

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Филиппова Ирина Александровна

**Минимальный сток рек Европейской территории
России и его оценка в условиях изменения климата**

Специальность 25.00.27

Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук Болгов Михаил Васильевич

Москва - 2014

| | |
|--|-----------|
| Введение ----- | 5 |
| Глава 1. Обзор основных методов и результатов в области исследования минимального стока ----- | 12 |
| 1.1 Определения и понятия----- | 12 |
| 1.2 Особенности формирования минимального стока----- | 15 |
| 1.3 Исследования минимального стока и процессов его формирования ----- | 17 |
| 1.4 Современное состояние проблемы расчетов характеристик минимального стока----- | 24 |
| 1.5 Особенности статистического анализа минимального стока--- | 28 |
| 1.6 Методы расчета меженного и минимального стока----- | 32 |
| Глава 2. Региональные исследования вероятностных закономерностей колебаний минимального стока в пределах условно стационарного периода ----- | 40 |
| 2.1 Вероятностные закономерности минимального стока на примере рек Центрально-Черноземной области----- | 40 |
| 2.1.1 Постановка задачи и исходная информация----- | 40 |
| 2.1.2 Основы совместного анализа наблюдений за стоком----- | 45 |
| 2.1.3 Исследование вероятностных закономерностей минимального стока на примере рек Центрально-Черноземной области с помощью совместного анализа----- | 49 |
| 2.1.4 Уточнение выбора функции распределения минимального стока----- | 58 |
| 2.1.5 Исследование автокорреляционных функций минимального стока----- | 59 |

| | |
|---|------------|
| 2.2 Региональный подход к оценке распределения вероятностей продолжительностей маловодных периодов ----- | 68 |
| Глава 3. Современные изменения гидрологического режима рек в маловодные фазы----- | 76 |
| 3.1 Постановка задачи и исходная информация ----- | 76 |
| 3.2 Оценка расчетных характеристик минимального стока рек ЕТР в изменяющихся климатических условиях ----- | 78 |
| 3.3 Пространственно-временная изменчивость многолетних колебаний минимального стока в условиях изменения климата ----- | 88 |
| 3.3.1 Постановка задачи ----- | 88 |
| 3.3.2 Исследование пространственной связности полей стока; применяемые методы построения пространственно-корреляционных функций ----- | 92 |
| 3.3.3 Выделение однородных районов по синхронности колебаний минимального стока ----- | 100 |
| Глава 4. Изменение статистической структуры рядов минимального стока в условиях изменения климата----- | 110 |
| 4.1 Постановка задачи----- | 110 |
| 4.2 Исследование нарушения стационарности в рядах минимального стока в бассейне р. Волги----- | 111 |
| 4.3 Влияние изменения режима стока на параметры регулирования водохозяйственными системами----- | 125 |

Глава 5. Расчет вероятных изменений характеристик гидрологического режима водных объектов в бассейне р. Волги в условиях изменения климата

| | |
|--|-----|
| 5.1 Постановка задачи----- | 132 |
| 5.2 Возможность применения метода «суммы распределений» к расчету минимального стока----- | 133 |
| 5.3 Построение закона распределения на основе суммы двух плотностей----- | 135 |
| Заключение ----- | 144 |
| Литература----- | 145 |
| Приложения | |

Введение

Актуальность проблемы.

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия на основе актуальных данных гидрометеорологического мониторинга, убедительно показывают, что происходящие изменения климата в ряде крупных регионов приводят к существенным изменениям водного режима рек (Водные ресурсы, 2008)[20]. Учитывая уже состоявшееся потепление и высокую вероятность продолжения этой тенденции в ближайшие десятилетия, на первый план выходит проблема оценки изменений речного стока, тем более, что обеспечение нужд водохозяйственного и гидротехнического проектирования требует надежного определения параметров, характеризующих режим речного стока. Особое внимание в этой связи обращается на расчеты сезонного и минимального стока.

Масштабы водопользования и его воздействия на окружающую среду в настоящее время достигли таких размеров, что экологические требования, предъявляемые для сохранения водной среды, и даже сама по себе возможность использования водных ресурсов становятся лимитирующим фактором социально-экономического развития. Увеличение потребления воды в сочетании с неравномерным распределением водных ресурсов по территории и, что крайне важно, во времени, практически неконтролируемое загрязнение водных ресурсов, заставляют более пристально отнестись к исследованию стока в лимитирующие периоды и сезоны.

Разработка методов количественного описания минимального стока всегда представляла собой важную задачу и для отечественной, и для зарубежной гидрологии, однако вопрос о существовании некой «теоретической» модели, наилучшим образом описывающей натурные данные о минимальном стоке, до сих пор остается открытым. Характер произошедших гидрометеорологических изменений и большая вероятность их продолжения в ближайшем будущем вынуждают по-новому подходить к

назначению параметров водохозяйственных систем и правил их эксплуатации. В недавнем прошлом решение практических задач облегчалось тем, что при гидрологическом обосновании водохозяйственных мероприятий на короткие (в геологическом масштабе) сроки допускалась гипотеза стационарности процессов стока, что имело принципиальное значение для методики расчетов. Усилившиеся процессы глобального потепления ставят под сомнение концепцию стационарности многолетних колебаний гидрометеорологических величин, и сейчас применение теоретических кривых распределения не позволяет добиться необходимого согласования теоретических и эмпирических распределений. В этих условиях расчет минимального стока на фоне произошедших и будущих климатических изменений становится одной из актуальных проблем инженерной гидрологии.

Целью данной работы является изучение характера многолетних колебаний минимального стока и применение новых методов (подходов) к его расчету в условиях климатических изменений. В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **задачи**:

1. Установление общих закономерностей колебаний минимального стока в пределах условно стационарного периода: получение обобщенных оценок параметров распределений минимального стока и установление общих закономерностей колебаний стока в пределах гидрологически однородных территорий, а также изучение статистических свойств маловодных периодов.
2. Изучение климатически обусловленных изменений параметров распределения минимального стока, а также изменения пространственных закономерностей колебаний минимального стока и степени синхронности его колебаний.

3. Исследование статистической структуры рядов минимального стока в бассейне р. Волги с привлечением новейших данных наблюдений за стоком.
4. Изучение изменения характеристик регулирования водохозяйственными системами под влиянием смены гидрологического режима.
5. Обоснование возможности применения к расчету минимального стока в нестационарных условиях метода «сумма распределений».

Методика и исходная информация.

В качестве объектов исследования рассматривались бассейны рек на территории Центрально-Черноземной области и всей ЕТР (2-3 глава), а также реки бассейна р. Волги (4-5 глава). Для исследований были привлечены данные многолетних наблюдений за 30-тидневным минимальным стоком до 1985 года (2 глава), до 2010 года (глава 3, 4, 5). В основе исследования лежат вероятностно-статистические методы описания многолетних колебаний стока с привлечением методики группового анализа данных, модифицированного алгоритма районирования территории по синхронности колебаний стока, аппарата двумерных пространственно-корреляционных функций. Также в работе была использована воднобалансовая модель притока к Москворецкой системе водохранилищ.

Статистическая обработка проводилась с помощью пакетов Excel, Statistica, HydroStatCalc2012 и программных средств, разработанных в Лаборатории моделирования поверхностных вод.

Основные защищаемые положения.

1. Для вероятностного описания минимального стока и получения территориально общих статистических параметров в пределах условно стационарного периода (на примере рек ЦЧО) возможно использование методики объединения данных на основе принципов совместного

анализа. В качестве теоретической кривой распределения для описания минимального стока рек этого региона представляется возможным использовать распределение Гумбеля, дающее наилучшую аппроксимацию исходных данных.

2. При исследовании свойств маловодного периода возможно в качестве нормируемой характеристики рассматривать продолжительность дефицитных периодов стока, полученных с помощью порогового подхода. Ряды продолжительностей дефицитных периодов предлагается аппроксимировать с помощью распределения Вейбулла.
3. Исследование статистической структуры рядов минимального стока бассейна р. Волги в условиях климатических изменений указывает на нарушение стационарности в рядах, соответствующее смене фазы водности для обширной территории. Обнаружены географические закономерности в смене режима минимального стока, обусловленные как климатическими изменениями, так и особенностями подстилающей поверхности.
4. Для усовершенствования метода расчета минимального стока предлагается рассматривать смену фаз водности в бассейне как смену двух условно стационарных состояний гидролого-климатической системы.
5. Для расчета минимального стока в нестационарных условиях на основе предложенной гипотезы предлагается использовать метод расчета в виде «суммы распределений».

Научная новизна.

1. Впервые выполнено исследование изменений статистической структуры рядов и полей минимального стока в условиях климатических изменений на обширной территории.

2. Обнаружены географические закономерности в смене режима минимального стока рек Волжского бассейна, обусловленные как климатическими изменениями, так и особенностями подстилающей поверхности.
3. Сформулирована гипотеза о смене двух условно-стационарных состояний гидролого-климатической системы, на основе которой предложен метод расчета минимального стока в нестационарных условиях в виде «суммы распределений».

Практическая ценность работы заключается в региональном анализе климатически обусловленных изменений режима минимального стока и применении метода расчета минимального стока в нестационарных условиях в виде «суммы распределений». Использование полученных результатов позволит повысить обоснованность гидрологических расчетов минимального стока и точность расчетных характеристик, а, следовательно, и степень надежности принятия проектных решений.

Результаты анализа изменений характеристик гидрологического режима и метод расчета минимального стока в условиях изменяющегося климата вошли в отчет по Государственному контракту №№ 5/1-2012 НИОКР в рамках Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах», были использованы при составлении «Методических рекомендаций по прогнозу вероятностных изменений характеристик стока в бассейне р. Волги» (Министерство природных ресурсов и экологии, Москва, 2013 г).

Ряд важных практических результатов получен при выполнении проектов Грант РФФИ 12-05-01034-а «Разработка метода прогнозирования стока рек в условиях неопределенности климатических изменений».

Разработка ряда разделов диссертации проведена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по теме

«Разработка моделей и технологий дистанционной диагностики состояния и режима водных объектов суши» и «Разработка методов мониторинга и прогноза состояния водных объектов в условиях нестационарного климата и антропогенного воздействия в разных регионах Российской Федерации» (2012-2013).

Апробация работы.

Результаты диссертационного исследования докладывались на Международной научной конференции "Экстремальные гидрологические события: теория, моделирование и прогнозирование" (Москва, 3 - 6 ноября 2003 г.); Международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе» (Москва, 19-20 октября 2006 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» (Пермь, 28-30 мая 2013 г.); Всероссийской научной конференции «Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз» (Краснодар, 07-13 октября 2013 г.); на VII гидрологическом съезде (С.-Петербург, 19-21 ноября 2013 г.); на Заседании Научного совета РАН по теории климата Земли (Институт физики атмосферы РАН, Москва, 14 декабря 2013г.); 6th international Conference on Water Resources and Environmental Research «Water& Environmental Dynamics» (Koblenz, Germany, 3-7 June 2013); Northern European FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data, Project 2, Low Flows (22-24 May, 2000. Poland); The Grand Challenges Facing Hydrology in the 21st Century: Dooge Nash International Symposium (Dublin, Ireland, 2014).

Публикации. Автором опубликовано 13 печатных работ, в том числе 4 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 155 источников. Работа изложена на 210 страницах текста, включает 53 рисунка, 10 таблиц и 8 приложений.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н. Болгову М.В. за руководство и всестороннюю помощь в написании работы.

Глава 1. Обзор основных методов и результатов в области исследования минимального стока

1.1 Определения и понятия

Приступая к изучению процессов формирования низкого стока и разработке методов его расчета, целесообразно вначале остановиться на основных терминах и определениях, применяемых для его описания, а именно понятий «*межень*» и «*минимальный сток*».

В отечественной гидрологической практике под *меженью* понимается фаза водного режима, наблюдающаяся в маловодные сезоны – зимний и летне-осенний периоды – и характеризующаяся наличием малых, устойчивых по величине расходов. Эти сезоны образуют маловодный период года (Владимиров,1970). *Меженный сток* – речной сток, наблюдающийся в маловодные сезоны при отсутствии значительных паводков. В меженный период входит интервал времени, когда наблюдаются наименьшие значения стока, то есть *минимальный сток* (Владимиров,1970). Период наименьшего стока продолжительностью от 1 до 30 дней называется *периодом минимального стока*, когда реки питаются преимущественно подземными водами. Поскольку значения минимального стока за летний и зимний сезоны являются генетически разнородными величинами, то они исследуются отдельно. Продолжительность периода минимального стока зависит от устойчивости межени. Зимой она определяется продолжительностью и устойчивостью периода с отрицательными температурами воздуха, при которых прекращается поверхностный сток воды. В летне-осенний сезон продолжительность этого периода зависит от количества и интенсивности осадков, формирующих паводки.

Для гидрологических расчетов согласно (Свод правил,2004) основными расчетными величинами являются *средний многолетний расход* (норма);

средний расход за межень; 30-суточный расход, определяемый по среднему значению за 30 суток внутри летне-осенней или зимней межени с наименее низким стоком; *минимальный суточный расход* и *меженные (минимальные) расходы расчетной обеспеченности* (75%, 90%, 95%, 97%, 99%). Указанные характеристики А.М. Владимировым предложено употреблять при рассмотрении конкретных периодов в годовом цикле и получении расчетных характеристик, при изложении же общих положений эти термины целесообразно объединять в общее понятие «низкий сток». «Меженный» и «минимальный сток» представляют собой генетические характеристики маловодного периода года, поскольку соблюдается основной критерий их определения – единство условий формирования (Владимиров, 1970).

Для решения задач хозяйственного использования водных ресурсов большее значение имеет величина *лимитирующего стока*, то есть расходов воды в *маловодный сезон*, в который наблюдаются наибольшие трудности с водоснабжением. Для северной части Европейской территории России таким сезоном является зимний, для южной и западной – летне-осенний. Понятие «маловодный период» не является синонимом понятия «маловодный цикл». Последний используется при оценке многолетних колебаний речного стока и относится к группе (серии) маловодных лет, в которые величина стока значительно ниже нормы. Таким образом, маловодьем можно считать сезонный или многолетний период низкой водности, вызывающий разного рода экономические и социальные ущербы (Алексеевский, Фролова, 2011).

Дать оценку методам изучения минимального стока за рубежом сложно из-за отсутствия согласованных методов его определения и анализа; это касается даже самой формулировки события «межень» (Болгов и др, 2006; Wilhite, 1985). Существует более 150 опубликованных определений межени, которые можно классифицировать различными путями (Hisdal, 2002; Tate, Gustard, 2000). На настоящий момент исследователи согласились только с очень общей формулировкой: «Основная характеристика межени –

уменьшение количества воды в определенный момент времени на определенной территории» (Beran, Rodier, 1985).

Международный гидрологический словарь (International Glossary, 1974) определяет низкий сток (*low flow*) как «сток воды в течение продолжительного засушливого сезона». Такое определение не делает четких различий между стоком в маловодный сезон и засухой. В то время как низкий сток представляет собой сезонное явление и является компонентом водного режима любой реки, засуха – это природное событие, происходящее из-за отсутствия осадков в течение длительного периода. В связи с этим в зарубежной литературе среди засушливых периодов выделяют метеорологическую, гидрологическую, сельскохозяйственную и социально-экономическую засухи (Dracup, 1980; Rojer, Ambruster, 1990). Засушливый период включает в себя период низкого стока, но продолжительная межень не обязательно является следствием отсутствия осадков, хотя многие исследователи и рассматривают период низкого стока в году как ежегодную засуху (Tallaksen et al., 1997).

Кроме понятия низкий сток, в зарубежной литературе часто используется термин базисный сток (*base flow*), который соответствует генетической компоненте стока воды, обусловленной подземным питанием. В период низкой водности рек расходы воды формируются в основном подземными водами, а в период повышенной водности – базисным и так называемым «быстрым» стоком. Базисный сток примерно соответствует подземному стоку, выделяемому методом расчленения гидрографа; понятие «низкий сток» фактически объединяет в себе понятия «меженный» и «минимальный» сток. В качестве расчетных характеристик наиболее часто применяется индекс низкого стока - минимальный *n*-дневный средний расход за каждый год отдельно. В США и Великобритании обычно используется минимальный 7-дневный расход с повторяемостью 2 и 10 лет, и, прежде чем приступить к исследованиям характеристик меженного стока, зарубежные

гидрологи также советуют произвести четкое разделение межени на летнюю и зимнюю для согласованного анализа (Hisdal, Tallaksen, 1997), там же можно найти детальное описание этой процедуры.

1.2 Особенности формирования минимального стока

Режим и расходы воды в период низкого стока определяются большим количеством факторов. Главными из них, определяющими величину и изменчивость стока, являются атмосферные факторы. Согласно А.М. Комлеву, факторы атмосферы следует делить на климатические, определяющие норму и тип водного режима, и метеорологические, обуславливающие изменчивость указанных характеристик (Комлев, 2002). Режим стока во многом определяется факторами подстилающей поверхности. При исследованиях характеристик стока за период осреднения, меньший, чем год, влияние местных особенностей бассейнов сильно возрастает (Комлев, 2002). Это относится, в первую очередь, к межённому и минимальному стоку.

Согласно А.М. Владимирову, по первостепенному значению в генезисе минимального стока факторы могут быть сгруппированы в три группы. Первая группа включает в себя стокообразующие факторы – осадки, являющиеся главным источником формирования поверхностного стока, и подземные воды, определяющие сток при отсутствии осадков за длительный период. Основное значение имеет величина подземного питания в межённый период; при устойчивой межени поверхностные воды практически не участвуют в формировании минимального стока. Вторая группа факторов – косвенных – непосредственно не участвующих в формировании низкого стока, но влияющих на режим и расход низкого стока через пространственно-временное распределение осадков (Методы расчета, 1984). Основные из них – это гидрогеологические особенности строения водосборов, потери на испарение (температура, дефицит влажности воздуха), а также рельеф, залесенность и заболоченность, характер растительности, наличие карста.

Третья группа факторов включает в себя факторы бассейнового регулирования, состоящие из азональных характеристик водосбора (площадь, средняя высота, уклон, густота речной сети, глубина эрозионного вреза). В общем случае, для рек с высокой зарегулированностью стока отмечается сглаженное половодье, меньшая высота паводков и, соответственно, меньшая продолжительность межени и более высокий минимальный сток.

Необходимо упомянуть также об антропогенных факторах, влияющих непосредственно на величину минимальных расходов в виде изъятий, перебросок, сбросов и регулирования стока, а также косвенно в виде хозяйственной деятельности на водосборе.

Изменчивость минимального стока обуславливается, в первую очередь, непостоянством метеорологических факторов – осадков, температуры и влажности воздуха, суммарного испарения (Комлев, 2002). На колебания зимнего стока существенное влияние оказывает изменчивость метеоусловий за зимний сезон. Эти условия могут быть учтены суммой зимних осадков и суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха, влияющих на глубину промерзания почвогрунтов и, соответственно, на условия дренирования подземных вод (Панов, 1960). Влияние зимней температуры воздуха на изменчивость зимнего минимального стока может проявляться и через изменчивость длительности зимнего сезона, связанной с продолжительностью истощения грунтовых вод. В районах с более мягким климатом на изменчивость минимального зимнего стока оказывает влияние приток в реки талых вод, образующихся в период оттепелей.

В отличие от зимнего стока, который в большинстве случаев формируется только подземными водами, в формировании летне-осеннего стока участвуют и жидкие осадки, выпадающие в этот сезон, особенно в районах с избыточным и достаточным увлажнением. В силу разнообразия метеорологических факторов и форм их влияния многолетняя изменчивость

летне-осеннего стока зачастую выше изменчивости зимнего стока (Комлев, 2002).

Пространственное распределение коэффициентов вариации минимального зимнего стока отражает в целом географическую зональность (Комлев, 2002), то есть влияние главного фактора – общей увлажненности территории, определяющей в свою очередь запасы воды в речном бассейне. Показателем запасов, не поддающихся точной оценке, служит величина предшествующего увлажнения в виде величины стока за предшествующий сезон (Апполов, Калинин и др., 1974). На большей части России до недавнего времени зима характеризовалась устойчивым ходом отрицательных температур без существенных оттепелей, поэтому минимальный зимний сток отличался меньшей многолетней изменчивостью (по сравнению с летним стоком) и являлся также минимальным годовым.

Помимо непосредственной величины расхода в межень и его многолетней изменчивости, для характеристики маловодного периода важны такие показатели как длительность и устойчивость межени. Длительность и устойчивость межени определяется, главным образом, климатическими условиями (Евстигнеев, 1990). Для стока в зимний период наибольшее значение имеет продолжительность периода с устойчивыми отрицательными температурами, когда прекращается поверхностный приток и реки питаются, в основном, подземными водами (Евстигнеев, 1990). Для летне-осеннего периода большее значение будет иметь количество и интенсивность осадков, которые могут прерывать межень и образовывать паводки.

1.3 Исследования минимального стока и процессов его формирования

Изучение сезонного стока в нашей стране началось в конце 30 х-40 х годов в работах Г.В. Казанцева, Б.Д. Зайкова, Д.Л. Соколовского и др. На тот момент исследования осуществлялись лишь для рек Европейской части

СССР с точки зрения пространственного распределения стока различных сезонов с жестко закрепленными по всей территории сроками их наступления и окончания, причем продолжительность сезонов была различна у всех авторов.

Интенсивное развитие народного хозяйства определило необходимость проведения исследования по проблемам минимального стока; кроме того, изучение условий формирования меженного стока создало необходимые предпосылки для тесной увязки гидрологических и гидрогеологических подходов к оценке естественных ресурсов. Это направление и получило наибольшее распространение.

В 1929 году Д.И. Кочериным (Кочерин, 1929) впервые было выполнено исследование распределения минимальных модулей стока в пределах ЕТС; оно было продолжено Л.А. Сибирцевой (Сибирцева, 1937), которая в 1937 году опубликовала сводку о минимальных расходах по 280 постам ЕТС. Позже данные о минимальном стоке рек Азиатской части бывшего СССР были подвергнуты анализу в работе П.Д. Однодворец (Однодворец, 1938). Помимо кадастрового обобщения данных, в конце 30х годов был намечен аналитический путь разработки проблем минимального стока, заключающийся в использовании корреляционной зависимости между минимальным расходом, нормой и площадью водосбора (Шевелев, 1937). В последующие годы исследования минимального стока стали развиваться на основе синтеза указанных направлений. Так, в 1941 году В.А. Урываевым наряду с картой изолиний наименьших годовых среднесуточных значений минимального стока была предложена эмпирическая зависимость для учета озерного влияния; ему же принадлежит работа по анализу кривых продолжительности суточных расходов. Значительный вклад в разработку эмпирических расчетных зависимостей внес Н.Д. Антонов. Он рассмотрел основные факторы, влияющие на формирование минимального стока и, на основании фактических данных по ЕТС разработал эмпирические

зависимости для расчета минимальных среднесуточных модулей стока за зиму и лето отдельно (Антонов, 1941). Так же, как и Шевелев (Шевелев, 1937), он предложил использовать косвенный метод расчета статистических характеристик (C_s и C_v) рядов минимального стока, что позволило определять минимальный сток различной обеспеченности.

Исследования сезонного стока осуществлялись в разрезе изучения внутригодового распределения стока. Это обуславливало необходимость назначения определенных и постоянных сроков начала и конца сезонов для рек района. Принятие постоянных сроков явилось условной мерой, вызванной требованиями практики. Такое допущение сильно осложнило осуществление научных обобщений в связи с генетической неоднородностью сезонного стока, которая усугублялась схематичностью назначения границ сезонов. Наибольший вклад в развитие расчетных методов сезонного стока внес В.Г. Андреев (Андреев, 1960, 1970), построивший карты изолиний среднемноголетнего слоя сезонного стока за летне-осенний и зимний сезоны для рек ЕТС, причем сроки сезонов изменялись по территории в соответствии с изменением климатических сроков. Им была разработана схема определения сезонного стока различной обеспеченности для неизученных рек, основанная на использовании параметров кривой обеспеченности годового стока и переходных коэффициентов от этих параметров к соответствующим параметрам сезонного стока.

Рекомендации В.Г. Андреева послужили основой региональных описаний сезонного стока в аспекте его внутригодового распределения: М.П. Колпачевой (Колпачева, 1970) – определение сезонного стока различной обеспеченности по связям между модульными коэффициентами и годовым стоком; И.М. Лившиц (Лившиц, 1955) – распределение по территории сезонного стока рек Белоруссии; И.Н. Стеженской (Стеженская, 1971) – зональные особенности рек Западной Сибири; А.М. Комлева

(Комлев, 1971, 1973) – зимний сток различной обеспеченности рек Западной Сибири).

Ограниченность имеющихся приемов расчета минимального стока (эмпирических формул Шевелева, Антонова, Сотченко, Полякова) вызвало необходимость поиска иных путей решения поставленных задач. В соответствии с генетическими особенностями формирования минимального стока повышение точности расчетных приемов связывалось на тот момент с комплексным гидролого-гидрогеологическим подходом. Попытки такого подхода освещены в работах А.М. Норватова (Норватов, 1950, 1956), который разработал принципиально новую схему районирования минимального стока малых рек на основе карты подземных вод Распопова (Распопов, 1950). Он подчеркивал большое значение гидрогеологических условий в формировании минимального стока и установил, что внутри относительно однородных (по гидрогеологическим условиям) районов модуль минимального стока пропорционален площади водосбора. Тем не менее, пригодной для практического применения схемы расчета не было выработано, что связано с невозможностью на тот момент учесть все локальные особенности водосбора. Аналогичными исследованиями занимались С.Н. Боголюбов и З.П. Богомазова (Боголюбов, Богомазова, 1955).

В середине 50х годов попытку генетического анализа процесса формирования минимального стока предпринял Н.П. Чеботарев (Чеботарев, 1954). Построенная им схема (по теории изохрон) включала в себя необходимость учета большого количества климатических факторов и факторов подстилающей поверхности, что придавало ей определенную громоздкость. Кроме того, в практическом отношении определение многочисленных параметров этой схемы оказалось не более точным, чем непосредственное установление модуля стока по корреляционным зависимостям. Эта схема была использована А.Г. Курдовым (Курдов, 1970)

при построении расчетных зависимостей для определения минимальных расходов на реках Центрально-Черноземной области. При этом для получения законченного решения ему пришлось вернуться к эмпирическим зависимостям Шевелева-Антонова. Выяснению причин внутрizonальных колебаний и учету локальных особенностей, а также разработке методики оценки минимального расхода воды на основе экспедиционных исследований посвящены работы Г.Н. Петрова (Петров, 1956). Рассматривая сравнительно небольшой географический район со сложными гидрогеологическими условиями, Г.Н. Петров принял эти частные особенности как типичные свойства распределения минимального стока и пришел к заключению о невозможности применения метода географической интерполяции для описания закономерностей территориального распределения минимального стока.

Огромный вклад в изучение минимального стока внесли работы А.М. Владимирова (Владимиров, 1970, 1976). Им впервые была рассмотрена комплексная проблема оценки временных, количественных и качественных характеристик сезонного (лимитирующего), меженного и минимального стока с учетом влияния хозяйственной деятельности человека. В начале 60-х им были разработаны принципы выделения меженных периодов на гидрографах рек, районирование территории СССР по условиям питания рек в меженный период (Владимиров, 1970). В его работах проведен полный анализ процесса формирования стока в маловодный период, классифицированы стокоформирующие факторы, проведено определение расчетных характеристик стока рек в меженный период при наличии гидрометрических наблюдений и рассмотрена проблема расчета при их недостатке или отсутствии (Владимиров, 1976).

В начале 70-х годов на фоне растущего интереса к вопросам исследования минимального стока методы его расчета усовершенствовались (Владимиров, 1976) и большое значение приобрел метод переходных

коэффициентов, позволяющий более точно определить сток требуемой обеспеченности для неизученных рек (Тихоцкий, 1968). Можно считать, что в 70-х - 80-х годах были заложены основы теоретических представлений о закономерностях формирования меженного стока рек в различные сезоны и в различных природных условиях, а также предложены методы его расчетов при различном объеме и доступности гидрометеорологической информации (Аржакова, 2001). Это нашло отражение в ряде законодательных нормативных документов (Свод правил, 2004, Определение основных, 1985).

Началом современного этапа развития современной гидрологии было предложено считать конец 60-х (Евстигнеев, 1990), когда в результате резкого увеличения водопотребления и сброса сточных вод наметилось истощение водных ресурсов, появилась проблема неудовлетворительного качества воды. Далее приоритетное направление приобрели статистические обобщения и метод гидрологической аналогии. Еще в 1930 году опубликована работа Д.Л. Соколовского (Соколовский, 1930), с которой началось активное внедрение аппарата математической статистики в расчеты речного стока. Огромное значение для развития этого направления имели труды С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (Крицкий, Менкель, 1981, 1982), сформировавшие новое направление в исследовании многолетних колебаний стока на основе стохастического моделирования. В них широко использовались методы теории случайных процессов. Сфера применения математического моделирования на основе вероятностных методов и далее была предметом изучения целого ряда ученых (Алексеев, 1971, Блохинов, 1974, Рождественский, 1974, 2010, Раткович, 1976, 1993, Резниковский, 1989, Сарманов, 1992, 2009, Болгов, 1997, 1992, 2011, 2005, 2009).

На определенном этапе среди гидрологов возникли разногласия, не до конца разрешенные и по сей день. Проблема заключается в формулировке термина «межень», «минимальный сток» и выборе адекватных характеристик. Так, Б.В. Поляков считал межень стоком, наблюдаемым при

отсутствии ярко выраженных паводков; М.А. Великанов определял минимальный сток как сток периода летней межени в засушливое время года и зимней межени, обусловленный поступлением грунтовых вод; Д.Л. Соколовский, как и А.И. Чеботарев, полагал, что минимальный сток наступает тогда, когда реки переходят на грунтовое питание. Из-за отсутствия единой формулировки в практике разработки методов расчета минимального стока под одним и тем же названием принимались характеристики, имеющие различный гидрологический смысл и несравнимые между собой. В.А. Урываев за основную характеристику принимал «средние многолетние величины минимального годового стока», имея в виду наименьшую за год величину независимо от сезона; Л.Н. Попов для карт изолиний минимального летнего и зимнего стока использовал величину среднемноголетнего месячного модуля стока, и тогда минимальный сток получался близким к норме годового стока и отвечал среднему расходу летнего сезона в целом, а не межени. Н.Д. Антонов отождествлял с величиной зимнего суточного минимума значения средних месячных минимумов; Б.В. Поляков за минимум для всей исследуемой территории принимает зимний суточный минимум и т.д. Таким образом, становится понятно, что неопределенность понятий ведет к отождествлению генетически различных характеристик минимального стока.

1.4 Современное состояние проблемы расчетов минимального стока

Проблемы изучения низкого стока и методов его расчета получили совершенно новое звучание в последние десятилетия. Это связано с тем, что многочисленные исследования (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др. 2012, Шикломанов и др.2010) обнаруживают существенные изменения водности рек, преимущественно в маловодные сезоны, и связывают это явление с потеплением климата. Так, коллектив ученых ГГИ под руководством И.А. Шикломанова на основе полученных оценок динамики

годового и сезонного стока европейских рек делает вывод, что увеличение меженного, особенно зимнего, стока является выраженной реакцией водосборов на потепление последних лет (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). Как указано в (Евстигнеев, 2006), сам по себе данный факт не удивителен, он лишь подтверждает климатическую обусловленность многоводья 1979–1999 гг., одновременно охватившего огромные территории Восточной Европы и вызвавшего значительный подъем уровня Каспийского моря. Более интересной, по мнению этих авторов, представляется географическая приуроченность этого многоводного периода: в южной (лесостепной) части ВВБ его можно рассматривать как ординарное событие в многолетних колебаниях речного стока, а в основной части лесной зоны – как событие, выходящее за рамки этих свойств.

В (Водные ресурсы, 2008) было также отмечено, что масштабы происходящих изменений являются неординарными и не имеют аналогов в XX столетии. Авторы приходят к выводу о климатической обусловленности этих изменений, связывая рост меженного стока с увеличением запасов подземных вод, происходящим вследствие увеличения приземной температуры воздуха и увеличения питания подземных вод в зимнее время. Эти выводы подтверждаются исследованиями И.С. Зекцера (Зекцер, 2012), Р.Г. Джамалова, Н.Л. Фроловой и др. (Джамалов и др., 2010, Фролова и др., 2013), которые также связывают характерное внутригодовое перераспределение стока и увеличение меженного стока с увеличением питания подземных вод и повышением их уровня. Это, в свою очередь, является следствием увеличением частоты и продолжительности оттепелей и уменьшением глубины промерзания почв. Изменения режима стока на территории ЕТР они относят к 1978–1980 гг., что согласуется с выводами (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). Дело в том, что со второй половины 70-х годов на территории России преобладают положительные

аномалии температуры воздуха. В соответствии с данными по изменениям аномалий приземной температуры воздуха в 1976–2006 гг. в целом по России потепление составило около $1,4\text{C}^\circ$, при этом наиболее значительное повышение температуры воздуха было на европейской части зимой (Груза, Ранькова, 2009). В целом потепление в последние 20–30 лет превысило потепление 30-х годов.

М.Л. Марков (Марков, 2010) связывает увеличение зимнего стока не столько с увеличением естественных ресурсов подземных вод, сколько с увеличением дренирующей способности рек в зимний период из-за отсутствия устойчивого ледового покрова. К созвучным выводам для рек бассейна р. Алдан приходит Е.В. Гуревич (Гуревич, 2009). Попытка разделить климатическое и антропогенное влияние на минимальный сток сделана в работах ученых ИГ РАН (Георгиади и др., 2013). Региональным исследованиям изменений минимального стока рек на фоне климатических изменений было посвящено немало работ (Аржакова, 2001, Болгов и др., 2005, Георгиади и др., 2013, Киреева, Фролова, 2011).

Возможные последствия климатических изменений для минимального стока были предметом интенсивных исследований в последние годы и за рубежом. В основном эти исследования были сфокусированы на изменениях средних многолетних характеристик. Шаак и Чанзен (Shaake и Chunzhen, 1989) установили факт большего влияния климатических изменений на низкий сток по сравнению с максимальным. До этого Либхер (Liebscher, 1983) также продемонстрировал различный эффект климатической нестабильности, проявляющийся в изменениях высокого и низкого стока. Он проиллюстрировал региональные вариации этого влияния на низкий сток в различных частях бассейна Рейна, используя длинные ряды наблюдений. Майеракова (Majersakova et al., 1997) обнаружили уменьшение тренда в среднегодовом минимуме рек Словакии в последние десятилетия. Используя данные для рек бассейна Миссисипи, Телис (Telis, 1990) показал, что

циклическая структура рядов стока соответствует цикличности выпадения осадков, и предложил метод расчета характеристик низкого стока в соответствии с климатическими циклами. Вуд (Wood, 1987) предложил инженерам-гидрологам привлекать к расчетам палеогидрологические данные, чтобы улучшить точность оценки наводнений и засух. Он обнаружил, что погода в Великобритании становится более изменчивой с тенденций к более сухому лету и более влажной осени, что в свою очередь влияет на характеристики низкого стока. При этом он подчеркивал, что эта тенденция наблюдалась только в последнее десятилетие и, вероятно, является частью многолетнего цикла климатических изменений.

Арнелл (Arnell, 1989) изучил возможные изменения в частоте появления гидрологических экстремумов в Европе. Он заметил, что проблема обнаружения таких изменений из наблюдаемых данных сложна, поскольку ряды наблюдений слишком коротки. Связь между обнаруженным увеличением количества сухих и теплых лет и снижением минимального стока не очевидна. Маловодье было очень низким в Европе в середине 70-х, и только местами в Дании и севере Британии очень низкие значения были зафиксированы в 1980-х. Кажется, что наблюдаемые изменения низкого стока и климатических показателей согласованы, однако в (Arnell, 1989) было сделано заключение, что модель, использующая исторические данные о стоке, в качестве разумной модели будущего, нереалистична. Определение влияния временных климатических изменений на оценки событий с длиннопериодной циклическостью затруднительно, потому что такие оценки имеют высокую изменчивость даже в условиях стационарности.

Уилби (Wilby, 1994) разработал модель, связывающую прогнозы климатических изменений, получаемые из моделей общей циркуляции в макромасштабе, и прогнозы гидрологических компонент в масштабе водосборов. Им был использован целый ряд климатических сценариев, и влияние этих сценариев на квантили низкого стока было показано на реках

Великобритании. Наиболее подверженными влиянию климатических изменений оказались квантили 10% и 50% обеспеченности, в то время как расходы 90% обеспеченности больше подвергаются влиянию антропогенному. Куорнер (Querner et al., 1997) изучили антропогенный вклад и вклад климатических изменений в продолжительность межени и дефицит объема в этот период, используя 4 физико-математических модели с шагом сутки и месяц. Были использованы несколько климатических сценариев (увеличение температуры воздуха на 2 и 4 градуса в сочетании с увеличением или уменьшением осадков на 10%). Результаты были получены для 5 маленьких европейских водосборов. Обнаружено, что как длительность маловодных периодов, так и объем дефицита увеличиваются на большинстве водосборов в результате возможного потепления климата. На водосборах с маленькими осадками и высокой накопительной способностью это увеличение существенно. Увеличение осадков должно бы компенсировать эффект роста температуры.

В целом, несмотря на очевидную важность вопроса связи низкого стока с изменениями климата, зарубежных работ, специально посвященных этому вопросу, относительно мало (Smakhtin, 2001). По мнению автора, вопрос прогноза низкого стока в нестационарных климатических условиях должен получить больше внимания. Дальнейшие исследования должны развиваться в двух направлениях: как путем анализа имеющихся исторических экстремумов, так и путем оценки последствий для стока реализации различных сценариев возможных климатических изменений.

Таким образом, главным недостатком существующих методов расчета низкого стока на сегодняшний день, как и двадцать лет назад, по-прежнему признается недостаточная точность определения характеристик существующими методами. Это обусловлено, во-первых, относительно малым объемом данных наблюдений на сети гидрологических постов, значительными погрешностями определения минимальных расходов; во-

вторых, большую проблему для расчетов представляет собой неустранимая генетическая неоднородность рядов минимального стока (Амусья и др., 1991). В расчетах гидрологи вынуждены использовать ряды различной продолжительности без обоснования выбора репрезентативного периода; исследование таких важных показателей минимального стока как стационарность, однородность и автокорреляция производятся крайне редко (Ковалевский, 1983, Пространственно-временные, 1988). При этом выводы, полученные разными исследователями относительно причин нестационарности в рядах низкого стока и повышенной автокорреляционной связанности, крайне противоречивы (Амусья и др., 1991). Как уже говорилось выше, недостаточно исследован вопрос о выборе теоретической функции распределения для адекватного описания эмпирических кривых распределения вероятностей, а использование различных функций не дает однозначных результатов.

В настоящее время одной из основных задач гидрологии является разработка методов расчета характеристик минимального стока при различном объеме исходной информации с учетом влияния происходящих климатических изменений и антропогенной нагрузки. Решение подобной задачи должно обязательно включать в себя исследование статистической структуры рядов с определением генетической и статистической однородности исходной информации, обоснование выбора репрезентативности рядов для расчета параметров кривых распределения и выбор теоретической функции распределения (Амусья и др., 1991).

1.5 Особенности статистического анализа минимального стока

При анализе данных многолетних наблюдений за минимальным стоком с использованием вероятностных методов необходимо учитывать некоторые его особенности, возникающие при исследовании его колебаний. Многофакторность процесса формирования минимального стока является источником его случайности, которая отражает объективное свойство

гидрологических процессов в целом. Вероятностная природа колебания стока не исключает присутствия выраженных динамических составляющих (Евстигнеев, 1990), которые большей частью учитываются в виде зависимости стока от времени (периодические сезонные колебания, долговременные тенденции различной водности). Многочисленными исследователями был установлен циклический характер колебаний стока с различной продолжительностью циклов и неодинаковым вкладом в общую дисперсию ряда, различающийся для отдельных крупных территорий (Калинин, 1968, Жук, Скорняков, 1989), и для объяснения такой структуры потребовалось привлечение более сложного математического аппарата, нежели теория одномерных распределений случайных величин (Евстигнеев, 1990, Ефимович, 1936). Принципиальный момент заключается в том, что временной ряд гидрологических величин желательно рассматривать не как последовательность случайной величины, а как реализацию случайного процесса. В этом случае анализ должен вскрывать долговременные тенденции в многолетнем ходе величин стока, образование и чередование периодов различной водности, их продолжительность. Но, в связи с тем, что наблюдаемые ряды представляют собой единственно возможную реализацию случайного процесса, гидрологи прибегают к ряду допущений относительно его свойств. Эти допущения относятся к свойствам случайного процесса – стационарности и эргодичности, которые употребляются в виде гипотез, применение которых является вынужденным и требует доказательств (Евстигнеев, 1990). В общем случае, если стационарный процесс имеет единственное состояние равновесия, около которого происходят случайные колебания, то такие процессы обладают свойством эргодичности; если же стационарные процессы обладают разными состояниями равновесия, которые реализуются под влиянием внешних воздействий, то такие процессы свойством эргодичности не обладают (Кумсиашвили, 1987). К ним как раз и относятся речной сток и все гидрометеорологические процессы. В гидрологии, как правило, постулируется свойство эргодичности речного

стока, что означает схематизацию стока как стационарного процесса с одним единственным абсолютно устойчивым состоянием равновесия, вокруг которого происходят все случайные колебания его расходов (Кумсиашвили, 1987). Такая схематизация входит в явное противоречие с цикличностью гидрологических процессов, что на практике приводит к тому, что группировки лет различной водности оцениваются как события исключительно редкой повторяемости. Это, в свою очередь, приводит к ошибкам в водохозяйственных расчетах. Для преодоления этого противоречия возможно либо отказаться от гипотезы эргодичности, либо рассматривать его как стационарный процесс с различными равновесными состояниями (Кумсиашвили, 1987). В этой связи полезная гипотеза предлагается в работе (Добровольский, 2011) со ссылкой на (Гренджер, Хатанака, 1972). Гипотеза предлагает рассматривать гидрометеорологические процессы как процессы с медленно меняющимися параметрами. В этом случае процесс можно разделить на сегменты, каждый из которых есть реализация стационарного случайного процесса.

