				-0,07	0	0,30
198	1961	20	0,21	-0,20	0,28	0	0,11	0				0,08	0	0,14
230	1961	20	0,19	-0,02	-0,01	0	-0,07	0				-0,07	0	0,01
155	1961	20	0,25	-0,02	0,14	0	0,02	0				-0,21	0	0,08
120	1961	23	0,28	0,38	0,01	0	-0,03	0				-0,19	0	0,01
204	1961	20	0,13	-0,16	0,37	0	0,23	0				0,11	0	0,42
169	1901	94	0,22	0,61	0,27	0	0,20	0	0,25	0,03	0,24	0,03	0	0,22
327	1921	65	0,23	-0,13	0,13	0	0,10	1	0,91	-0,58	-1,43	-0,37	1	0,53
204	1921	62	0,22	0,39	0,00	1	-0,03	1	1,74	0,88	0,44	-0,06	2	0,28
118	1921	67	0,33	0,84	0,39	1	0,33	1	1,75	0,43	0,73	0,07	0	0,47

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
San	Radomysl	1	50,680	21,930	16703	4,185
Wieprz	Krasnystaw	1	50,980	23,170	3003	0,371
Pilica	Przedborz	1	51,080	19,750	2535	0,497
Narew	Suraz	1	52,900	22,950	3376	0,483
Narew	Ostroleka	5	53,080	21,550	21862	3,499
Pisa	Ptaki	2	53,390	21,790	3561	0,678
<b>СЕРБИЯ</b>						
Danube	Bezdan	5	45,850	18,870	210245	72,355
Danube	Bogojevo	5	45,530	19,080	251593	90,000
Danube	Pancevo	1	44,840	20,640	525009	173,000
Danube	Veliko Gradiste	1	44,800	21,400	570375	181,722
Tisa	Senta	1	45,930	20,100	140130	23,800
Velika Morava	Lubicevsky Most	1	44,580	21,120	34345	7,464
<b>ВЕЛИКОБРИТАНИЯ</b>						
Tay	Ballathie	2	56,510	-3,390	4587	5,278
Spey	Boat_O_Brig	6	57,550	-3,140	2861	2,040
Tweed	Norham	1	55,720	-2,160	4390	2,472
Trent	Colwick	5	52,950	-1,080	7486	2,697
Thames	Kingston	5	51,510	-0,800	9948	2,479
Thames	Teddington	5	51,420	-0,320	9950	2,572
Thames	Days Weir	1	51,640	-1,180	3445	0,888
Severn	Bewdley	1	52,370	-2,320	4330	1,953
<b>СЛОВЕНИЯ</b>						
Sava	Catez_1	1	45,890	15,610	10186	9,021
Sava	Sremska Mitrovica	1	44,970	19,620	87966	49,700
Mura	Gornja Radgona	1	46,680	16,000	10197	4,935
Drava	Donji Miholjac	3	45,780	18,200	37142	17,300
Drava	Borl	3	46,370	16,000	14661	6,204
Drava	Borl (React.6546801)					
<b>АЛБАНИЯ</b>						
Vjosa	Dorze	1	40,380	19,800	5420	4,595
<b>НОРВЕГИЯ</b>						
Tana	Polmak	6	70,070	28,050	14165	5,265

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
251	1921	67	0,29	0,78	0,15	0	0,13	0	-0,93	0,01	0,57			
124	1951	40	0,29	0,80	0,59	1	0,46	3	0,46	-0,22	0,58	0,11	1	0,15
196	1951	40	0,29	0,07	0,37	2	0,37	2	-0,88	0,61	2,07	0,15	0	0,38
143	1951	40	0,40	2,05	0,39	1	0,25	0	2,22	-0,65	2,17	0,11	0	0,36
160	1951	44	0,28	0,43	0,35	1	0,26	1	1,67	-0,39	1,33	-0,03	0	0,56
190	1951	40	0,28	0,59	0,47	1	0,46	2	0,84	-0,97	0,42	0,26	0	0,64
344	1931	60	0,24	0,54	0,46	1	0,43	1	0,12	-0,97	-1,71	0,22	0	0,21
358	1931	51	0,19	0,62	0,33	1	0,27	1	-0,84	-0,18	0,32	0,17	0	0,05
330	1931	40	0,19	0,56	0,24	1	0,16	0	0,32	-1,20	-0,70	-0,07	0	0,01
319	1931	40	0,19	0,58	0,22	1	0,12	0	0,43	-1,48	-0,86	-0,08	0	0,03
170	1931	45	0,35	1,09	0,47	1	0,32	1	0,79	-0,05	-0,11	0,11	0	0,33
217	1945	39	0,29	1,47	0,41	1	0,38	1				0,05	0	0,33
1151	1953	48	0,16	-0,04	0,28	4	0,26	4	3,99	-0,26	1,20	0,07	0	0,07
713	1953	47	0,15	-0,39	0,16	0	0,11	0	1,24	-1,92	-0,73	0,27	2	-0,09
563	1964	34	0,19	-0,94	0,45	2	0,36	1				0,10	0	0,42
360	1959	42	0,23	0,10	0,31	2	0,30	2	0,48	0,04	1,53	0,23	1	0,31
249	1883	118	0,29	0,12	0,24	1	0,23	1	0,38	-1,22	-0,43	0,03	2	0,03
258	1965	20	0,29	-0,37	-0,04	0	-0,06	0				-0,18	0	0,38
258	1939	61	0,31	0,19	0,13	0	0,11	1	-0,81	-0,62	-0,65	0,03	1	-0,18
451	1922	79	0,21	0,15	0,18	1	0,16	0	-1,07	-0,49	0,54	0,13	0	0,08
886	1956	44	0,17	0,82	0,11	0	0,15	0	-2,44	-0,22	0,06	0,11	0	0,05
565	1926	64	0,20	0,84	0,09	0	0,10	0	-0,11	-1,23	-0,14	-0,08	1	0,29
484	1946	54	0,17	0,76	-0,12	0	-0,12	0	-0,79	-1,96	0,78	-0,20	0	0,35
466	1921	68	0,20	0,66	0,23	0	0,20	0	-0,10	-1,71	-1,59	0,01	0	0,24
423	1954	25	0,17	0,67	-0,13	0	-0,25	0				-0,40	2	0,51
848	1965	20	0,24	0,32	0,33	1	0,30	1				-0,12	0	0,02
372	1946	52	0,18	0,06	0,04	0	0,02	0	0,49	-0,40	0,09	-0,06	0	0,22

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Neiden	Neset	2	59,370	8,530	2911	0,963
Glomma	Langnes	2	59,360	11,070	40243	21,400
Glomma	Elverum	6	60,880	11,560	15426	7,831
Lagen	Losna	2	61,330	10,280	11087	7,677
Otta	Lalm	2	61,830	9,270	3982	3,389
Gaula	Haga Bru	1	63,040	10,170	3062	2,466
Klara	Nybergsukaupi Lak	6	61,260	12,230	4410	2,173
РУМЫНИЯ						
Danube	Orsova	5	44,700	22,420	576232	177,000
Olt	Stoenesti	1	44,100	24,500	22683	5,088
Olt	Cornet	1	45,390	24,300	13733	3,591
Danube	Zimnicea	5	43,630	25,360	658400	190,024
Prut	Radauti	1	48,250	26,800	15388	2,414
Siret	Lungoci	1	45,550	27,510	36030	6,332
Siret	Dragesti	1	46,710	26,950	11811	2,548
Danube	Harsova	5	44,680	27,940	709100	194,539
Danube	Ceatallzmail	5	45,220	28,730	807000	202,379
Mures	Arad	1	46,160	21,320	27280	5,339
Mures	Albalulia	5	46,040	23,600	18055	3,271
Somes	SatuMare	1	47,790	22,850	15388	3,960
ФИНЛЯНДИЯ						
Kokemaenjoki	Kalsinkosi	2	61,350	22,120	26025	6,935
Kokemaenjoki	Harjavalta	2	61,200	22,070	26117	6,985
Karvianjoki	Etelaj-Pohjaj-Lankoski	2	61,670	21,730	3110	1,085
Lapuanjoki	Keppo	6	63,370	22,700	3949	1,016
Kiiminginjoki	Haukipudiere Neta	2	65,200	25,400	3814	1,308
Oulujoki	Meriskoski (Near The Mouth)	2	65,020	25,520	22841	8,103
Oulujoki	Jylhama (Vaala)	2	64,570	26,780	19839	6,905
Iijoki	Raasakka(Near The Mouth)	2	65,320	25,430	14191	5,391
Simojoki	Simo	6	65,670	25,100	3109	1,258
Kemijoki	Isohaara(Near The Mouth)	2	65,780	24,550	50686	17,165
Kemijoki	Seitakorva	2	66,470	27,350	27424	10,050
Ounasjoki	Marraskoski-lisinki	2	66,780	25,420	12303	4,146
Kalajoki	Nikakoski(Near The Mouth)	6	64,200	24,120	3065	0,838
Kyronjoki	Skatila	6	63,130	21,850	4833	1,362
Kymijoki	Anjala	2	60,700	26,820	36275	8,832

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
331	1912	62	0,24	0,63	0,09	0	0,08	0	-0,17	0,47	0,14	0,03	0	0,26
533	1902	99	0,17	0,39	0,15	1	0,15	1	0,17	-1,02	0,82	0,27	0	0,66
508	1872	123	0,17	0,58	0,23	0	0,22	0	0,07	-0,57	0,85	0,18	0	0,81
692	1896	88	0,13	0,03	0,02	1	0,01	1	0,26	-1,04	-0,33	0,16	0	0,84
851	1914	87	0,14	0,13	0,08	2	0,07	2	0,63	0,39	-0,62	0,11	0	0,73
805	1908	91	0,20	-0,06	-0,09	0	-0,09	0	1,46	-0,09	-0,07	-0,11	0	0,30
493	1909	92	0,19	0,31	0,20	0	0,20	0	-1,34	0,15	0,95	-0,02	0	0,42
307	1840	151	0,17	0,41	0,19	0	0,19	0	0,35	0,60	-0,28	-0,11	0	0,20
224	1951	20	0,30	1,46	0,18	1	-0,08	1				0,11	1	0,19
261	1967	33	0,30	0,03	0,41	1	0,35	1				0,01	0	0,57
289	1931	69	0,18	0,78	0,30	1	0,33	1	0,00	-0,59	0,63	0,15	0	0,12
157	1978	22	0,36	0,23	0,45	1	0,33	1				0,14	0	0,39
176	1951	49	0,38	0,30	0,36	1	0,26	1	0,60	0,66	-0,91	0,19	0	0,55
216	1962	38	0,40	-0,12	0,38	1	0,23	0				0,15	0	0,52
274	1931	69	0,18	0,50	0,32	1	0,32	1	0,50	-0,88	0,73	0,02	0	0,20
251	1921	80	0,18	0,40	0,28	1	0,24	1	1,06	-1,22	0,96	0,04	0	0,15
196	1877	123	0,35	0,91	0,38	1	0,36	1	1,00	-0,60	1,15	0,10	0	0,52
181	1951	49	0,31	0,73	0,39	1	0,39	1	-0,12	0,23	2,03	0,19	1	0,44
257	1925	75	0,33	0,98	0,24	0	0,19	0	0,81	-0,86	0,93	-0,01	0	0,44
266	1931	62	0,31	0,12	0,29	1	0,26	1	1,02	-0,41	-1,34	0,26	0	0,20
267	1931	71	0,29	0,07	0,27	0	0,24	0	1,52	-0,97	-1,87	0,25	0	0,17
349	1969	33	0,24	0,01	-0,22	0	-0,20	0				-0,16	0	0,12
257	1931	71	0,33	0,33	0,08	0	0,09	0	1,51	0,23	-1,19	0,13	0	0,05
343	1922	65	0,27	0,13	0,11	0	0,09	0	0,05	-1,33	-3,08	0,03	0	0,29
355	1950	52	0,17	-0,27	0,00	0	-0,06	0	0,54	-0,67	-0,03	0,27	1	0,06
348	1950	52	0,17	-0,13	-0,03	0	-0,03	0	0,20	-1,37	0,28	0,24	1	0,02
380	1911	91	0,20	-0,13	0,11	0	0,08	0	0,11	0,01	-1,85	-0,11	0	0,49
405	1965	37	0,28	1,11	0,07	0	0,03	0				-0,37	1	0,45
339	1911	91	0,20	0,35	0,17	0	0,14	0	0,85	-0,26	-1,06	-0,06	0	0,69
366	1964	38	0,17	0,55	0,08	0	0,09	0				-0,26	1	0,00
337	1971	31	0,19	-0,25	-0,02	0	-0,04	0				-0,38	2	0,33
273	1911	91	0,31	0,22	0,14	0	0,13	0	1,26	-0,91	-1,72	0,05	0	0,63
282	1911	91	0,33	0,40	0,06	0	0,07	0	0,05	-1,38	-2,31	0,13	0	0,34
243	1939	63	0,27	-0,06	0,44	2	0,36	1	1,49	-0,82	-1,53	0,42	2	0,40

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Leppavesi-Paiijanne	Vaaja	2	62,230	25,880	17684	4,720
Vuoksi	Tainionkoski	2	61,220	28,780	61061	18,724
Pielisjoki	Kaltimo	2	62,780	30,130	20975	7,473
Kallavesii	Kallaves	2	62,530	28,770	16270	5,118
Paatsjoki	Lakelnari Outlet	2	68,900	28,450	14575	4,892
Utsjoki	Utsjoki	2	69,920	27,020	11165	4,334
<b>БОЛГАРИЯ</b>						
Danube	Novo Selo	5	44,160	22,820	584900	184,209
Danube	Lom	5	43,840	23,240	588860	181,828
Iskar	Orahovica	1	43,600	24,400	8370	1,821
Danube	Svistov	5	43,630	25,350	650340	194,000
Danube	Ruse	5	43,860	25,950	669900	197,503
Danube	Silistra	5	44,130	27,260	689700	194,764
<b>ШВЕЙЦАРИЯ</b>						
Aare	Bern-Schoenau	2	46,930	7,450	2969	3,783
Rhine	Basel(St.Alban)	2	47,560	7,590	35929	33,455
Rhine	Domat/Emter Lake O	3	46,840	9,460	3229	3,611
Aare	Untersiggenthal	2	47,520	8,240	17625	17,599
Rhine	Diepoldsau	3	47,380	9,640	6119	7,341
Rhone	Chancy	2	46,150	5,970	10299	10,809
Rhone	Porte Du Scex	3	46,350	6,890	5220	5,661
<b>УКРАИНА</b>						
Southern Bug	Aleksandrovka	5	47,720	31,180	46200	3,479
Dniepr	Dniepr Power Plant	4	47,920	35,150	463000	47,054
Dniepr	Kiev	4	50,450	30,550	328000	43,140
Dniepr	Kakhovskaya GES	4	46,820	33,180	482000	42,600
Pрут	Chernovttsy	1	48,260	25,950	6890	2,078
<b>ЛАТВИЯ</b>						
Westernvina (Daugava)	Daugavpils	1	55,880	26,680	64500	13,600
<b>МОЛДОВА</b>						
Dniestr	Bendery	1	46,800	29,370	66100	9,733
<b>РОССИЯ</b>						



СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГОД. СТОК
Volga	Rybinskaya GES	4	58,18	38,72	150000	31,396
Volga	Eltsy	2	56,67	33,83	9130	2,404
Volga	Staritsa	6	56,5	34,93	21100	4,855
Oka	Kostomarovo	1	53,08	36,03	4900	0,672
Oka	Murom	1	55,58	42,08	188000	29,022
Oka	Kaluga	1	54,52	36,27	54900	9,216
Protva	Spas-Zagorie	1	55,03	36,64	3640	0,641
Sura	Kniazhikha	1	55,55	46,1	54400	6,521
Unzha	Makariev	1	57,88	43,83	18500	5,019
Kama	Naberezhnye Chelny	5	55,65	52,45	370000	91,551
Viatka	Kirov	1	58,6	49,72	48300	11,833
Belaya	Birsk	5	55,42	55,53	121000	26,62
Belaya	Ufa	5	54,73	55,93	100000	16,06
Volga	Volgograd Power Plant	4	48,77	44,72	1360000	261,754
Don	Razdorskaya	4	47,5	40,67	378000	25,515
Don	Kazanskaya	1	49,8	41,13	102000	10,001
Medveditsa	Archedinskaia	1	49,82	43,17	33700	1,635
Vorona	Chutanovka	1	52,61	42,71	5560	0,634
Kalaus	Svetlograd	1	45,23	42,78	4540	0,148
Kuban	Tikhovsky	4	45,15	38,52	48100	10,727
Kuban	Krasnodar	4	45,02	38,98	45900	12,261
Severnaya Dvina	Ust-Pinega	1	64,1	42,17	348000	107,538
Severnaya Dvina	Zvoz	1	63,27	42,03	285000	80,522
Vaga	Ust-Suma	1	62,52	42,8	43900	11,734
Vaga	Shenkursk	1	62,1	42,9	38400	8,267
Vaga	Filayevskaya	1	61,12	42,18	13200	3,486
Vel	Balamutovskaya	1	61,2	41,85	4840	1,387
Kubena	Kubinskaya	1	60,1	40,78	4860	1,423
Pinega	Kulogory	1	64,71	43,48	36700	11,77
Pinega	Zasurie	5	63,58	45,6	17100	5,305
Pinega	Severny	4	63	46,78	10200	3,186
Pinega	Sogry	1	62,63	46,65	3120	1,073
Pokshenga	Shilega	1	63,83	43,7	2780	0,883
Uftyuga1	Yarushino	1	61,72	46,72	3540	1,103
Yug	Gavrino	1	60,57	46,45	34800	9,131
Yug	Podosinovets	1	60,27	47,07	15200	3,671
Yug	Gorodok	1	59,98	45,82	8890	2,297
Sukhona	Kalikino	1	60,67	45,87	49200	14,419



СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
209	1950	42	0,27	0,21	0,27	1	0,22	1	-0,64	-0,55	2,52			
263	1891	96	0,26	0,43	0,39	1	0,42	1	-1,37	0,12	0,84	0,02	0	0,44
230	1891	95	0,26	0,45	0,39	1	0,41	1	-1,24	-0,13	-0,59	0,15	0	0,53
137	1965	23	0,32	-0,03	0,45	2	0,38	1				0,37	1	0,63
154	1950	42	0,21	0,15	0,16	0	0,11	0	1,04	0,87	2,06	-0,13	0	0,64
168	1881	99	0,25	0,45	0,22	0	0,20	0	-1,62	-1,53	-0,32	0,18	0	0,65
176	1965	23	0,29	0,39	0,02	0	-0,03	0				-0,21	1	0,71
120	1940	36	0,26	0,05	0,08	0	0,09	3				-0,15	2	0,29
271	1896	90	0,29	0,73	0,26	1	0,22	2	0,48	1,11	-0,58	0,01	0	0,68
247	1954	20	0,17	-0,45	0,43	1	0,39	1				-0,03	0	0,61
245	1878	107	0,22	0,03	0,35	1	0,32	1	-2,69	-0,19	0,25	0,14	0	0,56
220	1881	97	0,28	0,56	0,44	1	0,40	1	-1,40	0,36	1,53	0,18	0	0,72
161	1945	51	0,53	0,81	0,85	3	0,71	3	5,10	1,75	4,83	0,28	3	0,73
192	1879	120	0,18	0,10	0,35	1	0,35	1	-1,99	-0,91	-1,48	0,42	4	0,76
68	1891	109	0,40	0,85	0,13	0	0,11	0	-1,71	-0,15	1,60	0,27	0	0,75
98	1946	42	0,32	0,05	0,12	0	0,08	0	-0,88	0,33	1,06	0,04	0	0,75
49	1965	20	0,50	0,83	0,11	0	-0,05	0				-0,27	1	0,50
114	1965	23	0,43	1,28	0,22	0	0,32	1				-0,01	0	0,62
33	1965	22	0,31	0,45	0,26	1	0,14	1				-0,35	2	0,37
223	1933	37	0,21	0,19	0,15	0	0,12	0				0,42	2	-0,07
267	1911	78	0,20	-0,16	0,25	0	0,23	0	-1,62	0,39	-0,45	0,32	1	0,09
309	1882	54	0,19	0,35	0,34	3	0,31	3	0,48	-0,30	0,18	0,14	1	0,22
283	1940	49	0,18	-0,03	-0,10	0	-0,16	0	-1,13	-0,30	-1,52	-0,31	1	0,18
267	1957	32	0,21	0,52	-0,08	1	-0,16	1				-0,43	2	0,11
215	1915	28	0,29	0,71	0,40	1	0,46	1				0,28	1	0,51
264	1938	51	0,23	0,69	-0,01	0	-0,01	0	-0,59	0,16	-0,65	-0,29	1	0,23
287	1951	38	0,24	0,61	-0,06	0	-0,06	0				-0,33	1	0,08
293	1951	38	0,27	0,45	0,00	0	0,01	0				-0,27	1	0,27
321	1927	62	0,19	0,35	0,15	0	0,08	0	-0,18	-1,35	-2,90	-0,13	0	0,39
310	1959	30	0,17	0,24	-0,39	2	-0,33	2				-0,59	2	-0,11
312	1965	21	0,25	2,39	-0,27	0	-0,52	1				-0,58	2	0,34
344	1953	36	0,17	-0,67	-0,19	0	-0,21	0				-0,46	1	0,25
318	1960	29	0,18	0,22	-0,20	1	-0,20	0				-0,61	1	0,16
312	1947	42	0,23	0,94	-0,20	0	-0,29	2	-0,79	-2,30	-0,44	-0,45	1	0,24
262	1936	53	0,24	0,53	0,08	0	0,07	0	-0,67	0,21	-2,09	-0,06	0	0,14
242	1931	58	0,28	1,40	0,19	0	0,13	0	-0,43	-0,16	-2,23	-0,01	0	0,63
258	1957	32	0,24	0,17	0,12	0	0,05	0				-0,06	0	0,36
293	1915	72	0,25	0,36	0,24	0	0,24	0	0,17	-0,17	-1,33	-0,09	0	0,07

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГОДОВОЙ СТОК
Sukhona	Totma	1	59,97	42,77	34800	9,153
Sukhona	Rabanga	1	59,43	40,22	15500	4,379
Ustiya	Shangali	1	61,13	43,35	9730	2,651
Ustiya	Bestuzjevo	1	61,58	43,93	7210	1,9
Ustiya	Nazarovskaya	1	61,25	44,7	4300	1,105
Kokshenga	Moiseievskaya	1	60,87	43	4410	1,116
Vycheгда	Fedyakovo	1	61,43	47,65	112000	32,545
Vycheгда	Siktivkar	1	61,72	50,82	66900	18,877
Vycheгда	Malaya Kuzhba	1	61,77	53,67	26500	7,578
Vycheгда	Pomozdino	1	62,2	54,2	4660	1,529
Vym	Polovinki	1	62,48	50,78	25100	8,198
Vym	Veslyana	1	62,98	50,88	19100	6,256
Elva	Metshura	1	63,3	50,92	2750	0,974
Veslyana	Zozhael	1	62,85	51,33	3940	1,269
Vishera	Lun	1	62,23	52,5	7890	2,484
Nivshera	Troitsk	1	62,23	52,7	4040	1,42
Lokchim	Boyar-Keros	1	61,58	51,58	6040	1,689
Sysola	Pervomaisky	1	61,12	50,3	11700	3,271
Sysola	Kroigorodok	1	60,45	50,97	4160	1,131
Luza	Krasavino	1	60,72	47,6	16300	3,872
Luza	Obiyachevo	1	60,33	49,62	6700	1,829
Viled	Inayevskaya	1	61,12	47,9	4990	1,308
Yarenga	Tohta	1	62,23	48,88	4930	1,537
Yemtsa	Selso	1	63,32	41,4	7980	2,182
Pizhma	Borovaya	1	65,33	51,81	4890	1,458
Severnaya Mylva	Markolasta	1	62,43	56,27	2910	0,812
Pechora	Oksino	1	67,63	52,18	312000	150,94
Pechora	Ust-Tsilma	1	65,42	52,28	248000	113,957
Pechora	Ust-Shchugor	1	64,27	57,62	65700	33,491
Pechora	Troitsko-Pechorsk	1	62,72	56,22	35600	16,476
Pechora	Yaksha	1	61,86	56,66	9620	4,802
Sula	Kotkina	1	67,03	51,13	8500	2,916
Tsilma	Trusovo	1	65,47	51,37	20900	7,147
Tsilma	Nombur	1	65,57	50,62	9420	3,53
Chikshina	Chikshina	1	64,9	56,42	4360	1,682
Usa	Adzva	1	66,55	59,42	54700	29,603
Usa	Petrua	1	66,47	60,73	27500	16,32
Usa	Seida	1	67,05	63,08	14100	8,481

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
263	1933	56	0,28	0,65	0,17	0	0,23	0	0,36	-0,84	-1,12	-0,06	0	0,28
283	1880	92	0,27	0,55	0,25	0	0,24	0	-1,41	-1,25	-0,31	0,35	2	0,08
272	1935	54	0,25	0,44	0,17	0	0,11	0	-0,13	-1,87	-2,65	-0,15	0	0,28
264	1943	46	0,25	0,54	0,07	0	0,08	0	0,27	-1,84	-2,30	-0,35	1	0,41
257	1963	23	0,21	-0,17	-0,28	1	-0,26	0				-0,56	1	0,20
253	1937	47	0,26	0,12	0,05	0	0,03	0	0,34	-1,20	-1,53	-0,20	0	0,46
291	1963	26	0,16	-0,37	-0,25	1	-0,16	0				-0,71	1	0,46
282	1924	62	0,18	-0,29	0,39	1	0,33	1	-0,24	-0,92	-2,68	-0,13	0	0,48
286	1930	59	0,18	-0,34	0,38	1	0,30	1	1,48	0,11	-1,30	-0,19	0	0,46
328	1951	38	0,16	0,36	0,10	0	0,05	0				-0,16	0	0,19
327	1956	33	0,17	0,00	-0,09	2	-0,09	2				-0,49	1	0,21
328	1922	62	0,17	0,28	0,09	2	0,07	2	-0,30	-0,89	-0,82	-0,19	0	0,29
354	1960	29	0,29	2,00	-0,09	0	-0,05	0				-0,45	1	0,12
322	1963	26	0,18	0,25	0,03	0	0,04	0				-0,55	1	0,42
315	1947	42	0,19	0,17	-0,08	1	-0,08	2	-0,93	-0,80	0,34	-0,42	1	0,06
351	1953	36	0,15	0,10	0,00	0	-0,07	0				-0,42	1	0,08
280	1956	33	0,19	-0,38	-0,05	0	-0,04	0				-0,53	1	0,18
280	1965	21	0,20	-0,51	-0,23	1	-0,32	1				-0,45	1	0,53
272	1959	20	0,20	-0,42	0,13	0	-0,01	0				-0,08	0	-0,09
238	1955	34	0,24	0,20	0,05	0	-0,05	0				-0,29	1	0,43
273	1955	24	0,30	0,68	-0,26	1	-0,23	0				-0,37	1	0,34
262	1956	33	0,18	-0,56	-0,27	2	-0,25	2				-0,28	0	-0,01
312	1944	45	0,19	0,34	-0,17	0	-0,14	0	-0,16	-0,99	-0,94	-0,33	1	0,12
273	1937	30	0,16	0,04	0,19	0	0,16	0				-0,30	3	0,23
298	1937	52	0,19	-0,40	0,21	2	0,12	0	0,59	-1,07	-1,64	-0,02	0	0,32
279	1955	25	0,15	0,06	0,20	0	0,16	0				-0,41	1	0,11
484	1917	21	0,12	-0,50	-0,07	0	-0,10	0				0,27	1	-0,04
460	1932	59	0,16	0,74	0,39	2	0,35	1	2,25	0,53	1,44	-0,02	0	0,73
496	1914	74	0,15	0,35	-0,04	0	-0,06	0	-0,19	-1,34	0,56	0,03	0	0,18
463	1938	51	0,15	-0,13	0,04	1	-0,02	1	2,31	0,91	0,68	0,06	0	0,44
499	1915	74	0,15	-0,09	0,12	0	0,06	0	0,73	-0,43	-0,11	0,10	0	0,11
343	1929	60	0,18	0,38	0,10	0	0,08	0	0,45	1,45	1,41	0,40	1	0,38
342	1938	51	0,17	-0,28	0,18	1	0,16	1	0,01	0,09	-0,45	0,02	0	0,24
375	1946	42	0,17	-0,15	-0,03	0	-0,07	0	-0,28	1,03	-0,09	-0,02	0	0,51
386	1966	20	0,16	0,63	-0,22	1	-0,25	1				0,23	2	-0,11
541	1932	57	0,15	0,63	-0,01	0	0,00	0	1,52	-0,92	-0,33	0,20	0	0,59
593	1933	55	0,17	0,45	0,01	0	0,06	0	2,82	-0,45	-0,54	0,28	2	0,48
601	1964	22	0,20	0,41	-0,21	1	-0,18	1				0,21	0	0,33

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	СТОК
Adzva	Haruta	1	66,83	59,52	8700	1,454
Kosyn	Kosyn	1	65,62	59,03	4040	3,811
Kozhim	Kozhim Rudnik	1	65,73	59,58	4980	3,677
Kolva	Horey Ver	1	67,42	58,07	5470	2,14
Shchugor	Michabichevnik	1	64,2	58,03	9220	7,901
Ilych	Shejimdikost	1	62,43	58,5	6870	4,329
Izhma	Kartaiol	1	64,53	53,33	22700	6,558
Izhma	Ust-Ukhta	1	63,62	53,9	15000	4,488
Ukhta	Ukhta	1	63,55	53,72	4290	1,456
Onega	Porog	1	63,82	38,47	55770	17,041
Onega	Kazakovo	1	62,57	39,983	40600	11,409
Onega	Cherepovskaya	5	62,15	39,37	29500	8,459
Onega	Nadporozjsky Pogost	2	61,57	39,02	12800	3,864
Voloshka	Toropovskaya	1	61,68	39,28	7040	2,178
Svid	Gorky	2	60,93	38,85	6450	1,932
Kena	KorovyiDvor	2	62,13	38,57	5550	1,623
Mezen	Malonisogorskaya	1	65	45,62	56400	20,231
Mezen	Pissa	1	64,17	48,83	16100	5,841
Mezen	Makarib	1	63,63	49,45	6450	2,672
Mezenskaya Pizhma	Larkino	1	64,65	49,13	2930	1,275
Vashka	Reshelskaya	1	64,58	46,17	19000	5,861
Vashka	Vendinga	1	63,43	47,9	6980	2,016
Peza	Igumnovo	1	65,82	45,1	12000	3,861
Peza	Safonovo	1	65,67	47,67	4520	1,625
Nemnuga	Sovpolie	1	65,3	43,93	2880	0,771
Kuloy	Kuloy	5	64,97	43,52	3040	1,061
Pesha	Volokovaya	1	66,5	48,25	2780	1,021
Strelna	Strelna	1	66,07	38,73	2770	0,996
Kola	Oktiabrsky Railway	6	68,88	33,05	3780	1,364
Tuloma	Verkhne-Tulomskaya GES	4	68,6	31,75	17500	5,946
Lotta	Kallokoski	1	68,6	31,01	2540	0,988
Umba	Paialka	2	66,64	34,08	6250	2,549
Voroniya	Serebryanskaya GES	4	68,45	35,33	8640	3,286
Voroniya	AtEfflux	2	68,09	35,13	3770	1,39
Ponoy	Ponoy	1	67,09	41,13	15200	5,194
Ponoy	Kanevka	5	67,13	37,66	10200	3,379
Ponoy	Krasnotshelie	1	67,35	37,33	3810	1,28
Varzuga	Varzuga	1		36,63	7940	2,493