Второй принципиальный момент состоит в необходимости исследования циклической структуры рядов для выявления случайной и неслучайной составляющей. Неслучайная составляющая в колебаниях стока может быть обусловлена одним из следующих компонент: 1) направленными изменениями среднего (тренд), 2) аperiodическими (циклическими) колебаниями, 3) сезонными изменениями (Евстигнеев, 1990). Выявление направленных изменений является принципиальным вопросом в изучении многолетних колебаний стока, для их диагностики принято прибегать к стандартным критериям значимости и достоверности тренда. Природа образования циклов может носить двойственный характер: с одной стороны, цикличность есть свойство любых случайных последовательностей; в коррелированных последовательностях длительные серии приобретают реальную повторяемость; с другой стороны – цикличность отражает

нестационарность процесса, вызываемую внешними причинами (Евстигнеев, 1990). Если единственный источник связей – внутрирядная коррелированность (отражающая инерционность процесса формирования стока), то колебания стока можно рассматривать как случайные в рамках гипотезы стационарности. Если признать внешние причины цикличности, то неизбежно признание нестационарности процесса, что создает определенные сложности для расчетов из-за незнания закономерностей крупномасштабных колебаний (Евстигнеев, 1990). За исключением отдельных случаев, причины скоррелированности многолетних колебаний стока изучены недостаточно, несмотря на большое количество публикаций по этой теме (Христофоров, 1993). Более того, как указывается в (Христофоров, 1993), остается нерешенным вопрос – считать ли образование группировок лет различной водности порождением этой скоррелированности или проявлением нестационарности многолетних колебаний стока (Евстигнеев, 1990). На сегодняшний день гидрологи отдают предпочтение моделям стационарных случайных процессов, поскольку они вызывают гораздо меньшие трудности в применении, нежели нестационарные модели (Христофоров, 1993).

Все это создает специфическую проблему репрезентативности ряда наблюдений, которая решается в настоящее время нормативным путем: согласно СП 33-101-2003, временной ряд репрезентативен, если его длина составляет не менее 40 лет. Таким образом, на сегодняшний день считается необходимым предварять статистический анализ оценкой рядов наблюдений за минимальным стоком на стационарность с исследованием причин его нестационарности и повышенной автокорреляционной связанности.

Влияние хозяйственной деятельности на речной сток может приводить к более резкому, иногда скачкообразному изменению параметров его многолетних колебаний (Шикломанов, 1979). Поэтому отдельная задача – оценка антропогенного влияния на сток с помощью, например, восстановления естественных характеристик стока, или сравнении

водосборов с измененными и естественными характеристиками (Пространственно-временные, 1988, Шикломанов, 1979).

1.6 Методы расчета минимального стока

В настоящее время расчетные характеристики минимального стока при наличии достаточно продолжительных рядов наблюдений, полученных в условиях естественного (незарегулированного) стока, определяются с помощью широко используемых вероятностно-статистических методов.

Вероятностные закономерности отражаются главным образом в виде функций распределения. В этом случае расчетные значения определяются по кривым обеспеченности, описываемым тремя параметрами: средним многолетним, коэффициентом вариации и асимметрии. Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых применяются аналитические кривые распределения. При недостаточности наблюдений расчет предваряется приведением параметров кривых распределения к многолетнему периоду с помощью метода аналогии; при отсутствии информации применяются методы переходных коэффициентов, определение расчетных значений на основе обобщений в виде расчетных зависимостей и карт.

В случае наличия гидрологических наблюдений исследования низкого стока включают в себя анализ кривых продолжительности, кривых истощения, расчет параметров рядов (нормы стока, определение изменчивости характеристик во времени, асимметрии) и автокорреляции с последующим подбором теоретического распределения этих случайных величин (Владимиров, 1976).

В отличие от кривых продолжительности, которые показывают, в течение какого времени (в процентах) расходы остаются не меньше заданного значения, кривые обеспеченности определяют вероятность появления расхода заданной величины. Обычно они основаны на многолетних данных о ежегодных минимумах (суточный или месячный

расход). Также кривые обеспеченности могут быть построены для минимальных расходов различного интервала осреднения – 7, 30, 60 суток и т.д. (McMahon, Mein, 1986, FRIEND, 1989). Для анализа сезонного стока минимальные значения могут быть выбраны отдельно для каждого сезона – зимней или летней межени (Владимиров, 1976, Whitehouse et al., 1983).

Имеющиеся в распоряжении гидрологов ряды наблюдений обычно недостаточны для надежной вероятностной оценки экстремальных событий, таких, например, как минимальный сток. Следовательно, для экстраполяции за пределы наблюденных вероятностей и улучшения качества оценки минимального стока приходится применять различные типы теоретических кривых распределения. «Истинное» распределение вероятностей минимального стока неизвестно и вряд ли сможет быть когда-либо точно описано, поэтому практической задачей является подбор наиболее подходящего распределения для исследуемых характеристик и определение его параметров. Для оценки значений низких расходов различной вероятности используют целый ряд теоретических распределений. Выбор типа кривой основывается на обширных исследованиях и многолетнем опыте их применения в расчетах. Обычно тип аналитического выражения кривой закрепляется нормативно для унификации инженерных расчетов, поскольку выбор типа функции – задача, допускающая множество более или менее удовлетворительных решений. Методам выбора функций распределения и их типам посвящена работа Е.Г. Блохинова (Блохинов, 1974). Ниже представлены основные типы распределения, применяемые для описания минимального стока.

Нормальное распределение широко используется в зарубежной литературе для низкого стока (Joseph, 1970, Krokli, 1989); однако, несмотря на его популярность, возникает закономерный вопрос о его приемлемости для исследования минимального стока, так как оно не описывает ни верхний, ни нижний «хвост» распределения. Нормальный закон нельзя рассматривать

как типичный для описания минимального стока, распределение которого является асимметричным и характеризуется существенной изменчивостью. Чаще находят применение лог-нормальное, гамма-распределение (Matalas, 1963, Joseph, 1970, Loganathan, 1986). Логнормальное распределение (нормальное по отношению к логарифму случайной величины) получило известное распространение в гидрологии (Водноэнергетические расчеты, 1989). В этом распределении два параметра жестко связаны между собой; оно подходит для описания далеко не всех процессов из-за высокой асимметрии. Гораздо большую популярность в гидрологии получило гамма-распределение, содержащее два параметра. В тех случаях, когда возникает необходимость задавать асимметрию независимо от C_v , используются трехпараметрические распределения – Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля, полученные преобразованием гамма-распределения. Для описания экстремальных значений стока (как минимальных, так и максимальных) применяется распределение крайних членов выборки I типа (Гумбеля) и III типа (Вейбулла), Пирсона III типа.

Следует отметить, что двухпараметрические распределения (Гумбеля, гамма, логнормальное) существенно различаются лишь при неодинаковой асимметрии (Раткович, 1993), при малых коэффициентах вариации эти типы распределения устремляются к нормальному закону и различия между ними сглаживаются. При одинаковой асимметрии и небольшой изменчивости расхождения существенны в зонах значений редких повторяемостей. Сопоставление трехпараметрических распределений (Пирсона и Крицкого-Менкеля) дает существенные расхождения в зоне малых значений случайной величины, то есть влияние типа распределения на результаты существенно сказывается на «хвостах». Поэтому типы и параметры распределения вероятностей минимального стока в настоящее время считаются предметом исследований. Рекомендации по их выбору регламентируются соответствующими нормативами (Раткович, 1993).

Многие работы за рубежом были посвящены подбору аналитической кривой распределения для описания минимальных расходов в различных регионах и для значений различного интервала осреднения (Smakhtin, 2001). Универсальное распределение, тем не менее, обнаружено не было, поэтому Бардслей (Bardsley, 1994) предложил прекратить поиск распределения, наилучшим образом описывающего минимальный сток, и обратиться к субъективной экстраполяции с помощью интерактивной компьютерной графики. Таскер (Tasker, 1987) предложил использовать непараметрические методы для вероятностного описания минимального стока, поскольку они не требуют назначения определенного типа распределения.

В нашей стране с началом массового гидротехнического строительства применялось ограниченное количество аналитических кривых: кривая Пирсона III типа (биномиальная) и кривая Крицкого-Менкеля (трехпараметрическое гамма-распределение). Кривая Пирсона была введена в отечественную практику гидрологических расчетов Д.Л. Соколовским в 1930 г. За рубежом большое количество исследований низкого стока сделано с применением распределения Вейбулла. В отечественной практике оно рассматривается как частный случай распределения Крицкого - Менкеля. В пользу этого распределения говорит его гибкость, доказанная целым рядом авторов: в Австралии – Макмагон (McMahon 1976, 1982), в Африке – Дрейтон (Drayton et al., 1980), в Северной Америке – Маталас (Matalas, 1963), Джозеф (Joseph, 1970), Густард (Gustard et al., 1989), Пилон (Pilon, 1990), в Европе – Поларски (Polarski, 1989), Гидрологический институт (Institute of Hydrology, 1980), а также Сингх (Singh, 1987).

Правильность выбора типа кривой обеспеченности оценивают с помощью критериев согласия (например, критерий хи-квадрат и критерий Колмогорова - Смирнова). Надо отметить, что на результаты такой проверки в целом мало влияют различия на хвостах распределений, которые в то же

время представляют особый интерес для исследования (Методы расчета, 1984).

Для построения кривых обеспеченности низкого стока обычно используются фазовооднородные расходы. По мнению А.М. Владимирова, вопрос неоднородности рядов не имеет существенного значения, поскольку сама методика определения меженного и минимального стока предусматривает выделение генетически однородных величин. Однако, как показано (Евстигнеев, 1990) ранжированным рядам минимального стока все-таки присуща неустранимая генетическая неоднородность. Дело в том, что низкие расходы обеспеченностью 90, 95 и 99% формируются в период глубокой межени за счет питания преимущественно подземными водами (расход 90% используют как показатель объема грунтового питания водотока); в формировании относительно высоких расходов могут принимать участие поверхностные воды. Некоторые авторы отмечали (Velz, Gannon, 1953), что кривые обеспеченности низких расходов, построенные по данным за весь период наблюдений, имеют перелом при модальном значении расхода. По их мнению, достижение расходами модального значения знаменует изменение в условиях формирования стока и расходы с более высокой повторяемостью следует рассматривать как расходы характерные скорее для обычных условий, а не для межени. Следствием подобной неоднородности в рядах минимального стока является сложная форма эмпирических кривых обеспеченности, отражающая различный генезис минимальных расходов (Евстигнеев, 1990). За критерий однородности, таким образом, для низкого стока может быть принято соотношение величины подземного и поверхностного питания реки в исследуемый период (Владимиров, 1970). Сложность подбора кривых распределения часто состоит в том, что наблюдаемые ряды содержат нулевые значения. Это может случаться в аридных регионах, где наблюдается пересыхание потоков, и также в северных регионах, где это событие ассоциируется с явлением

перемерзания. Однако, часто бывает, что «нулевые» значения стока соответствуют низким расходам, находящимся вне пределов возможности измерения. Аналитическая кривая в этих случаях далеко не всегда совпадает со всеми участками эмпирических кривых, особенно в зоне интереса – в нижней части. Подбор кривых для таких последовательностей может быть выполнен с использованием процедуры подгонки условной вероятности, предложенной Хаан (Haan, 1977). Булу (Bulu, 1997) предложил использовать теорему полной вероятности для анализа рядов минимального стока, содержащих «нулевые» значения. Понятно, что вопрос соответствия эмпирических и теоретических кривых обеспеченности имеет немаловажное значение. В нашей стране при неоднородности рядов используются усеченные и составные кривые распределения (Рождественский, 1974, Пичугина, 2009).

Ни кривые продолжительности, ни кривые обеспеченности не дают информации относительно продолжительности периодов низкого стока. Эти методы расчета также не указывают на объем возможного дефицита стока, который может возникнуть в течение межени. Например, реки, попавшие в один район, однородный по типу кривой обеспеченности, могут иметь совершенно разные временные последовательности низких расходов: одна может состоять из одного длинного маловодного периода относительно некоего заданного расхода, другая – из серии прерывистых интервалов с расходами, ниже того же заданного значения. Одним из возможных способов преодолеть эти трудности является «пороговый» метод, предложенный В. Евджевичем (Yevjevich, 1967). Метод использует количественную характеристику минимального стока, основанную на введении некоего «порогового» значения расхода, ниже которого сток считается меженим и характеризуется дефицитом воды; период, в течение которого наблюдается снижение расходов воды ниже порогового, называется дефицитным. Таким образом, предлагается изучать статистические свойства распределения

дефицитов воды и их продолжительностей. Выбор порогового значения диктуется соображениями различных водохозяйственных нужд и согласуется с типом водного режима реки. Так, для характеристики гидрологических засух на постоянных водотоках порог может быть выбран среди квантилей 70-90% обеспеченности; для пересыхающих рек, имеющих сток только после существенных осадков, расходы с 20% вероятностью превышения не будут необоснованно высокими порогами (Tate, Freeman, 2000). Основными расчетными характеристиками является продолжительность дефицитного периода, глубина дефицита (суммарный дефицит) и интенсивность дефицита (отношение глубины дефицита к продолжительности). Если исследование проводится для рек с продолжительной непрерывной меженью, то эти характеристики имеют вид ежегодных величин (Clausen, Pearson, 1995, Tallaksen et al., 1997). Набор таких ежегодных характеристик образуют ряд экстремальных значений, которые могут быть подвергнуты стандартной статистической обработке. Для них может быть получена кривая распределения вероятностей.

Результаты применения этого метода для исследования низкого стока можно найти в (Zelenhasic, Salvai, 1987). Авторы представили стохастическую модель для анализа и дальнейшей интерпретации таких важных характеристик низкого стока, как дефицит стока, продолжительность дефицитного периода, даты начала и конца дефицитного периода, наибольший объем дефицита и т.д. Подобный подход к изучению минимального стока был использован в (Beran, Gustard, 1977, Smakhtin, Watkins, 1997).

Выводы

Основными недостатками существующих методов оценки минимального стока на сегодняшний день можно считать неудовлетворительную точность расчетов, вызванную малым количеством адекватной информации, генетической неоднородностью рядов

минимального стока; большое количество используемых типов распределения, описывающих сами величины низкого стока, а также ряды продолжительности маловодий. Кроме того, современные стохастические модели не содержат объективного описания циклических составляющих процессов (Кумсиашвили,1987). Таким образом, поскольку низкий сток является одной из важнейших гидрологических характеристик, используемых в проектировании объектов народного хозяйства, особенно важной становится проблема его оценки в современных условиях изменения климата. Это предполагает рассмотрение ряда задач:

- исследование статистической структуры временных рядов минимального стока с определением генетической и статистической однородности исходной информации;

- определение связи изменений минимального стока с изменениями климатических факторов;

- поиск новых подходов к описанию вероятностной структуры рядов минимального стока.

Глава 2. Региональные исследования вероятностных закономерностей колебаний минимального стока в пределах условно стационарного периода

2.1 Вероятностные закономерности минимального стока на примере рек Центрально-Черноземной области

2.1.1 Постановка задачи и исходная информация

Разработка методики количественного описания режима минимального стока приобрела в последние годы особую актуальность, что объясняется ужесточением экологических требований к возможному нарушению естественного режима рек, поскольку редко повторяемые в естественных условиях лимитирующие по водности периоды стали характерной чертой техногенного режима рек (Раткович, 1976, 1993). Это в первую очередь относится к Центрально-Черноземному региону. Особенно большое значение в этой связи приобретает наличие (а верней, отсутствие) достаточного объема информации об исследуемом объекте, что чаще всего является препятствием для получения надежных оценок.

Как отмечено в предыдущей главе, в настоящее время одной из основных задач инженерной гидрологии является разработка методов расчета характеристик минимального стока при различном объеме исходной информации с учетом влияния происходящих климатических изменений и антропогенной нагрузки. Поэтому исследование условий формирования минимального стока разделено на два этапа. Первый этап исследования посвящен описанию многолетних колебаний минимального стока в пределах условно стационарного периода, то есть без учета климатического влияния с помощью совместного анализа, позволяющего решить проблему ограниченности исходной информации.

Подавляющее число публикаций в области описания современных изменений климата и его влияния на сток сходятся на том, что это влияние начало проявляться в середине 70-х – начале 80-х годов. Изучение

структуры временных рядов минимального стока рек ЕТР до 1980 года не обнаруживало статистически значимых нарушений однородности и стационарности (Амусья и др., 1991), кроме того, для ряда рек ЕТР период с 1936 по 1980 год был признан репрезентативным (Амусья и др., 1991). На рисунках 2.1–2.3 в качестве примера приведены хронологические графики и разностно-интегральные кривые рядов минимального стока рек Центрально-Черноземной области, подтверждающие эти положения.

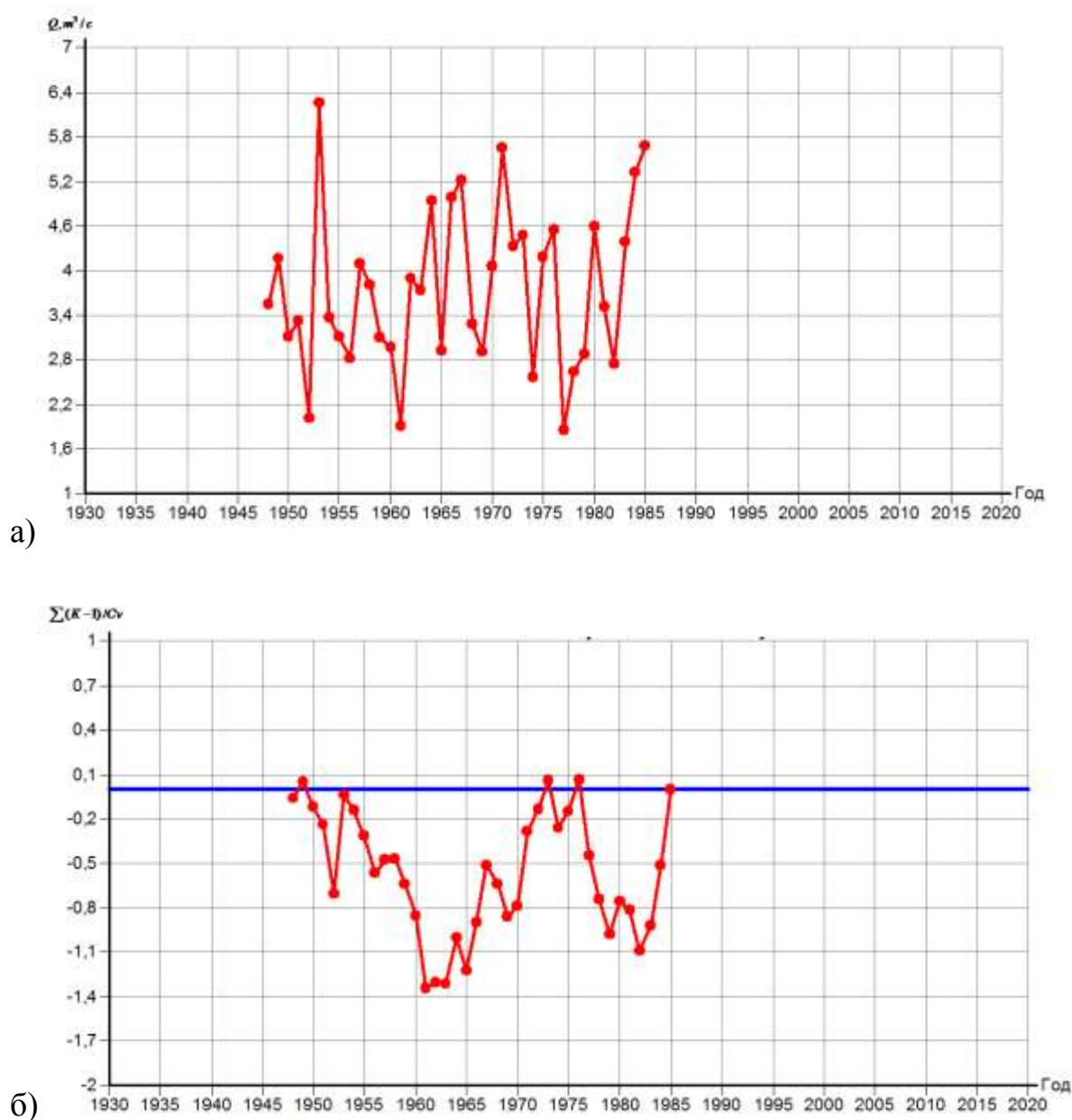


Рисунок 2.1 – Минимальный сток р. Тускарь, г. Курск: а) хронологический график, б) разностно-интегральная кривая

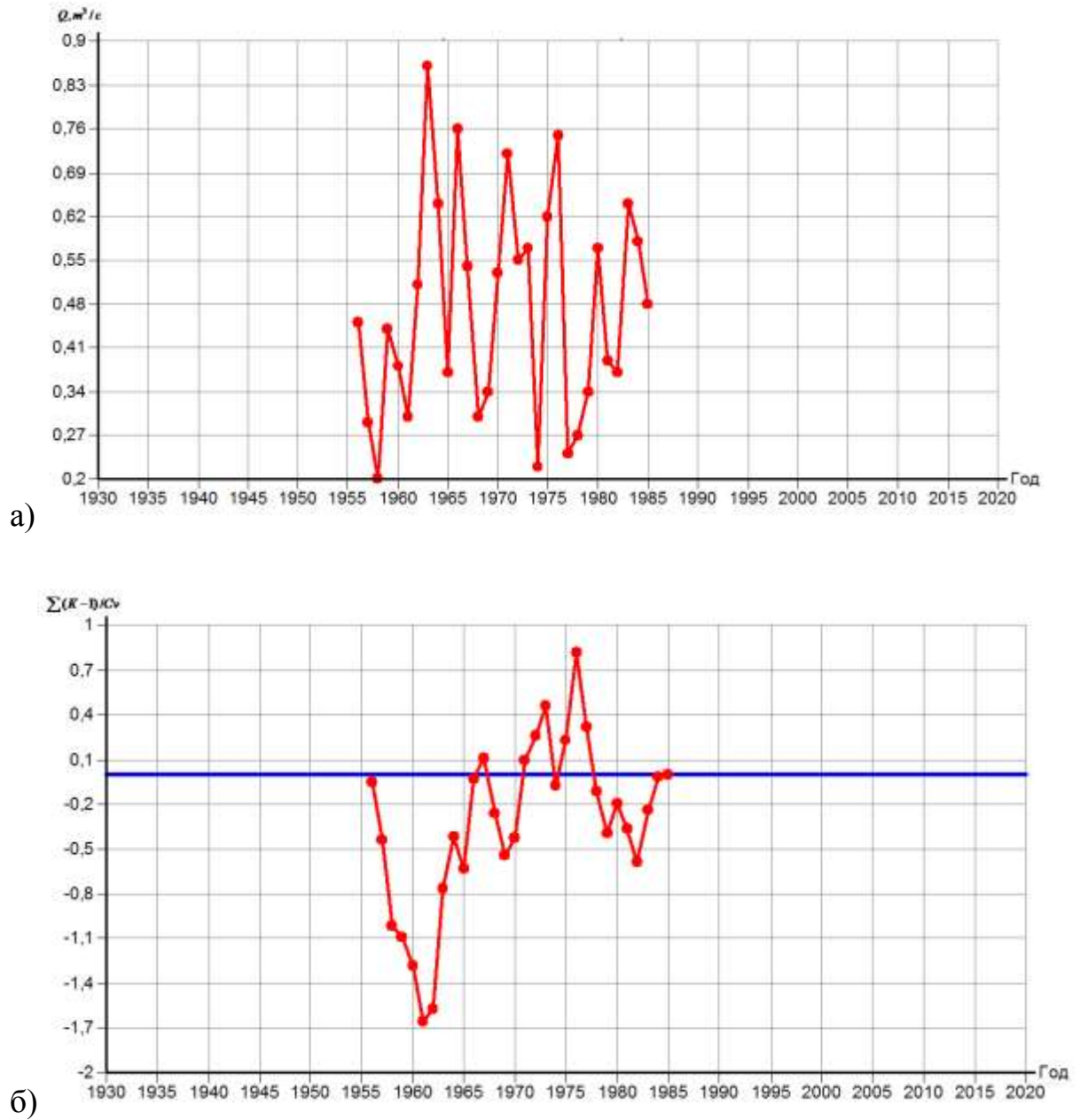


Рисунок 2.2 – Минимальный сток р. Чигла, д. Первомайское: а) хронологический график, б) разностно-интегральная кривая

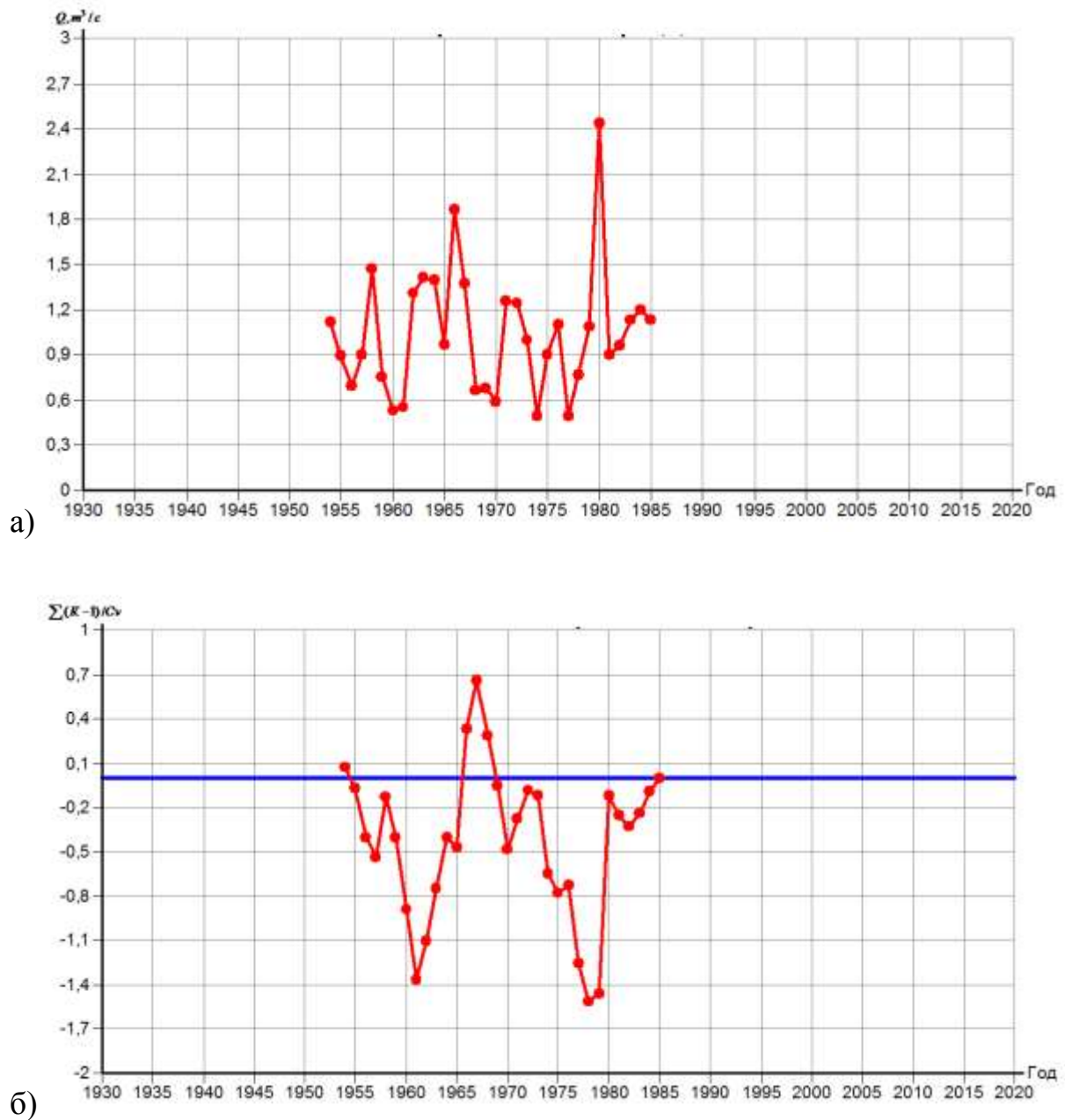


Рисунок 2.3 – Минимальный сток р. Нугрь, д. Болхов: а) хронологический график, б) разностно-интегральная кривая

В данном разделе использовались ряды наблюдений за минимальным стоком до 1980 года. Поскольку для стационарных условий многолетние колебания стока рассматриваются как случайный процесс с постоянными параметрами (среднее, дисперсия и т.д.), то многолетние колебания минимального стока как фазово-однородные величины можно описать с помощью функций заданного распределения вероятностей. Открытым остается лишь вопрос – какое именно выбрать распределение.

Неопределенность в решении этой задачи возникает из-за ряда причин: помимо ограниченности объема обрабатываемых выборок, большую роль играет сложность физико-географических условий и, соответственно, математических моделей, не позволяющих получать аналитические решения систем уравнений, описывающих динамику процесса; нельзя сбрасывать со счетов и нерегулярность сети наблюдений, малую надежность измерений при возникновении катастрофических ситуаций.

С этой точки зрения необходимо преодолеть две трудности. Первая заключается в выборе подходящего параметрического класса возможных моделей, после чего можно применять эффективные статистические методы оценки параметров распределения. Вторая связана с необходимостью увеличить точность оцениваемых параметров, что, в принципе, преодолевается группированием данных на основе совместного анализа наблюдений, предложенного и развитого рядом авторов в 70-х годах (Крицкий, Менкель, 1981, Сотникова, 1978). Основная идея метода заключается в использовании эргодичности, предположительно свойственной гидрологическим процессам, и замене увеличения длительности наблюдений на отдельном объекте совместным анализом данных по множеству более или менее однородных объектов.

Для решения поставленной задачи проведен совместный анализ данных наблюдений за минимальным 30-ти дневным стоком рек Центрально-Черноземной области, характеризующейся густой речной сетью и сравнительно хорошей гидрологической изученностью. Кроме того, водный режим рек ЦЧО типичен для равнинной части европейской территории России, так как отражает главную черту климата - умеренную континентальность. Здесь благодаря снеговому питанию наблюдается весеннее половодье и летне-осенняя и зимняя межени. Периоды

подземного питания отмечаются в большинстве случаев в декабре-феврале и в августе-сентябре (Владимиров, 1970).

В данной главе использованы материалы наблюдений (1948–1980гг.) за минимальным 30-ти дневным стоком на 56 постах на реках ЦЧО. Площади водосборов выбранных рек составляют в основном 200 – 10000 км², что позволяет отнести их к категории малых и средних рек, на которых условия межени определяются большей частью азональными факторами, в основном дренирующей способностью водосборов.

2.1.2 Основы совместного анализа наблюдений за стоком

В основе совместного анализа лежат представления о том, что колебания стока по годам подчиняются определенным распределениям вероятностей, что эти распределения существенно не изменяются на протяжении периода расчета и что колебания стока совместно исследуемых бассейнов статистически независимы (Крицкий и др., 1967).

Характеристики стока каждого из бассейнов, входящих в состав рассматриваемой группы, отличаются от характеристик других бассейнов по двум причинам. Первая из них – неполная синхронность колебаний метеорологических элементов в каждом бассейне даже в том случае, когда все бассейны климатически однородны. Эта причина порождает составляющую изменчивости гидрологических характеристик, которая воспринимается как случайная $\varepsilon_{случ}$. Вторая причина – различия в ландшафте и климате совместно исследуемых водосборов. Она вызывает географическую составляющую изменчивости $\varepsilon_{геогр}$ (Крицкий, Менкель, 1981). Предположения относительно общности закономерностей, определяющих гидрологический режим совместно исследуемых объектов, по мнению авторов метода, могут быть различны. Наименее жесткое и наиболее общее сводится к общности типа функции распределения, который выбирается в соответствии с видом изучаемых характеристик.

Состав оцениваемых параметров зависит, в свою очередь, от выбираемого типа кривой (Крицкий, Менкель, 1981).

Задача расчета заключается в том, чтобы на основании данных, относящихся к коллективу объектов, получить сведения об объекте, не имеющем собственных наблюдений или имеющих их в ограниченном количестве. Распределение вероятностей выборочных оценок С.Н. Крицкий и М.Ф.Менкель предлагают рассматривать как результат суммирования – композиции двух видов колебаний: колебаний во времени и изменения по территории стокоформирующих факторов.

Примем, следуя работе С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля, что параметры A_i , характеризующие отдельные бассейны, подчиняются некоторому распределению вероятностей. Полное рассеяние $\varepsilon_{полн}$ оценок каждого из параметров объединяемых гидрологических рядов можно рассматривать как результат совместного действия двух вышеуказанных причин. Оба вида рассеяния взаимонезависимы, поэтому

$$\varepsilon_{полн}^2 = \varepsilon_{случ}^2 + \varepsilon_{геогр}^2 \quad (2.1)$$

Полная дисперсия $\varepsilon_{полн}^2$ вычисляется по формуле (Крицкий, Менкель, 1981)

$$\varepsilon_{полн}^2 = \frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{k - 1}, \quad (2.2)$$

где i – индекс объекта, k – число совместно рассматриваемых объектов, A_i – оценка рассматриваемого параметра по i -му бассейну, \bar{A} – средняя из оценок по всем бассейнам. Случайная составляющая $\varepsilon_{случ}^2$ рассеяния оценок параметров вычисляется по теоретическим формулам или путем статистических испытаний как осредненная дисперсия оценок этих параметров по отдельным объектам. Зная ее, мы можем оценить географическую составляющую как разность

$$\varepsilon_{\text{геогр.}}^2 = \varepsilon_{\text{полн.}}^2 - \varepsilon_{\text{случ.}}^2 \quad (2.3),$$

где $\varepsilon_{\text{полн.}}^2$ – полная дисперсия исследуемой величины.

Если оценка $\varepsilon_{\text{геогр.}}^2$, получаемая по формуле (2.3), имеет отрицательный знак, то ее принимают равной нулю.

Дисперсия результата совместного расчета равна

$$\varepsilon_{\text{ср.}}^2 = \frac{\varepsilon_{\text{сл.}}^2}{k} + \varepsilon_{\text{геогр.}}^2 \quad (2.4).$$

Первое слагаемое отражает колебания исследуемых величин по каждому из объектов. Второе характеризует различия между объектами и увеличивает дисперсию объединенной кривой по сравнению с кривыми распределения объединяемых объектов.

Если объединяемые водосборы принадлежат к общему распределению, то второе слагаемое равно нулю. Если объекты неоднородны, то в результате суммирования обеих составляющих получится дисперсия объединенной кривой.

Соотношение между случайной и географической составляющими определяет целесообразный состав коллектива объектов, обрабатываемых методом группового оценивания. При увеличении числа совместно анализируемых объектов величина случайной ошибки среднего по ансамблю значения уменьшается. В противоположность этому, географическая составляющая должна увеличиваться за счет вовлечения объектов, расположенных в пределах более обширной географической области, условия формирования стока которых различаются более существенно. Приемлемым следует считать состав ансамбля, в котором географическая составляющая не превосходит случайной:

$$\varepsilon_{\text{геогр.}} \leq \varepsilon_{\text{случ.}} \quad (2.5)$$

Еще одним условием является достижение минимума дисперсии для объединенной совокупности (Крицкий, Менкель, 1989).

Если условие (2.5) не выполняется, то исследуемый район должен быть разделен на меньшие части. При соблюдении условия (2.5) объединяемая совокупность считается однородной, и к ней добавляются новые объекты до тех пор, пока не будет зафиксирован рост дисперсии для объединенной совокупности.

Оцениваемыми параметрами могут быть среднее, стандарт, коэффициент асимметрии, значение квантиля.

Порядок анализа в соответствии с вышеизложенным предполагается таким (Болгов и др., 2005):

- 1) Подбираются бассейны определенного района (однородные в климатическом отношении и схожие по размерам и условиям стокоформирования) с более или менее длительными наблюдениями; желательно, чтобы выбранные характеристики колебались от года к году не синхронно.

- 2) Выбирается тип распределения и соответственно определяется состав параметров, подлежащих оценке.

- 3) Оцениваются параметры по наблюдениям каждого из объектов, определяются средние значения параметров и их дисперсии.

- 4) Определяются «географические» составляющие дисперсий, отражающие различия между объединяемыми объектами.

Итогом исследования служат средние значения параметров и измерители их рассеяния: случайного – временного и систематического – географического. Полученный набор параметров позволяет построить кривую обеспеченности, отвечающую средним их значениям. Эта кривая характеризует соотношения, свойственные некоторому «среднему» бассейну рассматриваемой группы, и принимается исходной для расчетов.

2.1.3 Исследование вероятностных закономерностей минимального стока на примере рек Центрально-Черноземной области с помощью совместного анализа

Выборочное распределение минимального стока носит сложный характер, но, ввиду ограниченности периода наблюдений (выборки), в гидрологических расчетах обычно ограничиваются использованием его двух параметров: среднего значения и среднеквадратического отклонения (рассеяние). Обширные наблюдения и многочисленные данные показывают, что в данном случае приемлемо трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого-Менкеля и задача сводится, таким образом, к установлению третьего параметра, который не поддается индивидуальному оцениванию (Филиппова, 1996).

Порядок выполнения группового анализа (с учетом пространственной коррелированности данных наблюдений) согласно (Крицкий, Менкель, 1981) следующий:

1. По каждому объекту ансамбля определяются параметры распределения величин минимального стока, используемые для совместного анализа и необходимые для вычисления стандартных ошибок параметра A по соответствующим теоретическим формулам (Блохинов, 1974).
2. По каждой паре водосборов оцениваются коэффициенты межрядной корреляции $R_{i,j}(x)$.
3. По ансамблю объектов, т.е. по выборке величин A_i , оцениваются среднее значение параметра

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{k} \quad (2.6)$$

и полная дисперсия $\varepsilon_{полн.}^2$ по формуле (2.2).

4. Определяются значения коэффициентов корреляции $R_{i,j}(A)$ между оценками параметра A по теоретическим зависимостям.
5. Определяется стандартное отклонение $\varepsilon_{нез}(A)$ оценок параметра A по выборкам объема n , характеризующее рассеяние оценок между независимыми выборками (Блохинов, 1974). Затем оно корректируется на величину, учитывающее влияние корреляции между объединяемыми объектами

$$\varepsilon_{случ}(A) = \varepsilon_{нез}(A) \sqrt{1 - R_{cp}(A)}, \quad (2.7)$$

где $R_{cp}(A) = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{j>k} R_{i,j}(A)$ - среднее значение коэффициента корреляции между оценками параметра A по всем k водосборам.

6. Найденное значение случайной составляющей используется для вычисления географической составляющей по формуле (2.3).

Если выполняется условие (2.5), т.е. географическая составляющая рассеяния меньше случайной, то район считается однородным, и к совокупности добавляются следующие объекты, пока не будет зафиксирован рост дисперсии параметра объединяемой совокупности.

В табл.2.1 приведены значения параметров, полученные с помощью данных наблюдений за минимальным 30-тидневным стоком отдельно для зимней и летней межени. Параметры определены методом наибольшего правдоподобия (Блохинов, 1974).

Объекты были сгруппированы в три ансамбля (дифференцировано для зимней и летней межени) в соответствии с C_v (табл. 2.2). Наибольшее число объектов попало в промежуточную группу по C_v ; внутри каждой группы определены средние значения параметров C_v , C_s/C_v и полная дисперсия оценки $\varepsilon_{полн}^2$ (Филиппова, 1996).

Таблица 2.2 – Средние значения оценок параметров для выделенных групп рек (числитель – зима, знаменатель – лето)

| C_v | \bar{C}_v | \bar{C}_s / \bar{C}_v | $\varepsilon^2_{полн}$ | Число створов |
|------------|-------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| $\leq 0,3$ | 0,26/0,24 | 2,15/1,92 | 1,72/1,22 | 12/12 |
| 0,3-0,5 | 0,40/0,41 | 2,70/2,76 | 1,16/1,05 | 28/23 |
| $\geq 0,5$ | 0,68/0,75 | 2,60/1,96 | 0,71/0,68 | 15/14 |

Расчет полной дисперсии оценок параметров ε^2 и ее составляющих показал, что рассеяние оценок в группе полностью определяется случайными ошибками (табл. 2.3). Поскольку $\varepsilon^2_{полн} \leq \varepsilon^2_{случ}$, то $\varepsilon^2_{геогр} = 0$.

Таблица 2.3 – Дисперсия оценок и ее составляющие (числитель – зима, знаменатель – лето)

| C_v | $\varepsilon^2_{полн}$ | $\varepsilon^2_{случ}$ |
|------------|------------------------|------------------------|
| $\leq 0,3$ | 1,72/1,22 | 1,82/1,76 |
| 0,3-0,5 | 1,16/1,05 | 1,46/1,46 |
| $\geq 0,5$ | 0,71/0,68 | 1,27/1,46 |

Таблица 2.1 – Оценка параметров распределения минимального стока рек бассейна Верхнего Дона и прилегающих территорий (числитель – зима, знаменатель – лето)

| № поста | Река, створ | $F, км^2$ | $\bar{Q}, м^3 / с$ | C_v | C_s / C_v |
|---------|----------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------|
| 1 | Ока, Вендерово | 513 | 0,66/0,60 | 0,46/0,44 | 3,2/5,4 |
| 2 | Крома, Черкасская | 853 | 0,85/1,10 | 0,57/0,42 | 3,5/4,0 |
| 3 | Цон, Новолуние | 689 | 0,59/0,63 | 0,50/0,50 | 2,0/2,7 |

| | | | | | |
|----|-------------------------------|-------|-----------|-----------|----------|
| 4 | Рыбница, Любаново | 709 | 0,62/0,61 | 0,49/0,66 | 2,7/5,0 |
| 5 | Зуша, Новосиль | 1970 | 4,03/4,35 | 0,35/0,25 | 1,5/1,5 |
| 6 | Зуша, Мценск | 6000 | 11,8/13,5 | 0,27/0,23 | 1,0/-1,0 |
| 7 | Неручь, Орловка | 1500 | 2,42/2,89 | 0,44/0,40 | 5,0/4,0 |
| 8 | Нугрь, Болхов | 1010 | 1,04/1,24 | 0,40/0,46 | 3,5/6,0 |
| 9 | Цна, Кузьмина Гать | 4260 | 3,96/3,54 | 0,26/0,39 | 3,0/2,4 |
| 10 | Кариан, Знаменка | 530 | 0,38/0,32 | 0,38/0,42 | 1,7/2,5 |
| 11 | Челновая, Пудовкино | 323 | 0,13/0,12 | 1,00/1,70 | 4,0/6,0 |
| 12 | Керша, Пахотный Угол | 596 | 0,57/0,47 | 0,38/0,37 | -2,0/2,4 |
| 14 | Красивая Меча, Сергиевское | 5790 | 14,9/15,9 | 0,29/0,17 | 2,0/1,5 |
| 15 | Сосна, Беломестная | 7650 | 11,3/14,1 | 0,26/0,35 | 1,5/7,0 |
| 16 | Сосна, Елец | 16300 | 21,9/26,3 | 0,23/0,27 | 1,5/5,0 |
| 17 | Тим, Новые Савины | 909 | 1,16/1,24 | 0,32/0,33 | 1,0/4,0 |
| 18 | Труды, Стрелка | 1130 | 2,00/2,73 | 0,38/0,38 | 4,0/2,9 |
| 19 | Кшень, Серебряковка | 1160 | 1,45/1,11 | 0,36/0,23 | 4,0/2,0 |
| 20 | Олым, Никольское | 1940 | 1,55/1,64 | 0,31/0,30 | 3,0/7,0 |
| 21 | Девица, Девица | 1490 | 1,90/1,55 | 0,29/0,26 | 5,0/1,0 |
| 22 | Лесной Воронеж, | 2000 | 1,63/1,42 | 0,35/0,71 | -1,5/1,1 |
| 23 | Плавица, Богородицкое | 782 | 0,49/0,30 | 0,23/0,42 | 1,5/-0,5 |

| | | | | | |
|----|----------------------------|-------|-----------|-----------|----------|
| 24 | Тихая Сосна, Алексеевка | 2060 | 1,90/1,58 | 0,55/0,54 | 1,7/1,3 |
| 25 | Битюг, Мордово | 903 | 0,32/0,19 | 0,81/1,26 | 3,5/0,0 |
| 26 | Битюг, Бобров | 7340 | 3,51/2,20 | 0,43/0,50 | 3,5/2,7 |
| 27 | Чигла, Первомайск | 508 | 0,08/0,04 | 0,57/0,65 | 1,3/1,3 |
| 28 | Осередь, Бутурлиновка | 581 | 0,09/0,65 | 0,39/0,41 | 5,0/3,5 |
| 29 | Черная Калитва, | 1440 | 0,76/0,43 | 0,85/0,86 | 2,6/2,5 |
| 30 | Подгорная Калач | 1790 | 0,55/0,42 | 0,51/0,58 | 3,0/3,0 |
| 32 | Хопер, Балашов | 14300 | 8,55/7,68 | 0,35/0,45 | 2,0/1,0 |
| 33 | Ворона, Чутановка | 5560 | 4,37/3,97 | 0,38/0,44 | 4,0/2,1 |
| 34 | Ворона, Уварово | 9890 | 9,53/7,67 | 0,34/0,37 | 4,0/5,0 |
| 36 | Савала, Жердевка | 1790 | 0,86/0,72 | 0,45/0,59 | 1,5/-0,5 |
| 37 | Оскол, Ст. Оскол | 1540 | 3,04/2,99 | 0,22/0,23 | 3,5/1,0 |
| 38 | Оскол, Ниновка | 6270 | 10,4/9,92 | 0,26/0,21 | 6,0/3,5 |
| 39 | Оскол, Раздолье | 8640 | 12,8/12,3 | 0,27/0,19 | 5,0/1,0 |
| 40 | Осколец, Ст. Оскол | 494 | 1,40/1,02 | 0,48/0,45 | 2,2/1,7 |
| 41 | Валуй, Валуйки | 1290 | 0,69/0,52 | 0,72/0,73 | 2,5/1,7 |
| 42 | Кр. Меча, Ефремов | 3240 | 7,08/7,39 | 0,17/0,25 | 1,5/1,0 |
| 43 | Елань, Калиновка | 630 | 0,70/0,57 | 0,54/0,64 | 1,9/2,9 |
| 44 | Рать, Беседино | 615 | 1,10/1,35 | 0,48/0,30 | 1,9/1,5 |

| | | | | | |
|----|-----------------------|------|-----------|-----------|---------|
| 45 | Тускарь, Свобода | 190 | 2,58/2,51 | 0,35/0,38 | 1,5/4,0 |
| 46 | Тускарь, Курск | 2380 | 3,76/3,50 | 0,29/0,32 | 1,3/4,0 |
| 47 | Снова, Щурово | 781 | 0,99/1,18 | 0,39/0,31 | 1,4/3,5 |
| 48 | Прут, Широково | 530 | 0,55/0,70 | 0,66/0,48 | 2,1/3,2 |
| 49 | Свапа, Лактионово | 419 | 0,47/0,60 | 0,37/0,42 | 1,7/3,5 |
| 50 | Свапа, Ст. Город | 3690 | 5,39/5,80 | 0,45/0,43 | 2,4/6,0 |
| 53 | Сейм, Рыжково | 7460 | 9,94/10,2 | 0,30/0,26 | 5,0/3,5 |
| 54 | Реут, Любицкая | 960 | 0,79/0,86 | 0,60/0,37 | 2,7/1,4 |
| 55 | Псел,Обоянь | 1100 | 1,36/1,25 | 0,51/0,44 | 2,6/3,3 |
| 56 | Псел, Крупец | 4700 | 3,85/4,28 | 0,58/0,61 | 2,7/2,3 |
| 58 | Суджа, Замостье | 972 | 0,82/0,71 | 0,66/0,44 | 2,9/2,2 |
| 59 | Ворскла, Козинка | 1870 | 1,25/0,95 | 1,04/0,80 | 2,2/2,5 |
| 60 | Усожа, Фатеж | 364 | 0,43/0,45 | 0,44/0,47 | 2,5/3,2 |
| 61 | Б.Чернава, Бережки | 523 | 1,21/1,42 | 0,29/0,27 | 3,5/1,5 |

В процессе обработки выделены пункты, для которых значение C_s / C_v было велико. Для них рассмотрены кривые распределения вероятностей и установлено, что в верхних частях кривых имеются «отлетающие» точки. Такая форма кривой – следствие неустранимой генетической неоднородности, присущей рядам минимального стока. Подобная неоднородность обычно связывается с тем, что в формировании относительно высоких минимумов (особенно летних) могут принимать участие поверхностные воды, в то время как низкие формируются в период

длительной межени при переходе на подземное питание. Описание таких эмпирических кривых неусеченными распределениями обычно невозможно, поэтому из общего рассмотрения были исключены семь пунктов для летней и два для зимней межени.

Проверка выполнения критериев объединения – условия невышшения географической составляющей дисперсии случайной и минимума дисперсии осредненного значения параметра проводилась с помощью графика зависимости дисперсии параметра от числа объектов объединенной совокупности. Проведенное исследование показало, что выделенные совокупности образуют устойчивые группы и оправдывают полученное таким образом районирование (рис.2.4). Выделенные ареалы в целом соответствуют, согласно ландшафтной карте России, расположению природных ландшафтных зон и отражают смену семигумидных восточно-европейских широколиственных ландшафтов типичными и южными лесостепными. Из табл. 2.3 видно, что в каждой группе имеются относительно однородные условия стокообразования. Это позволяет для каждой группы построить кривую обеспеченности, соответствующую средним значениям (для группы) параметров. Такая кривая принимается исходной для расчетов (Филиппова, 1996, Раткович, Болгов, 1997).

Исходя из полученных результатов, можно принять, что $C_s / C_v = 2,5$ для I и III районов летом и зимой, и $C_s / C_v = 2,0$ для II района (табл.2.4).

Таблица 2.4 – Результаты районирования на основе объединенного анализа параметра C_s / C_v (числитель – зима, знаменатель – лето)

| Номер | Количество | C_v | C_s / C_v | $\varepsilon_{\text{ср}}^2$ |
|-------|------------|-----------|-------------|-----------------------------|
| I | 12/12 | 0,26/0,24 | 2,5/2,5 | 0,15/0,15 |
| II | 28/23 | 0,4/0,41 | 2,0/2,0 | 0,05/0,06 |
| III | 15/14 | 0,68/0,71 | 2,5/2,5 | 0,08/0,10 |

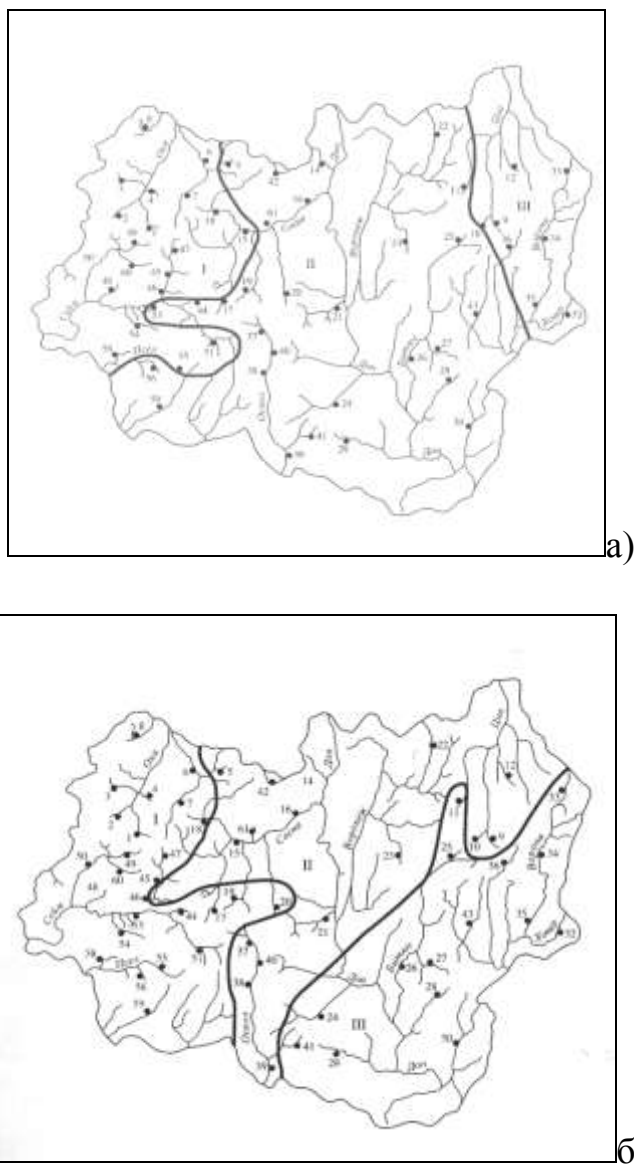


Рисунок 2.4 – Районы бассейна Верхнего Дона, однородные по значениям C_s / C_v . (а – лето, б – зима)

2.1.4 Уточнение выбора функции распределения.

Используя процедуру районирования, предложенную Крицким – Менкелем, и осуществляя последующую группировку нормированных данных в пределах однородных районов, получена осредненная гистограмма распределения минимальных расходов воды (точки 5, рис.2.5). Также на рисунке представлены результаты «подгонки» нескольких распределений: нормальное (1), распределение Гумбеля (2), распределение Крицкого –

Менкеля (3) и лог-Пирсоновское распределение (4). Согласно критерию Пирсона, наилучшее соответствие эмпирическим данным получено для двухпараметрического распределения Гумбеля. Это подтверждает рисунок 2.5. В пользу распределения Гумбеля можно добавить, что многолетние ряды минимального стока удовлетворяют перечню необходимых допущений для принятия распределения Гумбеля, а именно – совокупность расходов должна иметь распределение типа экспоненциального и невысокие значения коэффициентов автокорреляции (Bolgov, Osipova, Filippova, 2000).

Дальнейшие работы в этой области должны быть основаны на поиске диапазона изменения характеристик (значений) минимального стока, в котором совпадения эмпирических и теоретических кривых будет наилучшим. Следует отметить диссертацию С.В.Пичугиной (Пичугина, 2009), в которой рассмотрено приложение усеченного гамма-распределения к аппроксимации распределений минимального стока р. Оби. Полное решение этого вопроса составит предмет дальнейших исследований.

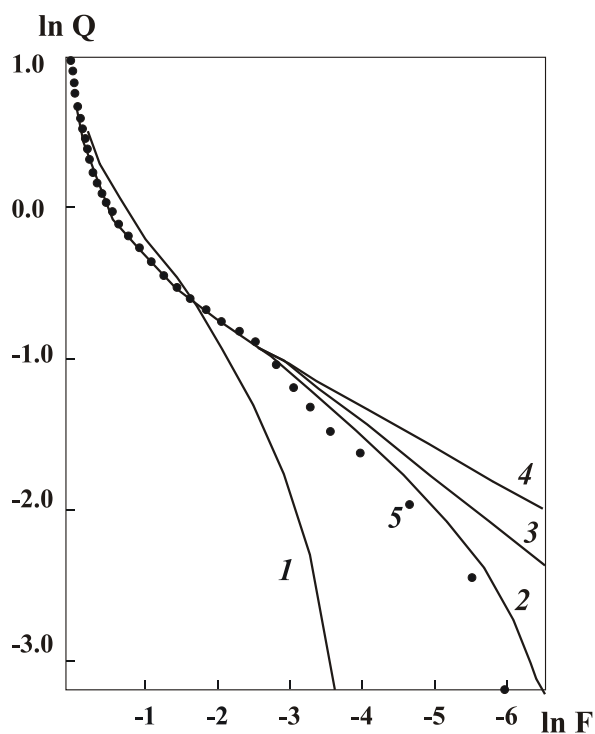


Рисунок 2.5 – Результаты подбора стохастических моделей для распределения величин минимального стока

2.1.5 Исследование автокорреляционных функций

Безусловное одномерное распределение не позволяет судить о закономерностях чередования различных величин стока, поэтому в дальнейших исследованиях необходимо использовать условное распределение вероятностей, параметры, которого, в свою очередь, зависят от предшествующих значений случайной величины (Вентцель, 1969).

Задача выбора стохастической модели для описания рядов минимального стока заключается в подборе автокорреляционной функции и типа корреляции, то есть сам по себе коэффициент корреляции между смежными членами в рядах стока не является по существу исчерпывающей характеристикой внутрирядных связей. Однако для получения предварительных суждений о степени зависимости между смежными членами в рядах минимального стока применение корреляционного анализа вполне оправдано.

Наличие положительной корреляции между последовательными членами стоковых рядов отмечено впервые в работе П.А. Ефимовича (Ефимович, 1936); где подтверждалось, что коэффициент корреляции между смежными членами рядов стока характеризуется, как правило, положительными оценками. Надо отметить, что корреляционные зависимости стоковых рядов исследовались во многих работах (Водноэнергетические, 1989, Жданова, Раткович, 1973, Раткович, 1976, Резниковский, 1989), причем основное внимание в них уделялось связям между стоком смежных лет и касалось, в основном, годовых величин. Были также изучены стохастические связи между значениями минимального стока смежных лет (Владимиров, 1970, Добровольский, 2011).

Рассмотрим автокорреляционные зависимости (АКФ), построенные для 56 многолетних рядов минимального стока ЦЧО отдельно для летне-осенней и зимней межени. В практике исследования корреляционной связанности

годового стока основное внимание уделяется величине $r(1)$ как параметру в принятой для описания вероятностных колебаний модели простой цепи Маркова. Несмотря на то, что для минимального стока характерна значительная степень инерции, что должно обуславливать высокие значения автокорреляции и медленно затухающую АКФ, в данной работе основу исследования составили значения первых коэффициентов автокорреляционных функций, поскольку в половине случаев число значимых коэффициентов ограничивалось первыми двумя. Вероятно, такую ситуацию можно объяснить тем, что устойчивое подземное питание (и соответствующие ему дальние связи) обеспечивается лишь глубинными грунтовыми водами, а исследуемые нами реки большей частью относятся к категории малых и средних и в межень питаются в основном малоустойчивыми сезонными водами (Норватов, 1950). Следовательно, они будут характеризоваться значительными колебаниями минимального стока в многолетнем разрезе и быстро затухающей автокорреляционной функцией.

Анализ АКФ для ЦЧО показал, что первый коэффициент корреляции $r(1)$ (с учетом поправки на смещенность) в большинстве случаев положителен и изменяется в широком диапазоне от 0.7 до -0.25 при среднем значении 0.17 для зимы и 0.44 для лета. Значения $r(1)$ для выбранных рек приведены в табл.2.5.

Реки объединены в три группы по величине площади водосбора ($F \leq 1000 \text{ км}^2$, $1000 \leq F \leq 5000 \text{ км}^2$, $F > 5000 \text{ км}^2$). Такое деление на группы не обнаруживает четкой связи среднего в группе $r(1)$ со средними значениями площади водосбора F (табл.2.5). Площадь водосбора характеризует общую мощность водосодержащих пород, доступных для реки, и дренирующую способность (при росте F увеличивается количество разгружаемых вод). Очевидно, что F прямо пропорциональна модулю минимального стока (Норватов, 1950). Однако, по полученным результатам нельзя сделать однозначного вывода о влиянии F на внутрирядную связность и $r(1)$ (хотя

для летнего периода и прослеживается возрастание $r(1)$ при увеличении F .
Возможно, что нечеткость связи обусловлена малыми значениями F .

Таблица 2.5 – Коэффициенты автокорреляции минимального стока смежных лет

| N | Река, створ | $F, \text{км}^2$ | $r(1)$ зима | $r(1)$ лето |
|----|--------------------------------------|------------------|-------------|-------------|
| | I группа ($F, \text{км}^2 < 1000$) | | | |
| 1 | Ока, Вендерово | 513 | 0,04 | 0,17 |
| 2 | Крома, Черкасская | 853 | 0,5 | 0,07 |
| 3 | Цон, новолуние | 689 | -0,11 | -0,02 |
| 4 | Рыбница, Любаново | 709 | 0,27 | 0,37 |
| 5 | Кариан, Знаменка | 530 | 0.47 | 0.53 |
| 6 | Челновая, Пудовкино | 323 | 0.38 | 0.89 |
| 7 | Керша, Пахотный Угол | 596 | 0.28 | 0.01 |
| 8 | Тим, Новые Савины | 909 | 0.10 | 0.40 |
| 9 | Павица, Богородицкое | 782 | -0.02 | 0.16 |
| 10 | Битюг, Мордово | 903 | 0.34 | 0.45 |
| 11 | Чигла, Первомайское | 508 | -0.32 | 0.01 |
| 12 | Осередь, Бутурлиновка | 581 | 0.51 | 0.68 |
| 13 | Осколец, Старый Оскол | 494 | 0.67 | 0.76 |
| 14 | Елань, Калиновка | 630 | -0.02 | 0.35 |
| 15 | Рать, Беседино | 615 | -0.03 | 0.52 |
| 16 | Тускарь, Свобода | 190 | 0.10 | 0.53 |
| 17 | Снова, Щурово | 781 | -0.07 | -0.09 |
| 18 | Прут, Ширково | 530 | 0.19 | 0.40 |
| 19 | Свапа, Лактионово | 419 | 0.17 | 0.26 |

| | | | | |
|----|--|------------|-------------|-------------|
| 20 | Реут, Любицкая | 960 | -0.02 | 0.27 |
| 21 | Суджа, Замостье | 972 | -0.01 | -0.10 |
| 22 | Усожа, Фатеж | 364 | 0.08 | 0.14 |
| 23 | Бол. Чернава, Бережки | 523 | 0.62 | 0.72 |
| | Среднее | 624 | 0.18 | 0.33 |
| | II группа ($1000 < F, \text{км}^2 < 5000$) | | | |
| 1 | Зуша, Новосиль | 1970 | 0.50 | 0.79 |
| 2 | Неручь, Орловка | 1500 | 0.35 | 0.64 |
| 3 | Нугрь, Болхов | 1010 | 0.15 | 0.08 |
| 4 | Цна, Кузьмина Гать | 4260 | -0.25 | 0.49 |
| 5 | Труды, Стрелка | 1130 | 0.30 | 0.71 |
| 6 | Кшень, Серебряковка | 1160 | 0.20 | 0.30 |
| 7 | Олым, Никольское | 1940 | -0.02 | 0.17 |
| 8 | Девца, Девца | 1490 | 0.08 | -0.11 |
| 9 | Лесной Воронеж, Заворонежская | 2000 | 0.30 | 0.61 |
| 10 | Тихая Сосна, Алексеевка | 2060 | 0.59 | 0.71 |
| 11 | Черная Калитва, Ольховатка | 1440 | 0.13 | 0.74 |
| 12 | Подгорная, Калач | 1790 | 0.21 | 0.21 |
| 13 | Савала, Жердевка | 1790 | 0.32 | 0.61 |
| 14 | Оскол, Старый Оскол | 1540 | 0.15 | -0.19 |
| 15 | Валуй, Валуйки | 1290 | 0.27 | 0.70 |
| 16 | Тускарь, Курск | 2380 | 0.05 | 0.43 |
| 17 | Свапа, Старый Город | 3690 | 0.34 | 0.50 |
| 18 | Сейм, Зуевка | 2320 | 0.15 | 0.48 |
| 19 | Псел, Обоянь | 1100 | 0.24 | 0.68 |
| 20 | Псел, Крупец | 4700 | 0.08 | 0.46 |

| | | | | |
|----|--|-------------|-------------|-------------|
| 21 | Ворскла, Козинка | 1870 | 0.03 | 0.34 |
| | Среднее | 2076 | 0.21 | 0.45 |
| | III группа ($F, \text{км}^2 > 5000$) | | | |
| 1 | Зуша, Мценск | 6000 | 0.51 | 0.60 |
| 2 | Красивая Меча, Сергиевское | 5790 | 0.74 | 0.51 |
| 3 | Сосна, Беломестная | 7650 | 0.30 | 0.62 |
| 4 | Сосна. Елец | 16300 | 0.23 | 0.58 |
| 5 | Битюг, Бобров | 7340 | 0.03 | 0.38 |
| 6 | Хопер, Балашов | 14300 | 0.01 | 0.50 |
| 7 | Ворона, Чутановка | 5560 | 0.36 | 0.63 |
| 8 | Ворона, Уварово | 9890 | 0.39 | 0.64 |
| 9 | Оскол, Ниновка | 6270 | 0.20 | 0.56 |
| 10 | Оскол, Раздолье | 8640 | -0.04 | 0.49 |
| 11 | Сейм, Рыжково | 7460 | -0.13 | 0.38 |
| | Среднее | 8655 | 0.24 | 0.54 |

Отдельно для зимы и лета реки были перегруппированы в три группы по величине $r(I)$. Для каждой реки была определена η – доля устойчивого стока реки (отношение модуля минимального стока к модулю среднегодового). Из табл. 2.6 видно, что при увеличении среднего в группе $r(I)$ доля устойчивого стока увеличивается, т.е. чем больше доля подземных вод в питании реки, тем выше внутрирядная коррелированность.

Таблица 2.6 – Средние значения характеристик для групп рек (зима/лето)

| Диапазон $r(I)$ | Число створов | $r(I)$ | $F, км^2$ | $q л/скм^2$ | η |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| <0.30 | 38/17 | 0,07/0,09 | 2229/947 | 3,59/3,30 | 0,28/0,25 |
| 0,3-0,4 | 8\10 | 0,35/0,36 | 2928/3447 | 3,55/3,83 | 0,3/0,29 |
| >0,4 | 10\30 | 0,54/0,56 | 3581/4516 | 3,69/3,83 | 0,41/0,34 |

Этим еще раз подтверждается тот факт, что в однородной физико-географической области условия формирования режима минимального стока и, соответственно, характер его внутриводораздельной связности определяются в основном функцией подземного питания, зависящего от водообильности территории и дренирующей способности реки (Крицкий и др., 1967).

Поскольку значения $r(I)$ для рек Центрально-Черноземной области летом существенно больше, чем зимой (табл. 2.1.5.1), для дальнейшего анализа были взяты значения $r(I)$ для летней межени. Наибольших значений $r(I)$ (0,5- 0,6) достигают в бассейне Верхнего Дона и Хопра. Пониженные значения коэффициентов автокорреляции характерны для бассейнов рр. Воронеж, Битюг, однако эти реки не образуют единого территориального образования, а представляют собой отдельные водосборы с пониженной связностью значений минимального стока. Пестрота в распределении $r(I)$ по территории ЦЧО может быть как результатом выборочной погрешности оценок коррелированности, так и свидетельствовать о разнообразии условий формирования стока на рассматриваемой территории, что подтверждается анализом карт районирования.

Впервые районирование европейской территории бывшего СССР по условиям формирования минимального стока было выполнено еще в 1956 году в (Норватов, 1956). Ранее, в (Норватов, 1950) было выделено четыре гидрологических района, характеризующихся различными условиями

формирования подземного стока, что подтверждается различным диапазоном колебаний минимальных значений стока. В основу карты были положены геоморфологические особенности эрозионного комплекса, почвенно-растительный покров, интенсивность разгрузки подземных вод, оцениваемая минимальным значением стока.

Позднее, А.В. Владимировым было выполнено районирование европейской части СССР по тому же принципу, однако в нашем случае было бы удобнее воспользоваться результатами более ранних работ А.М. Норватова ввиду их большей детализации. Анализ этих карт дает возможность определить некоторые закономерности распределения величины $r(I)$ по территории ЦЧО и заметить, что величина $r(I)$ связана, несомненно, с территориальными особенностями условий питания рек подземными водами. Например, реки с большим значением $r(I)$ (верховья рр. Оки, Сосны, Красивой Мечи) располагаются в зоне районе умеренного и относительно устойчивого подземного стока в реки. Подземный сток в реки осуществляется в этом районе в основном из известняков, местами сильно закарстованных. При значительной расчлененности рельефа и глубоких эрозионных врезам водоносные горизонты вскрываются на большую глубину, что вкупе с высокой водообильностью пластов обеспечивает устойчивое подземное питание рек (Норватов, 1950). Левые притоки Днепра (рр. Псел, Сейм) объединены автором (Норватов, 1950) с точки зрения неоднородности грунтового питания, так как, несмотря на большие запасы подземных вод, содержащихся в мергельно-меловых толщах и песчаниках, устойчивое питание рек подземными водами здесь осуществляется только при значительной глубине эрозионного вреза (Норватов, 1950). Этот район отличается пестротой значений $r(I)$. Невысокие значения $r(I)$ в бассейнах рр. Воронеж и Хопер отражают неустойчивость подземного питания в этом регионе, что является следствием пестроты литологического состава и невыдержанности водоносного горизонта (Норватов, 1950).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что различие по $r(l)$ между районами в целом соответствует различию физико-географических условий (рельеф, почвы, строение водовмещающих горизонтов, условия разгрузки подземных вод). Тем не менее, пространственная неоднородность $r(l)$ для исследуемой территории свидетельствует о неправомерности районирования этой характеристики и нецелесообразности применения методики совместного анализа для определения средних районных величин $r(l)$. Кроме того, значение $r(l)$ в неполной мере характеризует особенности корреляционной связанности и при осреднении $r(l)$ без учета закона затухания велика вероятность потерять информацию о рядах с особыми АКФ.

Понятно, что при одном и том же значении первого коэффициента автокорреляции может иметь место различный характер внутрирядной связанности, выражающийся в разных распределениях серий маловодных и многоводных лет. Значит, задача выбора стохастической модели для описания рядов минимального стока должна включать в себя подбор автокорреляционной функции и типа корреляции.

Как известно из предыдущих работ (Раткович и др., 1997), для невысокой внутрирядной корреляции достаточно хорошее приближение дает простая цепь Маркова, когда распределение вероятностей последующего члена зависит только от величины предыдущего. В данном случае, основываясь на полученных результатах, можно руководствоваться именно этими соображениями.

Выводы

1. При анализе данных о многолетних колебаниях минимального стока совместно рассматриваемых пунктов на территории ЦЧО возможно исходить из гипотезы их статистической однородности в пределах выделенных

районов и периодов. Это предполагает общность типа кривой распределения вероятностей и общность значений параметров.

2. В условиях недостатка гидрометрической информации, согласно полученным результатам, для описания минимального стока на территории ЦЧО можно применять трехпараметрическое распределение Крицкого-Менкеля, задавая при этом $C_s / C_v = 2.0-2.5$ в соответствии с проведенным районированием.

3. В качестве теоретической кривой распределения для описания минимального стока представляется возможным использовать распределение Гумбеля, дающее хорошую аппроксимацию исходных данных.

4. Характер пространственной неоднородности первого коэффициента автокорреляции, вызванный особенностями строения водосборов и условиями питания рек в межень, не позволяет применить к этой характеристике совместный анализ для получения среднерайонных значений.

2.2 Региональный подход к оценке распределения вероятностей продолжительностей маловодных периодов.

Использование в расчетах минимального стока одномерных кривых распределения разных типов не дает возможности оценить длительность маловодного периода, а также объем возможного дефицита стока, который возникает в течение межени. Для оценки маловодья используют не только данные о стоке различной обеспеченности, но и данные о хозяйственном потреблении воды (Алексеевский, Фролова, 2011). Для исследования характеристик маловодного периода применяется «пороговый» метод, использующий задаваемый «пороговый» расход, ниже которого сток считается межненным и характеризуется дефицитом воды; при этом период, в течение которого наблюдается снижение расходов воды ниже порогового, называется дефицитным. По рядам среднемесячных расходов получают многолетние ряды дефицитов воды (выбросов) или периодов водности, для

которых расходы воды равны или меньше заданного порогового значения стока. Полученные таким образом ряды подвергаются статистической обработке с последующим анализом их статистических характеристик и подбором теоретической кривой распределения вероятностей.

В данном разделе представлены результаты изучения статистической структуры рядов продолжительности дефицитных периодов стока по данным наблюдений в пределах квазистационарного периода. Здесь же выполнен подбор аналитической функции, по возможности наилучшим образом описывающей «хвостовую» часть соответствующих выборочных распределений.

Для проведения исследования были использованы данные о среднемесячных расходах рек Европейской территории России. Для удобства обработки и последующего анализа территория была разделена на 14 районов в соответствии с гидрологическим районированием (Поляков, 1948); по координатам районов и пунктов наблюдений на реках для каждого района из базы данных были выбраны требуемые ряды наблюдений. Общее количество рядов составило 99. Средняя продолжительность наблюдений составила 48 лет. Из рассмотрения были исключены короткие ряды (продолжительностью менее 30 лет).

Таким образом, для каждого пункта были получены многолетние ряды минимального среднемесячного стока за летне-осенний период (выбирался минимальный среднемесячный расход за период с мая по сентябрь включительно для каждого года) и выполнена статистическая обработка многолетних рядов наблюдений за минимальным стоком за летне-осеннюю межень (Болгов, Филиппова, 2006). Надо отметить, что назначение определенных и постоянных сроков начала и конца летне-осенней межени осложняет осуществление статистических обобщений в связи с генетической неоднородностью сезонного стока и является условной мерой, вызванной требованиями практики. Далее была проведена

оценка нестационарности рядов минимального стока по критерию Стьюдента; реки с нарушением естественного режима были исключены из рассмотрения.

В качестве теоретической функции распределения для описания многолетних колебаний минимального стока было выбрано распределение экстремумов Гумбеля. Вывод о предпочтении распределения Гумбеля получен путем группового (совместного) анализа данных по минимальному стоку рек Центрально-Черноземных областей (Bolgov, Osipova, Filippova, 2000).

Далее, исходя из распределения Гумбеля, были получены значения квантилей различной обеспеченности, которые в последующем рассматривались как пороговые значения.

Принимая в качестве пороговых значений величины 50%, 75% и 85% обеспеченности среднемесячного минимального стока, по рядам среднемесячных расходов воды за многолетний период получены ряды дефицитов воды, или, в статистической терминологии, «выбросов», – периодов водности, равной и менее заданному значению порога. По полученным таким образом рядам дефицитов воды для каждой реки были построены гистограммы продолжительностей $t_d, мес$ дефицитных периодов.

Для гистограммы каждого пункта наблюдений была предпринята попытка подобрать теоретическую плотность вероятности. Рассматривались распределения: нормальное, экспоненциальное, логнормальное, экстремумов Гумбеля, Вейбулла, гамма-распределение (Болгов, Филиппова, 2006).

Было отмечено, что наилучшим образом соответствует имеющимся данным распределение Вейбулла (рис.2.6–2.8).

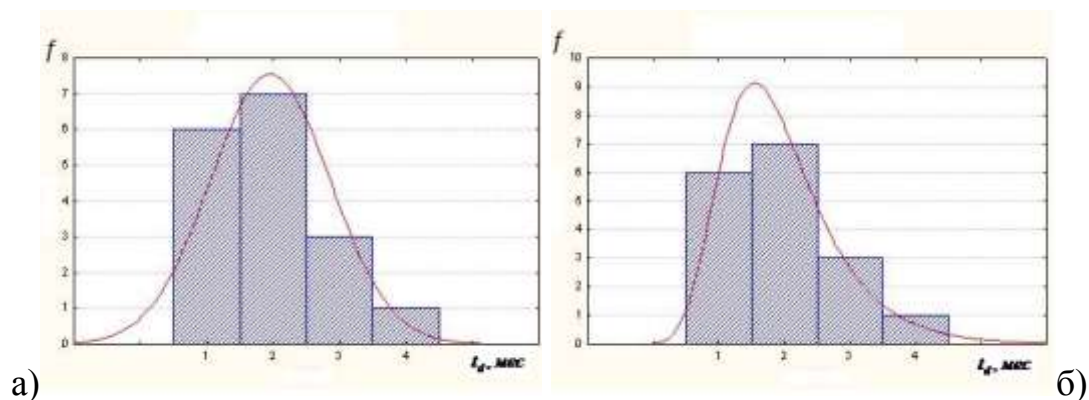


Рисунок 2.6 – Гистограммы продолжительности дефицитного периода р. Инва – п. Кудымкар (пороговое значение 85%): а) подобрана нормальная функция распределения, б) подобрана функция распределения экстремумов

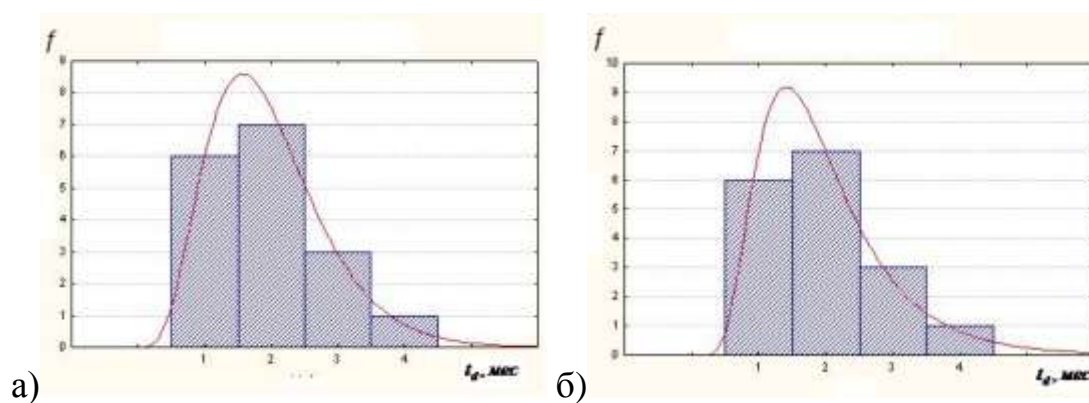


Рисунок 2.7 – Гистограммы продолжительности дефицитных периодов р. Инва – п. Кудымкар (пороговое значение 85%): а) подобрана кривая гамма-распределения; б) подобрана кривая логнормальной функции распределения

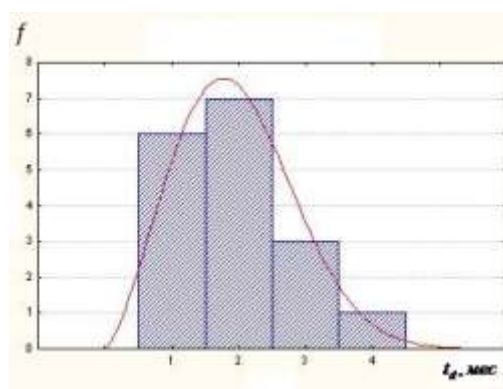


Рисунок 2.8 – Гистограмма продолжительности дефицитных периодов р. Инва – п. Кудымкар (пороговое значение 85%): подобрана кривая распределения Вейбулла

Распределение Вейбулла широко используется в вероятностном анализе, а также при анализе надежности и рисков гидролого-водохозяйственных систем и их компонент. Так, Грейс и Иглесон (Grace, Eagleson, 1996) описали с помощью этого распределения серии характеристик сухих и влажных лет и получили удовлетворительные результаты; Рао и Ченчайя (Rao, Chenchauya, 1974) применяли его к рядам характеристик осадков на городских территориях в различных частях США и обнаружили хорошее соответствие этого распределения для характеристик длительностей влажных и сухих периодов.

Случайная величина x подчиняется распределению Вейбулла, если функция плотности вероятности представлена в виде

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right], a > 0, b > 0. \quad (2.7)$$

Тогда интегральную функцию распределения можно записать как

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right], \quad (2.8)$$

где a и b – параметры. Если $a=1$, то выражение (2.7) становится экспоненциальным, то есть экспоненциальное распределение есть частный случай распределения Вейбулла. Кроме того, это распределение может быть обобщено и иметь вид распределения экстремальных величин 3-го типа путем замены $y=x-c$, где c – параметр.

Следующим шагом исследований было назначение порогов различной обеспеченности и сравнение полученных гистограмм продолжительности дефицитных периодов. Для наглядности были выбраны 3 наиболее характерных порога: 50%, 75% и 85% обеспеченности (Болгов, Филиппова, 2006). В процессе анализа обнаружено, что форма эмпирического распределения продолжительностей дефицитного периода изменяется (становится более симметричной) при переходе от порогового значения

меньшей обеспеченности к пороговому значению большей обеспеченности (85%) (рис.2.9-2.11). Данная особенность существенно облегчает выбор «теоретической» функции распределения, хотя и происходит некоторая потеря информации за счет закономерного сокращения длины ряда исследуемых дефицитов воды.

Важным результатом проведенного исследования можно считать, что для статистического описания рядов дефицитов воды ниже порога 85% обеспеченности в подавляющем числе случаев наилучшим образом подходит распределение Вейбулла (Болгов, Филиппова, 2006).

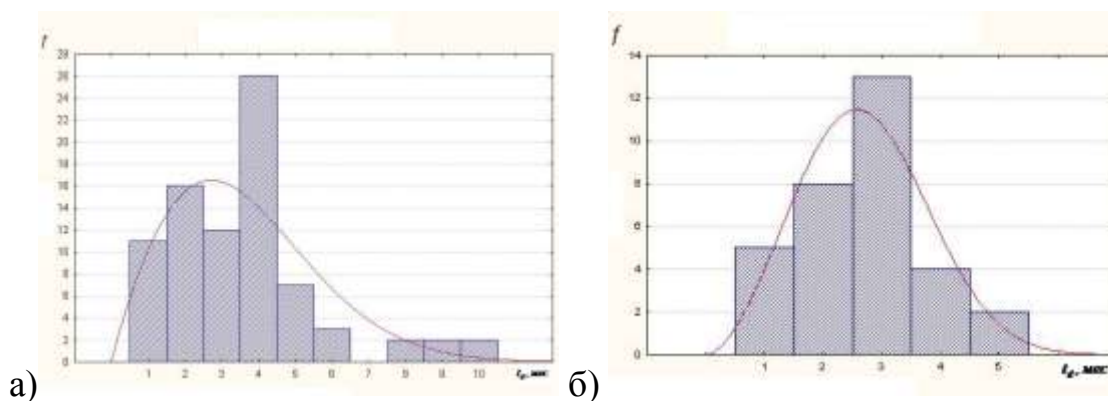


Рисунок 2.9 – Гистограмма продолжительности дефицитного периода р. Кама–пгт. Гайны: пороговое значение а) 50%, б) 85%

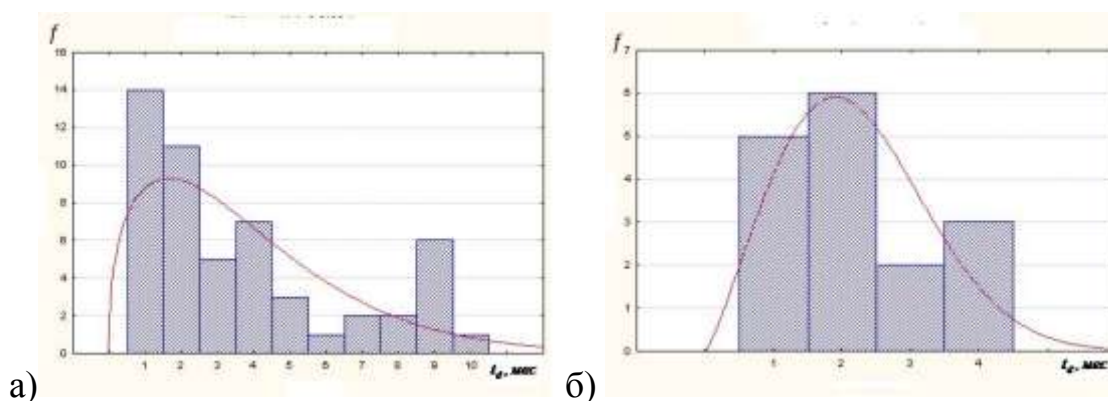


Рисунок 2.10 – Гистограмма продолжительности дефицитного периода р. Ока – с. Половское: пороговое значение а) 50% и б) 85%

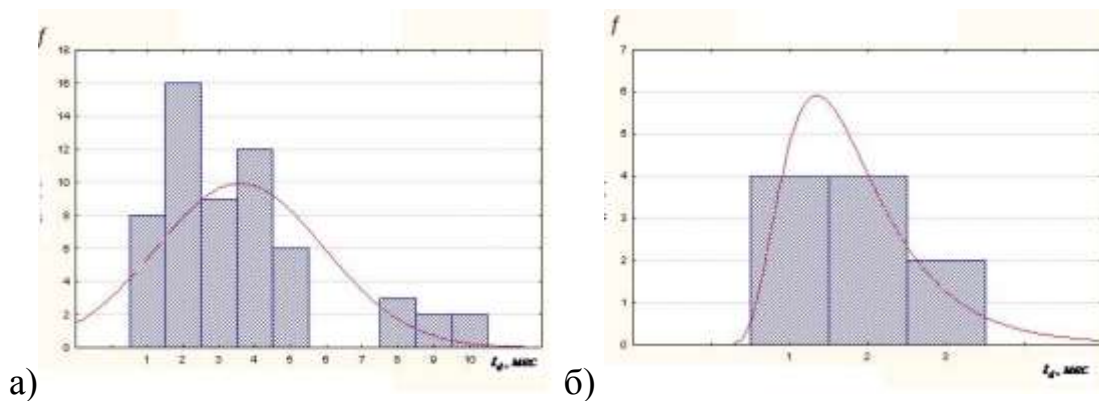


Рисунок 2.11– Гистограмма продолжительности дефицитного периода р. Чепца– с. Поллом: пороговое значение а) 50% и б) 85%

Далее имеющиеся ряды дефицитов воды были подвергнуты статистической обработке. Полученные по каждому ряду значения параметров: коэффициента вариации C_v и отношения C_s/C_v , были осреднены в пределах каждого из 14 районов (Болгов, Филиппова, 2006). Результаты по некоторым районам представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Осредненные значения статистических характеристик рядов дефицитов стока для выбранных районов

| Район | \bar{C}_v | $\overline{C_s/C_v}$ |
|----------------------|-------------|----------------------|
| рр. Сура, Цна | 0,60 | 1,8 |
| рр. Ока, Сейм, Псел | 0,60 | 2,3 |
| Верховья рр. Днепра, | 0,62 | 2,4 |
| р. Верхняя Волга | 0,60 | 1,7 |
| р. Вятка | 0,52 | 1,3 |
| р. Кама | 0,68 | 1,5 |
| р. Самара | 0,66 | 1,8 |
| р. Урал | 0,70 | 1,7 |
| р. Уфа | 0,56 | 1,4 |

Как видно из таблицы, на рассматриваемой территории не оказалась района, сильно выделяющегося по осредненным статистическим показателям. В этом смысле следует признать всю рассматриваемую

территорию однородной с точки зрения статистической структуры рядов дефицитов стока.