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
397	1961	28	0,18	0,66	0,18	0	0,17	0				0,17	0	0,45
943	1954	27	0,14	0,08	0,06	0	0,09	0				0,38	1	0,21
738	1949	40	0,14	0,88	-0,03	0	-0,03	0	-0,76	0,22	-0,81	-0,01	0	0,16
391	1961	24	0,22	0,65	0,01	0	0,10	0				0,22	0	0,76
857	1933	51	0,15	0,16	0,06	1	0,06	0	1,72	1,05	-0,17	0,13	0	0,36
630	1966	20	0,15	-0,03	-0,10	0	-0,15	2				-0,27	1	-0,27
289	1934	55	0,19	-0,26	0,21	1	0,17	0	2,29	-0,35	0,53	-0,11	0	0,49
299	1915	59	0,36	5,04	0,00	0	0,04	0	0,04	-1,05	-0,04	-0,02	0	0,36
339	1934	55	0,16	0,12	0,00	1	-0,01	1	-0,72	-0,77	-0,11	-0,14	0	0,20
306	1952	42	0,20	0,22	0,01	0	0,00	0	-0,57	-1,35	1,27	-0,28	1	0,25
281	1930	59	0,22	0,32	0,24	0	0,23	0	0,41	-0,22	-0,90	-0,13	0	0,30
287	1941	48	0,21	0,63	0,14	0	0,08	0	-0,42	-0,45	0,10	-0,25	1	0,32
302	1919	70	0,25	0,54	0,35	1	0,37	1	1,25	-0,49	-1,16	-0,04	0	0,58
309	1941	48	0,26	0,52	0,02	0	-0,02	0	-0,40	-0,27	-0,01	-0,27	1	0,31
300	1946	43	0,26	0,75	0,03	1	0,06	0	-0,76	-0,47	1,89	-0,26	1	0,54
292	1933	52	0,26	0,31	0,22	0	0,23	2	0,79	-0,69	-1,09	-0,08	0	0,37
359	1921	78	0,17	0,12	0,16	0	0,12	0	-0,20	-1,45	-1,87	-0,11	0	0,35
363	1961	28	0,16	0,49	-0,01	0	-0,04	0				-0,38	1	0,20
414	1932	57	0,17	0,37	0,10	2	0,08	2	0,05	-0,55	-0,10	-0,06	1	0,23
435	1946	39	0,16	-0,10	0,00	0	-0,05	0				-0,15	2	0,03
308	1932	56	0,19	0,12	0,14	0	0,08	0	1,07	-1,39	-2,44	-0,10	0	0,39
289	1954	35	0,19	0,69	-0,17	1	-0,23	1				-0,46	2	0,18
322	1933	61	0,19	0,62	0,14	1	0,12	1	0,06	0,44	-0,65	0,08	0	0,29
360	1956	33	0,19	-0,13	0,17	0	0,16	0				-0,07	0	0,30
268	1959	27	0,16	-0,12	-0,19	0	-0,19	0				-0,19	0	0,23
349	1927	65	0,19	0,30	0,25	0	0,23	0	-0,24	-1,85	-2,46	-0,14	0	0,42
367	1966	28	0,25	0,09	-0,08	0	-0,08	0				-0,21	2	0,28
360	1936	43	0,21	0,03	0,13	0	0,14	0	0,27	0,21	-0,15	-0,03	0	0,38
361	1928	63	0,23	0,15	0,07	0	0,06	0	1,70	0,01	-1,08	-0,11	0	0,37
340	1935	55	0,18	-0,31	0,08	0	0,05	0	0,59	-2,19	-0,42			
389	1960	31	0,19	0,09	-0,04	1	-0,05	1				-0,23	1	0,32
408	1936	55	0,20	-0,05	0,20	0	0,14	0	1,13	-1,81	-0,11	0,12	0	0,22
380	1962	28	0,17	0,02	-0,29	1	-0,36	1				0,43	1	0,31
369	1944	30	0,21	-0,38	0,27	2	0,23	2				-0,08	0	0,06
342	1944	30	0,22	0,36	0,07	0	-0,03	0				-0,13	0	0,15
331	1939	46	0,19	0,00	0,14	0	0,09	0	0,30	-0,23	-0,63	-0,01	0	0,15
336	1940	51	0,21	0,25	0,14	0	0,14	0	0,47	-1,12	-0,82	0,00	0	0,38
314	1936	55	0,22	0,39	0,12	0	0,13	0	0,88	-2,02	0,54	0,05	0	0,39

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Belomorkanal	Matkozhd	2	64,43	34,5	26500	8,186
Segezha	Popov Porog	2	63,4	34,02	7480	2,292
Luzhma	Ilyina Gora	2	63,22	33,28	3480	1,173
Kem	Poduzhemie	2	64,9	34,3	27900	8,021
Kem	Shomba	2	65,1	33,15	24700	7,882
Kem	Yushkozero	2	64,78	32,17	19800	6,045
Chirko-Kem	Andronova Gora	2	64,15	32,38	2730	0,985
Elmane	PorogYolmane	2	65,08	31,1	7400	2,27
Kovda	Knyazhegubskaya GES	2	66,87	32,38	25900	8,709
Kovda (Kuma)	Kumskaya GES	2	66,37	31,1	13200	4,33
Keret	J.D.Most	2	66,2	32,9	2560	0,757
Neva	Novosaratovka	2	59,8	30,72	281000	79,08
Svir	XII_GES	2	60,93	34,3	67100	18,68
Neman	Smalininkai	5	55,02	22,52	81200	16,953
Narva	Narva HEP	2	59,35	28,25	56000	11,959
Bolshoy Yugan	Ugut	1	60,5	74,02	22100	4,598
Mal.Yugan	Yurti-Kinyamini	1	60,5	74,53	8130	1,823
Trom-Yugan	Ermakovo	6	64,8	74,05	13500	3,674
Lyamin	Gorzhkovo	6	61,7	70,67	12800	3,315
Vakh	Yobkhinskoye	6	61,05	78,55	56400	16,894
Tym	Napas	6	59,85	81,95	24500	6,073
Tym	Vanyil-Kynak	1	60,35	84,08	10100	2,494
Paydugina	Berezovka	1	59,37	82,83	6500	1,587
Ket (Bolshaya Ket)	Rodyonovka	6	58,42	83,67	71500	14,851
Ket	Maksimiy Yar	6	58,65	86,82	38400	7,576
Orlovka	Druzhnyi	6	58,77	86,07	8740	2,019
Vasyugan	Sredny Vasyugan	6	59,22	78,22	31700	5,116
Vasyugan	Novy Vasyugan	6	58,55	76,47	19000	2,768
Vasyugan	Maysk	6	57,78	77,28	3730	0,501
Nyurolka	Myldzhino	6	59,02	78,43	8040	1,501
Parabel	Novikovo	1	58,17	80,6	17900	2,334
Kenga	Tsentralnyi	1	57,7	81	7440	0,777
Chuzik	Osipovo	1	57,83	80,15	7090	0,869
Chaya	Podgornoye	1	57,78	82,63	25000	2,329
Iksa	Kopanoye Ozero	1	57,53	82,92	5210	0,476
Iksa	Plotnikovo	1	56,85	83,07	2560	0,198
Bakchar	Gorelyi	1	57,48	82,22	6610	0,556
Parbig	Vesely	1	57,57	82,1	9100	0,909

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
309	1956	33	0,19	0,89	0,22	0	0,24	2				0,07	0	0,49
306	1956	22	0,23	0,14	-0,03	0	-0,19	0				0,21	0	-0,30
337	1965	21	0,18	0,46	0,08	0	-0,02	0				0,09	0	-0,19
287	1922	40	0,26	-0,31	0,24	0	0,18	0	-0,42	0,62	-0,99	-0,06	0	0,14
319	1960	27	0,23	0,00	0,12	1	0,04	0				0,13	1	0,43
305	1929	56	0,23	-0,28	0,28	0	0,24	0	-0,46	-0,70	-0,24	-0,03	0	0,28
361	1947	24	0,22	0,80	0,24	1	0,15	0				0,07	0	0,07
307	1956	24	0,18	-0,10	0,13	0	0,09	0				0,27	1	0,45
336	1956	33	0,19	-0,08	0,36	1	0,22	0				0,06	0	0,30
328	1963	23	0,26	-0,40	-0,18	0	-0,15	0				-0,03	0	0,01
296	1944	45	0,29	2,11	0,15	0	0,05	0	-0,23	0,07	0,46	-0,36	1	0,17
281	1859	130	0,16	0,27	0,56	2	0,55	2	-0,42	0,03	-0,58	0,52	2	0,55
278	1955	34	0,19	0,87	0,12	0	0,12	0				0,20	0	0,03
209	1812	182	0,17	0,35	0,19	0	0,19	0	0,22	-0,02	0,37	0,11	0	0,39
214	1956	36	0,29	0,18	0,82	1	0,77	1						
208	1944	46	0,27	0,17	0,23	0	0,22	0	0,96	0,14	-0,81	0,38	2	0,38
224	1959	31	0,29	0,34	0,09	0	0,09	0				0,08	0	0,11
272	1955	29	0,29	0,34	0,09	0	0,09	0				0,08	0	0,11
245	1951	26	0,2	0,75	0,58	2	0,46	1				0,15	1	0,43
300	1953	27	0,18	0,37	0,63	1	0,47	2				0,56	1	0,23
248	1937	53	0,19	0,33	0,51	3	0,47	3	1,24	0,29	-1,23	0,35	1	0,49
247	1958	32	0,2	0,25	0,48	2	0,38	2				0,03	0	0,22
244	1957	33	0,21	0,01	0,38	2	0,33	2				-0,06	0	0,45
208	1955	35	0,2	0,13	0,49	1	0,46	1				0,18	0	0,18
197	1937	53	0,21	0,46	0,44	1	0,36	1	-0,32	-0,14	-0,4	0,01	0	0,26
231	1956	34	0,21	0,07	0,54	1	0,48	1				0,12	1	0,42
161	1952	38	0,31	0,28	0,29	2	0,24	0				0,08	0	0,46
146	1960	30	0,41	0,67	0,29	2	0,25	1				0,1	3	0,48
134	1955	35	0,45	0,01	0,4	1	0,39	1				0,02	0	0,27
187	1964	22	0,28	0,03	0,31	0	0,16	0				-0,06	0	-0,18
130	1958	32	0,42	0,48	0,49	3	0,47	3				0,12	1	0,54
104	1954	36	0,48	0,9	0,57	1	0,54	1				0,32	1	0,36
123	1956	34	0,39	0,35	0,52	1	0,46	1				0,1	0	0,58
93	1940	39	0,5	1,06	0,51	3	0,5	3				0,25	0	
91	1965	21	0,63	0,92	0,35	1	0,33	1				-0,02	0	0,64
77	1936	51	0,62	0,6	0,59	1	0,55	1	-0,8	0,53	-0,66	0,1	0	0,13
84	1960	30	0,58	0,98	0,52	1	0,5	1				0,19	0	0,56
100	1953	37	0,48	1,18	0,58	1	0,59	2				0,32	1	0,58

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБОРА	ГОДОВОЙ СТОК
Shegarka	Babarakino	6	56,55	83,62	8190	0,478
Tom	Tomsk	1	56,5	84,92	57000	34,087
Chulyum	Baturino	1	57,78	85,15	131000	25,126
Chulyum	Sergeyevo	1	57,25	86,13	109000	20,286
Chulyum	Zyryanskoje	1	56,85	86,62	92500	17,069
Chulyum	Teguldet	1	57,33	88,1	55300	9,247
Chulyum	Krasnyi Zavod	1	56,17	89,93	33800	5,784
Chulyum	Balakhta	1	55,38	91,62	14700	3,163
Chulyum	Kop&apos;evo	1	55,03	89,87	9990	2,93
Ulu-Yul	Argat-Yul	1	57,83	86,28	7720	1,308
Chichka-Yul	Frantsa	1	57,57	86,42	5210	0,865
Bolshaya Yuksa	Pervo-Pashinsk	1	57,57	85,42	2620	0,358
Kiya	Okuneyevo	1	56,77	86,97	14900	4,758
Kiya	Mariinsk	1	56,2	87,78	9820	4,659
Kiya	Makaralsky	1	55,6	88,05	3420	2,707
Yaya	Yaya	1	56,18	86,4	3460	0,983
Chet	Kontorka	1	57,05	88,08	11500	1,359
Bolshoy Kemchug	Suraz	1	57,05	91,38	7800	1,588
Serezha	Antropovo	1	55,82	90,15	4580	0,312
Uryup	Izindayeva	6	55,73	89,22	5000	1,023
Chernyilyus	Sarala	1	54,87	89,3	3100	1,569
Belyilyus	Malaya Siya	1	54,4	89,45	3520	1,437
Koksa	Ust-Koksa	1	50,27	85,62	5600	2,666
Bashkaus	Ust_Ulagan	1	50,63	87,95	4190	0,864
Chulishman	Balikha	1	51,28	87,82	16600	5,049
Katun	Srostki	1	52,42	85,72	58400	19,969
Katun	Tuengoor	1	50,13	86,32	13500	10,283
Peschanaya	Tochilnoe	1	52,18	85,18	4720	1,075
Isha	Ust-Isha	1	52,17	85,97	3360	1,165
Biya	Biysk	5	52,52	85,27	36900	15,055
Biya	Turochak	5	52,27	87,17	25300	10,556
Biya	Kebezen	2	51,9	87,1	21000	8,033
Biya	Artibash	2	51,8	87,25	20100	7,165
Lebed	Ust-Lebed	1	52,3	87,03	4500	3,044
Ursul	Ongudai	1	50,73	86,17	3080	0,543
Tom	Novokuznetsk	1	53,78	87,15	29800	20,482
Tom	Mezhdurechensk	1	53,67	88,1	5880	5,146
Tom	Teba	1	53,63	88,53	4350	3,548