Выводы

1. Для определения продолжительности периодов низкого стока возможно использование порогового подхода. Для статистического описания рядов продолжительности дефицита воды ниже порога 85% обеспеченности в подавляющем числе случаев наилучшим образом подходит распределение Вейбулла.

2. С точки зрения статистической структуры рядов продолжительности дефицита стока территорию ЕТР можно признать однородной.

Выводы

1. На примере малых и средних рек ЦЧО и ЕТР показано, что для получения устойчивых территориально общих оценок параметров распределения вероятностей минимального стока в пределах квазистационарного периода возможно применение совместного анализа с использованием распределения Крицкого-Менкеля и распределения Гумбеля.

2. Использование продолжительности периодов низкого стока в качестве нормируемой характеристики позволяет более полно исследовать маловодные периоды. Ряды продолжительности, полученные с помощью порогового подхода, удовлетворительно описываются распределением Вейбулла.

Глава 3. Современные изменения гидрологического режима рек в маловодные фазы

3.1 Постановка задачи и исходная информация

Многочисленные исследования в области последствий современных изменений климата и их влияния на сток рек (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012, Джамалов и др., 2010, Фролова и др., 1993) свидетельствуют о том, что в ряде крупных регионов нашей страны существенные изменения водного режима рек стали очевидны (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). Учитывая уже состоявшееся потепление и высокую вероятность продолжения этой тенденции в ближайшие десятилетия, на первый план выходит проблема оценки изменений речного стока, тем более, что обеспечение нужд водохозяйственного и гидротехнического проектирования требует надежного определения параметров, характеризующих режим речного стока. Более пристально в этой ситуации приходится относиться к исследованию сезонного речного стока, особенно в лимитирующие периоды.

Причины зафиксированных тенденций к увеличению водоносности рек в меженные периоды и их закономерности на имеющемся материале до сих пор не раскрыты, поскольку достоверными представлениями о вековых изменениях климата и стока, как его продукта, современная гидрометеорология не располагает (Раткович, 1993). В недавнем прошлом решение практических задач облегчалось тем, что при гидрологическом обосновании водохозяйственных мероприятий на короткие (в геологическом масштабе) сроки допускалась гипотеза стационарности процессов стока, что имело принципиальное значение для методики расчетов стока. Правомочность этой гипотезы для основных гидрологических характеристик подтверждалась многочисленными результатами исследований колебаний стока и его составляющих до последней четверти 20 века (Раткович, 1993). В

настоящее время концепция стационарности многолетних колебаний стока подвергается сомнениям в связи с усилившимися в последние десятилетия процессами глобального потепления.

Характер произошедшего потепления (Водные ресурсы, 2008) вынуждает по-новому подходить к назначению параметров водохозяйственных систем и правил их эксплуатации, опираясь при этом на оценивание стока в условиях нестационарного водного режима. Таким образом, проблема оценки современных и ожидаемых изменений водного режима переходит из разряда теоретических в актуальные практические задачи.

В рамках решения этой проблемы предстоит, во-первых, оценить масштаб произошедших изменений меженного и минимального стока на территории ЕТР и уточнить тип и параметры распределения; особое место требуется выделить задаче проверки имеющихся рядов на нарушение стационарности. Во-вторых, необходимо выявить изменение характера многолетних колебаний минимального и меженного стока, для чего надо исследовать структуру полей стока и ее изменения за период наблюдений. Третья задача – уточнить границы районов, однородных по синхронности колебаний минимального стока в связи с происходящими изменениями.

Для объективной количественной оценки возможных направленных изменений сезонного стока рек привлекались данные о стоке средних рек (площадь водосбора от 1000 до 25000 км²) с продолжительностью наблюдений более 50 лет и минимальным количеством пропусков в наблюдениях. Выбор в качестве объектов исследования средних рек обусловлен тем, что такие реки, как правило, дренируют основные водоносные горизонты и являются репрезентативными для соответствующих физико-географических зон. Кроме того, динамика их стока определяется, прежде всего, климатическими факторами, следовательно, можно ожидать большей чувствительности стока этих рек к изменениям климата. Несколько

рек с площадью водосбора меньше 1000 км² были добавлены для увеличения общего объема исходной информации и для проверки результатов исследований на нестандартных (азональных) объектах.

Для отобранных постов мы располагаем данными о среднемесячных расходах воды, минимальных среднемесячных, а также средних расходах за 30 суток в пределах межени и наименьших среднесуточных расходах соответственно для зимнего периода и периода открытого русла отдельно. С учетом имеющихся требований была сформирована база данных по среднемесячному стоку 65 рек, расположенных на территории ЕТР (Приложение 1). По большинству рек имеется информация за период до 1998 года и позже.

Для решения поставленной задачи был выполнен комплексный статистический анализ рядов годового, летне-осеннего, зимнего и минимального стока средних рек ЕТР.

3.2 Оценка расчетных характеристик минимального стока рек ЕТР в изменяющихся климатических условиях

Для этого по имеющимся данным был произведен расчет распределения стока по сезонам года, деление по сезонам осуществлялось в соответствии с примерными сроками основных гидрологических сезонов (Руководство, 1973).

Каждый ряд был разбит на две части – наблюдения до 1978 года и наблюдения после 1978 года – и обрабатывался по частям. Выбор границы такого разбиения был оправдан проведенными ранее многочисленными исследованиями (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). Исходные позиции при обосновании такой оценки следующие. Со второй половины 70-х годов на территории России преобладают положительные аномалии температуры воздуха. В соответствии с данными по изменениям аномалий приземной температуры воздуха в 1976-2006 гг. в целом по России потепление составило около 1,4С°, при этом наиболее значительное

повышение температуры воздуха было на европейской части зимой (Груза, Ранькова, 2009). В целом потепление в последние 20-30 лет превысило потепление 30-х гг. Кроме того, к 1977–1978 годам многие авторы (Джамалов и др., 2010, Фролова и др., 2013) относят нарушение стационарности рядов стока.

Полученные таким разбиением ряды среднегодового стока, стока за осенне-летнюю, зимнюю межени, а также минимального стока были подвергнуты статистической обработке. Статистические характеристики рядов: средний многолетний расход, расходы заданной обеспеченности (80% и 95%), коэффициент вариации и соотношение C_s/C_v представлены в Приложении 2.

Для всех рассматриваемых рек была выполнена оценка изменения характеристик среднегодового, сезонного и месячного стока по отношению к таким же характеристикам за предшествующий период (до 1978). Изменения статистик относительно предыдущего периода были выражены в процентах и представлены в Приложении 3.

Для того, чтобы наглядно оценить масштабы и пространственную неоднородность изменений параметров распределения сезонного стока относительно предыдущего периода (до 1978 года), полученные результаты были нанесены на карту ЕТР (рисунок 3.1– 3.4). Красные значки означают увеличение, зеленые – уменьшение значений относительно предыдущего периода наблюдений (до 1978 г.).

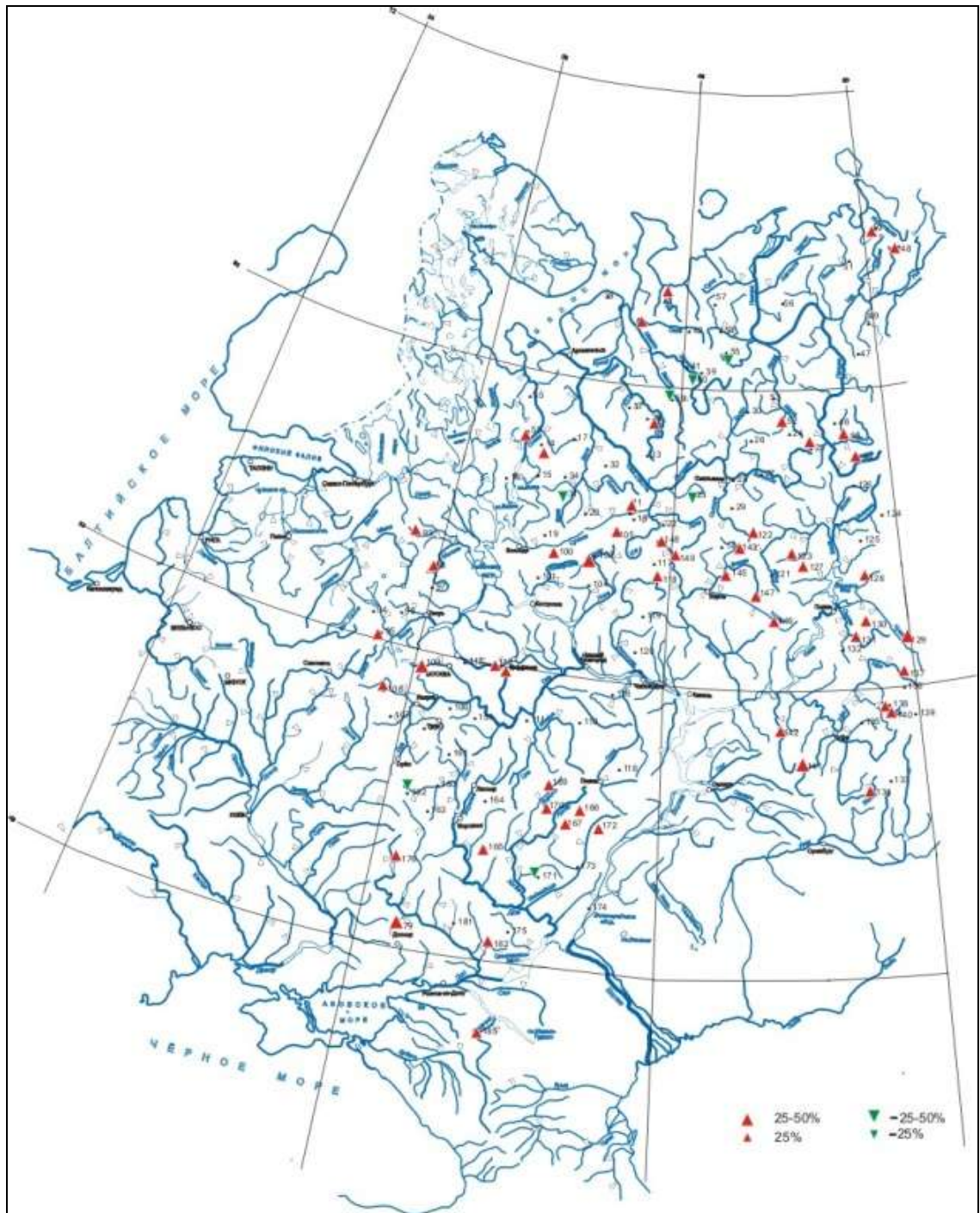


Рисунок 3.1 – Изменения среднегогодового стока (в %)

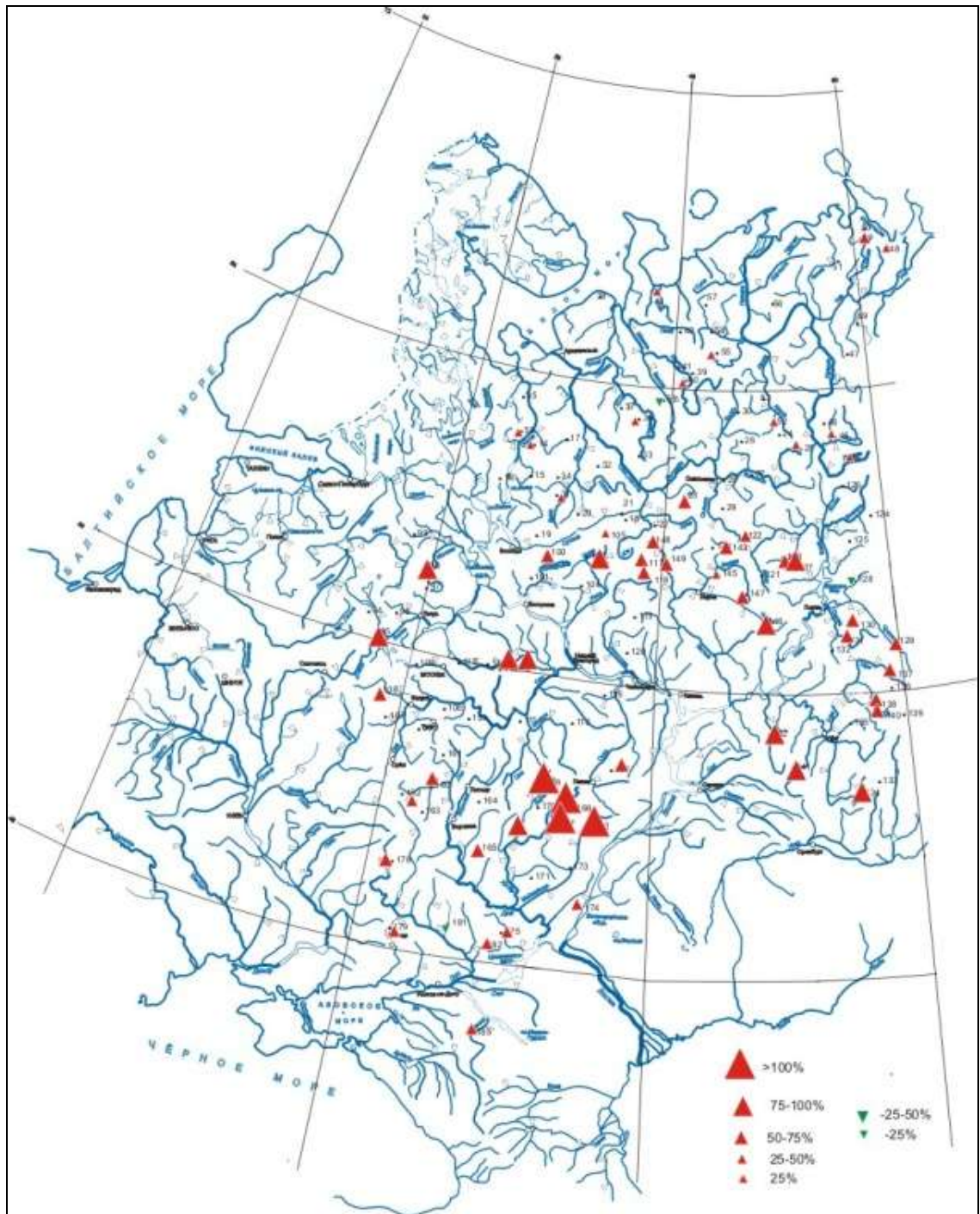


Рисунок 3.2 – Изменения стока зимней межени рек (в %)

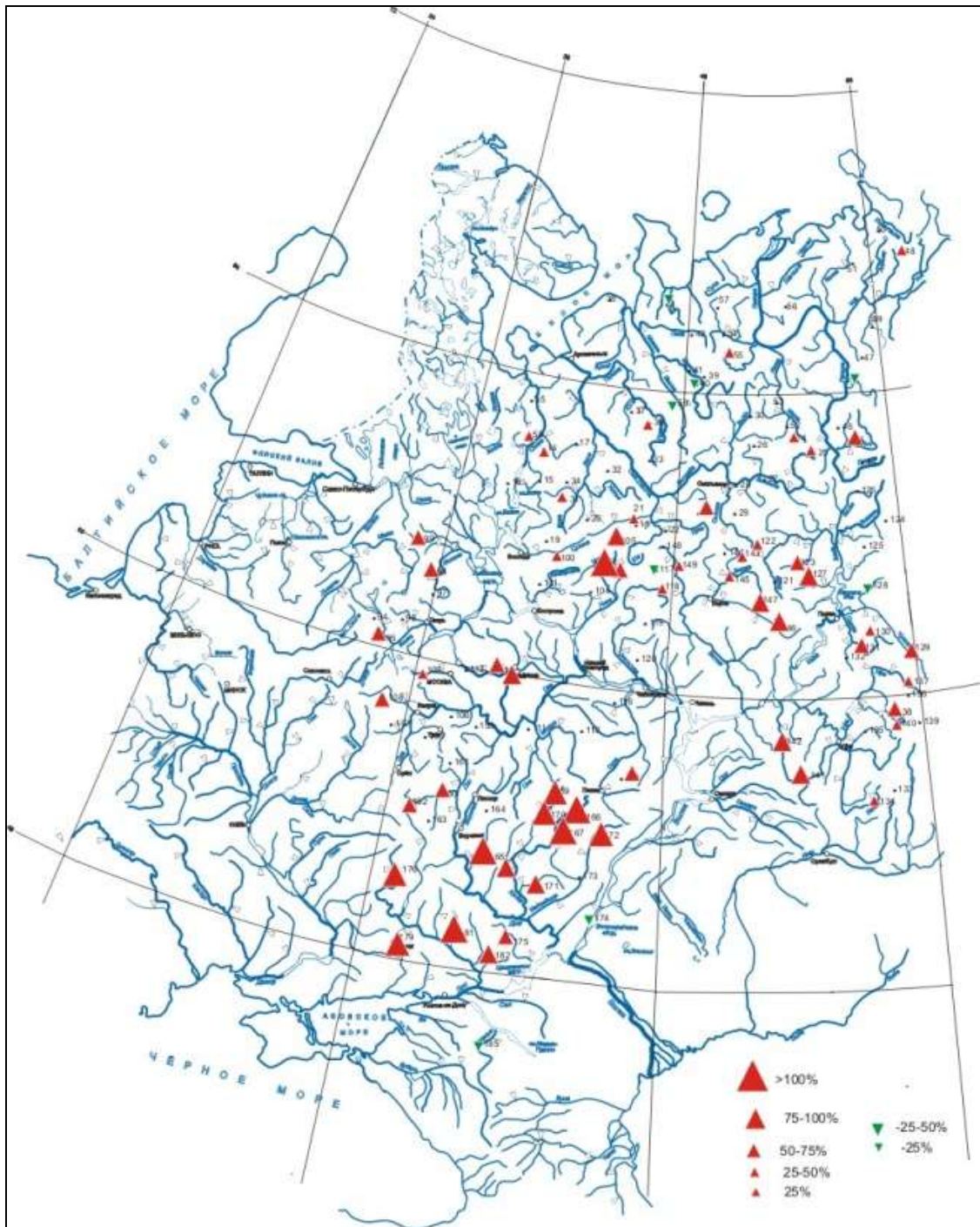


Рисунок 3.3 – Изменение стока летне-осенней межени рек (в %)

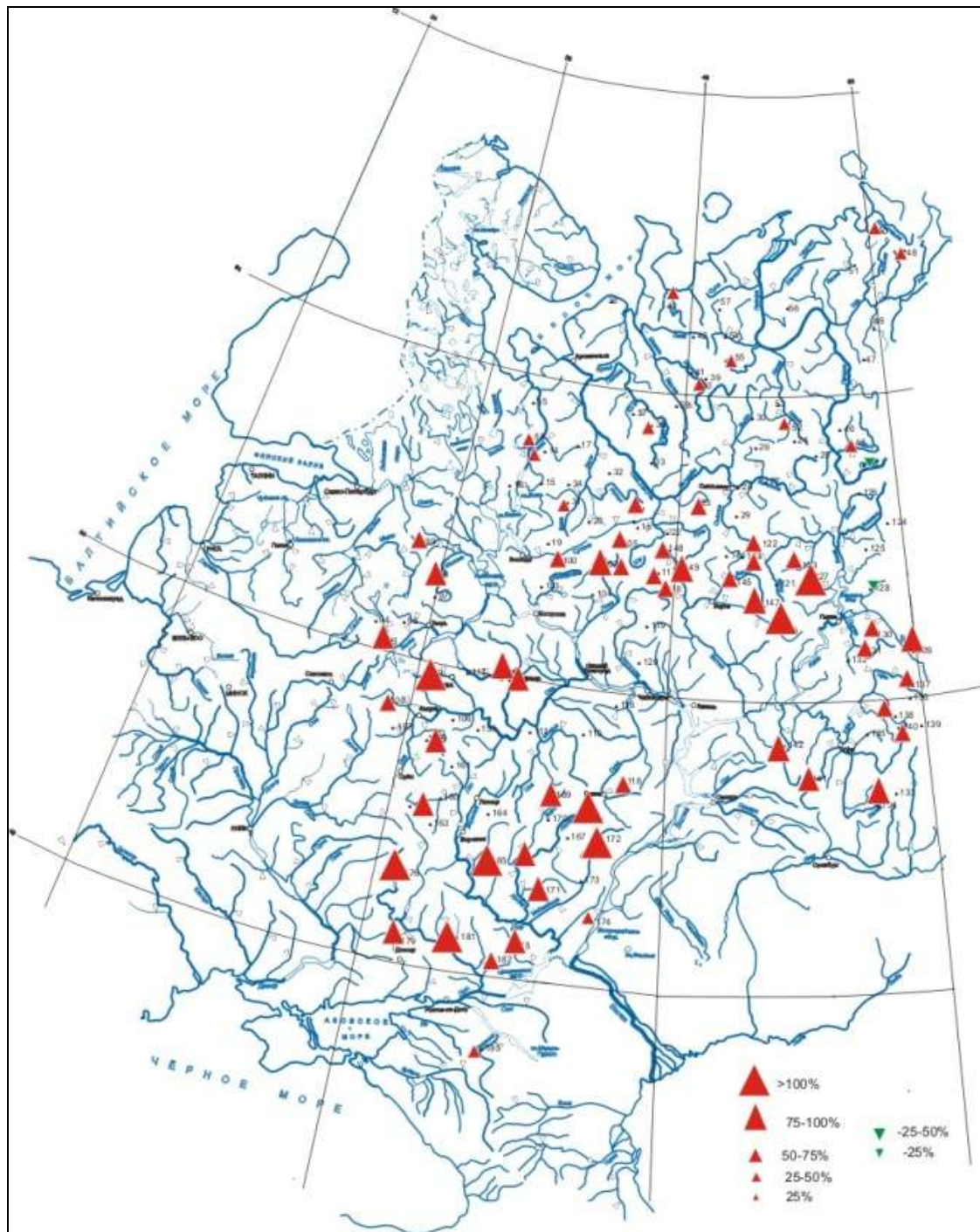


Рисунок 3.4 – Изменение минимального стока рек (в %)

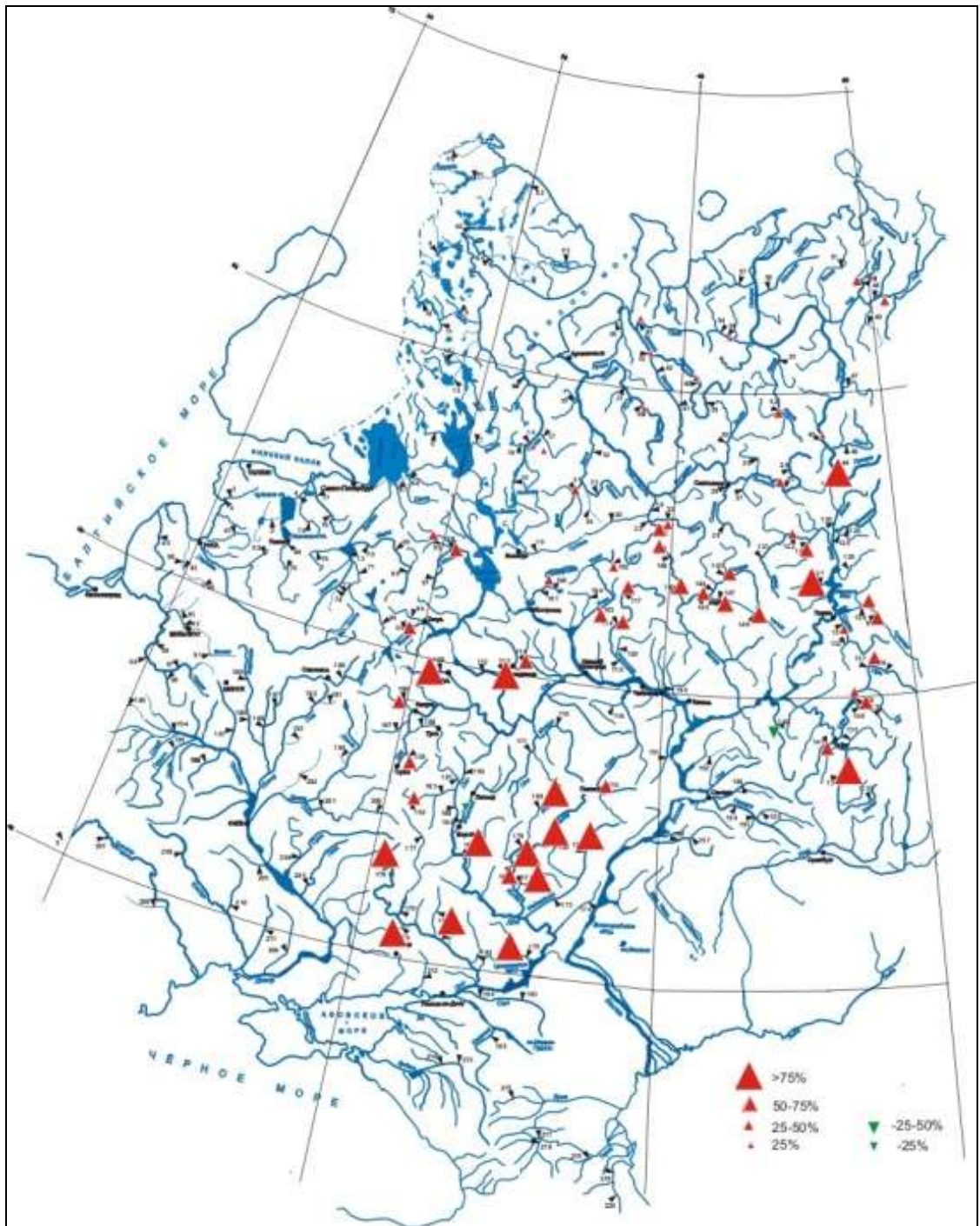


Рисунок 3.5 – Изменение минимального расхода 80% обеспеченности

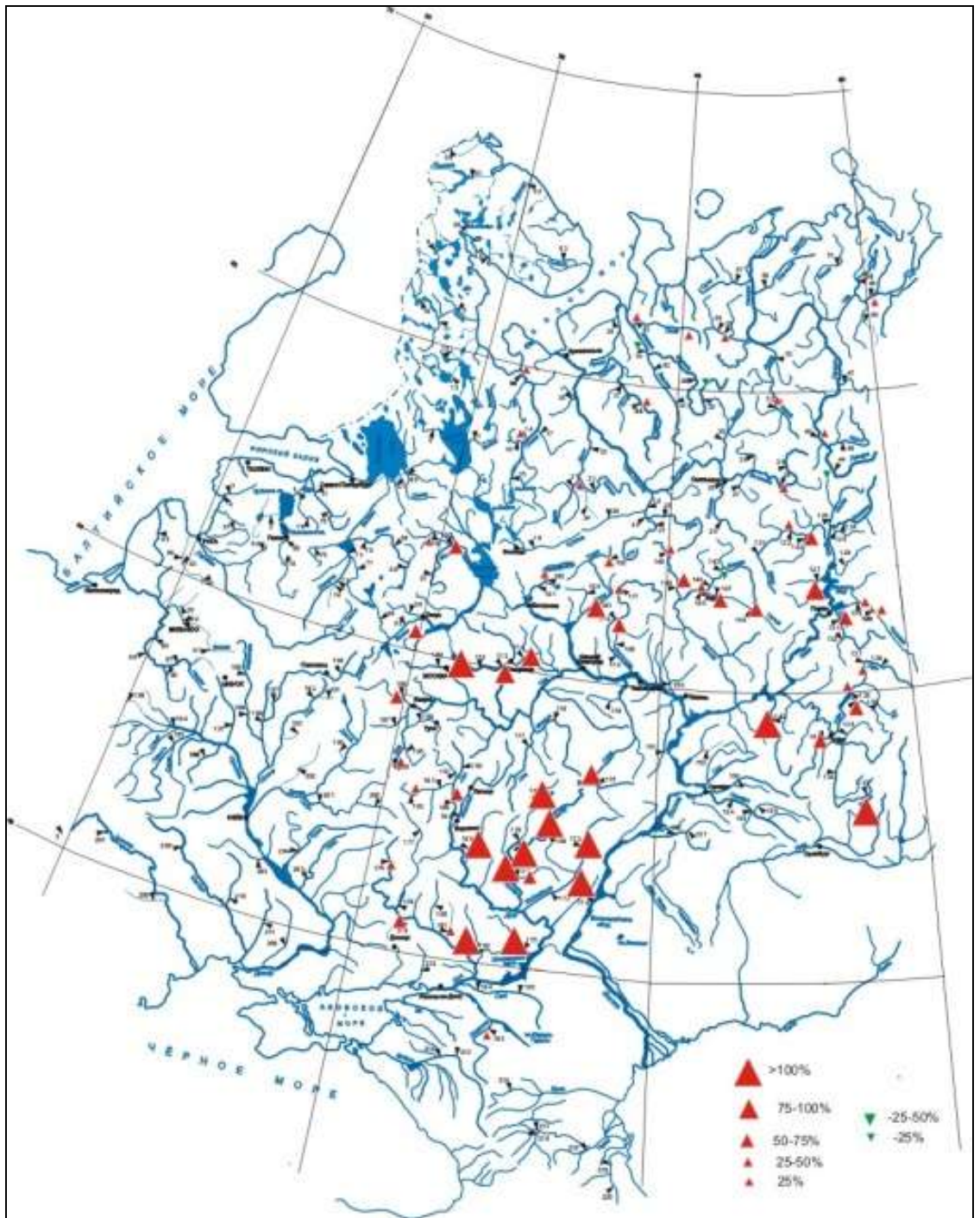


Рисунок 3.6 – Изменение расхода 80% обеспеченности за зимнюю межень

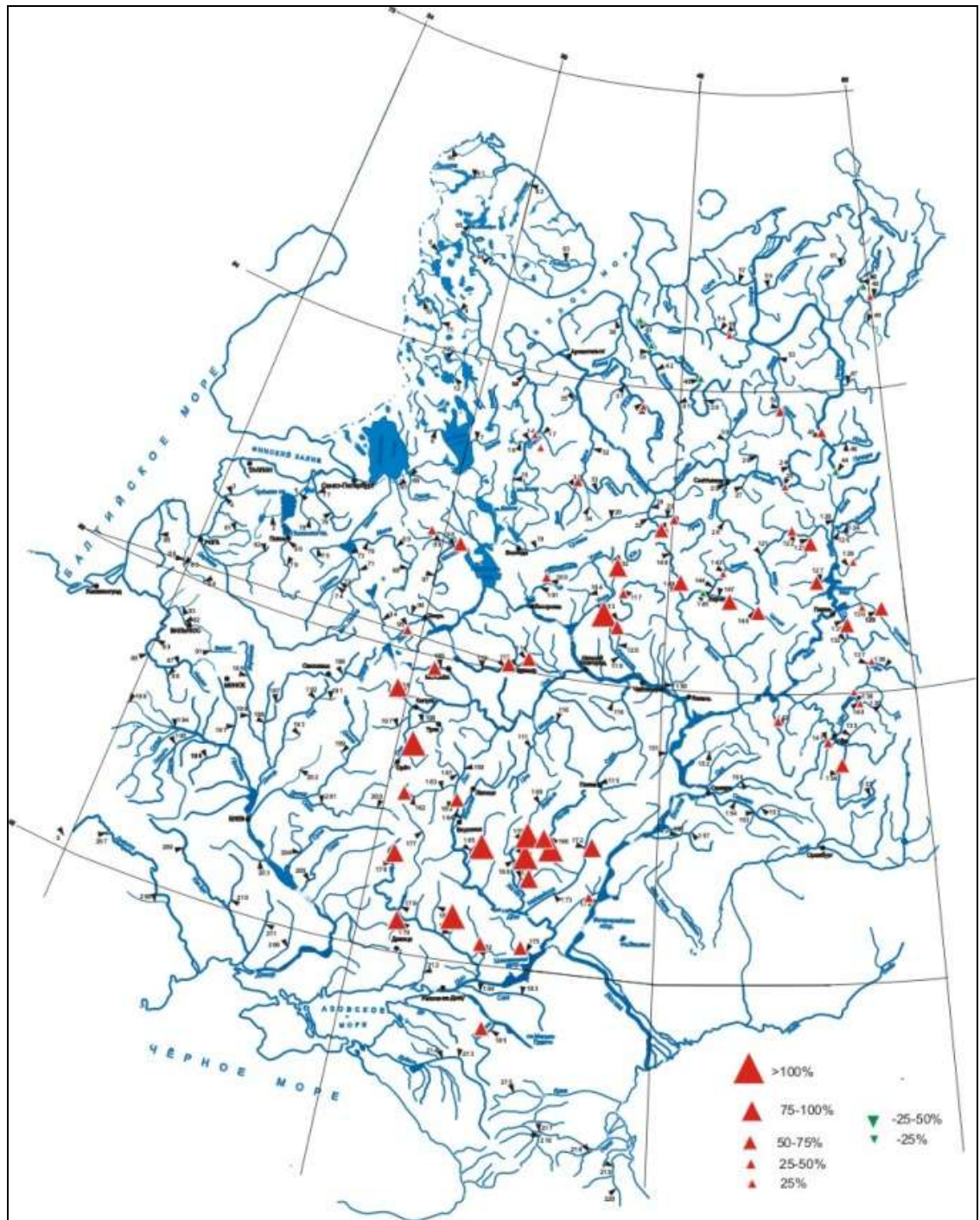


Рисунок 3.7 – Изменение расхода 80% обеспеченности за летне-осеннюю межень

Осредненные по гидрографическим районам величины изменения характеристик сезонного и минимального стока относительно предыдущего периода представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Средние по районам величины изменения характеристик стока (в%)

| Годовой сток | | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Район | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ |
| Север | 9 | -3 | 16 | 21 |
| Бассейн р. В.Волги | 39 | -9 | 70 | 90 |
| Бассейн р. Камы. | 33 | 2 | 33 | 37 |
| Бассейн р. Дон | 70 | -6 | 80 | 92 |
| Сток зимней межени | | | | |
| Район | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ |
| Север | 20 | 30 | 20 | 10 |
| Бассейн р. В.Волги | 70 | 10 | 70 | 80 |
| Бассейн р. Камы. | 50 | -10 | 60 | 70 |
| Бассейн р. Дон | 60 | -25 | 100 | >200 |
| Сток летне-осенней межени | | | | |
| Район | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ |
| Север | 10 | -10 | 20 | 20 |
| Бассейн р. В.Волги | 40 | -30 | 70 | 90 |
| Бассейн р. Камы. | 30 | 0 | 30 | 40 |
| Бассейн р. Дон | 70 | -10 | 80 | 90 |
| Минимальный сток | | | | |
| Район | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ |
| Север | 20 | 20 | 40 | 40 |
| Бассейн р. В.Волги | 70 | -20 | 90 | 110 |
| Бассейн р. Камы. | 50 | -10 | 50 | 60 |
| Бассейн р. Дон | 90 | -16 | 130 | 190 |

Анализ карт-схем изменения среднегодового стока, стока за зимнюю и летне-осеннюю межень показывает, что основной особенностью современных изменений сезонного стока является увеличение в последние десятилетия водности рек в зимний и летне-осенний сезон практически на всей территории ЕТР. Наиболее четко рост зимнего стока прослеживается в степной, лесостепной, лесной зонах (южнее 60 с. ш.) - от верховьев р. Волги

до низовьев р. Дон. В бассейне р. Дон зимний сток был выше на 100% и более, чем за предшествующий период, в то время как северная часть рассматриваемой территории (бассейны рр. Северной Двины, Мезени, Печоры) отличается несущественным повышением зимнего стока – до 25%. Так же, как и для зимнего, увеличение летне-осеннего стока за период с 1978 года отмечается для преобладающей части региона. Однако, сильное увеличение отмечено только для рек бассейна Дона (100% и более), для остальной территории сток увеличился на 25-50%. В бассейне Северной Двины это увеличение не превысило 25%. Несмотря на то, что в результате произошедших изменений сезонного стока на преобладающей части ЕТР годовой сток превысил норму, величина этого превышения не столь существенна для того, чтобы делать однозначный вывод о направленных систематических изменениях в многолетних колебаниях водных ресурсов. Результаты статистических расчетов свидетельствуют о том, что происходящие изменения водности в годовом разрезе находятся в пределах естественной изменчивости (Водные ресурсы, 2008). Похожие закономерности наблюдаются и для стока рек заданной обеспеченности как для зимней, так и для летне-осенней межени (рис.3.5-3.7).

Как следует из проведенных ранее исследований, выполненных на воднобалансовых станциях (Водные ресурсы, 2008), такое увеличение меженного и минимального стока обусловлено увеличением частоты и продолжительности оттепелей, уменьшением промерзаемости почвы и, как следствие, увеличением питания грунтовых вод, а также подъемом их уровня, которое обеспечивает базовое питание рек. По всем водно-балансовым станциям со второй половины 70-х было зафиксировано значительное увеличение годовых сумм осадков на фоне потепления зимнего и весеннего сезонов, в то время как за летне-осенний период сумма осадков понизилась (Водные ресурсы, 2008). Для всей территории было отмечено также и повышение влагозапаса в почво-грунтах в летне-осенний период, как

следствие увеличения увлажненности теплого сезона. В сложившейся ситуации были созданы благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод и увеличения их запасов в различных подземных горизонтах, в результате чего обозначилась тенденция к возрастанию доли подземного стока в питании рек. Это относится к средним рекам, дренирующим основные водные горизонты (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). По мнению коллектива авторов (Водные ресурсы, 2008), реки указанных выше районов по источникам питания и внутригодовому распределению стока относились ранее к категории рек преимущественно снегового питания, а в конце двадцатого века произошел их переход к категории рек со смешанным питанием или даже смешанным с преобладанием грунтового в соответствии с классификацией М.И. Львовича. Это привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока, по своему масштабу сопоставимому с влиянием водохранилищ сезонного регулирования (Водные ресурсы, 2008).

Отдельный интерес представляет собой анализ динамики изменчивости меженного стока относительно предшествующего периода. Представленные Полученные результаты позволяют подтвердить факт неравномерного изменения C_v по исследуемой территории.

Так, для минимального стока отмечается уменьшение изменчивости на 25-50%; для некоторых, преимущественно северо-восточных областей (бассейны рр. Камы, верховья Печоры, Вычегды, В. Волги), зафиксирована обратная тенденция – увеличение изменчивости относительно предшествующего периода на 25-50% и более. Для зимнего стока уменьшение изменчивости более заметно – основная территория охвачена уменьшением изменчивости на 50% и более (в основном северные территории, верховья Волги; низовья Дона); в то же время как увеличение C_v менее заметно – до 25%. Для летне-осенней межени характерно равномерное по территории незначительное увеличение C_v .

Выводы

1. Основной значимой для дальнейших расчетов особенностью современных изменений водного режима рек на рассматриваемой территории является существенное изменение параметров распределения вероятности (среднего, изменчивости) минимального и сезонного стока на коротком промежутке времени (последние 30 лет).

2. Величина этого изменения как мера реакции стока на нестабильность климатических процессов неодинакова и зависит от физико-географических условий и конкретных особенностей водосборов.

3.3 Пространственно-временная изменчивость многолетних колебаний сезонного и минимального стока в условиях нестабильности климата.

3.3.1 Постановка задачи

На раскрытие пространственно-временных закономерностей формирования стока направлено исследование пространственной структуры гидрологических полей, которое сводится к изучению характера изменения по территории нормы и изменчивости стока и анализу пространственного распределения связей между рядами. Изучение пространственной структуры полей стока необходимо для решения ряда практических задач, таких как оценка возможности применения географо-гидрологических обобщений, планирование сети гидрологических постов, восстановление значений стока на неизученных и малоизученных реках, контроль качества гидрологической информации. Большинство существующих методов решения указанных задач применимо только к однородным и изотропным полям, каковым поля стока не является. Поэтому несомненный интерес представляет собой раскрытие объективных причин нарушения однородности и изотропности поля минимального стока, что возможно только на основе четких представлений о закономерностях формирования его пространственной структуры.

Вопросам изучения нормы и изменчивости стока посвящено большое число работ (Пространственно-временные, 1988, Жук и др., 1989); гораздо слабее изучена пространственная связность многолетних колебаний стока. Особняком в этом перечне стоят работы, направленные изучение синхронности многолетних колебаний речного стока (Водные ресурсы, 2008, Жук, Романова, 1981, 1989, Жук, Скорняков, 1989). В последнее время классификация полей гидрометеорологических характеристик и районирование территории по различным признакам получили широкое развитие в связи с появлением возможности совместного анализа массивов

исходных данных большого объема. Подобные исследования проводятся методами многомерного анализа. Чаще всего используют факторный и дискриминантный анализ, разложение полей на ЕОС, а также различные алгоритмы из класса задач распознавания образов. Опыт их применения показывает, что наибольшие сложности возникают при интерпретации полученных результатов, так как критерии качества районирования и классификации или вообще отсутствуют, или носят чисто формальный характер и не отображают основных географических закономерностей. Важным вопросом является также выбор статистики, характеризующей степень схожести анализируемых объектов.

В гидрометеорологии для оценки связности рядов наблюдений обычно применяют коэффициент линейной парной корреляции, так как известны пределы его изменения, понятен физический смысл той или иной его величины, известно распределение вероятностей и способ оценки достоверности выборочных оценок. Коэффициент парной корреляции целесообразно использовать в качестве исходной статистики при решении задач классификации и районирования, особенно при анализе временных рядов.

В общем случае, для реализации подобных задач, сток необходимо рассматривать как случайное поле, элементы которого изменяются как в пространстве, так и во времени. Аргументами функции являются время t и координаты точки наблюдений x, y, z в прямоугольной системе координат. Детерминировано задать интересующие нас величины в каждой точке и момент времени невозможно, поэтому гидрологическую величину рассматривают как случайную. Статистический подход требует отказа от попытки отдельного рассмотрения индивидуальных свойств случайного поля. Рассматриваются лишь их статистические характеристики, которые позволяют установить общие особенности, характерные для всего набора

реализаций. Эти общие закономерности принято называть статистической структурой случайного поля (Сачок, 1980).

В рамках корреляционной теории случайное поле описывается двумя характеристиками – средним и пространственно-корреляционной функцией (ПКФ). ПКФ, второй смешанный момент случайной функции, используется для описания связи между выборочными реализациями поля в различных точках пространства и в различные моменты времени и представляет собой матрицу парных коэффициентов корреляции (для дискретного случая). Эмпирическая ПКФ характеризует зависимость выборочных оценок парной корреляции от пространственной переменной, представляющей собой расстояние между центрами водосборов. Считается, что пространственно-корреляционная функция отражает территориальную изменчивость характера многолетних колебаний стока (Пространственно-временные, 1988). Обычно использование ПКФ опирается на теорию однородных и изотропных полей; поскольку принимается гипотеза стационарности одномерных случайных процессов. Допущение об однородности и независимости многолетних колебаний практически всегда будут в той или иной мере неверны (Христофоров, 1993), тем более в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и, что особенно актуально, в условиях изменяющегося климата.

Теоретический подход к описанию направленности и количественных изменений в колебаниях стока был заложен в работах Г.П. Калинина (Калинин, 1968) на основе оценки скоррелированности многолетних колебаний стока на различных водосборах. Н.В. Сомов (Сомов, 1963) оценивал синхронность и асинхронность стока крупных и средних рек. Ряд работ был посвящен исследованию весеннего стока. Так, С.В. Дерибизовой (Дерибизова, 1979) было установлено, что пространственная связность полей весеннего стока выше в многоводные годы, чем в маловодные. И.В. Урываевой (Урываева, 1977) было показано, что более высокая

пространственная связность полей наблюдается в бассейнах, отличающихся большей однородностью в физико-географическом и климатическом отношении. Аналогичные выводы были сделаны А.Г. Лобановой и А.В. Рождественским (Лобанова, Рождественский, 1973). Ими же отмечено, что большая однородность ПКФ свойственна для среднего месячного стока по сравнению с годовым, что вызвано различным влиянием факторов подстилающей поверхности. Ряд работ был посвящен исследованию влияния отдельных природных факторов на характер анизотропности полей (Чемеренко, 1976), в которых автор описывал статистическую структуру поля снежного покрова с помощью автокорреляционных и структурных функции, получил эмпирические функции распределения вероятностей таких характеристик снежного покрова, как высота и влагозапас и использовал их, привлекая методы объективного анализа случайных полей.

Далее эти идеи были развиты в 80-е годы в работах В.А. Жука, Е.А. Романовой, (Жук и др., 1989) и продолжены Е.А. Коробкиной (Коробкина, 2010), где применяется метод РПКФ - двумерных пространственно-корреляционных функций и модифицированный алгоритм районирования территории по синхронности колебаний стока.

Задачей данного раздела является исследование пространственной структуры полей меженного и минимального стока рек, выявление и анализ изменений этой структуры при нестабильности климата, районирование территории по синхронности колебаний стока за указанные фазы стока и выявление природных факторов, влияющих на пространственную связность. Общий алгоритм пространственной оценки синхронности колебаний стока, использованный в работе, состоит из 2 независимых процедур: построения РПКФ и кластеризации, отвечающей за выявление районов синхронного стока. Расчеты производились отдельно для двух периодов времени – до и после 1978 года. Выбор границы такого разбиения рядов на два периода был оправдан проведенными ранее исследованиями в области нарушения

стационарности в рядах стока и метеорологических факторов (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012).

3.3.2 Исследование пространственной связности полей стока; применяемые методы построения пространственно-корреляционных функций

Для большой совокупности рядов характеристикой пространственной связности поля служит пространственно-корреляционная функция (ПКФ), которая представляет собой зависимость выборочных оценок коэффициентов парной корреляции от расстояния между центрами водосборов. Построение эмпирической ПКФ предполагает вычисление матрицы коэффициентов парной корреляции r_{jk} между рядами наблюдений для рек j и k и матрицы расстояний l_{jk} между центрами тяжести их водосборов (Алексеев, 1971).

Однородными являются поля с одинаковыми законами распределения вероятностей расходов воды речного стока в каждом пункте наблюдений (одинаковые параметры и типы распределения). Если в пределах исследуемой территории ПКФ зависит только от расстояния между точками l_{jk} , то в пределах исследуемой территории принимается гипотеза о локальной однородности и изотропности поля. Однако эти условия выполняются далеко не для всех полей и нуждаются в дополнительной проверке.

Анализ характера анизотропности случайного поля по существу сводится к исследованию зависимости пространственной связности поля от направления.

Для каждой пары рек с номерами i и k вычисляется коэффициент корреляции r_{jk} между рядами наблюдений, расстояние между центрами водосборов l_{jk} и угол φ_{jk} , который составляет с параллелью отрезок, соединяющий центры этих водосборов. Угол φ_{jk} отсчитывается от положительного направления параллели (З-В). Поскольку $r_{jk} = r_{kj}$ и $l_{jk} = l_{kj}$,

$\varphi_{jk} = \varphi_{kj}$, то углы можно рассматривать только в промежутке от 0° до 180° . Остальная часть может быть достроена из соображений центральной симметрии.

Промежуток от 0° до 180° разбивается на K равных секторов, в каждом из которых строится своя ПКФ по таким парам точек i и k , что угол φ_{jk} попадает в рассматриваемый сектор. Число K выбирается в зависимости от количества имеющихся данных (в данном случае $K=6$).

Полученные ПКФ аппроксимируются сглаженными кривыми. С графиков этих кривых снимаются значения расстояний, соответствующие тем или иным значениям коэффициентов корреляции. По этим данным строятся РПКФ, для этого сначала откладываются найденные расстояния на биссектрисах соответствующих секторов, а затем равные значения коэффициентов корреляции из разных секторов соединяются сглаженными кривыми. Получаются линии уровня – изокорреляты РПКФ (рисунок 3.5).

Если поле изотропно, то есть его пространственная связность не зависит от направления, то ПКФ из различных секторов должны быть близки между собой и линии уровня РПКФ будут представлять собой линии, близкие к окружностям. В таком случае принимается гипотеза об изотропности поля, а увеличение расстояния между линиями уровня в определенном направлении свидетельствует об увеличении связности рядов в этом направлении в пределах рассматриваемой территории. Что касается однородности поля, то для него существует ряд методов, предложенных различными авторами. Эти методы используют различные статистические критерии для проверки гипотезы однородности ПКФ (Алексеев, 1971, Рождественский, Чеботарев, 1976). Однако, следует отметить, что применение этих критериев в некоторых случаях может приводить к неверным выводам о пространственной структуре полей и, кроме того,

исключать из поля зрения исследователя ряд природных важных факторов, влияющих на пространственную связность полей стока.

В работе рассмотрена пространственная структура полей годового, меженного и минимального стока до и после 1978 года (Филиппова, 2013).

Предварительная оценка статистической однородности ПКФ дала возможность предположить, что ее неоднородность связана с локальной анизотропностью исследуемых полей стока.

На рис.3.8-3.11 представлены графики РПКФ, построенные для полей меженного (зимняя и летне-осенняя межень), годового и минимального стока. Полученные изокорреляты приведены в виде парных рисунков, соответствующих двум периодам рассмотрения (до и после 1978 года) одного и того же элемента стока. Каждая пара рисунков выполнена в едином масштабе для возможности визуального сравнения.

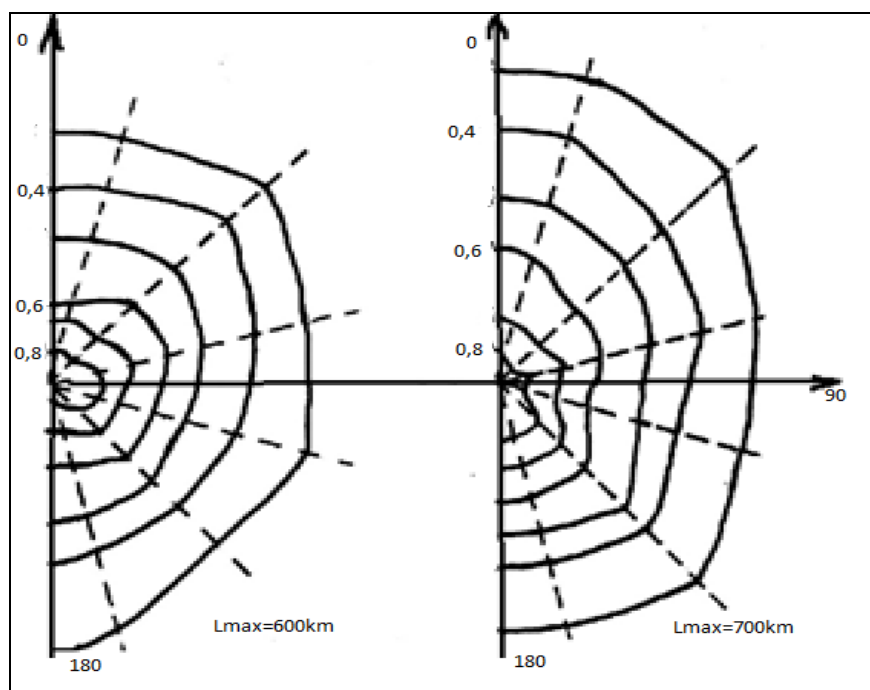


Рисунок 3.8 – РПКФ поля стока зимней межени рек ЕТР

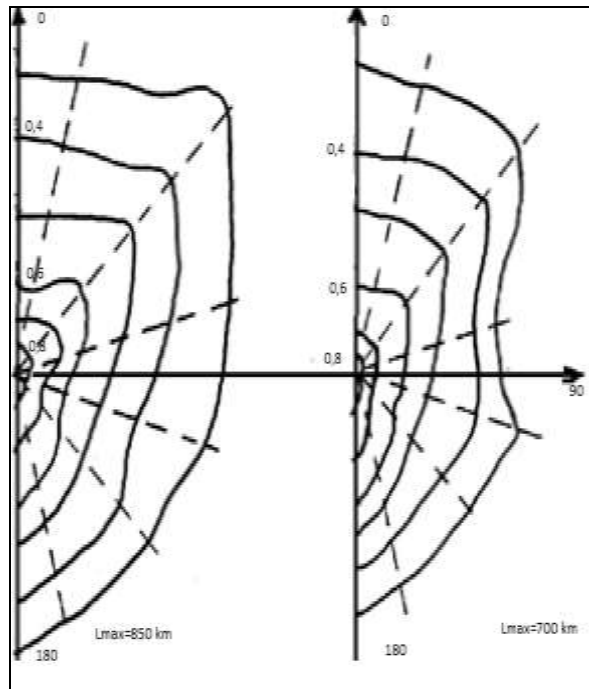


Рисунок 3.9 – РПКФ поля минимального стока рек ЕТР

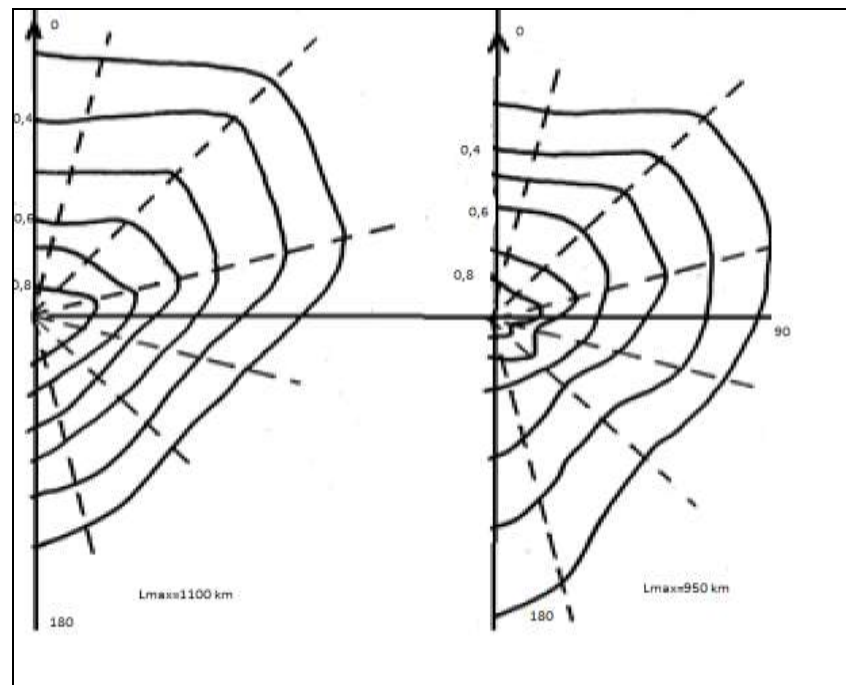


Рисунок 3.10 – РПКФ поля стока летне-осенней межени рек ЕТР

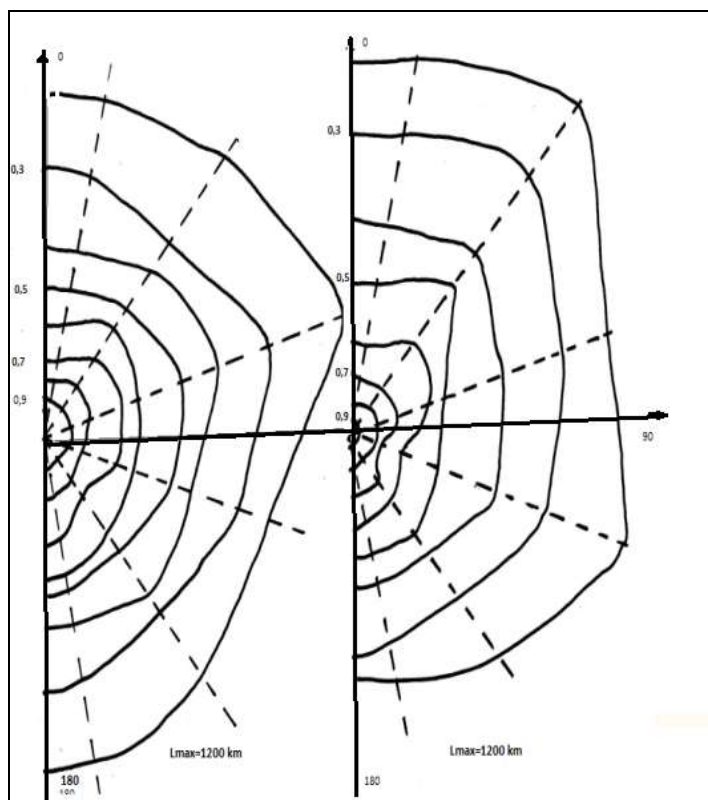


Рисунок 3.11 – РПКФ поля годового стока рек ЕТР

Изокорреляты годового стока в целом сохраняют характер убывания скоррелированности по большинству опорных биссектрис. Однако, форма линий уровня годового стока отличается от окружности, что дает основание сделать вывод об анизотропности его полей. При совместном рассмотрении схемы изокоррелят за периоды до и после 1978 года, стоит отметить, что общая конфигурация изолиний сохранилась, хотя анизотропность для стока за период после 1978 года выражена более заметно, чем для предыдущего периода. Кроме того, заметнее нарастание пространственной связности в северо-восточном направлении. Ряд исследователей отмечали, что большая пространственная связность поля годового стока наблюдается в направлении преобладающего влагопереноса в те сезоны, осадки которого формируют годовой сток района. Так, например, пространственная связность полей годового стока повторяет характер связности годовых осадков и определяется западным переносом влаги (Жук и др., 1989). На представленных схемах отмечается увеличение связности в направлении

юго-запад – северо-восток, что отражает преимущественные направления влагопереноса в те сезоны, осадки которого формируют годовой сток региона. Развернутые пространственно-корреляционные функции полей стока за летне-осеннюю межень демонстрируют существенную анизотропию как для периода до 1978 года, так и для периода после 1978 года. Усиление пространственной связности наблюдается в направлении юго-запад – северо-восток, при этом для двух периодов оно остается неизменным. В целом, линии изокоррелят летне-осеннего стока близки по форме к изокоррелятам годового стока и отражают повышенную связность в широтном направлении (Филиппова, 2013).

Поле колебаний стока зимней межени отличается сравнительно большей изотропностью, для обоих временных периодов трудно выделить значительные изменения скорости убывания корреляционных связей на единицу расстояния. Для двух рассматриваемых периодов характерно сохранение общей картины распределения значений коэффициента корреляции r по секторам. Пространственная связность полей зимнего стока увеличивается в направлении восток - юго-восток; после 1978 года направление повышенной связности смещается к югу. Большая анизотропия обнаруживается и при визуальном анализе изокоррелят минимального среднемесячного стока, особенно за период до 1978 года. Из всех рассматриваемых элементов стока она может быть оценена как наибольшая. Направление повышенной связности в этом случае повторяет направление для летне-осеннего стока с юго-запада на северо - восток, усиливая при этом меридиональную составляющую. Интересно, что после 1978 года анизотропия выражена слабее; перераспределяются направления повышенной связности – до 1978 года это северо-восток; после 1978 года идет заметное выравнивание формы изокоррелят в этом секторе (Филиппова, 2013).

Подобные исследования целесообразно проводить путем изучения и сравнения тенденций изменчивости пространственной связности поля минимального стока с аналогичными тенденциями для полей стокоформирующих факторов. Поэтому далее были построены РПКФ для полей снегозапасов и суммы положительных температур за зимний период в бассейне Волги (рисунок 3.12).

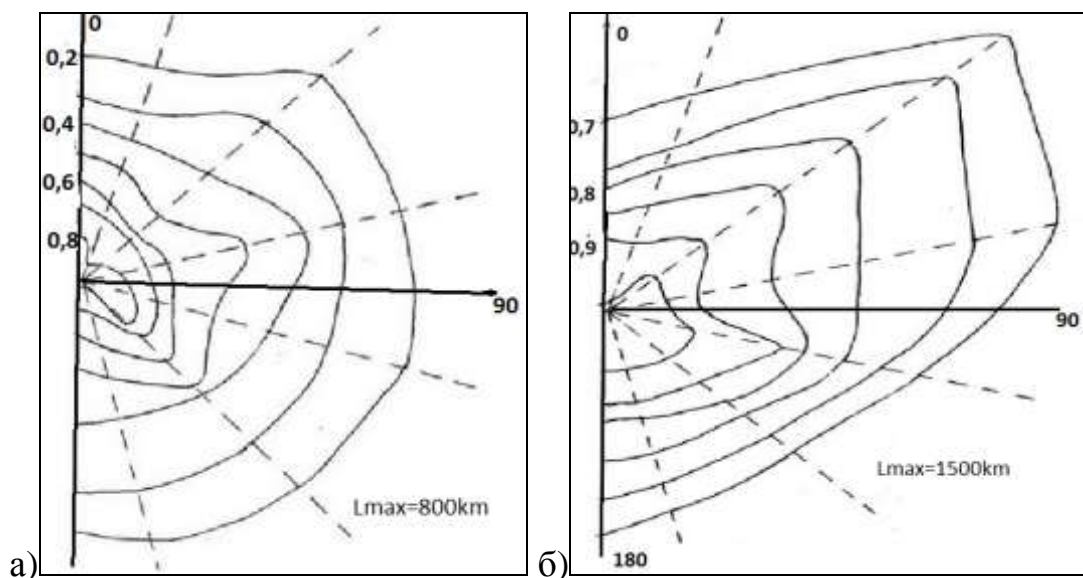


Рисунок 3.12 – РПКФ поля а) снегозапасов, б) суммы положительных температур за зимний период на территории ЕТР

Как можно заметить, поля снегозапасов и суммы положительных температур также отличаются анизотропностью. Для снегозапасов характерно существенное усиление пространственной связности в юго-восточном направлении, для поля суммы положительных температур пространственная связность увеличивается в юго-юго-восточном и северо-восточном направлении. Форма линии РПКФ суммы положительных температур имеет сходство с формой изокоррелят РПКФ поля минимального стока. Для сравнения характера анизотропности полей имеет смысл обратиться к характерным особенностям климата этой территории, имеющим непосредственную связь с количеством и распределением осадков и температуры в зимнее время. Территория расположена в умеренном

континентальном климатическом поясе, для которого характерны холодная зима и теплое лето, большие годовые амплитуды температуры воздуха. Континентальность климата возрастает на территории бассейна с запада на восток, по мере удаления от Атлантики. Основные атмосферные процессы, определяющие выпадение осадков на территории бассейна Волги, – циклоническая деятельность в системе западного переноса умеренных широт. Циклоны перемещаются сюда с запада и юго-запада, принося влагу и осадки с Атлантики. Условия увлажнения изменяются на большей части территории бассейна в соответствии с удалением от Атлантики: с северо-запада на юго-восток. Основные изменения интенсивности влагопереноса, определяющейся в свою очередь термическими условиями, также происходят в направлении запад-восток (Кузнецова, 1978). Температурный режим меняется по территории в соответствии с широтой и влиянием океана. Влияние Атлантики проявляется в большей степени в зимний период и способствует нарушению широтной зональности в распределении приземной температуры воздуха, зимой температура воздуха убывает на северо-восток. Меридиональная составляющая градиента температуры воздуха появляется под влиянием трансформации атлантического воздуха и частых вхождений континентальных воздушных масс. Этот факт объясняет усиление пространственной связности поля температур в направлении северо-восток.

Выводы

1. Визуально оценённая анизотропность поля колебаний летне-осеннего и минимального стока достаточно велика относительно других элементов стока - годового и зимнего – как для периода до 1978 года, так и для периода после 1978 года. Этот факт подтверждает предположение об асинхронности многолетних колебаний межлетнего и минимального стока на территории ЕТР и не позволяет проводить дальнейшие исследования в рамках гипотезы изотропности и однородности полей минимального стока.

2. Аналогия между характером линий РПКФ зимних температур и минимального стока дает возможность утверждать, что пространственная изменчивость стока определяется в значительной степени пространственной изменчивостью температуры воздуха за зимний период, то есть пространственное распределение суммы положительных температур за зимний период оказывает наибольшее влияние на пространственную связность поля минимального стока.

3.3.3 Выделение однородных районов по синхронности колебаний минимального стока

Выявление определенных закономерностей в колебаниях стока по данным имеющихся гидрологических наблюдений с учетом различных стокоформирующих факторов и объединение на их основе однородных совокупностей в районы, близкие по тем или иным характеристикам, - задача, которая всегда представляла большой интерес для исследователей. В последнее время получили широкое применение методы анализа однородности, основанные на характеристиках синхронности колебаний стока. Такие методы позволяют выделять районы, однородные с точки зрения некоторых статистических критериев. Изменения характера анизотропии полей минимального и меженного стока вынуждают исследовать изменения синхронности в его колебаниях после 1978 года.

В работе выполнен анализ синхронности и выделены районы с синхронными колебаниями минимального и меженного стока на 66 водосборах ЕТР. Для получения однородных районов был взят один из вариантов алгоритма классификации полей гидрометеорологических характеристик по синхронности их многолетних колебаний типа кластер-анализа (Жук, Романова, 1981, Жук, Скорняков, 1989). В основе лежит алгоритм разбиения множества объектов на непересекающиеся подмножества (кластеры), которые состоят из схожих объектов. В качестве критерия схожести используется некая мера расстояния между объектами, и

каждый кластер состоит из объектов, близких по метрике. Каждый объект описывается n свойствами и может быть представлен как точка в n -мерном пространстве. Сходство между объектами устанавливается в зависимости от выбранного метрического расстояния между ними. Наиболее часто для определения расстояний между объектами в многомерном пространстве используется евклидово расстояние

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2},$$

где x_{ik}, x_{jk} значения k -го свойства объектов x_i, x_j . В итоге такой классификации получается иерархическая структура, на основании анализа которой выделяются кластеры, обладающие оптимальным сходством составляющих элементов.

В нашем случае объектами являются гидрометрические пункты наблюдений за стоком, а их свойствами – значения стока. Тогда, в качестве аналога матрицы расстояний может использоваться корреляционная матрица, поскольку коэффициент корреляции линейно связан с мерой расстояния в n -мерном евклидовом пространстве. В качестве характеристики схожести колебаний временных рядов используется коэффициент корреляции. Назначается критический уровень парной скоррелированности $r_{кр}$. Алгоритм классификации заключается в анализе корреляционной матрицы по всем рассматриваемым пунктам наблюдений с целью выделения групп, элементы которой связаны между собой корреляцией не ниже критического значения $r_{кр}$. Затем последовательно выделяются такие группы (кластеры), чтобы в одну группу попадали сходные объекты, то есть объекты, обладающие близкими значениями признаков. При этом теснота связи объектов внутри группы остается не ниже заранее установленного уровня $r_{кр}$, а корреляция между объектами из разных кластеров ниже, чем внутри групп.

Процесс образования групп идет последовательно с некоторым шагом Δr до достижения критического уровня $r_{кр}$. В качестве дополнительного критерия на объединение в группы Е.А. Коробкиной (Коробкина, 2010) введено понятие минимума среднеквадратического отклонения (или дисперсии) совокупности коэффициентов корреляции. На каждом шаге вычисляются средние значения коэффициента корреляции для района и среднее квадратическое отклонение. Объединение объектов и кластеров прекращается, если дисперсия начинает резко увеличиваться.

Районирование территории проведено на уровне $r_{кр}=0,50$. Такое значение коэффициента парной корреляции было выбрано по нескольким соображениям. Начиная с этого уровня и ниже, присоединение отдельных пунктов к существующей группе или слияние групп приводит к заметному понижению среднего внутрирайонного коэффициента корреляции, что говорит о нарушении однородности колебаний (уменьшении связности) стока рек, входящих в данный район. среднеквадратическое отклонение также начинает существенно расти. При этом, если нанести центры тяжести водосборов на карту и провести условные границы получаемых районов, то при понижении порогового значения коэффициента корреляции начинают объединяться районы, географически слабо связанные между собой и находящиеся в разных природных зонах (Коробкина, 2010).

Таким образом, приняв в качестве наименьшего коэффициента парной корреляции внутри групп с однородными колебаниями стока $r_{кр}=0,5$, мы получили несколько районов, объединивших 66 бассейнов (табл.3.2). Чтобы оценить изменения структуры поля стока в условиях нестабильности климата, было получено районирование исследуемой территории по синхронности колебаний годового, минимального и стока за зимнюю и летне-осеннюю межень для периодов до и после 1978 года (Филиппова, 2013). Соответствующие районы представлены на рисунках 3.13-3.16. Границы районов несут в себе некоторую условность, которая связана с

характером пространственных изменений в колебаниях стока. Кроме того, метеорологические условия отдельных лет в различных частях территории могут существенно отличаться, что в сочетании с подстилающей поверхностью создает сложную картину пространственной изменчивости многолетних колебаний и возможность выделения большого числа районов, отличающихся повышенной синхронностью колебаний стока (Волчек, 2010). Следует отметить, что границы районов могут несколько изменяться от года к году, но для средних многолетних условий районы выделяются достаточно четко. Границы проводились с учетом границ водосборов главных рек.

Таблица 3.2 – Выделенные районы синхронного колебания стока

| Сток | до 1978 года | | | После 1978 года | | |
|---------------|--------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | районы | $r_{вн}$ | σ | районы | $r_{вн}$ | σ |
| Минимальный | 1 | 0,75 | 0,08 | 1 | 0,67 | 0,188 |
| | 2 | 0,67 | 0,035 | 2 | 0,69 | 0,097 |
| | 3 | 0,73 | 0,078 | 3 | 0,64 | 0,088 |
| | 4 | 0,73 | 0,062 | 4 | 0,67 | 0,096 |
| | 5 | 0,66 | 0,095 | 5 | 0,6 | 0,076 |
| | 6 | 0,63 | 0,042 | 6 | 0,71 | 0,127 |
| | 7 | 0,61 | 0,109 | | | |
| Зимняя межень | 1 | 0,73 | 0,172 | 1 | 0,78 | 0,092 |
| | 2 | 0,7 | 0,091 | 2 | 0,69 | 0,119 |
| | 3 | 0,78 | 0,091 | 3 | 0,72 | 0,085 |
| | 4 | 0,68 | 0,03 | 4 | 0,66 | 0,104 |
| | 5 | 0,8 | 0,018 | 5 | 0,71 | 0,107 |
| | 6 | 0,84 | 0,075 | 6 | 0,7 | 0,095 |
| | 7 | 0,73 | 0,096 | 7 | 0,8 | 0,066 |
| | 8 | 0,71 | 0,091 | 8 | 0,63 | 0,061 |
| | 9 | | | 9 | 0,7 | 0,059 |
| Летняя межень | 1 | 0,76 | 0,142 | 1 | 0,74 | 0,086 |
| | 2 | 0,74 | 0,089 | 2 | 0,68 | 0,2 |
| | 3 | 0,71 | 0,05 | 3 | 0,81 | 0,061 |
| | 4 | 0,79 | 0,138 | 4 | 0,81 | 0,038 |
| | 5 | 0,83 | 0,116 | 5 | 0,77 | 0,092 |
| | 6 | 0,78 | 0,096 | 6 | 0,68 | 0,111 |
| | 7 | 0,78 | 0,04 | 7 | 0,75 | 0,119 |
| | 8 | 0,74 | 0,025 | 8 | 0,79 | 0,06 |
| | 9 | 0,68 | 0,112 | | | |
| | 10 | 0,74 | 0,089 | | | |
| | 11 | 0,74 | 0,09 | | | |

| | | | | | | |
|--------------|----|------|-------|---|------|-------|
| Годовой сток | 1 | 0,73 | 0,103 | 1 | 0,67 | 0,102 |
| | 2 | 0,77 | 0,096 | 2 | 0,69 | 0,086 |
| | 3 | 0,72 | 0,112 | 3 | 0,74 | 0,069 |
| | 4 | 0,82 | 0,086 | 4 | 0,75 | 0,09 |
| | 5 | 0,7 | 0,12 | 5 | 0,72 | 0,085 |
| | 6 | 0,67 | 0,113 | 6 | 0,78 | 0,097 |
| | 7 | 0,77 | 0,104 | 7 | 0,62 | 0,131 |
| | 8 | 0,87 | 0,04 | | | |
| | 9 | 0,7 | 0,076 | | | |
| | 10 | 0,87 | 0,07 | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Из представленных рисунков видно, что после 1978 года границы однородных по синхронности колебаний стока районов изменились как для годового, так и для межennaleго и минимального стока (Филиппова, 2013). При сравнительном анализе результатов кластеризации стока за периоды до и после 1978 года хорошо прослеживается общая тенденция: уменьшение числа таксонов и возникновение новых пространственных очертаний районов синхронного стока: для годового, летне-осеннего стока и минимального стока количество однородных районов уменьшилось. Для зимнего стока количество таксонов увеличилось и большая часть территории объединилась в однородные районы. Направления повышенной связности, отмеченные при изучении схем РПКФ, получают свое подтверждение при анализе карт однородных районов. Особенно четко взаимосвязь улавливается для периода до 1978 года. Для минимального стока заметна ориентировка в меридиональном направлении - с некоторой степенью условности можно говорить о том, что районы имеют вытянутую форму с юго-запада на северо-восток.

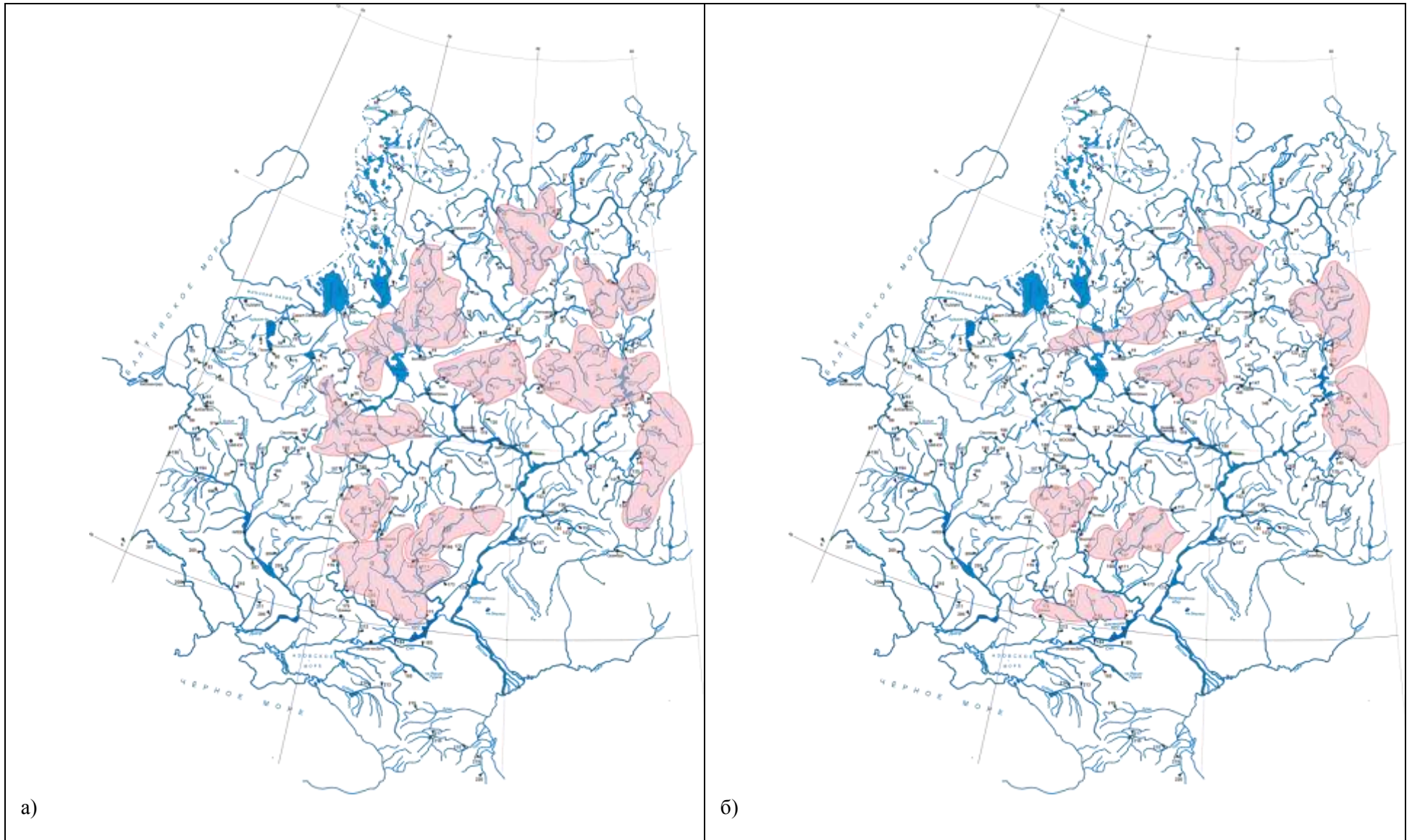


Рисунок 3.13 – Схема расположения районов с синхронными колебаниями годового стока а) до 1978 года, б) после 1978 года

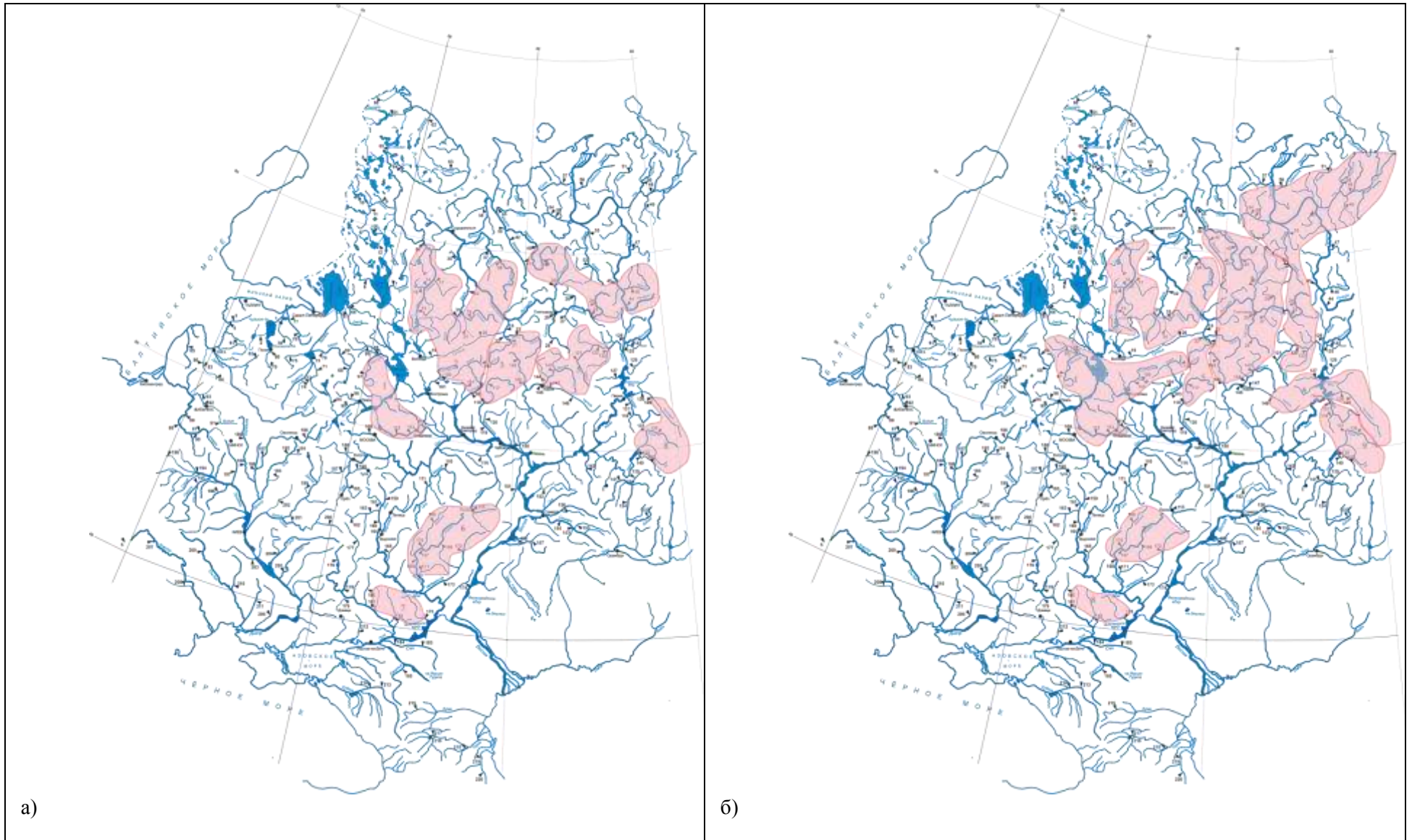


Рисунок 3.14 – Схема расположения районов с синхронными колебаниями зимнего стока а) до 1978 года, б) после 1978 года

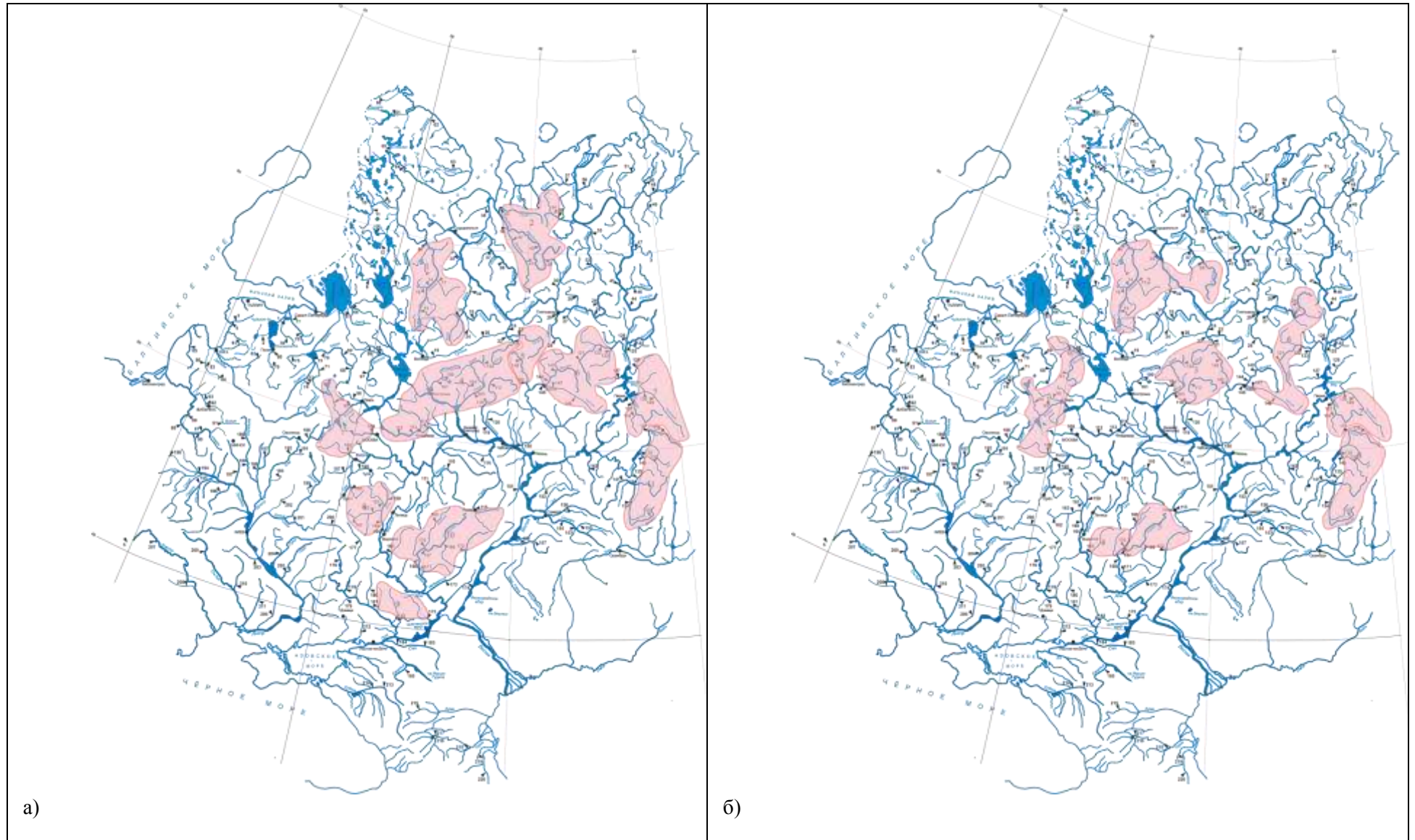


Рисунок 3.15 – Схема расположения районов с синхронными колебаниями летне-осеннего стока а) до 1978 года, б) после 1978 года

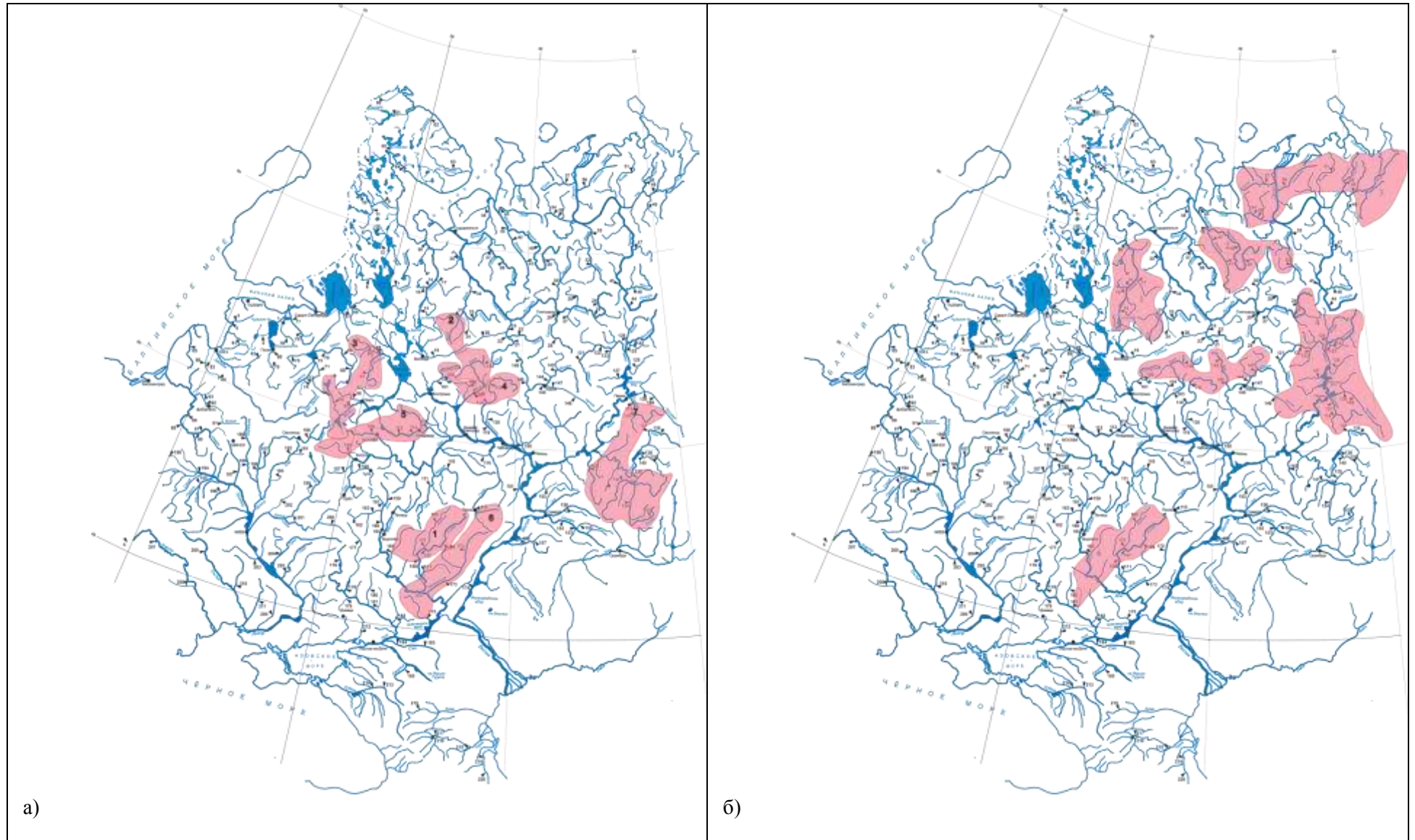


Рисунок 3.16 – Схема расположения районов с синхронными колебаниями минимального стока а) до 1978 года, б) после 1978 года

Выводы

1. Проведенные исследования обнаружили существенное изменение параметров кривых распределения (таких, как норма и изменчивость) для рядов минимального стока ЕТР и, в частности, бассейна р. Волги, на коротком временном отрезке.