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
58	1953	38	0,68	1,18	0,42	1	0,39	1				0,09	0	0,35
598	1918	77	0,19	0,29	0,16	0	0,16	0	-1,56	-1,9	-1,31	0,23	0	0,33
192	1937	56	0,19	-0,1	0,24	1	0,22	1	0,14	0,15	-0,57	0,01	0	0,31
186	1958	33	0,23	-0,2	0,13	0	0	0				-0,3	1	0,05
185	1936	54	0,18	-0,47	0,19	0	0,17	0	-0,6	0,77	-0,45	-0,09	0	0,48
167	1936	54	0,18	-0,28	0,15	0	0,09	0	-0,18	0,77	-1,3	-0,23	1	0,11
171	1952	39	0,21	0,47	0,08	0	0,12	0				-0,1	0	0,14
215	1939	52	0,18	0,02	-0,05	0	-0,04	0	-0,55	-0,24	1,15	-0,07	0	0,23
293	1961	25	0,21	-0,08	0,36	1	0,26	0				-0,02	0	0,18
169	1955	22	0,32	0,53	0,43	1	0,46	1				0,33	1	0,64
166	1969	20	0,28	-0,02	0,29	0	0,23	0				0,21	0	0,61
137	1960	30	0,29	-0,02	0,41	1	0,33	1				0,16	1	0,2
319	1937	33	0,22	-0,15	0,33	1	0,27	0				0,13	0	-0,01
474	1936	54	0,22	0,69	0,08	0	0,09	0	0,04	-1,17	-0,47	0,02	0	0,22
792	1959	31	0,16	-0,12	0,14	0	0,12	0				0,14	0	0,07
284	1936	52	0,26	0,04	0,26	1	0,19	0	-3,21	-0,75	-2,19	0,02	2	0,33
118	1961	26	0,31	1,11	0,12	0	0,08	1				-0,33	1	0,32
204	1960	30	0,27	0,1	0,06	1	0	0				-0,16	0	0,25
68	1956	35	0,52	1,47	0,38	1	0,26	1				-0,19	0	0,68
205	1945	45	0,23	0,27	0,17	1	0,2	1	0,8	-0,11	0,32	0,19	1	0,35
506	1959	31	0,2	-0,27	0,23	1	0,09	0				-0,08	0	0,15
408	1952	38	0,17	-0,05	0,04	0	0,07	0				-0,1	0	-0,08
476	1945	45	0,24	0,13	0,09	0	0,08	0	0,42	-1,2	0,08	-0,29	1	0,54
206	1961	25	0,3	0,74	0,12	0	0	0				0,09	0	0,5
304	1936	54	0,22	0,64	0,06	1	0,06	0	0,68	0,18	-0,44	-0,12	1	0,63
342	1960	30	0,18	0,41	-0,03	0	-0,06	0				-0,38	1	0,37
762	1962	23	0,2	0,34	0,2	0	0,1	0				-0,2	0	0,05
228	1945	45	0,68	4,86	-0,06	0	0,2	2	-1,76	-0,8	0,35	0,07	0	0,34
347	1955	36	0,28	1	0,11	0	0,2	0				0,22	0	0,38
408	1895	96	0,2	0,46	0,16	0	0,15	0	-0,44	-1,63	-1,93	0,08	0	0,35
417	1963	24	0,21	0,37	0,03	0	0	0				-0,03	0	0,32
383	1959	30	0,19	0,78	-0,03	0	-0,01	0				-0,22	0	0,01
356	1963	23	0,22	0,56	-0,04	0	-0,06	0				-0,28	0	0,26
676	1936	48	0,23	0,49	0,1	0	0,05	0	-1,62	-0,99	-0,13	0,11	0	0,09
176	1937	47	0,32	0,86	0,32	1	0,18	0	-1,23	-0,6	0,13	-0,01	0	0,29
687	1894	97	0,18	0,4	0,06	0	0,05	0	-0,21	-0,81	-1,73	0,12	0	0,4
875	1936	55	0,17	0,35	0,09	0	0,1	0	-1,92	-0,15	0,16	0,04	0	0,37
816	1966	20	0,2	0	-0,1	0	-0,17	0				-0,22	1	0,71

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВОЙ СТОК
Usa (Uzha)	Mezhdourechensk	1	53,64	88,1	3320	4,684
Charysh	Charyshsky	1	52,13	83,28	20700	5,847
Charysh	Belogazovo	1	52,1	82,55	17600	5,688
Charysh	Charyshskoje	1	51,4	85,58	7180	3,17
Charysh	Ust-Kumir	1	51,02	84,32	3480	1,346
Anuj	Staro-Tirishkino	1	52,35	84,82	6850	1,136
Anuj	Anujsky	1	52,38	84,73	4870	0,912
Anuj	Soloneshnoje	1	51,65	84,32	2540	0,534
Aley	Aleysk	1	52,52	82,77	18700	1,002
Aley	Lokot&apos;	1	51,18	81,2	6450	0,849
Aley	Rubtsovsk	5	51,5	81,22	3140	0,695
Nignyayalnya	Berezovka	1	55	83,33	17300	1,509
Nignyayalnya	Kaili	1	55,32	84,1	15700	1,238
Nignyayalnya	Promishlennaya	1	54,95	85,67	7960	0,777
Ob	Prokhorkino	5	59,52	79,47	738000	160,182
Ob	Kolpashevo	5	58,3	82,88	486000	123,599
Ob	Novosibirsk	4	55	82,95	252000	61,143
Ob	NPS-Novosibirskaya	4	54,8	82,95	232000	51,06
Ob	Kamen'Na Obi	1	53,8	81,33	216000	51,806
Ob	Barnaul	1	53,4	83,82	169000	46,982
Ob	Phominskoje	1	52,45	84,92	98200	36,038
Berd	Starylskitim	1	54,63	83,4	6270	1,104
Chumysh	Talmenka	1	53,8	83,57	20600	4,277
Chumysh	Zarinsk	1	53,73	84,95	15900	3,52
Chumysh	Kitmanovo	1	53,47	85,42	11000	2,527
Chumysh	Eitsovka	1	53,28	86,25	4340	1,393
Kondoma	Kuzedeevo	1	53,33	87,23	7080	3,909
Kondoma	Kondoma	1	52,82	87,25	2510	1,428
Mras-Su	Miski	1	53,7	87,8	8790	4,956
Mras-Su	Ust-Kabirza	1	52,82	88,43	3170	1,94
Irtish	Hanti-Mansisk	1	60,97	69,07	1200000	88,859
Irtish	Tobolsk	5	58,2	68,23	969000	67,342
Irtish	Ust-Ishim	5	57,7	71,17	564000	39,083
Irtish	Omsk	5	55,02	73,21	769000	27,865
Irtish	Cherlak	5	54,15	74,8	298000	27,398
Vagay	Chernoje	1	57,67	69,2	15600	0,686
Vagay	Novonygrishnaya	1	57,03	68,92	9740	0,298
Vagay	Ust-Lamenka	1	56,5	68,07	4580	0,119

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
1411	1937	54	0,17	0,39	0,06	0	0,06	0	0,31	-0,29	-0,26	-0,2	0	0,34
282	1948	43	0,29	0,16	0,28	0	0,29	1	0,04	0,24	-0,49	0,02	0	0,36
323	1965	21	0,25	0,48	0,02	0	-0,04	0				-0,16	0	0,12
442	1971	20	0,2	-0,67	0,07	0	-0,2	1				-0,29	1	0,26
387	1936	54	0,27	0,28	0,11	0	0,08	0	-2,03	-1,18	0,01	-0,12	0	0,64
166	1936	51	0,34	0,7	0,26	0	0,24	0	-1,05	-0,83	-0,91	0,06	0	0,66
187	1962	24	0,29	0,74	0,13	0	0,22	0				-0,13	0	0,03
210	1955	35	0,34	1,1	0,38	1	0,28	1				-0,02	0	0,04
54	1961	30	0,42	0,71	0,22	0	0,32	1				0,27	1	0,54
132	1955	35	0,31	0,5	0,15	0	0,19	0				0,35	1	0,43
221	1955	35	0,34	0,53	0,3	0	0,29	1				0,29	1	0,11
87	1959	32	0,31	0,25	0,05	0	0,05	0				-0,18	0	0,54
79	1942	48	0,37	0,07	0,31	1	0,31	1	-2,25	0,71	-1,63	-0,05	0	0,55
98	1960	31	0,34	0,31	0,02	0	-0,04	0				-0,22	2	0,51
217	1960	31	0,16	0,01	0,38	1	0,31	1				0,12	0	0,19
254	1936	59	0,19	0,34	0,43	1	0,41	1	-3,13	-0,08	-0,32	0,5	2	0,44
243	1936	27	0,19	-0,03	0,2	0	0,15	0				0,3	1	0,54
220	1958	32	0,2	0,69	0,03	0	0,05	0				0,12	0	0,25
240	1936	44	0,17	0,6	0,13	0	0,03	0	-0,83	-1,2	-0,54	0,09	0	0,1
278	1936	55	0,19	0,51	0,14	0	0,11	0	-0,45	-1,52	-0,9	-0,01	0	0,44
367	1953	38	0,18	0,67	0,03	0	-0,01	0				0	0	0,08
176	1958	33	0,26	-0,41	-0,13	0	-0,25	0				-0,3	1	0,3
208	1943	48	0,25	0,23	0,38	1	0,41	1	-1,73	-0,79	-0,33	0,2	0	0,58
221	1937	53	0,22	0,15	0,07	0	0,09	0	-1,04	0,64	0,63	0	0	0,64
230	1964	22	0,31	0,16	0,24	0	0,21	0				0,02	0	0,37
321	1960	31	0,25	0,21	0,11	0	0,07	0				0,02	0	0,45
552	1936	55	0,23	0,59	-0,05	0	-0,1	0	-1,5	0,47	-0,79	-0,01	0	0,02
569	1957	34	0,22	0,58	-0,08	0	-0,11	0				-0,04	0	0,08
564	1955	36	0,25	0,8	0,12	0	0,13	0				0,1	0	0,11
612	1956	35	0,2	0,42	0,02	0	0,03	0				-0,09	0	0,06
74	1975	20	0,22	-0,02	0,37	2	0,29	1				0,08	0	0,38
69	1936	62	0,26	0,63	0,61	2	0,53	3	0,01	0,1	-0,22	0,41	1	0,7
69	1936	42	0,27	0,9	0,55	1	0,41	1	-0,12	-1,08	0,65	0,36	1	0,65
36	1936	55	0,22	0,92	0,48	1	0,44	1	-1,34	-0,91	1,15	0,26	2	0,58
92	1936	22	0,25	0,36	0,16	0	-0,01	0				-0,35	1	0,19
44	1962	29	0,68	0,93	0,54	2	0,5	1				0,42	1	0,57
31	1955	32	0,79	1,99	0,46	1	0,31	1				0,35	1	0,54
26	1964	20	0,92	1,79	0,5	1	0,44	1				0,43	1	0,54

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВОЙ СТОК
Agitka	UrtilMitkinsky	5	57,8	69,5	3430	0,227
Yemets	Kuznetsovo	1	56,43	68,58	2540	0,066
Ishim	Ishim	5	56,1	69,47	154000	1,725
Ishim	Vikulovo	5	56,82	70,63	165000	2,15
Ishim	Orehovo	5	57,45	70,85	171000	2,51
Bol.Ayev	Chebakli	1	57,1	73,07	4580	0,164
Bol.Ayev	Bol.Uki	1	56,98	72,63	4070	0,147
Tuy	Ermilovka	1	57,63	72,92	6500	0,975
Tuy	Tuyski	1	57,82	73,92	3050	0,464
Shish	Atirka	1	57,27	74,28	3750	0,471
Tartas	Vengerovo	5	55,72	78,02	16200	0,662
Tartas	Shipitsino	1	56,07	77,3	8470	0,508
Tartas	Severnoje	1	56,35	78,35	5480	0,363
Cheka	Bochkarevo	1	55,48	77,82	2740	0,209
Icha	Nazarovo	6	55,67	77,57	3150	0,138
Om	Kalachinsk	6	55,07	74,58	47800	1,727
Om	Voznesenskoje	6	55,6	76,38	39200	1,387
Om	Kuibishev	6	55,45	78,32	12200	0,662
Tara	Muromtsevo	1	56,38	75,25	16400	1,295
Tara	Malo-Krasnoyarskoye	1	56,47	76,02	14200	1,116
Tara	Verkh.Tarka	1	55,6	76,38	6250	0,488
Tara	Kordon	1	56,62	78,32	2750	0,249
Uy	Bajenovo	1	57,07	74,52	6650	0,639
Uy	Sedelnik	1	56,95	75,32	4460	0,391
Burla	Habari	6	53,62	79,55	4750	0,092
Chulym	Yarki	2	54,78	79,7	8850	0,19
Kargat	Zdvinsk	2	54,7	78,67	6440	0,231
Kargat	Gavrilovsky	2	55,23	80,32	3910	0,158
Kulunda	Shimolino	2	52,97	80,18	12300	0,2
Konda	Altay	2	60,33	69	68600	10,332
Konda	Bolchary	2	59,82	68,8	65400	9,239
Konda	Uray	2	60,15	64,83	23400	4,098
Konda	Chantir'ya	2	60,23	64,22	13900	2,468
Noska	Laytamar	6	58,4	67,47	6780	0,464
Layma	UrtilVarmakhlin'sky	6	58,25	67,43	2770	0,179
Demyanka	Urtilimkojev'sky	6	59,53	70,4	30600	4,881
Turtas	Novyi Turtas	6	58,72	69,57	8660	1,238
Uy	Stepnoe	1	54,13	60,48	3600	0,179

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
66	1958	33	0,57	0,66	0,41	3	0,4	3				0,15	0	0,33
26	1958	33	0,87	1,84	0,28	0	0,33	2				0,26	2	0,77
11	1955	36	0,63	0,44	0,32	1	0,32	1				0,22	0	0,77
13	1952	44	0,58	0,48	0,36	1	0,33	1	0,96	0,21	0,17	0,24	0	0,74
15	1963	28	0,62	0,22	0,39	1	0,39	1				0,29	1	0,76
36	1958	33	0,72	0,54	0,41	2	0,35	1				0,14	0	0,47
36	1961	30	0,81	0,68	0,33	2	0,31	3				0,17	3	0,57
150	1955	29	0,32	0,14	0,33	2	0,31	2				0,03	0	0,32
152	1960	26	0,39	0,74	0,46	2	0,44	1				0,01	0	0,44
126	1952	28	0,39	0,5	0,53	1	0,47	1				0,23	1	0,66
41	1939	52	0,75	1,04	0,6	1	0,59	1	-0,13	0,4	-0,33	0,38	1	0,62
60	1957	31	0,76	1,4	0,65	1	0,57	1				0,42	1	0,49
66	1948	43	0,82	1,03	0,63	1	0,57	1	0,9	0,13	0,48	0,41	1	0,34
76	1948	43	0,55	0,6	0,55	1	0,51	1	1,06	0,38	-0,89	0,31	1	0,26
44	1970	21	0,88	0,78	0,56	1	0,35	1						
36	1941	50	0,82	1,22	0,7	3	0,63	1	-0,43	0,09	-0,73	0,46	1	0,6
35	1955	36	0,77	1,11	0,69	1	0,62	1				0,44	1	0,62
54	1942	49	0,77	0,93	0,74	1	0,64	1	-0,44	0,31	-0,57	0,49	1	0,61
79	1936	48	0,52	0,92	0,51	1	0,48	1	0,6	1,13	0,76	0,23	0	0,57
79	1948	43	0,54	0,78	0,6	1	0,58	1	0,82	-0,24	-0,32	0,37	1	0,67
78	1954	37	0,59	0,61	0,58	1	0,56	1				0,36	1	0,23
91	1962	24	0,71	0,89	0,38	1	0,45	2				0,27	2	0,43
96	1955	36	0,38	0,72	0,54	2	0,49	1				0,24	0	0,71
88	1950	41	0,41	0,66	0,54	1	0,52	1	0,61	-0,13	-0,47	0,32	1	0,71
19	1968	22	0,85	0,57	0,17	0	0,18	0						
21	1967	22	0,88	1,22	0,09	0	0,23	2						
36	1968	20	0,8	0,91	0,5	1	0,41	1				0,26	0	0,31
40	1970	20	0,97	1,08	0,44	1	0,42	1				0,21	0	0,15
16	1936	31	0,6	0,57	0,03	0	-0,02	0				-0,13	1	0,24
151	1962	29	0,31	0,25	0,29	0	0,24	0				0,1	0	0,32
141	1936	55	0,35	0,79	0,42	1	0,42	3	0,93	0,63	-1,28	0,27	3	0,38
175	1968	20	0,3	-0,16	0,34	0	0,3	0						
178	1955	36	0,3	0,31	0,12	0	0,1	0				-0,05	0	0,36
68	1964	22	0,73	1,78	0,46	1	0,34	1				0,16	0	0,6
65	1964	22	0,88	1,54	0,35	1	0,45	1				0,35	1	0,22
160	1952	30	0,35	0,5	0,33	1	0,3	1				0,26	1	0,43
143	1960	22	0,41	0,5	0,36	1	0,39	1				0,1	0	0,28
50	1936	54	0,67	0,92	0,53	1	0,5	1	-0,34	-0,26	-0,02	0,37	1	0,52