2. Установлен факт анизотропии полей меженного и минимального стока, что подтверждает предположение об асинхронности многолетних колебаний меженного и минимального стока на территории ЕТР и не позволяет проводить дальнейшие исследования в рамках гипотезы изотропности и однородности полей минимального стока.

3. Поля климатических факторов – снегозапасов и суммы положительных температур – также демонстрируют существенную анизотропию. Пространственное распределение суммы положительных температур за зимний период оказывает наибольшее влияние на пространственную связность поля минимального стока, что позволяет рассматривать этот метеофактор в качестве предиктора при построении расчетных схем для минимального стока.

4. В результате применения алгоритма гидрологического районирования по синхронности многолетних колебаний стока на территории ЕТР выявлено изменение границ однородных районов после 1978 года. Для годового и летне-осеннего стока замечено увеличение, для минимального и зимнего – наоборот, уменьшение количества однородных районов.

Глава 4 Изменение статистической структуры рядов минимального стока в условиях климатической нестабильности

4.1 Постановка задачи

Согласно выводам, сделанным в главе 3, на территории ЕТР наблюдается существенное увеличение водности рек в маловодные фазы, ведущее к изменению параметров распределения и структуры полей сезонного и минимального стока. Сравнение статистических характеристик стока рек ЕТР за два последовательных периода времени вызывает вопрос – можно ли в долговременной перспективе процесс изменения стока анализировать в рамках гипотезы стационарности его межгодовых колебаний? Полученные результаты указывают на существенное изменение параметров ФРВ на коротком временном отрезке. Анализ кривых распределения минимального стока показывает, что применение теоретических кривых распределения не позволяет добиться необходимого согласования; иначе говоря, аналитические кривые, построенные на основании гипотезы стационарности, сложному закону распределения не удовлетворяют. Исследование таких важных показателей минимального стока как стационарность, однородность и автокорреляция до настоящего времени производились крайне редко (Ковалевский, 1983, Пространственно-временные, 1988). При этом выводы, полученные разными исследователями относительно причин нестационарности в рядах низкого стока и повышенной автокорреляционной связанности, оказывались крайне противоречивы (Амусья и др., 1991). Новейшие исследования указывают на тот факт, что практически все ряды межлетнего и минимального стока не удовлетворяют требованиям стационарности вследствие климатических изменений. В то же время известно, что для рядов минимального стока вообще присуща неустранимая генетическая неоднородность (Амусья и др., 1991), обусловленная механизмом формирования минимального стока, что само по

себе является препятствием для его адекватного статистического описания. Для этого необходимо исследовать статистическую структуру рядов минимального стока и выяснить истинную причину подобной неоднородности. В данной главе используется база данных по минимальному 30-ти дневному стоку 122 рек, расположенных в бассейне р. Волги – 34 поста из 75 района (бассейн Верхней Волги), 56 постов из 76 района (бассейн р. Камы), 32 поста из 77 района (бассейн Нижней Волги). Наблюдения охватывают период до 2010 года. Список гидрологических постов приведен в Приложении 4.

4.2 Исследование нарушения стационарности в рядах минимального стока в бассейне р. Волги

Анализ стационарности (однородности) гидрологических рядов включает ряд этапов (Дрозд, 1985): во-первых, первичный анализ исходной информации, который предусматривает графический анализ исходных данных и выявление причин нарушения однородности ряда. Если первичный анализ говорит о нарушении однородности временного ряда, то переходят к следующему статистическому анализу; статистический анализ состоит из формулировки нулевой и альтернативной гипотез, определения уровня значимости, браковки или признания нулевой гипотезы. Если при графическом анализе было установлено нарушение однородности, а нулевая гипотеза не может быть отвергнута, то переходят к генетическому анализу; генетический анализ используется как дополнительный этап. Первичный анализ однородности гидрологических рядов рекомендуется проводить графическими методами, которые предусматривают построение суммарных (интегральных) кривых связей от времени или разностно-интегральных кривых (РИК).

Для решения поставленной задачи проведен комплексный статистический анализ динамики минимального 30ти-дневного стока средних рек в бассейне р. Волги и выполнена проверка рядов на

стационарность (однородность). В первую очередь были построены разностно-интегральные кривые (РИК) рядов минимальных 30ти-суточных расходов за зимний и летне-осенний период.

Разностно-интегральные кривые являются довольно эффективным аппаратом для анализа циклической структуры многолетних колебаний стока и представляют собой кривую накопления (s_t) в косоугольных координатах с масштабом $Q_0 = 1$

$$s_t = \sum (K_i - 1) / C_v \quad (4.1)$$

где K_i – модульный коэффициент, Q_0 - среднее за период наблюдений N лет, $K_i = Q_i / Q_0$, C_v - коэффициент вариации. Положительное накопление отклонений $K_i - 1$ показывает, что в среднем за рассматриваемый отрезок времени имел место повышенный сток, отрицательное накопление – пониженный, отсутствие накопления за некоторый отрезок n лет показывает, что его среднее совпадает со средним за весь период наблюдений N лет (Евстигнеев, 1990). При этом можно видеть циклическую структуру многолетних колебаний стока. Для сравнения многолетних колебаний стока разных рек, имеющих неодинаковую изменчивость, разностно-интегральные кривые приводят к стандартной изменчивости $C_v = 1$. При первоначальном анализе данных или большом объеме обрабатываемого материала наблюдений разностно-интегральная кривая является удобным инструментом для выявления смены циклов водности.

Отдельные примеры полученных разностно-интегральных кривых приведены на рисунках 4.1– 4.5.

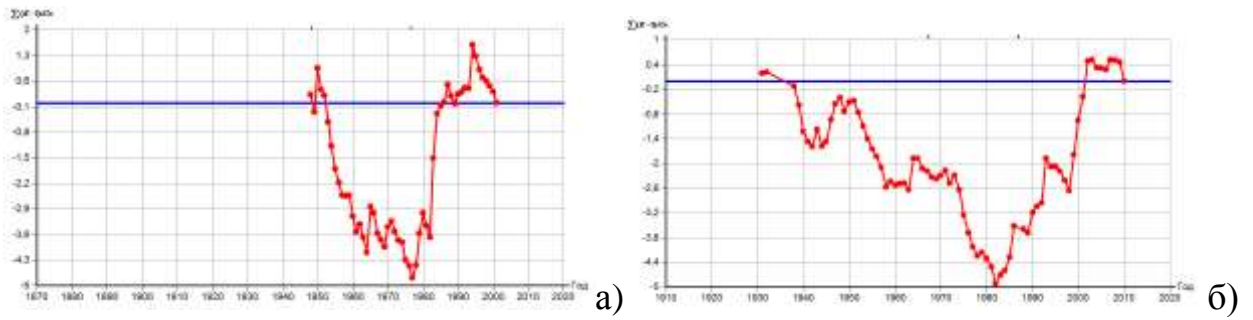


Рисунок 4.1 – Разностно-интегральные кривые 30ти-дневного минимального стока а) р. Кама – п. Ширьевский, б) р. Ай – с. Метели за период открытого русла

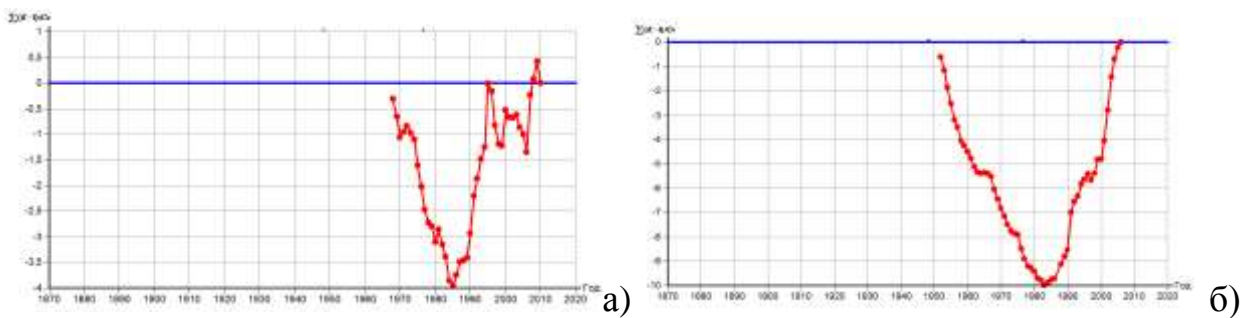


Рисунок 4.2 – Разностно-интегральные кривые 30ти-суточного минимального стока а) р. Нылга – д. Нылга, б) р. Дема – д. Дюсяново за зимний период

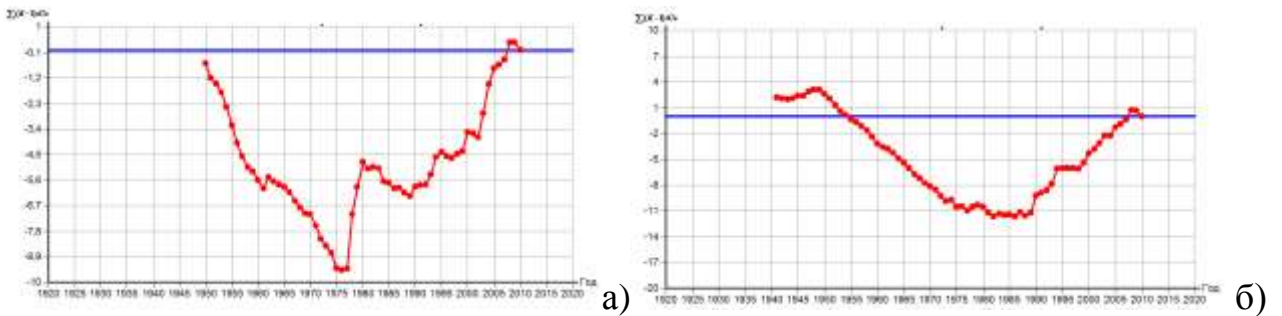


Рисунок 4.3 – Разностно-интегральные кривые 30ти-дневного минимального стока а) р. Цивиль – д. Тувси, б) р. Малый Черемшан – д. Абалдуювка за период открытого русла

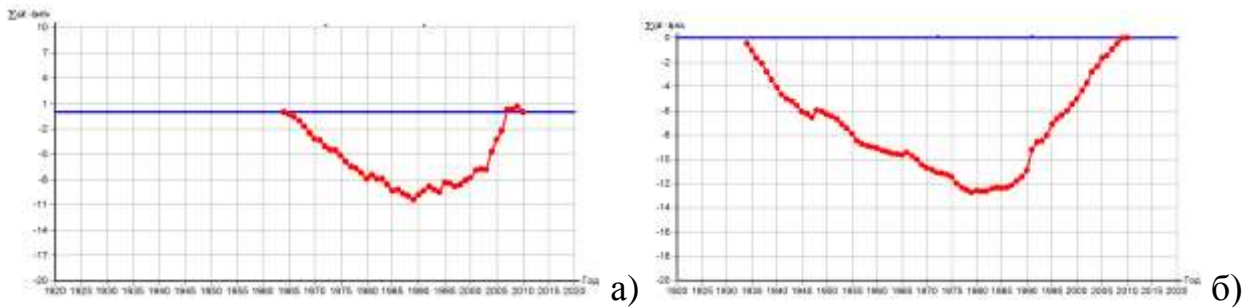


Рисунок 4.4 – Разностно-интегральные кривые 30ти-дневного минимального стока а) р. Малый Цивиль – д. Шигали, б) р. Самара – с. Елшанка за зимний период

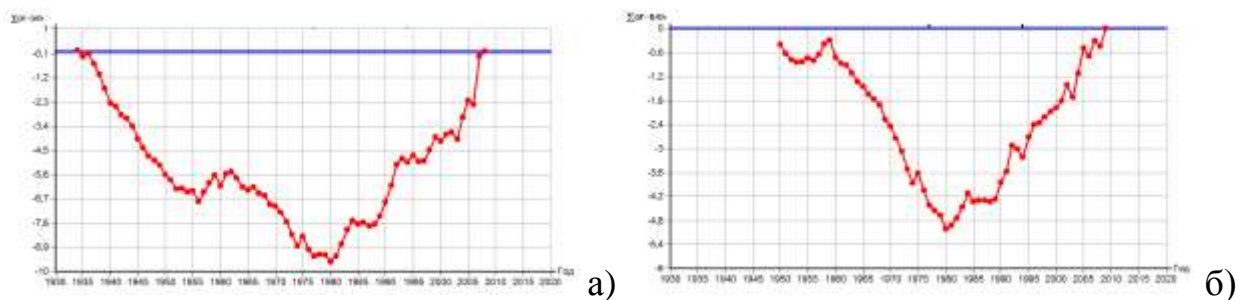


Рисунок 4.5 – Разностно-интегральные кривые 30ти-дневного минимального стока а) р. Молога – г. Устюжна, б) р. Чагодоца – д. Анисимово за зимний период

С помощью построенных графиков РИК для каждого ряда выбиралась «дата перелома» – год, соответствующий смене фазы водности. В процессе построения РИК и обработки полученных результатов было отмечено, что, несмотря на визуальное совпадение хода РИК для большей части рек, дата перелома варьирует в пределах 5-6 лет вокруг некоторых условно средних дат – 1978 и 1985 года. Это говорит о том, что при наблюдающейся в целом синхронности многолетних колебаний минимального стока мы имеем дело с неодинаковым откликом водосборов на изменения климатических характеристик. Кроме того, дата смены фаз водности не всегда совпадала для зимней и летне-осенней межени для одних и тех же рек.

Для количественной оценки однородности исходных данных наблюдений, применялись статистические критерии однородности средних

значений и дисперсий с учетом внутрирядных и межрядных корреляционных связей.

Выбранная с помощью РИК индивидуальная для каждого ряда дата перелома автоматически делила ряд на два периода для последующего исследования стационарности ряда. Анализ стационарности производился с помощью программного продукта HydroStatCalc2012, разработанного в ГГИ под руководством проф. А.В. Рождественского с использованием критериев Стьюдента, Фишера. Результаты анализа рядов минимального стока на стационарность (однородность) приведены в Приложении 5. Ранее в ГГИ также были выполнены исследования статистической структуры временных рядов (расчеты трендов, поиск «переломов водности», изменения стока за два периода различной водности, оценка однородности рядов стока по Фишеру и Стьюденту) для различных элементов стока рек территории ЕТР (Водные ресурсы, 2008). Для оценки рядов на стационарность в работе коллектива сотрудников ГГИ были выделены 2 периода 1930-1979 гг. и 1980-2005 гг. (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский, 2012).

Как видно из Приложения 5, большая часть рядов нестационарна и по среднему, и по дисперсии относительно выбранной индивидуально для каждого ряда даты разбиения. Соответственно, можно считать полученные даты смены фаз водности датами нарушения стационарности в рядах минимального 30ти-суточного стока.

Для обобщения и унификации последующих исследований построены гистограммы распределения дат перелома РИК отдельно по трем районам, входящих в состав бассейна Волги (рисунки 4.6-4.8).

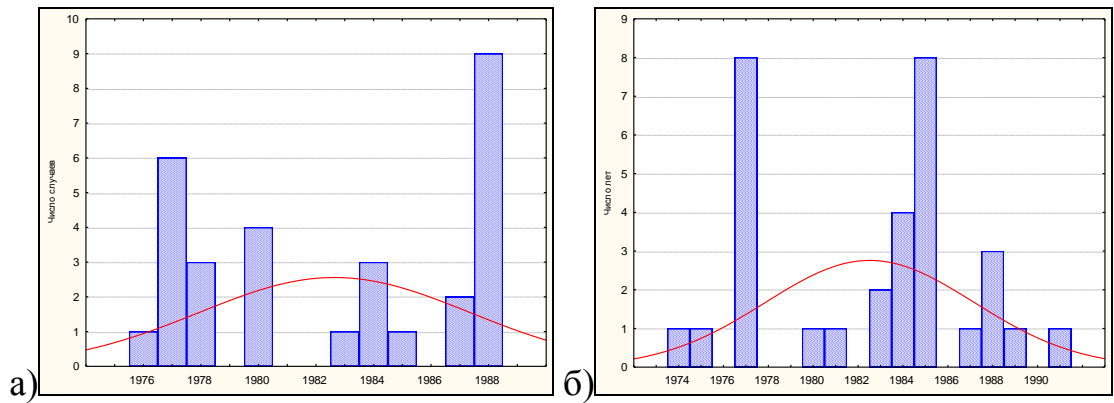


Рисунок 4.6 – Распределение даты нарушения стационарности в рядах 30-дневного минимального расхода в бассейне Нижней Волги а) в зимний период, б) в период открытого русла.

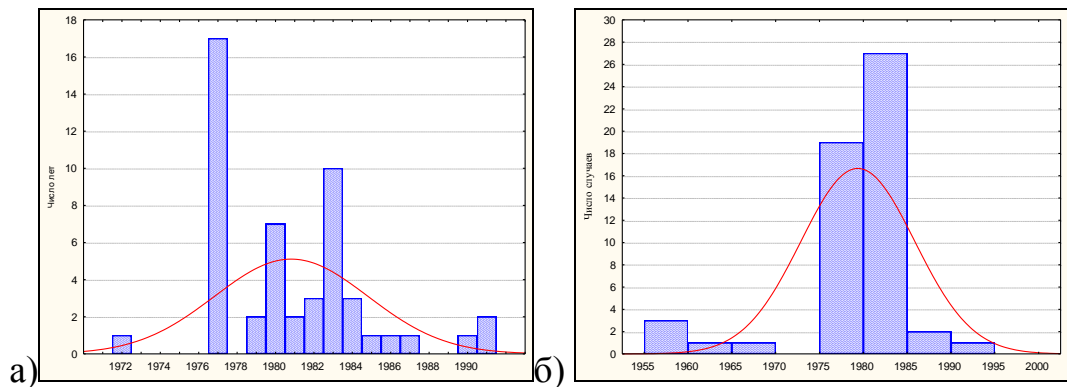


Рисунок 4.7 – Распределение даты нарушения стационарности в рядах 30-дневного минимального стока в бассейне р. Камы а) в зимний период, б) в период открытого русла.

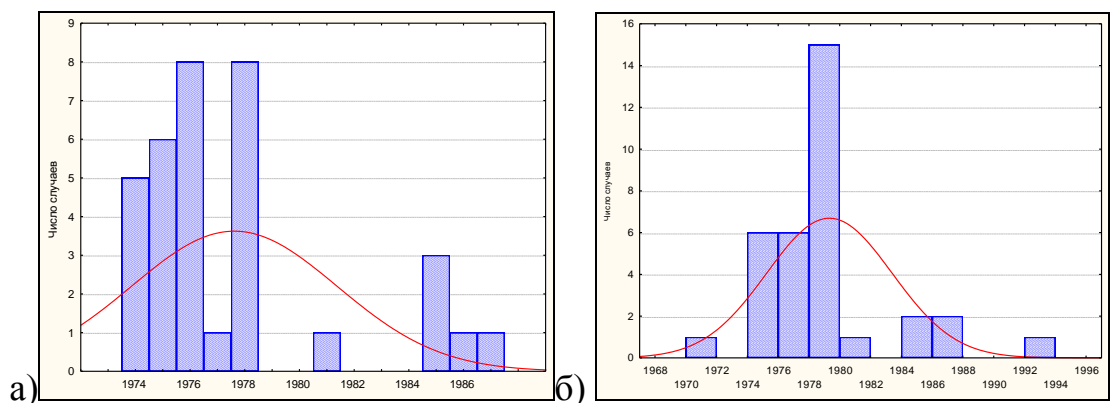


Рисунок 4.8 – Распределение даты нарушения стационарности в рядах 30-дневного минимального стока в бассейне Верхней Волги а) в период открытого русла, б) в зимний период.

Как видно из рисунков 4.6-4.8, год перелома (нарушения стационарности) различается для разных районов и для разных сезонов. Ориентируясь на полученные гистограммы, было решено выбрать две даты перелома, к которым тяготеет большинство дат всех районов – 1978 и 1985 годы. Эти даты были приняты в качестве границ условного разбиения периода наблюдений на две части: периода пониженной водности и периода повышенной водности. Таким образом, было обнаружено, что при наблюдающейся в целом синхронности многолетних колебаний минимального стока мы имеем дело с неодновременным откликом водосборов на изменения стокоформирующих характеристик (Болгов и др., 2014).

Полученные даты были нанесены на карту-схему бассейна соответственно постам наблюдений и представлены на рисунках 4.9-4.10.

Стоит отметить, что для одной и той же реки дата перелома РИК для зимней межени не всегда совпадала с датой для летней межени.

Полученные схемы позволяют условно разделить территорию бассейна р. Волги на 2 больших района, различающихся по дате нарушения стационарности в рядах минимального стока, или, другими словами, по году смены фазы водности (Болгов и др., 2014). Большая часть бассейна Верхней Волги, верховья р. Камы, р. Вятка относятся к району с годом нарушения стационарности 1978, реки бассейна Нижней Волги и большая часть бассейна р. Камы – к району с годом нарушения 1985. Это свидетельствует о том, что реакция водосборов рассматриваемой территории, выражающаяся в изменении режима минимального стока, на изменения климатических характеристик неодинакова. Очевидно, что западная часть всего бассейна р. Волги (в соответствии с преобладающим направлением переноса воздушных масс над этой территорией) является более чувствительной к изменениям стокоформирующих факторов и быстрее на них реагирует.

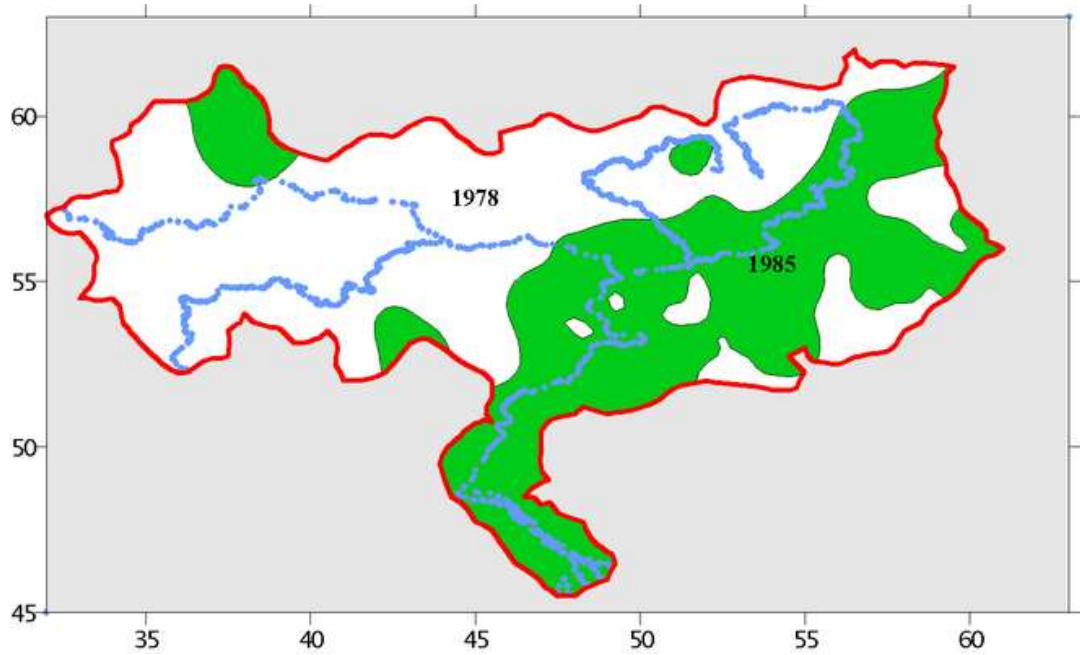


Рисунок 4.9 – Распределение по территории бассейна р. Волги даты нарушения стационарности в рядах минимального стока за зимний период

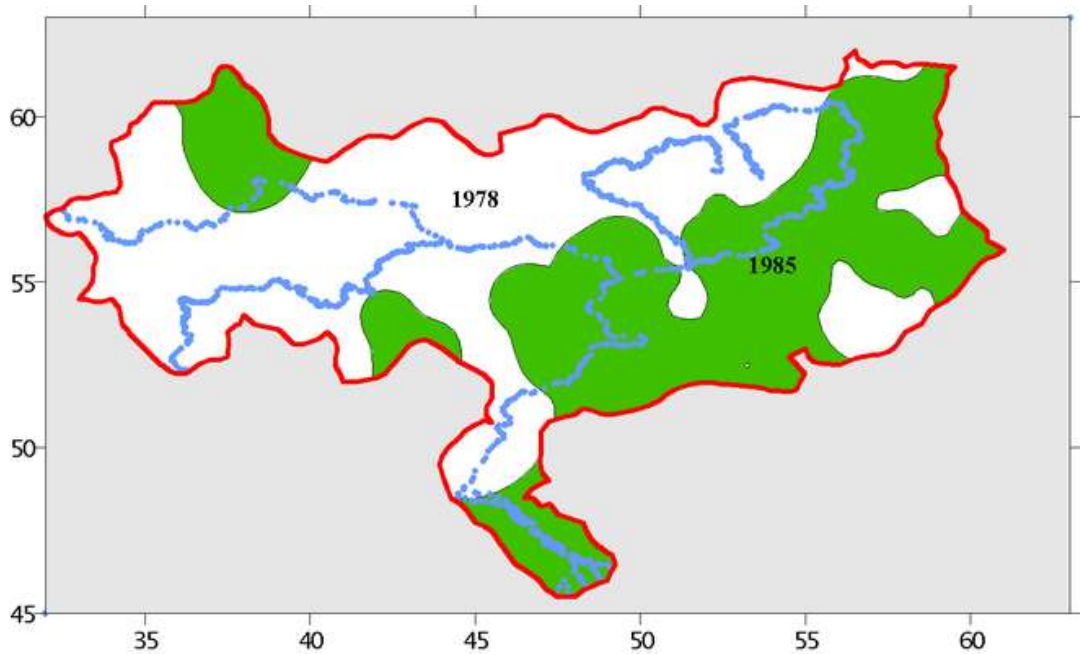


Рисунок 4.10 – Распределение по территории бассейна р. Волги даты нарушения стационарности в рядах минимального стока за период открытого русла

В диссертации выполнены исследования статистической структуры временных рядов 30ти-суточного минимального стока рек бассейна р. Волги с целью изучения изменений параметров функции распределения вероятности при обнаруженной нестационарности в рядах. Каждый ряд был разбит на две части – наблюдения до и наблюдения после даты нарушения стационарности в рядах – и обрабатывался по частям. Согласно полученному районированию (рисунки 4.9-4.10), для рек, попадающих в один из выделенных районов, назначалась своя дата разбиения – 1978 или 1985 год. Таким образом, были получены статистические характеристики рядов: средний многолетний расход, коэффициенты вариации и асимметрии. Результаты расчетов для каждого ряда и его частей представлены в Приложении 6.

Для всех рассматриваемых рек была выполнена оценка изменения среднего минимального стока по отношению к среднему за предшествующий период (до даты смены фазы водности) (Болгов и др., 2014).

Изменение среднего многолетнего 30ти-дневного расхода в долях и приращение модуля минимального стока Δq относительно предыдущего периода представлены в Приложении 7. Здесь коэффициент K – безразмерная величина, представляющая собой отношение среднего многолетнего 30ти-дневного расхода за период после даты разбиения (1978 г. или 1985 г.) к среднему многолетнему 30ти-дневному расходу за предыдущий период.

Для того, чтобы наглядно оценить масштабы и пространственную неоднородность изменений минимального стока относительно предыдущего периода, полученные значения коэффициента K нанесены на карту бассейна р. Волги (рисунки 4.11-4.12.)

Осредненные по гидрографическим районам величины изменения характеристик минимального стока относительно предыдущего периода (K) представлены в таблице 4.1.

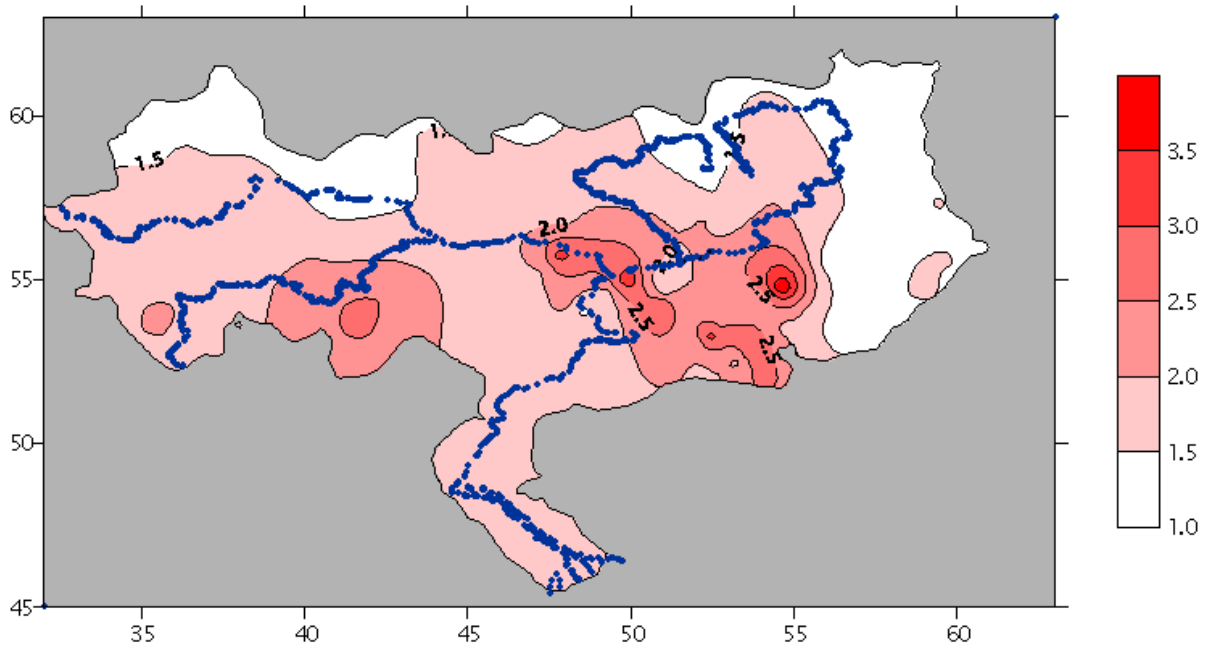


Рисунок 4.11 – Увеличение среднего минимального 30ти-дневного расхода относительно предыдущего периода на территории бассейна р. Волги за зимний период

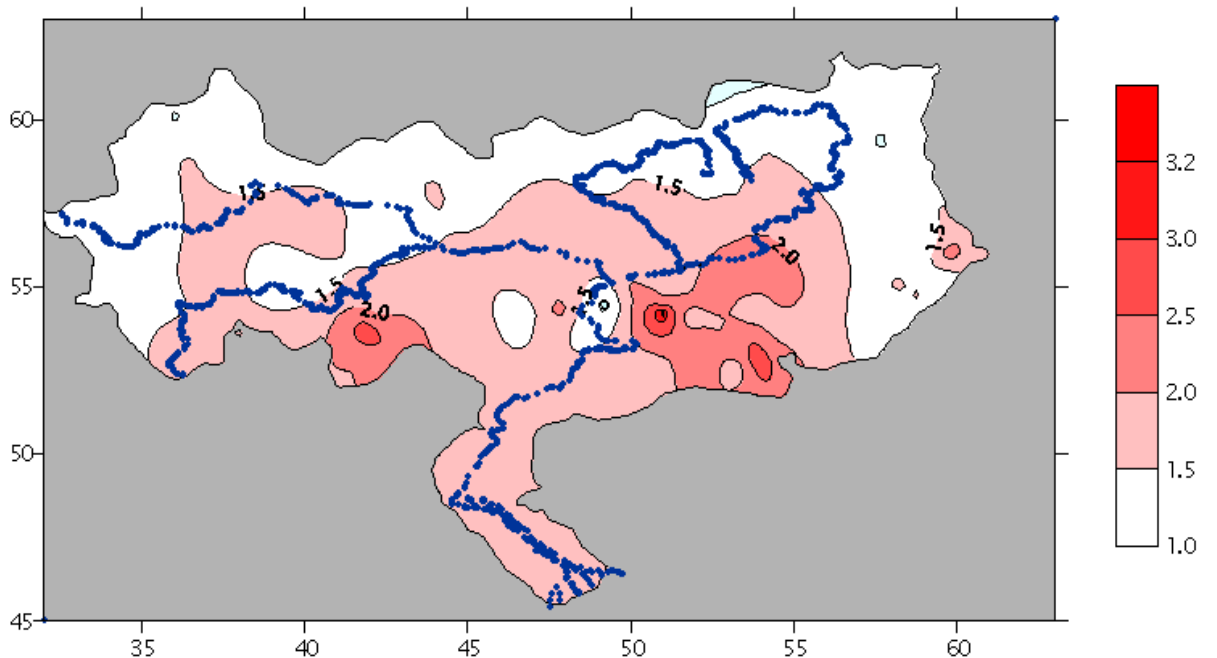


Рисунок 4.12 – Увеличение среднего минимального 30ти-дневного расхода относительно предыдущего периода на территории бассейна р. Волги за период открытого русла

Таблица 4.1 – Средние по районам величины изменения минимальных характеристик стока

| Район | Зимний период | | Летне-осенний период | |
|-----------------|---------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| | K | Δq , л/с км ² | K | Δq , л/с км ² |
| Верхняя Волга | 1.36 | 1.02 | 1.27 | 0.91 |
| Бассейн р. Камы | 1.63 | 0.56 | 1.39 | 0.58 |
| Нижняя Волга | 2.16 | 0.49 | 1.61 | 0.37 |

Полученные схемы свидетельствуют о том, что произошло увеличение минимального стока на всей исследуемой территории, причем наибольший рост отмечается в зимний период для всех районов (Болгов и др., 2014).

При этом можно отметить, что и зимой, и летом рост минимального стока в долях от среднего за предыдущий период наиболее интенсивен для южных частей бассейна, нежели для северных. В (Водные ресурсы, 2008) особо обращалось внимание на тот факт, что выявленные изменения меженного и минимального стока охватывают одновременно обширные территории; при этом величина этого изменения как мера реакции стока на нестабильность климатических процессов зависит от физико-географических условий и конкретных особенностей водосборов. Рассматривая изменения средних многолетних значений 30ти-суточных минимальных расходов по бассейну р. Волги, мы можем с определенной долей уверенности выделить два района по интенсивности этих изменений. Бассейн Верхней Волги и северная часть Камы и Вятки относятся к району с умеренным повышением минимального стока. Сюда же можно отнести бассейны рек Белая и Чусовая. Наиболее существенное увеличение минимального стока, согласно приведенным картам-схемам, отмечается в юго-восточной части бассейна (реки бассейна Нижней Волги и Камы). Стоит отметить, что расположение этих районов соответствует расположению районов по смене дат нарушения водности (рисунок 4.10–4.11).

Как известно, основной чертой современных изменений климата является рост температуры воздуха, причем интенсивность этого роста неодинакова в течение года. На территории России это явление наиболее ярко выражено в зимний период (Оценочный доклад, 2008). Оценка интенсивности роста средней температуры воздуха за холодный период (Болгов, Трубецкова и др., 2014) показала, что наиболее интенсивный рост температуры наблюдается на западе бассейна р. Волги и в его центральной части, а в направлении на юго-восток интенсивность зимнего потепления убывает. Следствиями роста зимних температур воздуха являются:

- а) увеличение доли осадков, выпадающих в жидком виде;
- б) увеличение числа и интенсивности оттепелей;
- в) увеличение питания грунтовых вод при продолжительных оттепелях,
- г) увеличение поверхностного притока в реку за счет растаявшего снега.

Все эти явления способствуют увеличению зимнего стока; кроме того, они также способствуют увеличению стока в летне-осеннюю межень благодаря увеличению запасов подземных вод за счет поступления талого снега в зимний период (Болгов, Трубецкова и др., 2014).

Проведенные в (Георгиевский и др., 2012) исследования минимального стока рек ЕТР подтверждают, что его рост в последние десятилетия обусловлен увеличением частоты и продолжительности оттепелей, уменьшением промерзаемости почвы. Как следствие, увеличилось питание грунтовых вод, повысился их уровень, и, соответственно, выросла доля подземного стока, которая обеспечивает базовое питание рек. В сложившейся ситуации были созданы благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод и увеличения их запасов в различных подземных горизонтах, в результате чего обозначилась тенденция

к повышению уровня подземных вод, а соответственно их запасов и возрастанию доли подземного стока в питании рек. Это относится к средним рекам, дренирующим основные водные горизонты (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012). По мнению коллектива авторов (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012), реки указанных выше районов по источникам питания и внутригодовому распределению стока относились ранее к категории рек преимущественно снегового питания, а в конце двадцатого века произошел их переход к категории рек со смешанным питанием или даже смешанным с преобладанием грунтового в соответствии с классификацией М.И. Львовича. Это привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока, по своему масштабу сопоставимому с влиянием водохранилищ сезонного регулирования. Сделанные выводы относятся к средним рекам, дренирующим основные водные горизонты (Водные ресурсы, 2008, Георгиевский и др., 2012).

Необходимо еще раз отметить, что по изменениям стока бассейн разделяется на две части. В одной из них, включающей бассейн Верхней Волги, резкие изменения меженного стока начали происходить с 1979 г., а в другой, и это, в основном, Нижняя Волга, «перелом» в ходе стока произошел в 1985 г. (Болгов и др., 2014). Несмотря на то, что изменения минимального стока охватывают одновременно обширные территории, величина этого изменения как мера реакции стока на изменения климатических характеристик неодинакова. Объяснение этому факту можно найти в особенностях гидрогеологического строения исследуемой территории. Согласно гидрогеологическому районированию В.С. Ковалевского, подземные воды в районе Верхней Волги характеризуются умеренным или обильным питанием (Ковалевский, 1974). Грунтовые воды здесь залегают неглубоко, реагируют быстро на климатические изменения, что, в свою очередь, выражается и в резком росте подземного питания рек. Нижняя Волга, включая междуречье Волги и Урала, расположена в зоне скудного

питания грунтовых вод, водообмен здесь более замедленный по сравнению с Верхней Волгой, и для проявления существенных изменений в подземном питании рек требуется более длительный период. Можно предположить, что существенные изменения однородности в рядах минимального стока проявились в этом районе в силу упомянутых причин позже, с задержкой на 6–7 лет. Проведенные в (Болгов и др., 2014) исследования позволяют говорить о выявленной связи изменений минимального стока рек в бассейне р. Волги с изменением климата, а в качестве основного климатического фактора роста стока зимней межени определен рост средних зимних температур.

Выводы

1. Проведенные исследования позволили установить факт нарушения стационарности (однородности) для большинства рядов 30ти-суточного минимального стока на территории бассейна р. Волги, относящийся к разным годам.
2. Полученные карты-схемы дают основание выделить два района с примерно одинаковой датой смены фазы водности. Эти районы различаются также по интенсивности наблюдаемых изменений минимального стока. Районирование бассейна по дате смены фаз водности согласуется с представлениями о формировании подземного стока.
3. Рассчитанные характеристики изменения среднего многолетнего 30ти-суточного расхода указывают на повсеместное увеличение минимального стока на исследуемой территории. Пространственное распределение этих изменений подтверждает ведущую стокоформирующую роль климатических характеристик.

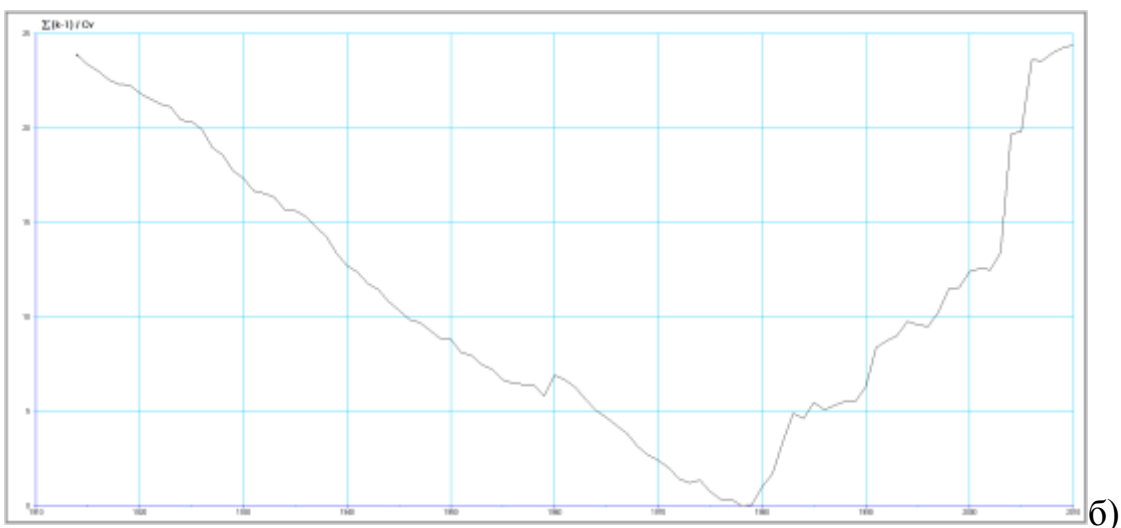
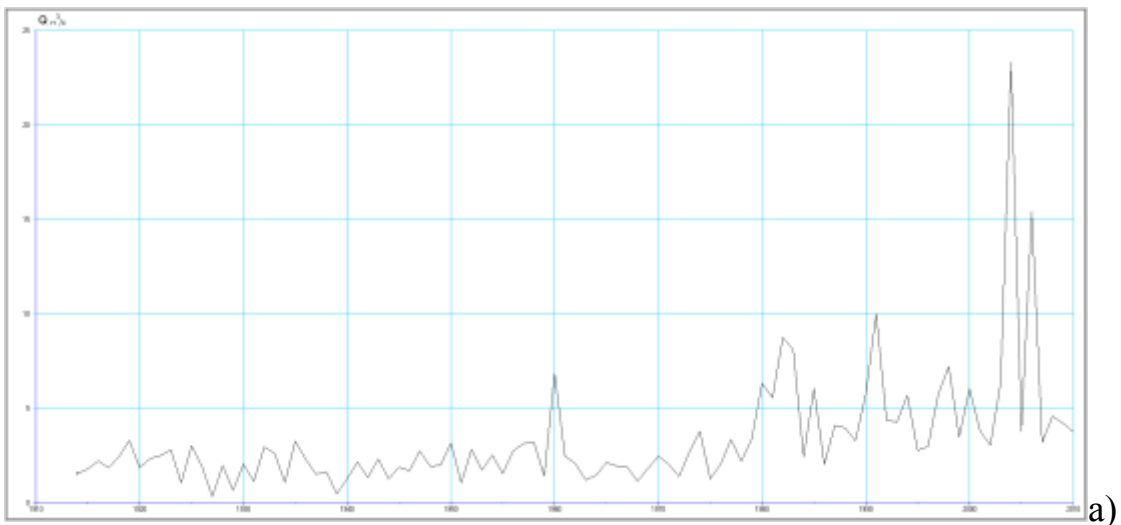
4.3 Влияние изменения режима стока на параметры регулирования водохозяйственными системами

Традиционная задача регулирования речного стока в условиях работы, например, одиночной водохозяйственной установки, заключается в определении полезной емкости водохранилища по заданному графику водопотребления и расчетной обеспеченности, или наоборот (по отдаче рассчитать емкость водохранилища). Поскольку речной сток представляет собой случайный процесс, то требование обязательного удовлетворения на весь период эксплуатации заданного графика потребления воды или энергии со стопроцентной гарантией выполнить невозможно (Кумсиашвили, 1987). В связи с этим и возникло понятие расчетной обеспеченности водопользования. Расчетная обеспеченность является мерой надежности работы любой водохозяйственной установки и нормируется в зависимости от категории водопользователей (Кумсиашвили, 1987). Она представляет собой отношение числа бесперебойных лет к общему числу лет, при этом подразумевается стационарность процессов стока и, соответственно, графиков потребления воды и энергии. На изменение расчетной обеспеченности отдач могут оказывать влияние многие факторы, в том числе и изменение регулирующих возможностей энергосистемы вследствие изменения притока.

При проектировании развивающихся водохозяйственных систем и управлении уже созданными также требуется надежное определение расчетной обеспеченности гарантированных отдач их водохранилищ. Известно, что в задачах регулирования приток к водохранилищу обычно рассматривается как n -мерный, марковский, эргодический, случайный процесс с дискретным временем. Если процесс стока, притекающего к водохранилищу, не является стационарным, то режим наполнения и опорожнения водохранилища становится статистически неустановившимся. В результате произошедших климатических изменений данные наблюдений за стоком и гидрологическими процессами теряют однородность, и их

непосредственное использование при проектировании и эксплуатации водохозяйственных систем становится неправомерным, особенно если решается задача эксплуатации системы в условиях изменения характеристик стока, на основе которых в недалеком прошлом осуществлялось проектирование.

В качестве иллюстрации на рисунках 4.13-4.14 рассмотрены хронологические графики притока в Москворецкую ВХС в створе плотины Можайского гидроузла за два месяца зимней межени - январь и февраль. Также представлены разностно-интегральные кривые и кривые обеспеченности. Рисунки демонстрируют изменение режима притока – смену фазы пониженной водности на фазу повышенной водности в 1978– 80 гг., что существенным образом отражается на форме кривой обеспеченности, вызывая затруднения в аппроксимации ее стандартными приемами.



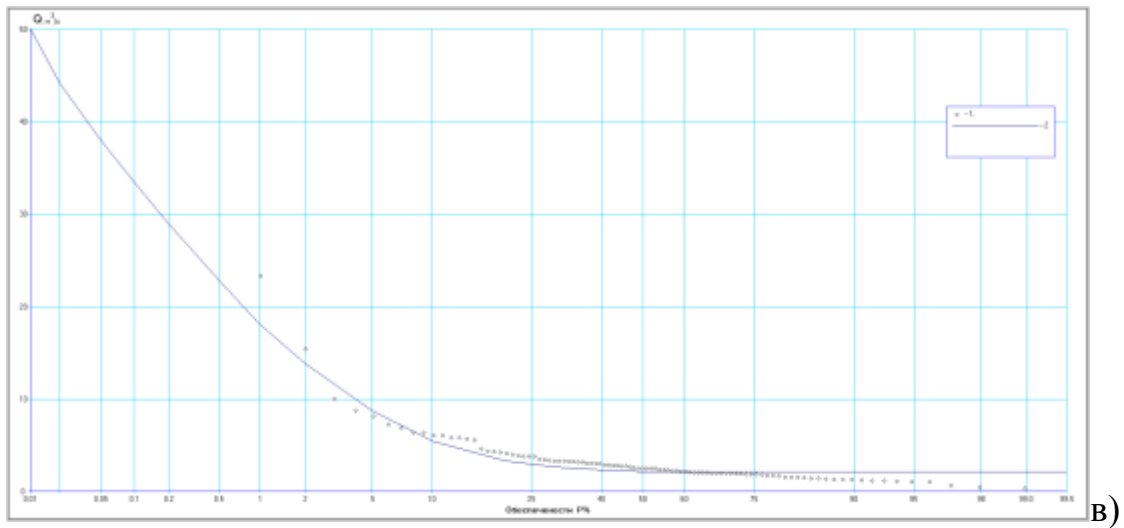
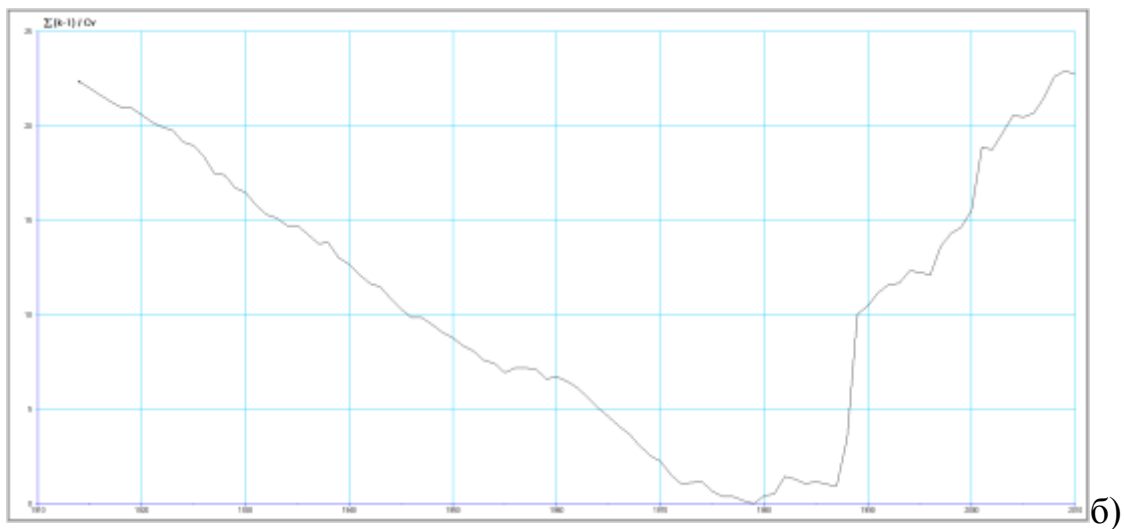
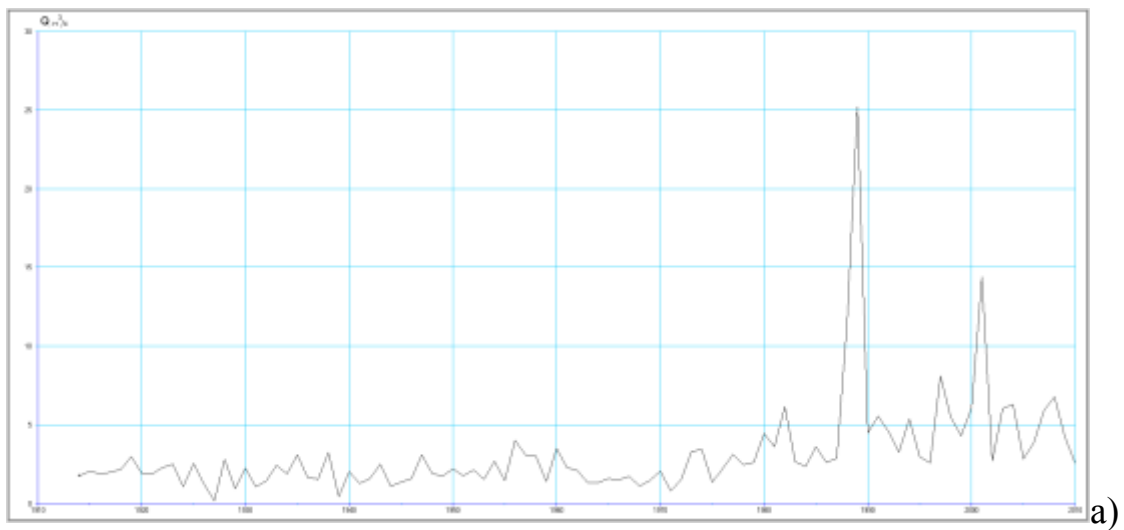


Рисунок 4.13 – Приток воды в Москворецкую ВХС в створе плотины Можайского гидроузла за 1914/15-2010/11 гг. в январе а) хронологический график, б) разностно-интегральная кривая, в) кривая обеспеченности.



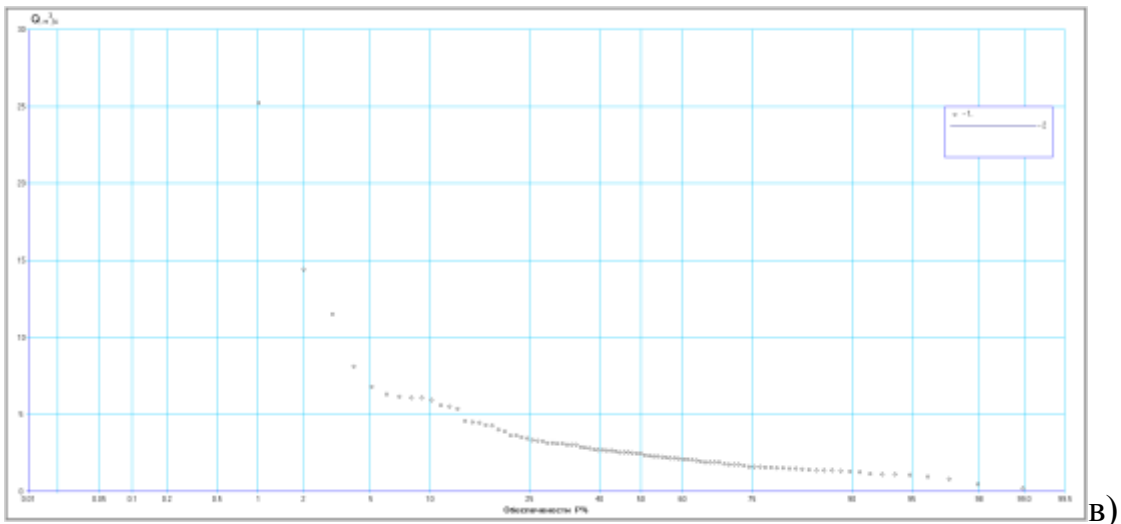


Рисунок 4.14–Приток воды в Москворецкую ВХС в створе плотины Можайского гидроузла за 1914/15-2010/11 г. в феврале а) хронологический график, б) разностно-интегральная кривая, в) кривая обеспеченности

Следовательно, в данном конкретном случае и в ряде подобных ему значения гарантированной отдачи гидроузлов и их расчетные обеспеченности целесообразно пересматривать с изменением условий в системе (Резниковский, 1989).

Возможность антропогенного воздействия на систему предусмотрена в СНиПе. В этом случае рекомендуется восстанавливать сток до условно-естественных значений (Свод правил, 2004). Рекомендации на случай существенных изменений притока вследствие климатических изменений пока не разработаны. В этой связи было бы интересно посмотреть на изменение характеристик регулирования системой водохранилищ под действием произошедших гидрометеорологических изменений.

Для решения этой задачи была использована модель притока к Москворецкой системе водохранилищ с использованием данных о среднемесячных расходах в створах Верхневолжской плотины (г. Старицы) Ивановского гидроузла, а также значениях среднемесячных расходов р. Истра в створе плотины Истринского гидроузла, р. Москвы в створе плотины Можайского гидроузла, р. Озерны в створе плотины Озернинского

гидроузла, р. Рузы в створе плотины Рузского гидроузла и объемах боковой приточности от створов этих плотин до створа плотины Рублевского гидроузла за период 1914–2010 гг. Данные любезно предоставлены А.Е. Асариным (Гидропроект). Был рассчитан приток к Рублевскому гидроузлу по 5 участкам водосборной площади и получены ряды дефицитов полезного объема с 1914 по 2010 годы. В соответствии с выводами главы 3.4, полученные ряды были разделены на 2 части соответственно смене фаз водности в рассматриваемом регионе – до и после 1978 года. Кривые обеспеченности этих рядов представлены на рисунке 4.15.

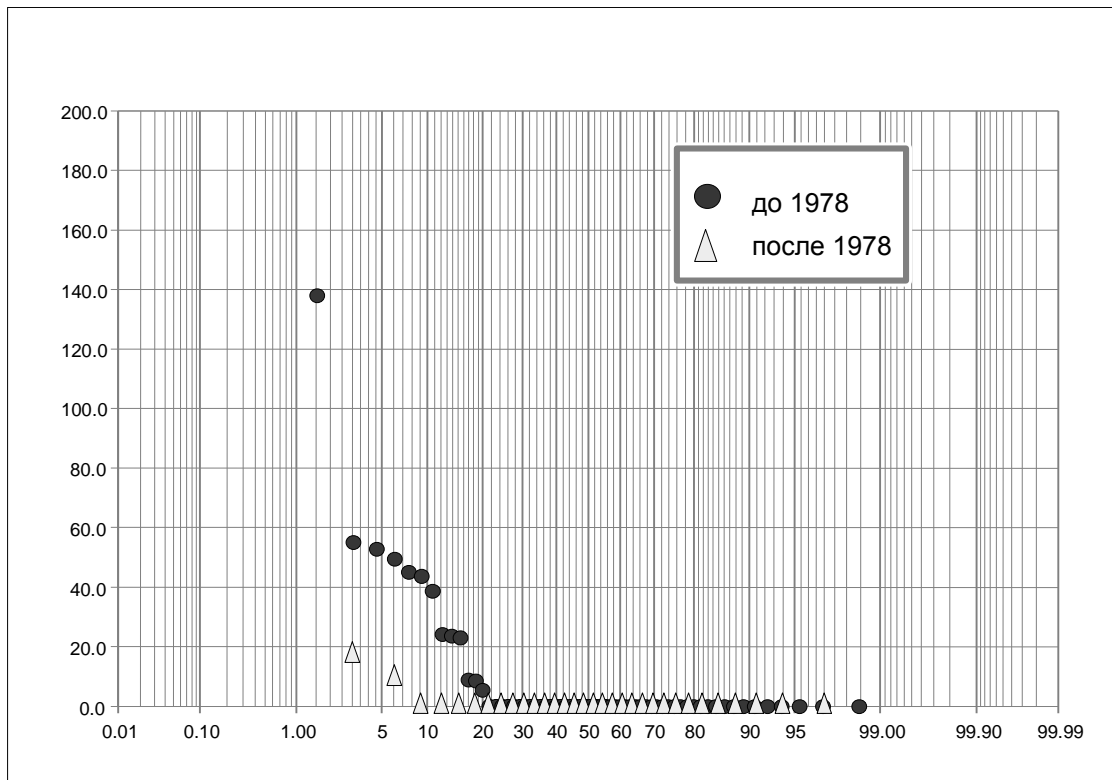


Рисунок 4.15 – Кривые распределения дефицитов воды за периоды "до" и "после" 1978 г.

Рисунок наглядно демонстрирует существенные изменения параметров кривых обеспеченности дефицитов полезного объема относительно периода до 1978 года. Очевидно, что в последние десятилетия произошло увеличение естественного регулирования стока вследствие наблюдаемых климатических изменений.

Изменения режима притока приводят к соответствующей статистической неоднородности рядов дефицита воды, что влечет за собой изменение статистических характеристик регулирования стока. Это, в свою очередь, требует разработки новых методов, в которых гипотеза стационарности не является обязательной или имеется возможность учета нестационарности в имеющихся последовательностях.

Выводы

1. Факт нарушения стационарности (однородности) для большинства рядов 30ти-суточного минимального стока на территории бассейна р. Волги, относящийся к разным годам, имеет генетическое обоснование. Существенные изменения межennaleго стока рек бассейна Волги охватывают значительные территории, что объясняется произошедшими региональными климатическими изменениями.

2. Кривые распределения вероятностей дефицитов полезного объема, полученные для Москворецкой системы водоснабжения за два последовательных периода времени, демонстрируют существенные различия как следствие наблюдаемых изменений притока.

3. Значительное изменение параметров ФРВ минимального стока на коротком временном отрезке и подтвержденный факт нарушения стационарности в рядах не позволяет далее рассматривать колебания минимального стока в рамках гипотезы стационарности.

5. Расчет вероятных изменений характеристик гидрологического режима водных объектов в бассейне р. Волги в условиях нестабильности климата

5.1 Постановка задачи

Анализ изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга показывает, что примерно с начала 80-х годов произошли существенные изменения в режиме питания рек. Минимальный сток вырос на всех реках Волжского региона, и характер его колебаний во времени не позволяет использовать для его описания гипотезу стационарности. Это требует рассмотрения новых стохастических моделей пригодных для описания выявленного нестационарного процесса.

В настоящее время в инженерной гидрологии известен ряд рекомендаций по вероятностному моделированию распределений минимального стока (Свод правил, 2004). Однако применение существующих методов имеет ряд недостатков. Связано это как с проблемами информационного характера (ограниченность гидрометеорологических данных), генетической неоднородностью рядов, так и со сложностью использования математических моделей в меняющихся климатических условиях. В современных условиях потепления климата необходимо рассмотрение подходов, которые, развивая идеологию существующих нормативов, позволяют получать более надежные оценки водных ресурсов. В частности, применительно к нестационарным условиям, решить некоторые задачи можно путем использования новых подходов к аппроксимации законов распределения гидрологических характеристик.

5.2 Возможность применения метода «суммы распределений» к расчету минимального стока

Визуальный анализ хронологических графиков минимального стока показывает, что для описания рядов возможно использовать не только модель линейного тренда, но и модель ступенчатого перехода от одного стационарного состояния к другому. Эти виды моделей отражают различия физических механизмов, действующих в системе. Трендовые изменения имеют место в слабоинерционной равновесной системе, которая быстро откликается на внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений характеризует неравновесную систему, которая может компенсировать внешние воздействия до тех пор, пока они не превысят порогового значения, после чего система не переходит на новый часто квазистационарный уровень. Стационарный временной ряд может быть частным случаем как равновесной, так и неравновесной системы. В первом случае это проявление внешних случайных воздействий, во втором – период стабильного состояния, пока величина внешнего воздействия не превысила критический уровень. Несмотря на то, что в (Водные ресурсы, 2008) получены статистически значимые тренды для таких рядов, эта модель имеет ряд недостатков: точка начала отсчета и продолжительность выбранного периода сильно влияет на тренд и даже на его знак. Кроме того, модель линейного тренда не позволяет определить границы периодов с общими статистическими характеристиками. Выделение таких границ позволило бы обосновать выбор типа модели наилучшим образом.

Имеющиеся в нашем распоряжении ряды минимального стока обладают разными состояниями равновесия. Нужно ли в таком случае подбирать один закон распределения для всей выборки, или достаточно двух плотностей для каждого состояния? Если мы полагаем, что климат существенно изменился, например, в сторону потепления, и возврата к прошлому состоянию не будет, то вполне достаточно аппроксимировать

эмпирическую кривую распределения стока за последний условно-стационарный период и использовать эту модель для оценки расчетных прогнозных характеристик в обозримом будущем (на 20–30 лет вперед).

Однако, как отмечено выше, нет оснований утверждать, что климатическая система не вернется в одно из предыдущих состояний в силу естественной долгопериодной изменчивости, и мы, например, никогда больше не будем наблюдать в бассейне р. Волги, катастрофического затяжного маловодья 30-х годов, вероятность которого в Марковском стационарном приближении оценивается как один раз в 900–1000 лет (Болгов и др., 2009). Поскольку при обосновании водохозяйственных проектов необходимо учитывать вероятность появления всех событий, лимитирующих функционирование создаваемых технических систем, необходимо при оценке расчетных характеристик учесть нестационарный характер временных рядов. Для решения этой задачи на основе полученных результатов для описания минимального стока была предложена следующая гипотеза. Поскольку полученные даты смены фазы водности делят ряды на условно-однородные части, имеющие свои статистические характеристики и законы распределения, это позволяет считать каждую из этих частей реализацией стационарного процесса. Тогда вместо одной продолжительной выборки можно рассматривать два условно стационарных участка, отвечающих различным состояниям гидролого-климатической системы (каждый из которых может повториться в будущем).

Действующие нормативные документы регламентируют процедуры определения расчетных гидрологических характеристик, в том числе и в случаях нарушения однородности временных рядов. Один из рекомендуемых подходов, приемлемый в нашем случае, основывается на идее построения закона распределения исследуемой характеристики в виде суммы двух законов распределения, где каждое слагаемое входит с определенным весом. Предлагаемая модель имеет название «смесь распределений», что означает

присутствие в одной выборке случайных величин, имеющих различные механизмы формирования (происхождения). Классическим примером является выборка наибольших в году максимальных расходов воды в том случае, когда в одни годы максимум формируется за счет снеготаяния, а в другие – за счет выпадения дождевых осадков. Выборка наибольших значений включает в этом случае генетически неоднородные величины и требуется отдельная обработка для каждой однородной компоненты. Иногда максимальные расходы паводков сложно разделить по генезису, и тогда приходится либо использовать усеченные распределения, либо привлекать опять же смесь распределений, причем желательно, чтобы компоненты этой смеси были существенно различными по типу, поскольку возникает проблема устойчивости параметров ввиду ограниченности имеющихся выборок.

Для того, чтобы успешно применить предлагаемую модель, была предложена гипотеза, основанная на выводах главы 3. Исследуемый ряд значений минимальной водности делится на два условно-стационарных участка относительно полученной смены фазы водности (1978 или 1985 г.). Каждая из этих двух частей имеет свою ФРВ и статистические характеристики, что позволяет рассматривать их как самостоятельные реализации стационарного процесса. Таким образом, вместо одной продолжительной выборки рассматриваются два условно-стационарных участка, отвечающие различным состояниям гидролого-климатической системы, при этом для каждого участка эмпирическая кривая обеспеченности удовлетворительно аппроксимируется одним из стандартных законов распределения (Болгов и др., 2014, Volgov et al., 2014).

5.3 Построение закона распределения на основе суммы двух плотностей

Для каждого условно-стационарного участка подбирается закон распределения (кривая обеспеченности); расчетная кривая обеспеченности

для всего ряда строится как сумма двух законов распределения с весами, пропорциональными длинам выборок. В таком случае для плотности распределения $f(x)$ и кривой обеспеченности $P(x)$ справедливы следующие выражения.

$$f(x) = \lambda_1 f_1(x) + \lambda_2 f_2(x) \dots\dots\dots (5.1)$$

$$P(x) = 1 - \int_0^x f(x) dx = 1 - \int_0^x [\lambda_1 f_1(x) + \lambda_2 f_2(x)] dx \dots\dots\dots (5.2)$$

где $f_1(x)$ – закон распределения (плотность) для первого условно однородного периода; $f_2(x)$ – то же для второго условно однородного периода; для аппроксимации $f_1(x)$ и $f_2(x)$ используется логарифмическая модификация распределения Пирсона III типа (2.11); λ_1 и λ_2 – весовые коэффициенты, определяемые в следующем виде

$$\lambda_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}, \dots\dots\dots (5.3)$$

где n_1 и n_2 – продолжительность (длина ряда) первого и второго условно однородного периода соответственно. Можно задать λ_1 и λ_2 и из других соображений, но для сохранения вероятностного смысла формулы (5.1) необходимо выполнение условия

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1 \dots\dots\dots (5.4)$$

Задавая веса в формуле (5.1) с помощью соотношений (5.3) мы сокращаем число определяемых параметров. Задача оценивания параметров распределения (5.1) сводится в таком случае к отдельному оцениванию параметров для каждой компоненты. Расчетная кривая обеспеченности строится путем численного интегрирования (5.2) при всех известных параметрах отдельных компонент и заданных весовых коэффициентах. Задание весовых коэффициентов пропорционально имеющимся объемам выборок (5.3) достаточно вынужденная мера, поскольку решение зависит от

имеющихся данных наблюдений. При вероятностном прогнозировании стока более целесообразно исходить из представлений о длительности условно-однородных периодов, определяемой по всей совокупности гидролого-климатических данных в исследуемом регионе.

Результаты расчетов вероятных изменений характеристик минимального стока за зимний и летне-осенний периоды на перспективу в виде ординат кривых обеспеченности представлены в Приложении. Примеры аппроксимации кривых обеспеченности минимального стока в нестационарном случае на основе смеси распределений для ряда рек в бассейне Волги приведены на рисунках 5.1-5.11. На этих рисунках приведены эмпирические и теоретические (ЛРП III) кривые обеспеченности изучаемых характеристик первого и второго условно-стационарных периодов, эмпирическая кривая обеспеченности для всего ряда и кривая распределения, полученная в виде суммы распределений (Болгов, Трубецкова и др., 2014).

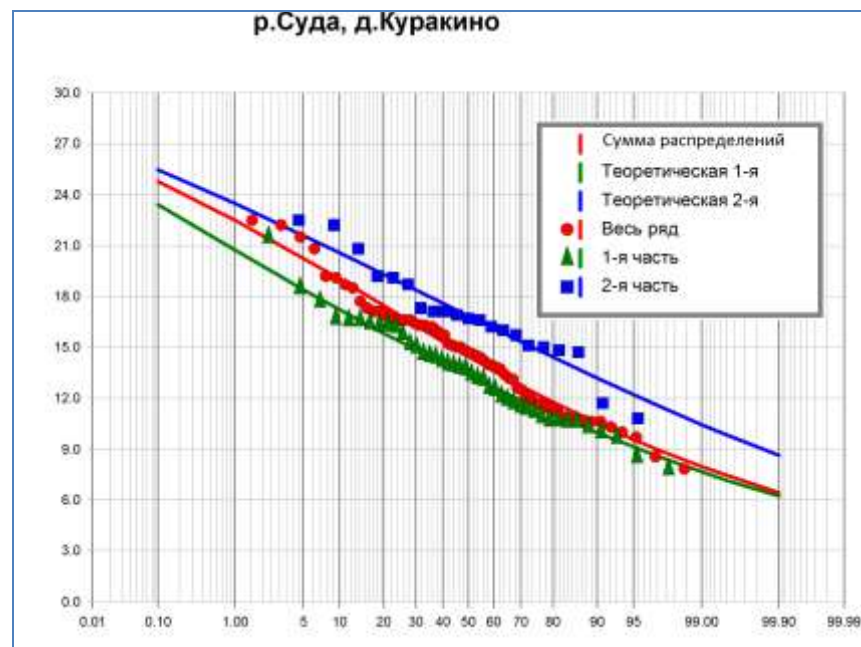


Рисунок 5.1 – Кривые обеспеченности минимального стока за зимний период (р. Суда – д. Куракино)

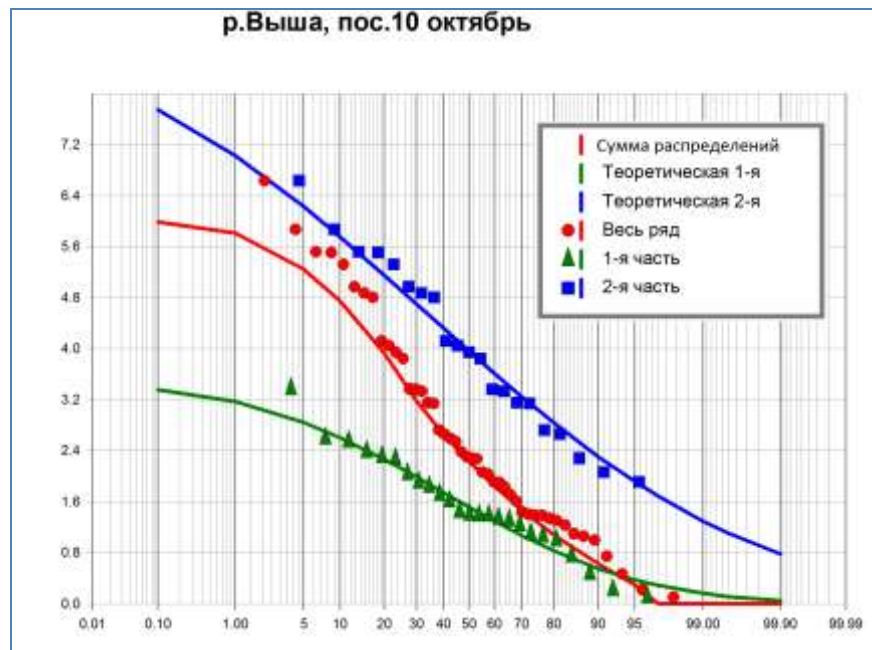


Рисунок 5.2 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Выша – пос. 10 октябрь)

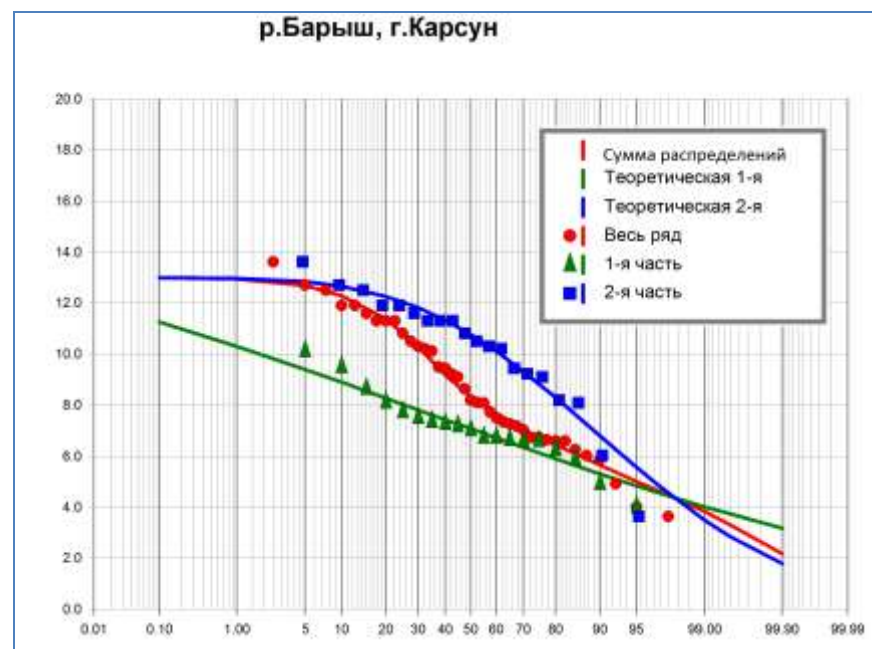


Рисунок 5.3 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Барыш – г. Карсун)

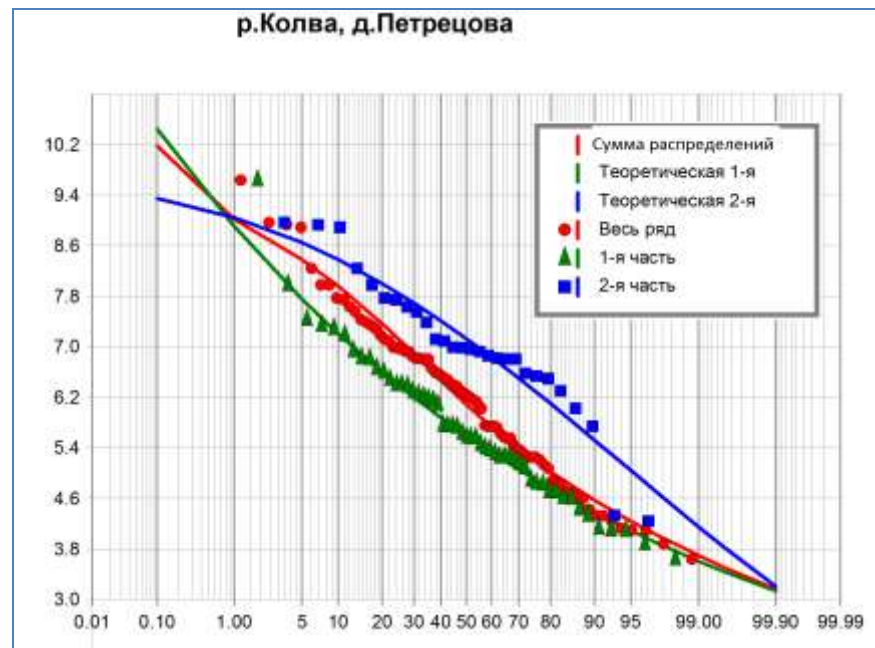


Рисунок 5.4 – Кривые обеспеченности минимального стока за зимний период (р. Колва – д. Петрецова)

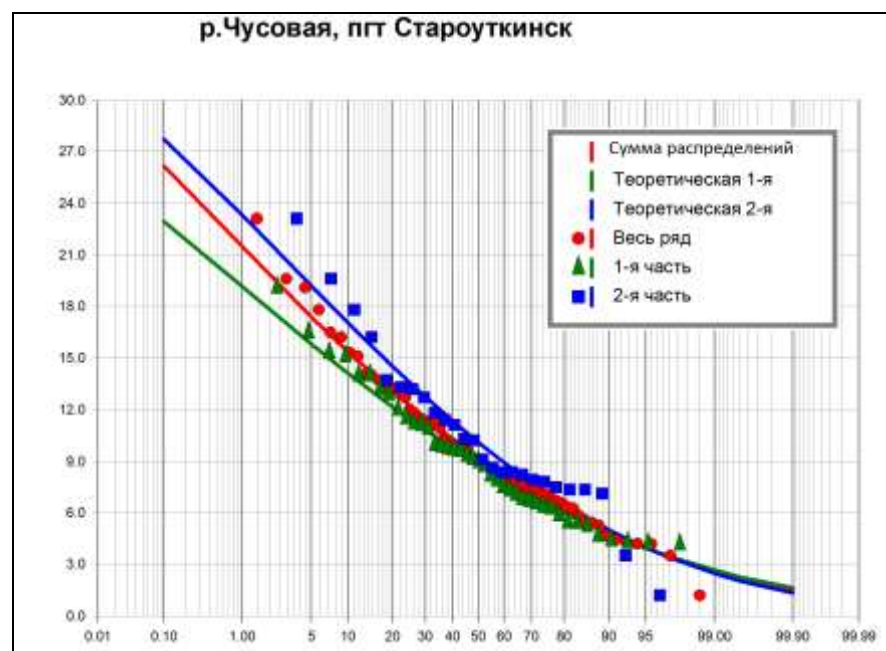


Рисунок 5.5 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Чусовая – пгт. Староуткинский)

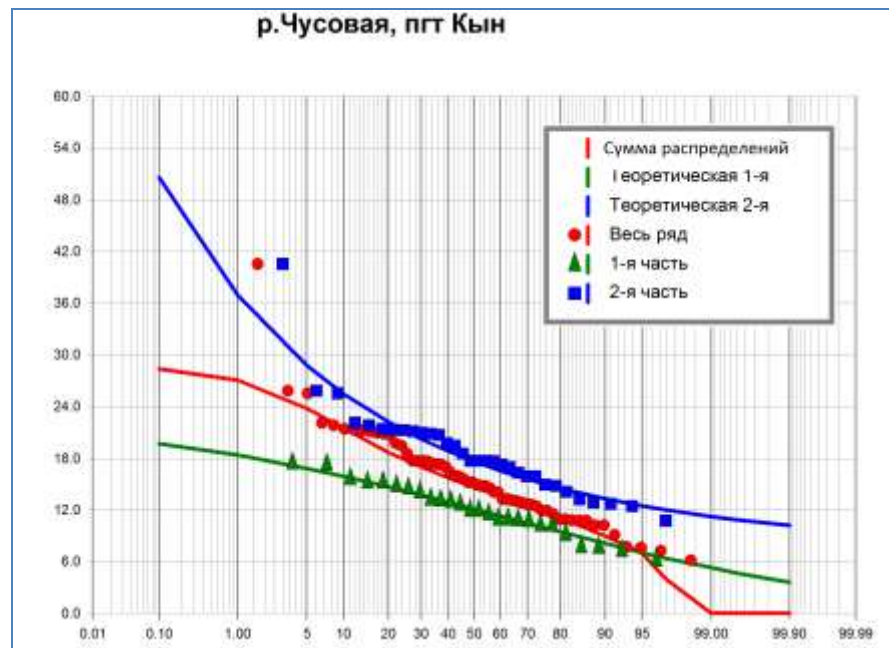


Рисунок 5.6 – Кривые обеспеченности минимального стока за зимний период (р. Чусовая – пгт. Кын)

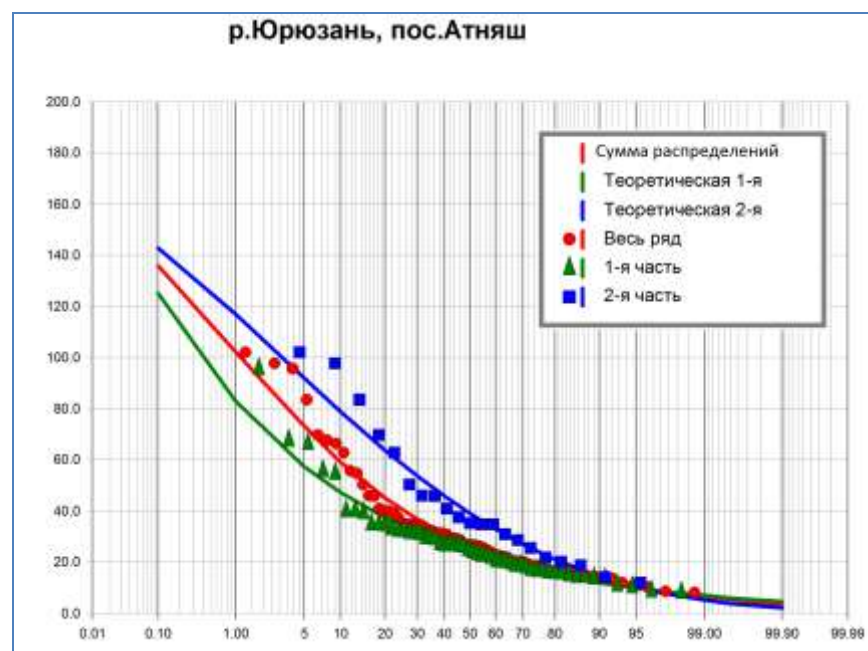


Рисунок 5.7 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Юрюзань – пос. Атняш)

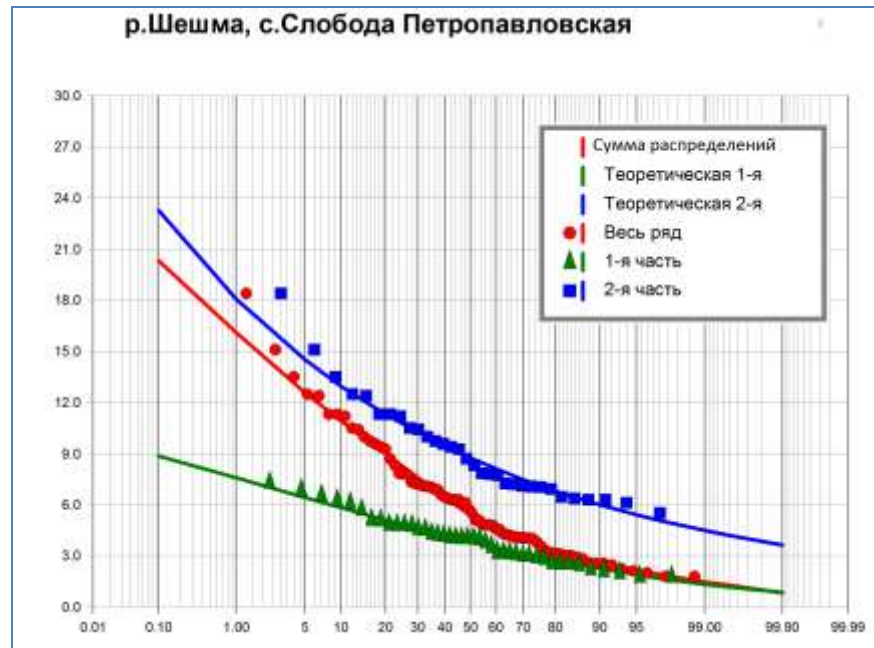


Рисунок 5.8 – Кривые обеспеченности минимального стока за зимний период (р. Шешма – с. Слобода Петропавловская)

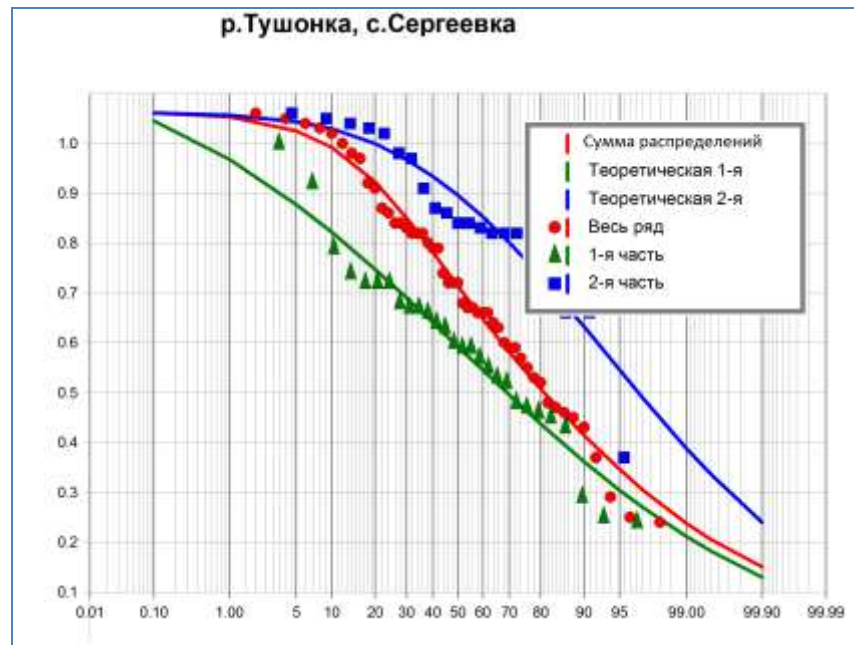


Рисунок 5.9 – Кривые обеспеченности минимального стока за зимний период (р. Тушонка – с. Сергеевка)

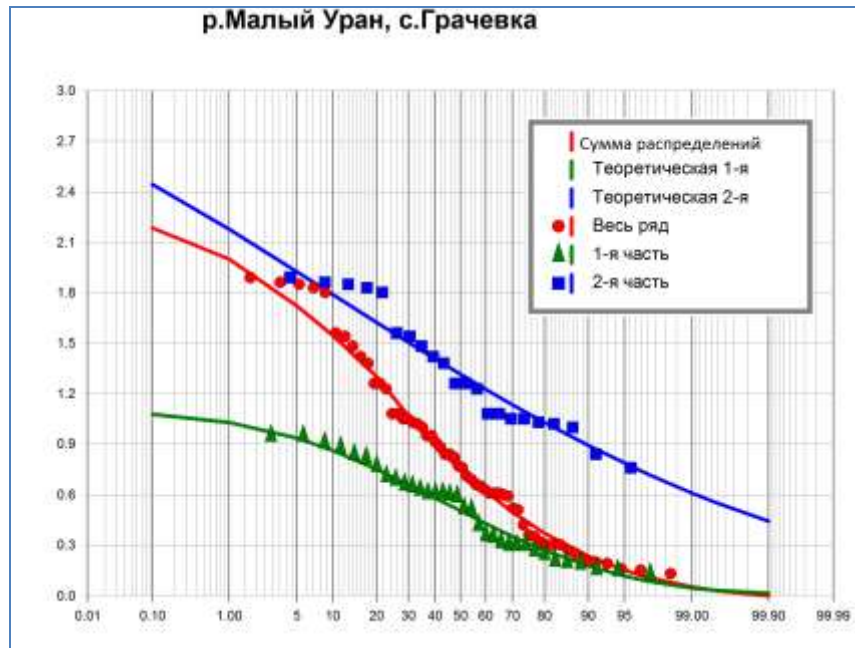


Рисунок 5.10 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Малый Уран – с. Грачевка)

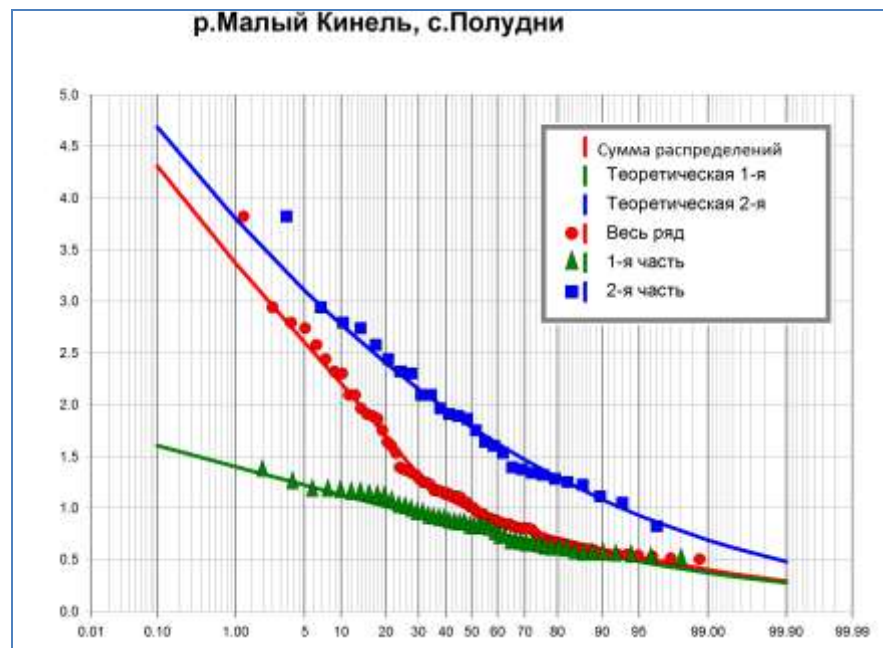


Рисунок 5.11 – Кривые обеспеченности минимального стока за летне-осенний период (р. Малый Кинель – с. Полудни)

Выводы.