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВ. СТОК
Ayat	Varvarinka	1	52,97	62,2	10300	0,142
Emurtla	Emurtla	1	56,17	66,47	3250	0,098
Tobol	Lipovka	5	57,82	67,4	359000	27,232
Tobol	Iyevlevo	5	57,58	67,17	269000	13,463
Tobol	Yalutorovsk	5	56,67	66,35	177000	3,685
Tobol	Kurgan	5	55,43	65,38	98800	1,3
Tobol	Zvernogolovskoje	5	54,47	64,83	83800	0,763
Tura	Tiumen	1	57,15	65,53	58500	6,146
Tura	Turinsk	1	58,07	63,7	29000	3,664
Tura	Verkhoturys	1	58,87	60,78	5290	0,838
Salda	Prokopijevskaya Salda	5	58,7	61,05	3120	0,658
Tagil	Troshkova	5	58,45	61,75	7920	1,038
Tagil	Maldyzhina	5	58,22	60,97	3900	0,676
Pyshma	Bogadinskoje	5	56,95	65,83	18600	1,229
Pyshma	Zotina	5	57,02	63,67	11000	0,636
Lobva	Lobva	1	59,05	60,26	2940	0,622
Lyalya	Sredne-Saltanovo	1	59,05	60,67	3010	0,5
Severnaya Sosva	Sosva	1	63,67	61,88	65200	19,026
Severnaya Sosva	Kimkyasuy	1	63,42	61,53	35700	9,642
Severnaya Sosva	Nyaksimvol	1	62,43	60,88	9850	3,035
Severnaya Sosva	Sartynya	1	63,37	63,05	69100	20,293
Severnaya Sosva	Igrim	1	63,18	64,4	87800	24,474
Lyapin	Saranpaul	1	64,25	60,95	18500	7,771
Ob	Salekhard	1	66,57	66,53	2949988	397,899
Ob	Belogorje	1	61,07	68,6	2160000	320,044
Synya	Ovgort	1	64,83	63,97	9880	2,775
Tavda	Nizhnyaya Tavda	1	57,68	66,18	86100	14,212
Tavda	Tabori	1	58,52	64,53	74200	13,075
Poluy	Poluy	6	66,03	68,73	15100	4,176
Amnya	Kazym	6	63,7	67,25	7100	1,955
Sosva	Sosva	1	59,17	61,92	22100	3,658
Sosva	Denezhkino	1	60,22	60,42	4390	1,186
Lozva	Pershino	1	60,63	60,52	6530	1,895
Lozva	Burmantovo	1	61,3	60,47	4520	1,782
Iset	Isetskoje	5	56,48	65,35	56000	2,152
Iset	Mekhonskoje	5	56,15	64,57	52300	1,989
Iset	Kataysk	5	56,28	62,58	12800	0,84
Iset	Kolutkino	5	56,62	61,18	3500	0,458

СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	Ism	Iss	Isr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
14	1961	26	0,87	1,08	0,47	1	0,46	1						
30	1963	23	0,63	1,29	0,46	1	0,42	1				0,34	1	0,48
76	1936	41	0,42	0,89	0,58	1	0,51	1	-0,08	-0,37	-0,64	0,42	1	0,51
50	1961	29	0,53	1,05	0,27	0	0,34	1				0,21	0	0,49
21	1936	55	0,61	1,47	0,52	1	0,51	1	-0,52	-0,18	-0,36	0,31	1	0,74
13	1936	54	0,97	1,76	0,48	1	0,56	1	-1,06	-0,14	-0,23	0,49	1	0,69
9	1940	35	0,59	1,24	0,36	1	0,42	1				0,22	0	0,45
105	1896	92	0,56	2,29	0,38	1	0,41	1	1,38	0,57	1,1	0,29	1	0,59
126	1936	54	0,44	0,53	0,47	1	0,45	1	0,37	0,87	0,2	0,43	1	0,56
158	1938	39	0,41	0,23	0,58	1	0,53	1				0,33	1	0,44
211	1938	31	0,54	0,82	0,43	1	0,4	1				0,29	1	0,4
131	1962	24	0,4	-0,1	0,69	1	0,62	1				0,18	0	0,59
173	1936	38	0,35	0,31	0,56	3	0,49	3				0,2	1	0,76
66	1956	35	0,52	1,06	0,51	1	0,49	1	0,4	0,62	-1,28	0,32	1	0,64
58	1939	35	0,51	1,03	0,53	1	0,47	1				0,31	1	0,63
212	1936	54	0,34	0,55	0,05	0	0,07	0	0,36	-0,14	1,47	-0,01	0	0,25
166	1941	36	0,41	0,85	0,21	0	0,24	1				0,19	0	0,34
292	1938	52	0,24	1,14	-0,11	0	-0,11	0	0,34	0,67	-0,29	-0,09	0	0,29
270	1962	22	0,25	0,07	-0,33	1	-0,36	1				-0,12	0	-0,33
308	1954	36	0,27	0,35	0,08	0	0,06	0				0,01	1	-0,36
294	1962	28	0,26	-0,47	0,07	0	0	0				-0,03	0	0,09
279	1958	31	0,23	0,26	0,03	0	-0,05	0				-0,11	0	0
420	1952	37	0,18	-0,19	-0,12	0	-0,1	0				0,05	0	-0,1
135	1930	70	0,15	0,36	0,46	1	0,45	1	0,69	0,51	-1,23	0,32	1	0,64
148	1936	59	0,16	0,3	0,49	1	0,46	1	-0,27	0,13	-1,03	0,3	1	0,61
281	1964	21	0,39	0,05	-0,16	0	-0,15	0				0,07	0	0,24
165	1967	22	0,38	0,74	0,32	1	0,17	1				0,07	0	0,31
176	1965	25	0,37	0,09	0,27	0	0,14	0				0,01	0	0,57
277	1954	36	0,2	0,84	0,18	0	0,25	1				0,29	1	0,45
275	1962	24	0,16	0,41	-0,12	1	-0,12	0				-0,08	0	0,23
166	1938	41	0,36	0,49	0,51	1	0,42	1	1,09	1,55	0,29	0,1	0	0,56
270	1936	53	0,33	0,7	0,16	0	0,18	0	0,88	-1,2	0,74	0,09	0	0,48
290	1959	25	0,22	0,65	-0,14	0	-0,14	0				-0,35	1	-0,27
394	1947	23	0,28	1,32	0,2	0	0,3	0				0,23	0	0,42
38	1939	52	0,52	1,19	0,51	1	0,48	1	-0,26	0,15	-0,29	0,3	1	0,71
38	1939	49	0,53	1,3	0,55	1	0,54	1	-0,41	0,41	0,36	0,22	1	0,6
66	1958	32	0,46	1,22	0,7	1	0,71	1				0,3	1	0,76
131	1961	24	0,33	0,08	0,82	1	0,69	1				0,29	0	0,35

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВ. СТОК
Myass	Kargapolje	5	55,95	64,43	21400	0,515
Myass	Karachelskoye	5	55,38	63,22	14600	0,456
Myass	Novoje Pole	5	55,32	61,35	5680	0,295
Myass	Sosnovka	5	55,07	61,27	5300	0,395
Uvelka	Krasnoselskoje	5	54,58	61,22	3620	0,13
Sinara	Verkhnekluchevskoje	5	56,25	62,27	5000	0,226
Techa	Pershinskoje	5	56,1	62,75	7120	0,184
Nitsa	Irbit	1	57,67	63,08	17300	1,488
Rezh	Klyuchi	1	57,9	62,3	4400	0,385
Nadym	Nadym	1	65,62	72,67	48000	14,65
Taz	Sidorovsk	1	66,6	82,28	100000	33,43
Pur	Samburg	6	67	78,22	95100	28,433
Pyakupur	Tarko-Sale	6	64,93	77,8	31400	9,743
Ercal-Nadey	Khalesovaya	6	63,38	78,3	6600	2,018
Barguzin	Barguzin	1	53,6	109,6	19800	3,903
Barguzin	Mogoi&apos;to	1	54,38	110,42	9350	2,255
Inaopos	Inaopos	1	53,73	110,25	3270	0,911
Turka	Turka	2	52,92	108,73	5050	1,501
Uda (Trib Selenga)	Ulan-Ude	5	51,83	107,63	34700	2,15
Uda (Trib Selenga)	Horinsk	1	52,15	109,75	7850	0,262
Khudan	Horinsk	6	52,1	109,73	7800	0,396
Khudan	Mihai'lovka	1	51,88	110,48	3300	0,259
Ona (Trib.Uda)	Oninskaya	1	52,23	109,88	3580	0,28
Kurba (Trib.Uda)	Novaya Kurba	1	52,05	108,52	5500	0,687
Kurba (Trib,Uda)	Tagda	1	52,38	108,92	3620	0,597
Khilok	Hai'lastuy	5	51,2	106,97	38300	3,035
Khilok	Kundalei	5	50,62	107,82	29600	2,582
Khilok	Khilok	5	51,35	110,47	15400	2,245
Khilok	Maleta	5	50,83	108,4	25771	2,235
Chikoy	Povorot	5	50,92	106,63	44700	8,328
Chikoy	Gremyachka	5	50,3	108,63	15600	3,338
Dzhida	Dzhidall	1	50,63	106,12	23300	2,954
Dzhida	Hamnei	1	50,43	103,93	8480	1,176
Temnik	Smalinin	1	51,1	105,98	4240	0,897
Snezhnaya	Sneznaya	1	51,43	104,63	3000	1,506
Selenga	Mostovoy	5	52,03	107,48	440200	29,525
Selenga	Kabansk	5	52,07	107,65	445000	29,469
Selenga	Novoselenginsk	5	51,1	106,67	360000	23,511



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
24	1936	42	0,44	1,08	0,38	1	0,33	1	0,06	0,68	0,91	0,2	0	0,64
31	1954	22	0,39	0,73	0,57	1	0,53	1				0,12	0	0,62
52	1961	25	0,49	0,97	0,72	1	0,69	1				0,68	1	0,46
75	1940	26	0,52	1,24	0,58	2	0,54	2				0,32	2	0,36
36	1956	28	0,51	0,29	0,41	2	0,36	2				0,29	2	0,37
45	1936	50	0,62	1,66	0,65	1	0,6	1	-0,63	-0,05	0,54	0,37	1	0,48
26	1941	31	0,94	1,75	0,82	1	0,76	1				0,65	1	0,68
86	1936	54	0,48	0,63	0,61	1	0,56	1	0,01	0,38	-0,16	0,28	1	0,65
88	1936	50	0,47	1,07	0,62	1	0,57	1	0,41	2,06	1,16	0,25	0	0,54
305	1955	37	0,18	0,67	0,22	0	0,17	0				0,01	0	0,34
334	1962	22	0,15	1,06	-0,04	0	-0,09	0				0,22	1	0,54
299	1939	39	0,12	-0,13	0,34	1	0,24	1				0,35	1	0,23
310	1954	36	0,19	-0,19	0,20	0	0,19	0				-0,12	0	0,17
306	1959	21	0,21	1,10	0,31	0	0,40	1				-0,19	1	-0,19
197	1936	57	0,27	0,47	0,08	0	0,07	0	-0,25	0,54	0,64	-0,22	1	
241	1948	42	0,25	0,91	0,22	0	0,08	0	1,88	0,63	-0,34	-0,12	0	
279	1958	31	0,32	0,16	0,01	0	-0,06	0				-0,19	1	
297	1938	49	0,33	1,47	0,32	3	0,34	2	0,15	0,43	1,78	-0,02	0	
62	1936	50	0,39	0,97	0,26	2	0,32	2	-1,04	1,02	0,16	0,12	0	0,48
33	1946	44	0,63	0,85	0,56	3	0,54	3	-0,76	1,04	0,12	0,32	3	0,56
51	1947	39	0,55	1,35	0,75	1	0,66	1				0,39	1	0,62
78	1955	35	0,37	0,76	0,39	2	0,37	2				0,49	2	0,62
78	1943	44	0,42	0,88	0,11	0	-0,03	0	-0,34	1,09	1,75	0,08	0	0,84
124	1947	43	0,31	0,59	0,23	0	0,3	2	-1,1	1,62	1,51	-0,05	0	0,52
164	1957	31	0,35	1,74	0,41	1	0,22	0				-0,02	0	0,44
79	1936	58	0,38	0,35	0,31	2	0,34	2	-1,22	0,22	-0,32	0,22	5	0,45
87	1959	34	0,42	0,37	0,29	0	0,34	2				0,03	0	0,32
145	1937	57	0,43	0,35	0,47	1	0,46	1	-0,86	0,91	0,47	0,31	3	0,54
86	1937	57	0,43	0,35	0,47	1	0,46	1	-0,86	0,92	0,5	0,29	3	0,51
186	1936	56	0,3	0,6	0,04	0	0,09	0	0,42	-0,42	-0,92	-0,03	1	0,4
213	1943	51	0,3	0,92	0,03	0	0,03	0	-0,77	1,12	-0,18	0,01	0	0,45
126	1943	43	0,44	1,03	0,39	2	0,37	2	0,93	1,12	1,48	0,26	2	0,4
138	1943	35	0,34	0,59	-0,07	0	-0,06	0				-0,11	0	0,59
211	1940	22	0,26	0,53	0,07	0	-0,09	0				-0,35	1	0,16
502	1936	54	0,23	0,31	-0,07	0	-0,07	0	-1,54	0,01	-0,17	-0,18	0	-0,16
67	1936	64	0,23	0,2	0,23	0	0,23	0	-0,19	2,53	0,12	0,08	0	0,46
66	1971	23	0,31	0,19	0,28	0	0,23	0				-0,09	0	0,67
65	1936	58	1,01	0,18	-0,97	0	-0,79	2	0,26	0,37	0,39	0,28	2	0,45

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВ. СТОК
Selenga	Naushki	1	50,4	106,12	282000	14,465
Biryusa (Ona)	Phedino	1	57,37	96,63	51000	11,028
Biryusa (Ona)	Shitkino	1	56,37	98,37	31800	9,259
Biryusa (Ona)	Biryusinsk	1	55,97	97,78	24700	8,428
Tagul	Tagul	1	55,53	97,6	7940	3,329
Usolka (Trib Tase)	Usolka	1	57,4	94,77	9070	0,676
Tuman'zha (Trib B)	Tumanshat	1	55,8	97,28	4580	1,663
Taseyeva	Mashukovka	1	57,82	94,32	127000	24,45
Mura (Trib Angara)	Irba	1	58,1	99	9320	0,747
Karabula	Karabula	1	58,03	97,38	4190	0,35
Angara	Tatarka	5	58,18	93,37	1040000	140,453
Angara	Boguchany	5	58,38	97,45	866000	111,278
Angara	Bratskaya	4	56,28	101,73	736000	87,54
Angara	Irkutskaya GES	2	52,23	104,3	573000	58,191
Verkh.Angara	Verkhnyaya Zaimka	1	55,85	110,15	20600	8,252
Kirey	Kirey	1	54,08	100,6	2950	1,349
Vikhoreva	Koblyakovo	1	56,62	101,5	3840	0,671
Tushama (Tr Angara)	Tushama	1	58,3	102,78	3380	0,334
Irkut	Irkutsk	1	52,28	104,28	15000	4,372
Irkut	Tibil'iti	1	51,78	103,27	11600	3,455
Irkut	Tunka	1	51,72	102,6	6560	1,62
Zun-Muren	Zun-Murin	1	51,72	102,85	4160	1,556
Kitoy	Kitoy	1	52,57	103,87	8420	3,824
Belaya (Tr Angara)	Shanhar	1	52,85	103,17	16400	5,541
MalBelaya (Tr Bel)	Mal.Belaya	1	52,77	102,43	3990	1,94
Urik	Urik	1	52,88	101,85	3230	1,26
Oka (Trib.Angara)	Ust'-Kada	1	54,5	102,02	33400	8,383
Zima (Trib.Oka)	Zulmai'	5	53,35	102,2	2550	0,762
Iya	Tulun	1	54,58	100,65	14500	4,983
Iya	Arshan	1	53,92	99,92	5140	2,453
Chuna (Uda)	Salagjer	1	53,63	98,22	4980	2,102
Chuna (Uda)	Ukar	1	54,07	99,25	17200	5,624
Chuna (Uda)	Shirokovo	1	55,43	99,42	23200	5,912
Chuna (Uda)	Oktyabr'skiy	1	56,28	99,58	31700	7,258
Irkineyeva	Bedoba	1	58,8	97,23	8950	1,385
Chadobets	Yarkino	1	59,13	99,38	13300	1,784
Yenisei	Igarka_Later_series	1	67,48	86,5	2440000	622,504
Yenisei	Igarka_Early_series	1	67,48	86,5	2440000	622,504

СЛОЙ	1-й Г.	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
51,294	1936	32	0,34	1,34	0,53	2	0,49	1				0,45	1	0,71
216,235	1937	44	0,2	0,33	-0,11	0	-0,12	0	0,44	0,54	-0,03	0,1	0	-0,02
291,164	1944	44	0,19	0,45	-0,19	1	-0,18	0	0,57	0,15	0,09	-0,01	0	-0,13
341,215	1936	53	0,19	0,15	-0,16	1	-0,14	0	0,68	-0,49	0,63	-0,07	0	-0,05
419,27	1956	33	0,16	0,07	-0,15	1	-0,14	1				-0,23	1	0,1
74,531	1947	41	0,25	0,59	-0,08	0	-0,16	0	-1,98	0,18	-2,05	-0,01	0	0,61
356,55	1963	23	0,23	-0,01	0,28	0	0,17	0				0,41	1	0,18
192,52	1937	51	0,17	0,03	0,14	0	0,07	0	1,09	-0,1	-0,31	0,13	0	0,35
80,15	1957	28	0,26	0,25	-0,24	2	-0,25	2				-0,5	2	0,52
88,532	1951	38	0,27	0,28	-0,05	0	-0,08	0				-0,15	0	0,62
135,051	1954	35	0,1	-0,01	0,49	1	0,46	1				-0,01	0	0,53
128,497	1945	44	0,14	0,07	0,76	1	0,7	1	0,42	-1,13	-1,47	0,54	2	0,62
118,94	1962	27	0,18	-0,05	0,78	1	0,64	1				0,53	2	0,51
101,555	1958	31	0,16	0,08	0,6	1	0,49	1				0,36	1	0,56
400,583	1939	55	0,15	0,23	-0,11	1	-0,1	1	1,31	-0,28	-1,15	-0,15	1	0,12
457,288	1959	30	0,15	0,63	0,44	2	0,27	1				-0,02	0	0
174,74	1956	33	0,28	-0,26	0,82	2	0,67	2				-0,27	2	
98,817	1958	30	0,29	0,54	0,06	0	-0,02	0				-0,27	2	0,63
291,467	1936	52	0,16	0,16	0,01	0	0,01	0	-0,51	1,23	-0,49	0,13	0	0,43
297,845	1956	33	0,17	0,32	0,16	1	0,06	1				0,17	0	0
246,951	1954	34	0,14	-0,07	-0,01	0	0	0				-0,08	0	0,3
374,038	1952	37	0,2	0,72	-0,35	1	-0,36	1				-0,14	0	-0,1
454	1947	38	0,18	0,25	0,36	1	0,28	1				0,19	0	0,33
338	1968	21	0,14	0,22	0,59	1	0,48	1				0,11	0	0,19
486	1953	36	0,14	-0,17	0,16	0	0,09	0				-0,14	1	0,42
390	1958	31	0,13	0,32	0,19	0	0,21	0				0,07	0	0,07
251	1963	22	0,16	0,53	0,16	1	0,05	0				-0,12	2	0,42
299	1946	43	0,22	0	0,41	1	0,38	1	0,35	-0,65	-0,37	0,09	0	0,28
344	1938	51	0,18	0,26	-0,06	0	-0,04	0	-0,29	-0,75	1,05	-0,11	0	-0,19
477	1956	33	0,28	-0,74	0,73	2	0,48	3				0,49	1	-0,32
422	1951	38	0,16	0,05	-0,05	0	-0,09	0				-0,34	2	0,21
327	1936	53	0,19	0,15	0,03	0	0	0	-0,16	-0,5	0,77	0,05	0	0,1
255	1952	24	0,18	0,22	-0,2	0	-0,21	0				-0,14	0	-0,02
229	1968	20	0,19	0,23	0,29	0	0,16	0				0,07	0	0,31
155	1951	36	0,24	0,64	0,1	0	0,04	0				-0,06	0	0,69
134	1957	32	0,3	1,05	0,26	0	0,19	0				-0,02	0	0,5
255,125	1980	20	0,07	-0,33	0,1	0	-0,05	0				-0,57	1	0,36
255,125	1936	26	0,07	-0,37	-0,17	0	-0,17	0				0,48	1	0,42

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Yenisei	Pod.Tunguska	1	61,6	90,08	1760000	337,689
Yenisei	Yeniseisk	5	58,45	92,15	1400000	242,324
Yenisei	Bazaiha	5	55,98	92,8	300000	91,157
Yenisei	Divnogorsk	5	55,47	92,35	289000	86,328
Yenisei	Krasnoyarsk. GES	4	55,46	92,3	289000	82,718
Yenisei	Nikitino	4	53,02	91,48	182000	47,1
Yenisei	Ust'&apos;-Usa	4	52,12	92,28	168000	40,733
Yenisei	Kyzyl	1	51,72	94,4	115000	33,546
Bol.Yenisei	Kara-Hak	5	51,88	94,47	56500	18,865
Bol.Yenisei	Seyba	5	52,5	94,93	44600	15,22
Bol.Yenisei	Tora-Hem	5	52,47	96,1	15600	5,536
Mal.Yenisei	Saryug-Sep	1	51,5	95,57	53300	13,002
Mal.Yenisei	Ust'-Uzjep	1	51,33	96,25	42300	10,562
Hamsyra	Hamsara	6	52,75	97,42	4890	2,857
Buren	Buren	1	51,37	95,67	5980	0,98
Sistig	Sistig	1	52,7	95,52	4430	1,9
Us	Ust-Zolotaya	5	52,03	92,66	6110	2,02
Abakan	Raykov	1	53,58	91,25	31300	11,836
Abakan	Abaza	1	52,65	90,1	14400	9,636
Ona	Ona	1	52,38	89,83	4410	1,912
Oya	Yermakovskoje	1	53,28	92,43	2540	1,061
Tuba	Bugurtak	1	53,8	92,87	31800	23,643
Amyl	Kachul'ka	1	53,72	92,83	9850	6,265
Amyl	Verh.Kuzhebar	1	53,33	93,07	5270	4,378
Kazyir	Tayatyu	1	53,8	93,48	11900	9,645
Kazyir	Kazyir	1	53,68	94,17	9160	7,882
Kizir	Imisskoje	1	53,9	93,15	9080	7,582
Sisim	Sisim	1	54,95	92,13	2810	1,079
Mana	Manski&apos;	1	55,9	92,5	9260	3,163
Kan	Podporog	1	56,42	93,95	36800	9,146
Kan	Kansk	1	56,22	95,7	23000	7,731
Kan	Irbeyskoye	1	55,65	95,48	8710	3,066
Agul	Agul	1	55,7	95,73	11500	4,422
Kungus	Kungus	1	55,45	95,85	3600	1,179
Bol.Pit	Bryanka	1	59,12	93,48	15100	4,302
Bol.Pit	Sukhoy-Pit	1	58,8	92,83	19500	6,43
Kem	Kem	1	57,95	92,45	2860	0,405
Podkamennaya Tunguska	Kuzmovka	1	62,32	92,12	218000	49,372

СЛОЙ	1-й Г.	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
191,869	1936	58	0,09	-0,15	0,12	0	0,11	0	-0,15	-1,14	-0,54	0,17	0	0,69
173,089	1936	58	0,11	0,54	0,35	1	0,3	1	-1,32	-0,63	-1,15	0,57	4	0,74
303,857	1936	54	0,15	0,42	0,1	0	0,06	0	-1,78	0,2	0,08	0,64	4	0,73
289,713	1955	21	0,17	0,48	0,07	0	0,11	0				0,64	1	0,73
286,221	1967	27	0,14	0,19	0,18	0	0,17	0				-0,02	0	0,3
258,791	1936	54	0,14	0,5	0,02	1	-0,03	1	-0,81	0,77	-0,12	0,19	1	0,59
242,458	1936	36	0,15	0,35	0,1	0	0,02	0				0,09	0	0,12
283,009	1936	58	0,13	0,26	-0,03	0	-0,04	0	0,4	1,62	0,16	-0,04	0	0,53
333,894	1956	34	0,17	0,35	-0,1	0	-0,14	2				-0,28	2	0,29
341,256	1961	26	0,17	0,35	-0,17	2	-0,21	2				-0,17	0	-0,08
354,872	1958	32	0,16	-0,15	-0,13	2	-0,17	2				-0,3	2	0,45
243,94	1950	39	0,16	0,69	0,05	0	-0,01	0				-0,17	0	0,31
249,693	1963	27	0,19	0,8	0,28	0	0,15	0				-0,34	1	0,74
584,254	1961	28	0,14	0,15	0,04	0	0,01	0				0,02	0	-0,06
163,88	1957	30	0,23	0,64	0,21	0	0,22	1				0,02	0	0,11
428,894	1960	28	0,22	0,16	-0,18	0	-0,21	0				-0,24	2	-0,24
330,606	1951	39	0,19	0,04	-0,08	2	-0,09	2				-0,26	2	0,3
378,147	1954	36	0,18	0,18	0	0	-0,03	0				-0,02	0	0,16
669,167	1937	52	0,2	1,05	0,04	0	-0,02	0	-0,52	-0,66	0,11	0,03	0	0,23
483,56	1951	39	0,19	-0,06	-0,06	0	-0,14	0				-0,04	0	0,25
417,717	1946	44	0,21	0,15	-0,03	0	-0,09	0	0,14	0,43	0,14	0,06	2	0,19
743,491	1941	49	0,16	0,2	-0,07	1	-0,12	1	1,03	0,61	-1,41	-0,03	0	0,23
636,041	1937	43	0,17	-0,06	-0,02	2	-0,02	2	-0,46	-0,11	-1,05	-0,01	2	0,04
830,74	1965	23	0,19	0,2	-0,1	0	-0,15	0				0,02	0	0,16
810,504	1956	34	0,17	0,29	-0,03	0	-0,06	0				-0,16	0	0,37
860,48	1949	41	0,15	0,22	-0,2	2	-0,21	2	-0,52	-0,1	-1,93	-0,27	2	0,65
835,022	1955	35	0,14	0,21	-0,09	0	-0,12	0				-0,16	0	0,21
383,986	1963	24	0,21	0,23	0,03	0	-0,04	0				0,01	0	-0,07
341,577	1937	52	0,18	0,2	0,16	0	0,14	0	0,81	0,4	0,04	0,07	0	0,12
248,533	1938	42	0,22	0,47	0,1	0	-0,02	0	1,24	0,27	0,01	0,19	0	0,1
336,13	1936	54	0,21	0,33	-0,12	1	-0,12	1	0,11	0,41	0,09	-0,04	0	-0,02
352,009	1937	53	0,18	0,52	-0,14	0	-0,11	0	-1,34	0,51	-0,02	-0,26	1	0,1
384,522	1955	35	0,19	0,34	-0,2	1	-0,24	1				0,04	0	-0,15
327,5	1958	32	0,26	0,52	0,13	0	0,05	0				0	0	0,05
284,901	1939	51	0,2	0,74	0	0	-0,04	0	-1,23	-0,18	-0,53	0,15	0	0,34
329,744	1963	25	0,18	0,08	-0,16	0	-0,14	1				-0,09	0	0,44
141,608	1960	30	0,36	1,12	0,17	2	0,09	2				-0,18	0	0,2
226,477	1940	50	0,16	0,77	0,1	0	0,03	0	0,64	-0,06	1,25	-0,02	0	0,22

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОД. СТОК
Podkamennaya Tunguska	Baykit	1	61,68	96,38	159000	30,563
Podkamennaya Tunguska	Ust&apos;-Kama	1	60,73	97,52	68400	11,085
Podkamennaya Tunguska	Chemdal&apos;sk	1	59,63	103,32	16700	3,343
Teya	Teya	1	60,37	92,5	2910	1,316
Chunya	Mutoray	1	61,33	100,47	30400	4,491
Chunya	Streika-Chunya	1	61,75	102,8	13300	2,074
Turukhan	Yanov Stan	6	65,98	84,27	10100	3,444
Yeloguy	Yeloguy	1	62,48	86,28	16300	5,153
Dubches	Dubches	1	61,3	88,48	8360	2,852
Sym	Sym	1	60,35	88,33	22800	6,014
Kas	Aleksandrovskiy	1	59,42	89,3	7640	1,704
Norilka	Valek	2	69,42	88,32	19800	14,636
Nizhnaya Tunguska	Podvoloshino	1	58,28	108,41	8270	1,114
Nizhnaya Tunguska	Verkh.Karelina	1	57,87	107,83	4160	0,59
Nizhnaya Tunguska	Yerbogachen	1	61,27	108,02	77400	9,369
Nizhnaya Tunguska	Tura	1	64,27	100,27	268000	52,139
Nizhnaya Tunguska	Bol.Porog	1	65,63	90,02	447000	107,289
Yerachimo	Bol.Porog	1	65,65	90,12	9100	4,465
Tembenchi	Tembenchi	1	64,95	98,9	18900	8,188
Taymura	Kerbo	1	62,72	101,12	14800	2,639
Nepa	Ika	1	59,3	106,35	15000	2,011
Vitim	Bodaibo	5	57,82	114,17	186000	47,873
Allakh-Yun	Allakh	1	60,6	134,933	24200	5,502
Maya	Chabda	1	59,75	134,75	165000	37,102
Yudoma	Kurun-Targyukhan	1	59,23	135,28	43600	11,063
Uchur	Chulbu	5	57,77	130,9	108000	38,718
Zhuya	Svetly	1	58,44	116,14	4790	1,707
Amga	Terut	1	62,22	134,13	65400	5,882
Amga	Amga	1	60,9	131,98	56800	5,71
Amga	Buyaga	1	59,67	127,05	23900	3,842
Tsipa	Z.Uju	6	55,58	114,5	15600	3,301
Muya	Taksimo	1	56,37	114,85	9900	3,567
Kirenga	Shorokhovo	5	57,67	108,12	46500	20,519
Minya	Minya	1	56,58	107,85	4800	3,547
Tutura	Grehova	1	54,87	105,45	7100	1,101
Kuta	Novo-Ilinka	1	56,85	105,07	11200	1,924
Kuta	Maksimovo	1	57,122	105,007	6480	1,091
Ilga	Znamenka	1	54,72	104,85	7600	0,916

СЛОЙ	1-й Г.	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
192,22	1942	48	0,22	1,04	0,38	1	0,35	1	0,23	0,24	0,86	0,28	2	0,53
162,061	1963	27	0,23	1,03	0,38	1	0,43	1				0,38	1	0,27
200,18	1962	28	0,22	0,66	0,55	1	0,46	1				0,31	1	0,55
452,234	1965	23	0,2	-0,07	0,22	0	0,16	0				0,2	1	0,33
147,73	1964	26	0,34	1,25	0,46	1	0,39	1				0,23	1	0,15
155,94	1961	24	0,35	0,75	0,34	1	0,2	0				0,2	0	-0,15
340,99	1941	45	0,17	0,33	-0,29	2	-0,3	2	0,16	0,32	0,88	-0,05	1	0,48
316,135	1960	30	0,17	0,4	0,23	0	0,17	0				-0,05	0	0,45
341,148	1964	24	0,19	-0,63	-0,13	0	-0,2	1				-0,04	0	0,62
263,772	1957	32	0,14	0,1	0,13	0	0,12	0				-0,1	0	-0,01
223,037	1952	38	0,15	0,45	0,31	0	0,25	0				0,05	0	0,47
739,192	1938	47	0,17	-0,29	0,47	1	0,47	1	-0,19	-0,19	-0,25	0,14	0	0,16
134,704	1941	49	0,24	0,44	0,42	1	0,4	1	0,63	0,22	1,32	0,22	0	0,41
141,827	1964	24	0,26	0,63	0,55	1	0,55	1				0,23	2	0,52
121,047	1952	38	0,21	0,08	0,47	1	0,39	1				0,2	0	0,53
194,549	1948	38	0,18	0,86	0,42	1	0,32	1				0,21	0	0,37
240,02	1947	43	0,15	0,69	0,2	0	0,08	0	0,39	0,43	-0,36	0,29	1	0,13
490,659	1963	22	0,17	-0,06	0,21	0	0,15	0				0,4	1	0,34
433,228	1944	40	0,16	0,33	0,02	0	0,05	0	0	-1,14	-0,52	0,18	0	-0,02
178,311	1960	30	0,34	1,06	0,33	1	0,16	0				0,23	2	0,28
134,067	1966	24	0,28	0,55	0,32	0	0,3	0				0,28	1	0,51
257	1936	53	0,24	0,55	0,24	1	0,21	1	1,18	0,16	-1,21	0,07	1	0,22
227	1945	46	0,31	0,57	-0,04	0	-0,01	0	0,15	0,24	-0,38	-0,05	0	0,65
225	1936	55	0,24	0,40	0,15	0	0,13	0	0,68	-0,42	-0,35	0,07	0	0,25
254	1944	47	0,28	0,24	0,10	0	0,07	0	1,44	0,95	-0,49	-0,06	0	0,41
359	1954	37	0,19	0,50	0,24	0	0,26	1				-0,19	0	0,67
356	1958	33	0,20	0,10	0,10	0	0,02	0				-0,21	0	0,33
90	1937	54	0,32	0,64	0,36	3	0,28	3	0,94	0,21	-0,11	0,10	0	0,49
101	1939	52	0,30	0,45	0,44	3	0,41	2	0,64	0,23	-0,23	0,17	0	0,40
161	1937	54	0,28	0,32	0,32	3	0,31	3	-0,16	0,02	0,06	0,01	0	0,48
212	1961	28	0,43	0,43	-0,05	0	-0,11	0				-0,25	1	0,28
360	1966	23	0,27	-1,07	0,06	0	0,01	0				-0,03	0	0,31
441	1936	53	0,15	0,04	-0,12	3	-0,14	2	-0,46	-0,63	-0,22	-0,06	0	0,21
739	1957	32	0,15	0,48	0,15	1	0,08	0				0,03	0	0,26
155	1936	53	0,27	0,54	0,04	0	0,03	0	-0,74	-1,87	0,16	0,00	0	0,28
172	1942	41	0,17	-0,14	0,37	2	0,36	1	0,03	-0,28	-0,10	0,20	0	0,57
168	1955	34	0,22	0,38	0,46	2	0,46	2				0,25	2	0,61
121	1966	20	0,28	0,42	0,07	0	0,12	0				-0,27	0	0,29

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГОДОВ. СТОК
Manzurka	Zueva	1	53,53	106	3280	0,298
Timpton	Ust-Baralas	1	56,95	125,45	13300	5,812
Timpton	Ust-Timpton	1	58,65	127,05	43700	16,517
Chulman	Chulman	1	56,83	124,87	3840	1,663
Lena	Kusur	1	70,7	127,65	2430000	525,178
Lena	Chanchur	1	53,82	107	4960	1,49
Lena	Kachug	1	53,97	105,88	17400	3,857
Lena	Gruznovka	1	55,13	105,23	41700	6,213
Lena	Zmeinovo	1	57,78	108,32	140000	35,66
Lena	Krestovski	1	59,73	113,17	440000	132,57
Lena	Solyanka	1	60,48	120,7	770000	210,136
Lena	Tabaga	1	61,83	129,6	897000	219,684
Lena	Stolb	1	72,37	126,8	2460000	477,941
Sinyaya	Peschanoye	1	61,3	126,92	30400	1,398
Botoma	Brolog	1	61,05	128,65	12200	1,245
Tuolba	Alekseievka	1	60,439	124,261	14400	1,928
Olekma	Kudu-Kel	1	59,37	121,32	115000	31,514
Chara	Tokko	1	59,98	119,839	65500	20,103
Chara	Chara	5	56,9	118,28	4150	1,668
Namana	Myankinda	1	60,9	120,8	16600	0,924
Biryuk	Biryuk	1	60,3	119,62	9700	0,756
Aldan	Verkhoyanski Perevoz	1	63,32	132,02	696000	163,306
Aldan	Ohotsky Perevoz	1	61,87	135,5	514000	133,181
Aldan	Ust-Mil	1	59,63	133,03	269000	84,695
Aldan	Tommot	1	58,97	126,27	49500	16,369
Aldan	Suon-Tiit	1	58,07	123,72	18500	6,785
Bolshoy Patom	Patoma	1	60,17	116,8	27000	11
Khamra	Khamra	1	60,23	114,08	2160	0,395
Peleduy	Sol'zavod	1	59,83	112,4	13600	1,548
Mamakan	Tel'apomama	1	57,65	113,95	9120	5,434
Mamakan	Tajezjnaya	1	57,18	114	3740	2,217
Konkudera	Konku	1	57,57	112,5	4920	3,473
Vilyuy	Hatyrrik-Homo	5	63,95	124,83	452000	46,588
Vilyuy	Suntar	5	62,15	117,65	202000	23,533
Markha	Malykai	1	63,5	117,03	89600	13,503
Markha	Cumpuruk	1	64,14	116,55	78700	12,526
Anabar	Saskilakh	1	71,98	114,057	78800	13,893
Olenek	7.5km/S.of Mouth Of Pur	1	72,12	123,22	198000	32,081



СЛОЙ	1-й ГОД	ДЛ.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
91	1953	36	0,32	0,35	0,70	2	0,57	2				0,63	1	0,49
437	1958	33	0,19	0,59	0,34	2	0,26	2				0,10	0	0,67
378	1953	37	0,19	0,10	0,39	2	0,31	2				-0,02	0	0,56
433	1968	23	0,23	-0,03	0,42	1	0,39	1				-0,21	0	0,42
216	1935	60	0,12	0,57	0,28	2	0,27	2	0,82	-0,30	0,40	-0,01	0	0,73
318	1955	33	0,17	0,09	-0,07	0	-0,07	0				0,01	0	0,21
164	1936	53	0,25	0,63	0,20	1	0,19	1	-0,73	-0,66	-0,25	-0,12	1	0,33
149	1936	53	0,26	0,84	0,13	0	0,12	0	-0,71	-1,33	-0,22	0,06	0	0,50
255	1936	53	0,16	0,12	-0,03	0	0,00	0	-0,25	-0,75	-0,19	0,12	0	0,30
301	1936	57	0,15	0,31	0,19	0	0,18	0	-0,71	-0,50	-0,30	0,08	0	0,22
273	1936	57	0,16	0,45	0,42	1	0,40	2	0,58	0,34	-0,50	0,23	0	0,31
245	1936	57	0,17	0,38	0,43	2	0,39	2	0,32	-0,14	-0,48	0,33	1	0,41
194	1951	44	0,12	-0,07	0,34	2	0,28	1	1,17	1,01	0,43	-0,20	0	0,60
46	1954	31	0,56	0,44	0,34	1	0,32	1				0,20	0	-0,03
102	1941	49	0,32	0,26	0,21	2	0,15	2	0,92	1,03	0,52	-0,05	0	0,11
134	1936	45	0,31	0,93	0,57	2	0,51	1	0,36	0,06	0,40	0,31	1	0,38
274	1939	52	0,27	0,23	0,27	0	0,22	0	0,12	-0,25	0,22	0,05	0	0,32
322	1936	55	0,20	1,01	0,33	1	0,35	2	0,20	1,59	-0,48	0,07	0	0,01
402	1957	34	0,23	0,53	0,23	0	0,18	1				0,24	1	0,44
56	1945	46	0,43	0,82	0,41	1	0,36	2	0,22	0,23	-0,31	0,08	0	0,03
78	1950	40	0,48	1,36	0,54	1	0,51	1	0,57	-0,20	0,36	0,14	0	0,18
235	1942	51	0,15	-0,02	0,09	0	0,11	0	1,16	1,06	1,87	-0,05	1	0,58
259	1936	55	0,17	0,30	0,19	0	0,18	0	1,18	0,61	1,13	-0,11	0	0,54
315	1936	55	0,16	0,27	0,15	0	0,17	0	0,43	0,84	0,77	-0,10	0	0,43
331	1936	55	0,20	-0,16	0,38	2	0,34	1	-0,32	-0,41	0,45	0,22	1	0,38
367	1951	40	0,20	-0,35	0,43	2	0,39	1	-0,45	0,03	-0,26	0,14	0	0,41
399	1936	55	0,16	0,00	0,22	0	0,22	0	-0,47	0,59	1,23	-0,08	0	0,44
151	1965	23	0,36	0,66	0,30	0	0,36	1				0,05	0	0,33
114	1936	52	0,26	0,60	0,68	1	0,69	1	0,55	-0,41	-0,08	0,38	1	0,57
596	1962	27	0,17	0,17	0,44	1	0,34	1				-0,03	0	-0,03
593	1964	22	0,18	0,48	0,40	1	0,34	1				-0,08	0	-0,15
706	1958	30	0,17	-0,02	0,29	1	0,26	1				0,03	0	0,14
103	1936	33	0,25	0,95	0,40	1	0,36	1				0,18	1	-0,09
117	1936	32	0,23	0,46	0,48	1	0,43	1				0,28	1	-0,05
151	1943	26	0,32	0,49	0,34	1	0,35	1				0,00	0	0,61
159	1967	24	0,32	0,26	0,50	1	0,36	1				0,39	1	-0,05
176	1954	41	0,25	0,12	0,09	0	0,15	0	0,14	1,05	0,06	0,04	0	
162	1964	28	0,25	0,57	0,16	0	0,07	0				0,22	0	0,05

СТРАНА, РЕКА	СТВОР	ТИП	ШИРОТА	ДОЛГОТА	S ВОДОСБ.	ГODOB. СТОК
Olenek	Sukhana	1	68,62	118,33	127000	21,77
Olenek	Olenek	1	68,5	112,43	89200	16,56
Anadyr Novy	Yeropol	1	65,08	169	47300	14,634
Anadyr	Snezhnoye	1	65,45	172,97	106000	32,221
Penzhina	Kamenskoye	6	62,42	166,03	71600	22,543
Kamchatka	Klyuchi	1	56,3	160,85	45600	24,465
Kamchatka	Bolshie Scheki	1	56,27	161,67	51600	29,473
Tymi (Sakhalin)	Ado-Tymovo	1	51,26	142,71	3420	1,733
Shilka	Sretensk	1	52,25	117,72	175000	13,125
Shilka	Chasovaya	1	53,42	119,97	200000	17,067
Bureya	a	1	49,78	129,92	67400	27,57
Selemdzha	Ust-Ulma	1	51,95	129,12	67000	20,651
Amur	Khabarovsk	1	48,43	135,05	1630000	264,23
Ussuri (tr.Amura)	Kirovsky	1	45,02	133,65	24400	7,01
Amur	Komsomolsk	1	50,63	137,12	1730000	319,787
Amur	Bogorodskoye	1	52,53	140,47	1790000	232,696
Yana	Dzanghky	1	69,77	135,23	216000	29,507
Yana	Ubileynaya	1	70,75	136,08	224000	32,428
Adycha	Yurduk-Kumah	1	68,02	135,27	89600	17,739
Sugoy	3.2km Down Omchikan	1	62,63	155,9	5880	1,783
Taskan (trKolyma)	Taskan-2	1	62,72	150,82	9970	2,248
Bakhapcha	5.4km Up Ust'ya	1	62,1	150,67	13600	3,926
Kolyma	Sredne-Kolymsk	1	67,37	153,67	361000	79,069
Kolyma	Ust-Srednekan	1	62,43	152,3	99400	23,487
Kolyma	Duscania	1	61,65	148,83	50100	10,703
Kolyma	Orotuk	1	62,12	148,47	43600	8,854
Kolyma	Kolymskaya	1	68,73	158,72	526000	101,464
Ayan-Yuryakh	Emtegei	1	62,83	146,62	9560	2,088
Bujunda	3.8km Down Ust'ya Bur	1	61,88	153	9090	2,75
Detrin	Ust'e Vakhani	1	61,43	149,47	5630	1,762
Detrin	Ust'e Omchuka	1	61,13	149,67	3490	1,11
Kulu (trKolyma)	Kulu	1	61,9	147,42	10300	3
Indigirka	Voronsovo	1	69,58	147,35	305000	50,962
Indigirka	Yurty	1	64,05	141,88	51100	7,542
Indigirka	Indigirskiyi	1	64,53	143,12	83500	13,451
Elgi (basIndigir)	42km Up River Offing	1	64,4	142	17600	3,619
Alazeya	Argahtah	1	68,5	153,42	17700	1,119

СЛОЙ	1-й ГОД	Дл.	Cv	Cs	R1	M	R1g	Mg	lsm	lss	lsr	Max R1g	Max Mg	Min R1g
171	1937	58	0,22	-0,52	0,04	0	0,02	0	0,91	-0,10	0,14	-0,07	0	-0,01
186	1948	26	0,33	0,29	0,22	0	0,12	0				-0,04	0	-0,12
309	1965	20	0,22	0,49	0,29	0	0,18	0				-0,14	0	0,45
304	1958	35	0,22	1,27	-0,01	0	-0,05	0				0,20	0	0,32
315	1957	31	0,24	0,61	0,06	0	-0,03	0				0,06	0	0,26
537	1936	50	0,11	0,23	0,16	0	0,12	0	4,40	-0,56	-0,53	-0,09	0	0,67
571	1941	47	0,09	0,54	-0,07	0	-0,07	0	0,07	-0,44	-0,79	-0,10	0	0,44
507	1965	23	0,19	-0,19	-0,14	2	-0,22	2				-0,16	0	0,23
75	1897	88	0,39	1,06	0,32	3	0,32	2	-0,19	0,69	0,65	0,28	1	0,31
88	1950	45	0,42	1,08	0,30	0	0,32	1	0,04	1,22	-1,00	0,16	0	0,55
409	1950	38	0,23	0,52	0,01	0	0,03	0				-0,12	0	0,48
308	1965	20	0,27	1,32	0,13	0	0,18	0				-0,28	1	0,07
162	1897	91	0,23	0,32	0,41	1	0,39	1	-0,53	0,21	1,05	0,30	1	
287	1965	20	0,43	0,71	0,01	0	-0,03	0				-0,33	0	0,21
185	1933	58	0,21	0,07	0,51	1	0,48	1	-0,32	0,47	1,29	0,24	0	0,74
181	1963	25	0,21	0,36	0,67	1	0,53	1				0,40	1	0,85
137	1938	52	0,22	0,74	0,13	0	0,19	0	-0,09	-0,57	1,20	-0,06	0	0,63
115	1973	22	0,30	0,83	0,40	1	0,49	1				0,34	1	
198	1942	23	0,22	0,93	0,20	0	0,10	0				0,31	1	-0,11
303	1941	48	0,23	0,73	-0,07	0	-0,07	0	-0,82	0,57	2,23	0,01	0	0,28
225	1938	51	0,24	-0,17	0,03	0	0,03	0	-0,98	0,67	0,22	-0,09	0	0,67
289	1938	49	0,25	0,53	0,00	0	-0,07	0	0,63	-0,35	1,49	-0,14	0	0,39
219	1935	28	0,24	-0,02	-0,33	2	-0,34	2				-0,16	0	-0,14
236	1936	53	0,22	-0,17	0,02	0	-0,01	0	0,14	0,74	-1,05	-0,08	0	0,14
214	1948	33	0,27	0,08	-0,01	1	-0,06	1				0,08	0	-0,06
203	1957	32	0,26	-0,10	0,00	0	-0,07	0				0,08	0	-0,23
193	1978	21	0,27	0,48	0,17	0	0,12	0				0,09	0	0,85
218	1952	37	0,24	0,02	-0,01	0	-0,09	0				0,23	0	0,16
303	1952	36	0,26	0,66	0,27	0	0,16	0				-0,32	2	0,10
312	1958	31	0,23	0,22	0,03	0	0,00	0				0,05	0	0,17
318	1957	32	0,26	0,43	-0,19	0	-0,25	0				-0,31	1	0,22
291	1942	47	0,23	-0,42	0,09	0	0,02	0	1,52	1,06	-0,71	0,04	0	0,23
167	1937	55	0,21	0,81	0,20	1	0,20	1	0,82	1,25	1,39	-0,08	1	0,17
148	1956	35	0,22	0,33	0,30	0	0,26	0				0,30	1	0,03
161	1944	47	0,21	0,67	0,20	0	0,22	1	-0,19	-0,46	0,97	0,07	0	0,05
206	1956	22	0,31	1,83	0,06	0	0,12	0				0,02	0	-0,02
63	1964	27	0,47	0,16	0,29	2	0,26	2				0,39	2	



## Приложение 2.

### Программа для генерирования гауссовских псевдослучайных чисел методом «зеркально-симметричного удвоения» алгоритма

#### П.2.1. Назначение программы и порядок ее работы

Программа предназначена для генерирования последовательности выборочных значений нормально распределенных псевдослучайных чисел и записи ее в файл. При этом используется алгоритм, предложенный автором: он позволяет получить среднее значение, стандарт и асимметрию генерируемых величин с практически неограниченной точностью (соответственно 0; 1; 0). Четвертый момент (эксцесс) также близок к эксцессу нормально распределенных величин (к трем). Предложенный алгоритм чрезвычайно экономичен, его использование возможно для многих целей: при реализации метода Монте Карло, для разработки формул оценивания статистических и стохастических параметров моделированных и наблюдаемых величин, для реализации динамико-стохастических моделей. Статистические свойства генерируемых программой выборочных значений случайных величин, оцененные по последовательности из 1 млн чисел, например, следующие.

Среднее значение:	0,000000
Стандарт:	1,000000
Коэффициент асимметрии:	-0,000391
Эксцесс относительно нормального:	-0,098242
Коррелированность смежных величин:	0,000735

Для наглядности программа приведена на одном из простейших алгоритмических языков – Турбо-Бейсик, однако может быть без затруднений переписана и реализована на любом другом алгоритмическом языке.

Программа запускается путем введения длины генерируемой последовательности, SELE. Статистический анализ полученной последовательности псевдослучайных величин целесообразно осуществлять не в рамках этой

программы, а при помощи других стандартных программ, например программы Statistica фирмы Statsoft.

Программа анализа рядов наблюдений с расчетом 17 параметров, основанная на указанном алгоритме (и использованная для многих расчетов, на которых основана настоящая монография), может быть бесплатно выслана желающим в электронной форме по запросу на адрес: [sgdo@bk.ru](mailto:sgdo@bk.ru).

## П.2.2. Идентификаторы программы и другие обозначения

SCREEN	символ графического режима, служащего для установки степени разрешения и количества цветов;
COLOR	оператор для графического режима;
PRINT	оператор вывода информации на экран;
SELE	длина последовательности, целое число;
INPUT	оператор ввода информации;
OPEN FOR	символ режима открытия файла для записи информации;
GAUSS	имя файла в формате DOS, в который записывается генерированная последовательность;
OUTPUT AS	символ режима вывода с первой записи;
FOR... TO	оператор цикла;
N	счетчик цикла генерирования случайных чисел, целое число;
A	служебный идентификатор, действительное число;
SQR	встроенная числовая функция; значение – корень квадратный;
LOG	встроенная числовая функция; значение – натуральный логарифм;
RND	встроенная числовая функция, возвращает псевдослучайное число в диапазоне [0, 1), генерируемое датчиком равномерно распределенных случайных чисел;
B	служебный идентификатор, действительное число;
WRITE	оператор записи в последовательный файл с разделяемыми полями;
X	служебный идентификатор;
CLS	оператор очистки экрана.

## П.2.3. Текст программы

```
100 SCREEN 9: COLOR 31,1
110 PRINT "Input SELE";
```

```
120  INPUT SELE
130  OPEN "GAUSS" FOR OUTPUT AS #1
140  FOR N=1 TO SELE
150      A=SQR(-2*LOG(RND(1)))
160      A=A (2.515517+A*(0.802853+0.010328*A))/
          (1+A*(1.432788+A*(0.189269+0.001308*A)))
170      B=SQR(-2*LOG(RND(1)))
180      B=B-(2.515517+B*(0.802853+0.010328*B))/
          (1+B*(1.432788+B*(0.189269+0.001308*B)))
190      A=0.7301275*(A-B)-0.001143
200      WRITE #1, A
210  NEXT N
220  PRINT "Press ENTER to close the program"
230  INPUT X: CLS
```





# Содержание

Предисловие .....	4
Введение .....	5
<b>Литература к введению</b> .....	<b>11</b>
<b>Гл. 1. Основные составляющие глобального водообмена и их изменения во времени</b> .....	<b>13</b>
1.1.    Общий обзор глобального гидрологического цикла. Влагосодержание земных оболочек .....	13
1.2.    Методы анализа изменений во времени составляющих глобального водообмена и других параметров .....	21
1.3.    Изменения испарения с поверхности океана в климатическом и промежуточном масштабах времени ...	26
1.3.1.    Глобальные изменения испарения с поверхности океана .....	26
1.3.2.    Анализ региональных изменений испарения с поверхности океана, оцененных по данным наблюдений ..	33
1.3.3.    Динамико-стохастическая модель изменений испарения с поверхности океана во взаимодействии океана и атмосферы .....	36
1.3.4.    Результаты моделирования .....	44
1.4.    Изменения осадков и горизонтального влагопереноса в атмосфере .....	50
1.4.1.    Глобальные изменения осадков и горизонтального влагопереноса .....	50
1.4.2.    Региональные изменения осадков и горизонтального влагопереноса в атмосфере .....	61
1.5.    Вариации испарения с поверхности суши и «эффективных осадков» над сушей .....	72
1.5.1.    Глобальные изменения испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши и «эффективных осадков» над сушей .....	72
1.5.2.    Региональные изменения «эффективных осадков» над сушей по данным наблюдений – на примере ЕТР	82
1.5.3.    Простая локальная динамико-стохастическая модель преобразования эффективных осадков в речной сток .....	88
<b>Литература к главе 1</b> .....	<b>95</b>

**Гл. 2. Изменения речного стока**

	<b>в климатических масштабах времени . . . . .</b>	<b>99</b>
2.1.	Общий обзор глобально осредненных характеристик межгодовых и многолетних изменений речного стока . . . . .	99
2.1.1.	Исходная информация . . . . .	100
2.1.2.	Средние параметры речных бассейнов и стока рек .	106
2.1.3.	Общая изменчивость речного стока . . . . .	110
2.1.4.	Коррелированность стока смежных лет . . . . .	115
2.1.5.	Факторы автокоррелированности речного стока . . .	121
2.1.6.	Стохастические модели изменений стока . . . . .	124
2.1.7.	Изменения суммарного стока в океан. Стационарность стока . . . . .	131
2.2.	Особенности межгодовых и многолетних изменений речного стока в пределах специфических речных бассейнов . . . . .	135
2.2.1.	Исходные данные . . . . .	137
2.2.2.	Бассейны умеренной природной зоны: бассейн Дона . . . . .	138
2.2.3.	Бассейны умеренной природной зоны (продолжение): бассейн Рейна . . . . .	145
2.2.4.	Бассейны зоны тайги: Черчилл . . . . .	149
2.2.5.	Бассейны зоны тайги (продолжение): бассейн Печоры . . . . .	154
2.2.6.	Бассейны зоны тайги (продолжение): бассейн Колымы . . . . .	158
2.2.7.	Бассейны рек, впадающих в бессточные водоемы в зоне пустынь умеренного пояса: Сырдарья и Амударья . . . . .	160
2.2.8.	Бассейны тропической зоны: бассейн Вольты . . . . .	163
2.3.	Многолетние изменения стока в бассейне оз. Байкал . . . . .	166
2.3.1.	Исходная информация . . . . .	167
2.3.2.	Стационарность изменений стока . . . . .	170
2.3.3.	Параметры общей изменчивости стока . . . . .	172
2.3.4.	Стохастические модели изменений стока . . . . .	174
2.3.5.	Коррелированность стока смежных лет . . . . .	177
2.4.	Сравнительный анализ особенностей изменений стока в пределах важнейших речных бассейнов мира . . . . .	179
2.4.1.	Исходные данные . . . . .	180
2.4.2.	Основные результаты сравнения бассейнов . . . . .	182
	<b>Литература к главе 2 . . . . .</b>	<b>191</b>

**Гл. 3. Экстремальные гидрологические явления:**

<b>наводнения и засухи</b> . . . . .	<b>195</b>
3.1. Понятие «наводнения» . . . . .	195
3.2. Исходная информация . . . . .	196
3.3. Общая характеристика наводнений мира . . . . .	200
3.4. Динамика параметров наводнений . . . . .	204
3.5. Особенности параметров основных генетических типов наводнений . . . . .	215
3.6. Взаимосвязи между различными параметрами наводнений . . . . .	218
3.7. Особенности наводнений в макрорегионах мира с различным уровнем экономического развития . . . . .	224
3.8. Наводнения в пределах отдельных макрорегионов и материков . . . . .	231
3.8.1. Российская Федерация . . . . .	231
3.8.2. Зарубежная Европа . . . . .	238
3.8.3. Северная Америка . . . . .	240
3.8.4. Южная Америка . . . . .	246
3.8.5. Австралия . . . . .	248
3.9. Ареалы паводковых («ливневых») наводнений. Количественные особенности параметров наводнений и их динамика . . . . .	250
3.9.1. Общая картина ареалов наводнений паводкового («ливневого») типа . . . . .	250
3.9.2. Природные параметры наводнений . . . . .	252
3.9.3. Зависимости характеристик социально-экономических ущербов от природных параметров наводнений ливневого типа . . . . .	256
3.10. Наводнения вследствие ледовых явлений на реках. Особенности динамики . . . . .	260
3.10.1. Природные параметры наводнений вследствие ледовых явлений . . . . .	261
3.10.2. Параметры социально-экономических ущербов . . . . .	262
3.11. Понятие «засуха». Метео- и гидрологические засухи . . . . .	263
3.11.1. Метеорологические засухи: изменения во времени индекса засух Пальмера в сопоставлении с изменениями речного стока . . . . .	265
3.11.2. Гидрологические засухи и маловодья . . . . .	268
3.11.3. Характеры засушливые речные бассейны мира . . . . .	273
3.12. Сельскохозяйственные засухи . . . . .	277
3.12.1. Исходная информация . . . . .	277
3.12.2. Природные параметры сельскохозяйственных засух . . . . .	279

3.12.3. Характеристики социально-экономических ущербов от сельскохозяйственных засух . . . . .	288
<b>Литература к главе 3 . . . . .</b>	<b>293</b>

<b>Гл. 4. Оценки возможных изменений увлажненности суши в XXI веке . . . . .</b>	<b>300</b>
4.1. О способности моделей климатической системы воспроизводить сток рек и его изменения в климати- ческих масштабах времени . . . . .	300
4.1.1. Данные о воспроизведении речного стока на моделях СМIP-5 и данные наблюдений . . . . .	301
4.1.2. Результаты сравнения параметров моделирован- ных и наблюдаемых рядов речного стока . . . . .	303
4.1.3. Зависимости ошибок моделирования от параметров речных бассейнов . . . . .	310
4.2. Прогноз изменений увлажненности/засушливости материков в XXI веке вследствие возможного потепления глобального климата . . . . .	317
4.2.1. Информационная основа исследования . . . . .	318
4.2.2. Метод оценивания значимости прогнозируемых изменений увлажненности суши и речного стока в XXI веке . . . . .	320
4.2.3. Результаты прогнозирования слоя стока . . . . .	324
4.2.4. Результаты расчетов значимости прогнозов изменений слоя стока . . . . .	334
4.3. Оценки возможных изменений стока важнейших рек мира	337
4.4. Альтернативный подход к прогнозированию. Теория К.Хассельманна . . . . .	358
4.4.1. Анализ изменений глобального климата за инструментальный период . . . . .	359
4.4.2. Прогноз возможных естественных изменений средней глобальной температуры и сценарии парникового потепления . . . . .	366
4.4.3. Прогнозы изменений годового слоя речного стока без учета возможных естественных изменений глобального климата и с их учетом . . . . .	368
4.5. Оценки возможных изменений стока основных рек России с учетом естественных изменений глобального климата . . . . .	381
4.5.1. Методические вопросы . . . . .	381
4.5.2. Оценки возможных изменений стока р. Лена в XXI веке с учетом неопределенностей вследствие естественных изменений глобального климата . . . . .	382

---

4.5.3.	Оценки возможных изменений стока р. Амур в XXI-м веке . . . . .	386
4.5.4.	Северный склон Евразии: Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Колыма . . . . .	388
4.5.5.	Реки южного склона ЕТР: Дон и Волга . . . . .	393
<b>Литература к главе 4 . . . . .</b>		<b>396</b>
<b>Заключение . . . . .</b>		<b>401</b>
<b>Приложение 1.</b>	<b>Параметры речных водосборов, стока рек и его изменений во времени . . . . .</b>	<b>407</b>
<b>Приложение 2.</b>	<b>Программа для генерирования гауссовских псевдослучайных чисел методом зеркально- симметричного удвоения алгоритма . . . . .</b>	<b>517</b>

**Научное издание**

**Сергей Гаврилович Добровольский**

**ГЛОБАЛЬНАЯ  
ГИДРОЛОГИЯ  
Процессы и прогнозы**

Подписано к печати 14.08.2017.

Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Уч.-изд. л. 55,0. Тираж 300 экз.

ООО “Издательство ГЕОС”

129315, Москва, 1-й Амбулаторный пр-д, 7/3-114.

Тел./факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91.

E-mail: [geos-books@yandex.ru](mailto:geos-books@yandex.ru), [www.geos-books.ru](http://www.geos-books.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
представленного электронного оригинал-макета  
в типографии филиала ОАО “ТАТМЕДИА”  
ПИК “Идел-Пресс”

420066, г.Казань, ул.Декабристов, 2.