1. В результате анализа временных последовательностей минимального стока установлено, что характер его колебаний в условиях климатических

изменений может рассматриваться как смена условно-однородных режимов, а распределение даты перехода по территории подчиняется зональным закономерностям в увязке с особенностями гидрогеологического режима бассейнов.

2. Для описания нестационарных колебаний минимального стока принята гипотеза смены условно - однородных состояний и предложена вероятностная модель (схема моделирования) в виде смеси распределений, позволяющая аппроксимировать неоднородные распределения.

Заключение

В результате проведенного исследования изменений пространственно-временных характеристик минимального стока в условиях нестабильного климата были сформулированы следующие выводы, представляющие собой защищаемые положения:

1. На примере рек ЦЧО получены устойчивые территориально общие оценки параметров распределения минимального стока в пределах условно стационарного периода (до 1985 г). В качестве теоретического распределения рекомендовано распределение Гумбеля.

2. Для описания рядов продолжительности маловодных периодов, полученных с помощью «порогового» метода, наилучшим является распределение Вейбулла. В пределах условно стационарного периода территория ЕТР являлась однородной с точки зрения статистических характеристик продолжительности дефицитных периодов.

3. Выявлены существенные изменения статистических характеристик минимального стока за последние 30 лет в условиях происходящего потепления климата на территории ЕТР. Установлен факт анизотропии полей межennaleго и минимального стока, что подтверждает предположение об асинхронности многолетних колебаний межennaleго и минимального стока на территории ЕТР. Показано, что пространственная связность стока определяется в значительной степени пространственной связностью температуры воздуха за зимний период.

4. На основе модифицированного алгоритма анализа матрицы парных корреляций показано изменение границ районов с синхронными колебаниями сезонного и минимального стока, произошедшие в последние десятилетия.

5. В результате анализа статистической структуры рядов обнаружено нарушение стационарности в рядах минимального стока и сделан вывод о

климатической обусловленности изменения гидрологического режима на исследуемой территории, что не позволяет далее рассматривать колебания минимального стока в рамках гипотезы стационарности.

6. Расчет притока к Москворецкому гидроузлу за 1915-2010 гг. и анализ полученных рядов дефицита показал, что в последние десятилетия вследствие наблюдаемых климатических изменений произошло увеличение естественного регулирования стока. Это означает, что методы расчета характеристик водохозяйственных систем требуют корректировки ввиду изменения режима притока.

7. В качестве основы для методики расчета минимального стока в условиях нестабильности климата предложена модель описания его колебаний в виде смены условно-стационарных периодов, отражающих смену гидролого-климатических состояний.

8. Для расчета минимального стока в нестационарных условиях, позволяющих учитывать все значения, лимитирующие надежное функционирование водохозяйственных систем, предложен метод «суммы распределений», позволяющий наилучшим образом описать имеющиеся нестационарные последовательности. Используя этот метод, вычислены расчетные обеспеченности минимального стока для 122 рек, расположенных в бассейне р. Волга.

Полученные результаты в целом свидетельствуют о том, что в условиях происходящего в настоящий момент изменения климата и сопутствующего ему изменения гидрологического режима рек поиск новых подходов и методов расчета минимального стока должен быть сосредоточен в области вероятностных моделей, позволяющих учитывать наблюдаемые и возможные состояния гидролого-климатической системы.

Литература

1. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 363 с.
2. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л. Безопасность водопользования в условиях маловодий//Водное хозяйство России, 2011. –№6. –С.6-17.
3. Амусья А.З., Ратнер Н.С., Соколов Б.Л. Минимальный сток рек: состояние и перспективы исследований.//Труды ГГИ, 1991. – вып.355. – С.3–28.
4. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. – Л.:Гидрометеиздат,1960. – 327 с.
5. Андреев В.Г. Методические указания по расчетам внутригодового распределения стока при строительном проектировании. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 77 с.
6. Антонов Н.Д. Минимальный сток рек СССР.// «Тр.НИУ ГУГМС.Сер.4», 1941. – Вып.2. – С.65– 89.
7. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
8. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России. – СПб.: РГГМУ,2001. – 209 с.
9. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. – М.: Наука,1974. – 169 с.
10. Боголюбов С.Н., Богомазова З.П. Вертикальная зональность подземных вод как основной фактор формирования стока//«Метеорология и гидрология»,1955. – №6.– с.28-49.
11. Болгов М.В., Коробкина Е.А. Исследование закономерностей многолетних колебаний годового стока рек Сибири и Дальнего Востока// География и природные ресурсы, 2011. – № 2– С. 5-11.

12. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги//Метеорология и гидрология,2014. – №3. – С. 75-85.
13. Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. – М.:Наука, 2005. – 318 с.
14. Болгов М.В., Сарманов И.О. О стохастических связях в моделях речного стока// Метеорология и гидрология, 1992. – №6. – С.67-75.
15. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. – М.:2009. – 211 с.
16. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги//Водное хозяйство России, 2014. –№3. –С.83-99.
17. Болгов М.В., Филиппова И.А. Пороговые стохастические модели минимального стока//Метеорология и гидрология, 2006. – №3. – С.88-94.
18. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
19. Владимирова А.М. Минимальный сток рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат,1970. – 214 с.
20. Владимирова А.М. Сток рек в маловодный период года. – Л.:Гидрометеиздат,1976. – 295 с.
21. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло/под ред. А.Ш. Резниковского. – М.: Энергоатомиздат,1989. – 262 с.
22. Водные ресурсы России и их использование./ Под ред. проф. И. А. Шикломанова. – С.-Петербург:Изд-во ГГИ, 2008. – 587 с.
23. Волчек А.А., Грядунова О.И. Минимальный сток рек Беларуси. – Брест: БрГУ, 2010. – 169 с.
24. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы//Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем– М.:2012. – С.53-85.

25. Георгиади А.Г., Н.И.Коронкевич, И.С.Зайцева, Е.А.Кашутина, Е.А. Барабанова. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях речного стока реки Волги//Водное хозяйство России,2013. – №4–С.4-19.
26. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Климатические изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России по данным инструментальных наблюдений //Гидрологические последствия изменения климата: Труды Британско-Российской конф. – Барнаул: Изд-во «Пять плюс», 2009. – С. 169-174.
27. Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р.Алдан)// Метерология и гидрология, 2009. – №9. – С.92-99.
28. Гренджер К., Хатанака М. Спектральный анализ временных рядов в экономике. – М.:Статистика,1972. – 389 с.
29. Дерибизова С.В. Пространственная изменчивость весеннего стока в бассейне р.Волхов//Труды ГГИ,1979– № 259–С.54-57.
30. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Сафронова Т.И. Изменения режима и величины подземного стока рек Европейской территории России под влиянием нестационарного климата//Ресурсы подземных вод: современные проблемы изучения и использования: материалы междунар.научн.конф.к 100-летию со дня рождения Б.И.Куделина. – М.: МАКС Пресс,2010. – С.83-93.
31. Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. – М.:ГЕОС, 2011. – 660 с.
32. Дрозд В.В. Анализ однородности гидрологических рядов. – Минск: 1985. – 40 с.
33. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. – М.:Изд-во МГУ,1990. – 304 с.
34. Евстигнеев В.М., Акименко Т.А., Евсеева Л.С. Географические закономерности межгодовых колебаний речного

стока//Проблемы гидрологии и гидроэкологии. – М.: Географический факультет МГУ,1999. – Вып.1– С.95-118.

35. Евстигнеев В.М., Акименко Т.А. Климатические изменения водности рек центра Русской равнины в конце XX века//Современные глобальные изменения природной среды. – Научный мир, 2006. – Т.1. –С. 382-388.

36. Ефимович П.А. Вопросы водохозяйственных расчетов в гидрологии. – М.-Л.:ОНТИ НКТП,1936. – 320 с.

37. Жданова И.С., Раткович Д.Я. Автокорреляционные функции рядов годового стока и годового слоя осадков.//Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. – М.:Наука,1973. – С.104-118.

38. Жук В.А., Бovyкин И.В., Романова Е.А., Скорняков В.А., Фролова Н.Л. Условия формирования и изменчивость годового стока рек бассейна Волги// Труды V Всесоюзного гидрологического съезда, т.6. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С.420-429.

39. Жук В.А., Романова Е.А. Исследование однородности и анизотропности полей годового стока //Оценка ресурсов и качества подземных вод. – М.: Изд-во МГУ,1989. – С.49-55

40. Жук В.А., Романова Е.А. Об одном методе автоматической классификации гидрометеорологических величин//Вестник Московского университета, 1981. – Серия 5, №4. – С.33-38.

41. Жук В.А., Скорняков В.А. Оценка синхронности многолетних колебаний годового стока на основе анализа корреляционной матрицы//Расчеты речного стока (методы пространственного обобщения). – М: Изд-во МГУ,1989. –С.7-21.

42. Зекцер И.С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. – М.:Научный мир, 2012.–372 с.

43. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометиздат,1968. – 378 с.

44. Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные изменения водного режима рек бассейна Дона//Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление: сборник трудов первой открытой конференции Научно-образовательного центра. – М.:2011. – С.98-113.
45. Ковалевский В.С. Основы прогнозов естественного режима подземных вод. – М.: Строиздат, 1974. – 205 с.
46. Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. – М.: Наука, 1983. – 205 с.
47. Колпачева М.П. Об определении сезонного стока заданной обеспеченности при расчете внутригодового распределения стока рек ЦЧО//Сб. работ по гидрологии, 1970. – №9. – С.62-70.
48. Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчета речного стока. – Пермь: Изд-во Пермского университета, 2002. – 163 с.
49. Комлев А.М. Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири). – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 200 с.
50. Комлев А.М. Основные результаты расчета корреляционных связей зимнего стока с обуславливающими его факторами//Труды Новосибирск. регион. гидрометцентра, 1971. – Вып.4. – С.110-115.
51. Коробкина Е.А. Пространственные закономерности годового стока рек Сибири и Дальнего Востока//Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы Третьей Всерос. конференции с международным участием. – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С.399-403.
52. Кочерин Д.И. Низкие и наименьшие расходы воды на территории Европейской части СССР//Труды Московск. ин-та инженеров транспорта, 1929. – Вып.11. – С.67-85.
53. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф., Калинин Г.П., Быков В.Д. Об исследовании многолетних колебаний речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 125 с.
54. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: 1981. – 255 с.

55. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.:1982. – 271 с.
56. Кузнецова Л.П. Перенос влаги в атмосфере над территорией СССР. – М.: Наука,1978. – 92 с.
57. Кумсиашвили Г.П. Регулирование речного стока. Методические разработки по курсу лекций «Водохозяйственные расчеты». – М.:Изд-во МГУ, 1987. – С.47.
58. Курдов А.Г. Минимальный сток рек. – Воронеж: Изд-во Воронеж.ун-та,1970. –252 с.
59. Лобанова А.Г., Рождественский А.В. Пространственные корреляционные функции речного стока рек бассейна Днепра//Сборник работ по гидрологии, 1973. – №11. – С.93-113.
60. Лившиц И.М. Сезонное и месячное распределение стока на территории Полесья//Труды Ин-та мелиорации, водного и болотного хоз-ва АН БССР»,1955. – Т.6. – С.78-95.
61. Марков М.Л. Проблемы оценки естественных ресурсов подземных вод по гидрологическим данным в условиях изменения климата//Материалы межд.научн.конф. «Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования». – М.: 13-14 мая 2010 г. – С.94-97.
62. Методы расчета низкого стока. Вклад в международную климатическую программу/Под ред. Т.А. МакМагона и А. Диаза Аренаса. – Л.:Гидрометеиздат,1984. – 127 с.
63. Норватов А.М. Минимальный сток малых рек в связи с подземным питанием//Труды ГГИ,1950. – Вып.27(81) – С.58-95.
64. Норватов А.М. Минимальный сток малых рек европейской территории СССР//Труды ГГИ,1956. – Вып.52(106) – С.112-137.
65. Ордворец П.Д. Минимальный сток рек на территории Азиатской части СССР.// Тр. ГГИ, 1938. – Вып.1. –С.102-119.

66. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01 14-83. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
67. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.1. Изменения климата.– М.: Росгидромет, 2008. . –227 с.
68. Панов Б.П. Зимний режим рек СССР. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1960. – 240 с.
69. Петров Г.Н. Меженный сток и его изучение//Труды Казанск.фил.АН СССР. Сер.энерг. и водн.хоз-ва. – Казань, 1956. – Вып.1– 220 с.)
70. Пичугина С.В. Оценка вероятности возникновения экстремальных по маловодью ситуаций при эксплуатации водохранилищ сезонного регулирования (на примере Новосибирского гидроузла). Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 20 с.
71. Поляков Б.В. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 303 с.
72. Попов О.В. Подземное питание рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 290 с.
73. Пространственно-временные колебания стока рек СССР/Под ред. А.В.Рождественского. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 376 с.
74. Распопов М.П. Районирование подземных вод равнины Европейской части СССР по условиям их стока в реки // Труды ГГИ, 1950. – Вып. 27 (81). – С. 5–56.
75. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
76. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения. – М., Институт Водных проблем РАН, 1993. – 428 с.
77. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: 1997. – 259 с.

78. Резниковский А.Ш., Великанов М.А., Костина С.Г. и др. Гидрологические основы гидроэнергетики/Под ред. А.Ш Резниковского. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 263 с.
79. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб: Нестор-История, 2010. – 62 с.
80. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.:1974. – 424 с
81. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 111 с.
82. Сачок Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих районов. – Минск, 1980. – 221 с.
83. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М: Госстрой России, 2004. – 74 с.
84. Сибирцева Л.А. Минимальный сток и его распределение на территории Европейской части СССР // Исследование рек СССР. – Л.:1937. – Вып. 10. – С. 105–127.
85. Соколовский Д.Л. Применение кривых распределения к установлению вероятных колебаний годового стока рек Европейской части СССР. – Л.: Гостехиздат,1930. – 77 с.
86. Сомов Н.В. Асинхронность колебаний стока крупных рек СССР// Метеорология и гидрология,1963. – №5. –С.14-21.
87. Сотникова Л.Ф. Совместный анализ наблюдений за максимальным стоком гидрологически однородных бассейнов различных районов СССР//Проблемы изучения и комплексного использования водных ресурсов. – М.:Наука,1978. – С.17-24.

88. Стеженская И.Н. Сезонный сток рек Западно-Сибирской равнины. – Л.:1971. – 67 с.
89. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период 2010-2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М., 2005. – 28 с.
90. Тихоцкий К.Г. О перемерзании рек Забайкалья// Проблемы регионального зимоведения. – Чита,1968. – Вып.2,с.73-76.
91. Урываева И.В. Пространственно-временной статистический анализ полей стока за половодье в бассейне р. Волги. //Сб. работ по гидрологии, 1977. – №12. –С.11-17.
92. Урываев В.А. Обеспеченность расходов в году рек Европейской части СССР//Труды НИУ ГУГМС.Сер.4,1941. – Вып.2. – С.53-71.
93. Филиппова И.А. О вероятностных закономерностях колебаний минимального стока (на примере рек Центрально-Черноземной области)// Водные ресурсы, 1996. – т.23, №4. –С.389-395.
94. Филиппова И.А. Анализ пространственной структуры полей минимального стока в условиях изменяющегося климата//Труды Международной научно-практической конференции (28мая-30 мая 2013, г. Пермь) «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Т.1 «Управление водными ресурсами. Гидро- и геодинамические процессы». – С.113-116.
95. Филиппова И.А. Пространственно-временная структура полей меженного и минимального стока рек Европейской территории России в условиях меняющегося климата//Материалы Всероссийской научной конференции «Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз», г. Краснодар, 07-12 октября 2013 г. – Новочеркасск:ЛИК, 2013. – С.255-261.

96. Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Нестеренко Д.П., Повалишникова Е.С. Естественная зарегулированность стока рек бассейна Волги в условиях меняющегося климата// Водное хозяйство России, 2013. – №6. – С.32-49.
97. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.:Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
98. Чеботарев Н.П. Теория и метод определения минимального стока// Труды Всесоюз. Совещ. по изучению стока, регулированию стока и зимнему режиму. – М., 1954. – С. 34–38.
99. Чемеренко Е.П. Объективный анализ и статистическая структура характеристик снежного покрова//Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда.– Л.: Гидрометеиздат, 1976. – т.7. –С.180-189.
100. Шевелев М.Э. Метод расчета обеспеченных минимумов речного стока//Метеорология и гидрология», 1937. – №8– С.31-39.
101. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.:Гидрометеиздат, 1979. – 320 с.
102. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Бабкин В.И., Балонишникова Ж.А. Проблемы изучения формирования и оценки изменений водных ресурсов и водообеспеченности России// Метеорология и гидрология, 2010. – №1. – С.23-32.
103. Arnell N.W. Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe//FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications, 1989. – No.187. – P.237-249.
104. Bardsley W.E. Against objective statistical analysis of hydrological extremes. –J.Hydrol., 1994. –Vol.162. –P.429-431.
105. Beran M.A., Gustard A. A study into the low-flow characteristics of British rivers. – J.Hydrol., 1977. –Vol.35. – P.147-157.
106. Beran M& Rodier J.A. Hydrological aspects of droughts//Studies and reports in hydrology. . –Vol. 39. – Paris, France, UNESCO-WMO, 1985.
107. Bolgov M, Korobkina E, Filippova I. Bayesian Decision for Low Flow Evaluation in Non-Stationary Conditions//The Grand Challenges Facing

Hydrology in the 21st Century. Dooge Nash International Symposium, 2014, Dublin, Ireland. –P.65-74.

108. Bolgov M.V., Filippova I.A., Osipova N.V. Regionalization as a method of reliable estimator of stochastic models//Technical note for the Low Flow Group Meeting No.10.Nothern European FRIEND. – Poland, 2000. – P.49-53.

109. Bolgov M.V., Fortus M.I. Stochastic models of low flow//Proceedings of oral presentation. FRIEND'97. Acta hydrotechnica 16/18 (1997). – Ljubljana,1997. – P.27-36.

110. Bulu A. Statistical analysis of low flows with zero discharges//FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data, Third Report. – Cemagref,1997. – P.167-170.

111. Clausen B., Pearson C.P. Regional frequency analysis of annual maximum streamflow draught// J.Hydrol.,1995. – Vol.173. – P.111-130.

112. Cramer H.&Leadbetter M.R. Stationary and related stochastic processes. – New York: John Wiley and sons,1967.

113. Dracup J.A., Lee K.S.& Paulson E.G.Jr. On the definition of droughts//Water Resour.Res., 1980. – Vol.16(2). – P.297-302.

114. Drayton R.S., Kidd C.H.R., Mandeville A.N., Miller J.B.,1980. A regional analysis of floods and low flows in Malawi//Institute of Hydrology. – Wallingford, UK. – Report No.72. – 79 pp.

115. FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data,1989//I:Hydrological Studies;II: Hydrological Data.– Wallingford, UK.

116. Gottshalk L., Tallaksen L.M., Perzyna G. Derivation of low flow distributions using recession curves//J. of Hydrology, 194(1997). – P.239-262.

117. Gottschalk L., Perzyna G. Low flow distribution along the river//IAHS Publications, 1993. –213pp.

118. Grace R.A. and Eagleson P.S. The synthesis of short-time-increment rainfall sequences//Hydromechanics Laboratory. Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1966. – Report No.91.
119. Gustard A., Cole G.A. Toward a Rational Assessment of Residual Flows Below Reservoirs Regulated Streams//Advances in Ecology. Plenum Press. – New York, 1987. – P.267-275.
120. Gustard A., Gross R. Low flow regimes of northern and western Europe//FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications, 1989. – No.187. – P.205-212.
121. Haan C.T. Statistical Methods in Hydrology//Iowa State University Press, Ames, IA.25. Institute of Hydrology,1980. – Low Flow Studies (1-4) . – Wallingford, UK.
122. Hisdal H., Tallaksen L. M. Drought event definition//Technical Report to the ARIDE project. – University of Oslo, Norway,2002. – No. 6.
123. Institute of Hydrology, 1980//Low flow studies (1-4). – Wallingford, UK.
124. International Glossary of Hydrology. – WMO:World Meteorological Organization, Geneva, 1974.
125. Jozeph E.S. Probability distribution of annual droughts//J.Irrig.Drain. Div.,1970. – ASCE 96(4). – P.461-474.
126. Krokly B. Low flow analysis//FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications, 1989. – No187. – P.443-451.
127. Liebscher H.J. The use of long-term river level and discharge records in the study of climatic variations in the Federal Republic of Germany//Proceedings of the Symposium on Variations in the Global Water Budget. – Reidel, Oxford, 1983. – P.173-184.
128. Loganathan G.V., Mattejat P., Kuo C.Y., Diskin M.H.. Frequency analysis of low flows: hypothetical distribution methods and a physically based approach//Nordic Hydrol., 1986. – Vol.17 (3). – P.129-150.

129. Majercakova O., Fendekova M., Leskova D.. The variability of hydrological series due to extreme climate conditions and possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change//FRIEND'97 – Regional Hydrology:concepts and models for sustainable Water Resource Management, 1997. – IAHS Publications. – No.246. – P.59-66.
130. Matalas N.C. Probability distribution of low flow//USGS Professional Paper 434-A, 1963. – USGS, Washington DC.
131. McMahon T.A. Low flow analyses of streams: details of computational procedures and annotated bibliography// Research Report No.5, 1976. – Monash Univercity, Department of Civil Engineering, Clayton(Australia). – 60 pp.
132. McMahon T.A., Arenas A.D.. Method of computation of low streamflow. – Paris:UNESCO Studies and reports in hydrology,1982. – Vol.36. – 107 pp.
133. McMahon T.A., Mein R.G.. River and reservoir yield. – Water Resources Publication,CO,1986. – 368 pp.
134. Nathan,R.J., . McMahon,T.A.,1990c. Idenyification of homogeneous regions for the purposes of regionalization//J.Hydrol. 121. – P. 217-238.
135. Pilon P.J.. The Weibull distribution applied to regional low flow frequency analysis//Regionalization in Hydrology.Proceedings of Ljubljana Symposium,1990. – IAHS Publications. – No.191. – P.227-237.
136. Polarsky M.. Fitting distributions to annual minimum flows of different durations//IAHS Publications,1989. – No.187– P.97-104.
137. Querner E., Tallaksen L.M., Kasperek L., Lanen H.A.J. van. Impact of land-use, climatic change and groundwater abstractions on streamflow droughts using physically-based models//FRIEND'97 – Regional Hydrology:concepts and models for sustainable ater Resource Management. – IAHS Publications. – No.246. – P.171-179.

138. Rao A.R. and Chenchayya B.T.. Probabilistic analysis and simulation of the short-term increment rainfall process//Technical Report,1974. – Purdue University, Indiana. – No.55.
139. Rojers J.D., Armbruster J.T.. Low flow and hydrological draughts//Surface Water Hydrology, Geological Society of America,1990. – Boulder,CO. – P.121-130.
140. Singh Vijay P. On application of the Weibull Distribution in Hydrology//Water Resources Management, 1987.–Vol.1, No.1. –P.33-43.
141. Smakhtin,V.Y.,2001. Low flow Hydrology: a review//J.Hydrol.240. – P.147-186.
142. Smakhtin V.Y., Watkins D.A. Low-flow estimation in South Africa//Water Research Commission Report, 1997. – Pretoria, South Africa – No.494/1/97.
143. Schaake J.C., Chunzen L.. Development and application of simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. New directions for surface water modeling//Proceedings of a Baltimore Symposium,1989. – IAHS Publication. – No. 181. – P.343-352.
144. Tallaksen L.M., Madsen H., Clausen B. On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume//Hydrological Sciences Journal, 1997. – Vol.42(1). – P.15-33.
145. Tasker G.D. A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams//Water Resour. Bull, 1987. – Vol.23(6). – P.1077-1083.
146. Tate E.L.&Gustard A. Drought definition: a hydrological perspective//Drought and Drought Mitigation in Europe. – Kluwer Academic Publisher, the Netherlands, 2000.
147. Tate E.L., Freeman S.N.. The modeling approaches for seasonal streamflow droughts in southern Africa: the use of censored data//Hydrol.Sci.J, 2000. – Vol. 45(1). – P.27-42.
148. Telis P.A.. Improving estimates of low-flow characteristics for streamflow stations affected by climatic cycles//Proceedings of the 20th Mississippi

Water resources Conference, 1990. – Jackson, Mississippi: Water Research Institute, Mississippi State University. – P.37-40.

149. Velz C.J., Gannon J.J. Low flow characteristics of streams//OH State Univ. Studies Eng. Survey, 1953. – Vol. XXII(4). – P.138-157.

150. Wilhite D.A.& Glantz M.H. Understanding of drought phenomenon. The role of definitions//Water International, 1985. – Vol.10(3). – P.111-120.

151. Whitehouse I.E., McSaveney M.J., Horrel G.A. Spatial variability of low flow across a portion of the central southern Alps, New Zealand//J.Hydrol, 1983. – Vol.22. – P.123-127.

152. Wilby R., Greenfield B., Glenny C. 1994. A coupled synoptic-hydrological model for climate change impact assessment//J.Hydrol. – Vol.153. – P.265-290.

153. Wood T.R. Present-day hydrology of the River Severn//Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis, 1987. – Wiley, New York. – P.79-97.

154. Yevjevich V. An objective approach to definition and investigations of continental hydrological droughts//Hydrology Papers, 1967. –Vol.23. – Colorado State University, Fort Collins, USA.

155. Zelenhasic E., Salvai A. A method of streamflow drought analysis//Water Resour.Res,1987. – Vol.23(1) – P.156-168.

Список гидрологических постов

| № п/п | № на карте | Река-пост | Период наблюдений | Площадь водосбора, км ² |
|-------|------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | 14 | р. Онега – д. Череповская | 1941-1997 | 29500 |
| 2 | 21 | р. Юг – пгт. Подосиновец | 1930-1999 | 15200 |
| 3 | 23 | р. Луза – д. Красавино | 1955-1999 | 16300 |
| 4 | 25 | р. Вычегда – с. Малая Кужба | 1930-1999 | 26500 |
| 5 | 31 | р. Вага – д. Филяевская | 1938-1996 | 13200 |
| 6 | 36 | р. Пинега – д. Засурье | 1959-1999 | 17100 |
| 7 | 40 | р. Мезень – с. Большая Пысса | 1961-1994 | 16100 |
| 8 | 43 | р. Пеза – д. Игумново | 1933-1994 | 12000 |
| 9 | 44 | р. Печора – д. Якша | 1913-1998 | 9620 |
| 10 | 45 | р. Печора – с. Троицко-Печорск | 1938-1996 | 35600 |
| 11 | 48 | р. Уса – с. Петрунь | 1915-1994 | 27500 |
| 12 | 50 | р. Адзьва – д. Харута | 1960-1998 | 8700 |
| 13 | 52 | р. Ижма – с. Усть-Ухта | 1913-1998 | 15000 |
| 14 | 55 | р. Цильма – с. Трусово | 1937-1998 | 20900 |
| 15 | 58 | р. Онега – с. Порог | 1943-1996 | 55700 |
| 16 | 59 | р. Мезень – д. Малонисогорская | 1920-2000 | 56400 |
| 17 | 95 | р. Волга – г. Старица | 1891-2007 | 21100 |
| 18 | 98 | р. Молога – г. Устюжина | 1934-2002 | 19100 |
| 19 | 99 | р. Чагодыща – с. Мегрино | 1931-2002 | 7330 |
| 20 | 100 | р. Кострома – г. Буй | 1936-2002 | 8870 |
| 21 | 102 | р. Унжа – г. Кологрив | 1939-2002 | 11500 |
| 22 | 103 | р. Унжа – г. Макарьев | 1896-2002 | 18500 |
| 23 | 105 | р. Зуша – г. Мценск | 1934-2002 | 6000 |

Продолжение

| | | | | |
|----|-----|-----------------------------|-----------|-------|
| 24 | 108 | р. Угра – пгт. Товарково | 1929-2007 | 15300 |
| 25 | 109 | р. Москва – г. Звенигород | 1924-2008 | 5000 |
| 26 | 113 | р. Клязьма – г. Владимир | 1916-2002 | 14300 |
| 27 | 114 | р. Клязьма – г. Ковров | 1881-2002 | 24900 |
| 28 | 115 | р. Сура – г. Пенза | 1937-1995 | 15400 |
| 29 | 117 | р. Ветлуга – с. Михайловицы | 1939-2002 | 12600 |
| 30 | 118 | р. Ветлуга – г. Ветлуга | 1938-2002 | 22200 |
| 31 | 122 | р. Кама – пгт. Гайны | 1931-1995 | 27400 |
| 32 | 123 | р. Коса – с. Коса | 1956-1998 | 6340 |
| 33 | 127 | р. Иньва – д. Слудка | 1957-1998 | 5210 |
| 34 | 128 | р. Косьва – с. Пермское | 1937-1998 | 6220 |
| 35 | 129 | р. Чусовая – пгт Кын | 1952-1998 | 10400 |
| 36 | 130 | р. Чусовая – пгт. Лямино | 1931-1998 | 21500 |
| 37 | 131 | р. Сытва - с. Подкаменное | 1936-1998 | 19700 |
| 38 | 134 | р. Белая – г. Стерлитамак | 1919-2000 | 21000 |
| 39 | 137 | р. Уфа – г. Красноуфимск | 1930-1998 | 14200 |
| 40 | 138 | р. Уфа – Верхний Суян | 1950-1999 | 32400 |
| 41 | 140 | р. Юрюзань - пос.Атняш | 1931-1999 | 6930 |
| 42 | 141 | р. Дема – д. Бочкарево | 1947-2004 | 12500 |
| 43 | 142 | р. Ик – с. Нагайбаково | 1934-1999 | 12300 |
| 44 | 143 | р. Вятка – пос. Нагорск | 1937-1999 | 16500 |
| 45 | 145 | р. Вятка – г. Киров | 1878-1999 | 48300 |
| 46 | 146 | р. Чепца – с. Глазов | 1937-1999 | 9750 |
| 47 | 147 | р. Чепца –д. Целоусы | 1950-1999 | 18900 |
| 48 | 148 | р. Молома –д. Пермская | 1938-1999 | 6070 |
| 49 | 149 | р. Молома –д. Спасское | 1925-1999 | 10600 |
| 50 | 160 | р. Дон – г. Задонск | 1928-2006 | 31100 |

| | | | | |
|----|-----|---|-----------|-------|
| 51 | 162 | р. Сосна – слоб. Беломестная | 1936-2005 | 7650 |
| 52 | 165 | р. Битюг – г. Бобров | 1933-2006 | 7340 |
| 53 | 166 | р. Хопер – г. Балашов | 1915-2007 | 14300 |
| 54 | 167 | р. Хопер – г. Поворино | 1883-2005 | 19100 |
| 55 | 168 | р. Хопер – х. Бесплемяновский | 1929-2006 | 44900 |
| 56 | 169 | р. Ворона – с. Чугановка | 1915-2005 | 5560 |
| 57 | 170 | р. Ворона – г. Борисоглебск | 1932-2007 | 13200 |
| 58 | 171 | р. Бузулук – х. Большой Лукьяновский | 1934-1992 | 9220 |
| 59 | 172 | р. Медведица – пгт. Лысье Горы | 1936-2005 | 7610 |
| 60 | 174 | р. Иловля – с. Александровка | 1927-2007 | 6520 |
| 61 | 176 | р. Северский Донец – с. Огурцово | 1938-2007 | 5540 |
| 62 | 179 | р. Казенный Торец – г. Славянск | 1949-2007 | 5350 |
| 63 | 181 | р. Деркул – х. Юганов | 1950-2005 | 5090 |
| 64 | 182 | р. Калитва – х. Погорелов | 1933-2007 | 10500 |
| 65 | 185 | р. Егорлык – с. Новый Егорлык | 1934-2006 | 14600 |

Статистические характеристики рядов минимального стока

| № п/п | до 1978 года | | | | | с 1979 года | | | | |
|-------|--------------|-------|-----------|------------|------------|--------------|-------|-----------|------------|------------|
| | $Q_{ср,м^3}$ | C_v | C_s/C_v | $Q_{80\%}$ | $Q_{95\%}$ | $Q_{ср,м^3}$ | C_v | C_s/C_v | $Q_{80\%}$ | $Q_{95\%}$ |
| 1 | 71 | 0,28 | 0,5 | 54,5 | 44,2 | 86,4 | 0,28 | 0,5 | 65,5 | 47 |
| 2 | 21,8 | 0,26 | 1,5 | 16,9 | 13,4 | 32,4 | 0,19 | 1 | 27 | 22,6 |
| 3 | 22,3 | 0,2 | 0,9 | 17,9 | 14,5 | 32,8 | 0,21 | 1,5 | 26,9 | 22,4 |
| 4 | 55,7 | 0,2 | 0,6 | 46,7 | 38,7 | 72,1 | 0,41 | 4,5 | 65 | 58 |
| 5 | 18,5 | 0,2 | 0,5 | 14,8 | 11,6 | 22,6 | 0,16 | 0,9 | 19,5 | 17 |
| 6 | 26,5 | 0,2 | 1 | 22,7 | 19,5 | 33 | 0,17 | 2 | 28,3 | 24,6 |
| 7 | 36,8 | 0,1 | 1 | 33,6 | 30,9 | 41,2 | 0,16 | 4 | 35,7 | 31,9 |
| 8 | 18 | 0,2 | 0,5 | 14,7 | 12 | 22,5 | 0,32 | 4,5 | 16,6 | 13,8 |
| 9 | 26,6 | 0,1 | 0,5 | 24,1 | 21,9 | 25,9 | 0,28 | 4,5 | 63,8 | 57,1 |
| 10 | 87,6 | 0,15 | 0,5 | 76,4 | 67 | 106 | 0,21 | 1 | 87 | 71,7 |
| 11 | 27,6 | 0,48 | 4 | 17,5 | 13 | 30,7 | 0,27 | 2 | 23,9 | 19,2 |
| 12 | 1,7 | 0,43 | 0,9 | 1 | 0,66 | 2,2 | 0,4 | 3,5 | 1,5 | 1,1 |
| 13 | 30,4 | 0,27 | 0,6 | 23,2 | 17 | 37,9 | 0,18 | 4,5 | 32 | 28,5 |
| 14 | 19,9 | 0,21 | 0,5 | 16,3 | 13,1 | 21,7 | 0,21 | 0,6 | 17,7 | 14,2 |
| 15 | 127 | 0,19 | 1,5 | 106 | 90 | 140 | 0,28 | 3 | 107 | 87 |
| 16 | 130 | 0,18 | 5 | 111 | 98 | 130 | 0,17 | 1 | 111 | 95 |
| 17 | 37,3 | 0,3 | 1,5 | 26,5 | 19 | 58 | 0,4 | 5,5 | 42 | 34 |
| 18 | 25,6 | 0,4 | 3,5 | 17,4 | 13,2 | 40 | 0,3 | 4,5 | 28 | 23 |
| 19 | 17 | 0,28 | 0,5 | 12,8 | 9,3 | 23,8 | 0,2 | 1,5 | 19 | 15,3 |
| 20 | 9,44 | 0,32 | 2,5 | 6,9 | 5,4 | 12,8 | 0,2 | 1 | 10,3 | 8,3 |
| 21 | 17,7 | 0,22 | 0,6 | 14,4 | 11,5 | 24,4 | 0,2 | 3 | 20,7 | 18 |
| 22 | 29,8 | 0,25 | 0,5 | 23,4 | 17,8 | 56,8 | 0,2 | 2,5 | 45,2 | 37,5 |
| 23 | 11,9 | 0,23 | 0,5 | 9,5 | 7,4 | 19,8 | 0,3 | 0,5 | 15 | 10,9 |
| 24 | 23,6 | 0,2 | 2,5 | 19,4 | 16,4 | 37 | 0,2 | 2 | 30,5 | 25,6 |
| 25 | 9,4 | 0,5 | 4 | 5,7 | 4,1 | 29,6 | 0,1 | 0,5 | 27 | 24,7 |
| 26 | 25,1 | 0,3 | 0,9 | 17,7 | 12,5 | 49 | 0,18 | 1,5 | 41,5 | 35,5 |
| 27 | 44,6 | 0,26 | 0,6 | 35 | 30 | 73,6 | 0,17 | 2 | 63 | 54,8 |
| 28 | 16,1 | 0,24 | 0,5 | 12,8 | 10,1 | 23,1 | 0,1 | 0,5 | 21 | 19 |
| 29 | 12,1 | 0,3 | 0,6 | 8,8 | 6,1 | 17,1 | 0,2 | 3 | 14 | 12 |
| 30 | 20 | 0,29 | 3 | 15,1 | 12,2 | 30,2 | 0,28 | 0,5 | 22,9 | 16,7 |
| 31 | 48,3 | 0,26 | 1 | 37,5 | 29 | 64 | 0,2 | 0,7 | 53,6 | 44 |
| 32 | 6,7 | 0,25 | 0,5 | 4,5 | 3,4 | 9,6 | 0,25 | 2,5 | 7,6 | 6,2 |
| 33 | 4,4 | 0,29 | 0,5 | 3,3 | 2,4 | 8,8 | 0,27 | 5,5 | 6,9 | 5,9 |
| 34 | 22 | 0,35 | 3 | 15,7 | 12,1 | 19 | 0,36 | 5 | 13,6 | 11 |
| 35 | 12 | 0,28 | 2 | 8,9 | 7 | 18,5 | 0,26 | 2 | 14,4 | 11,6 |
| 36 | 28,9 | 0,21 | 0,5 | 23,7 | 19,1 | 43,2 | 0,2 | 0,5 | 35,8 | 29 |

| | | | | | | | | | | |
|----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 37 | 44,6 | 0,19 | 1 | 37 | 31,4 | 61,1 | 0,29 | 0,5 | 45,8 | 32,6 |
| 38 | 17,9 | 0,6 | 2,5 | 9,4 | 5,8 | 34,1 | 0,3 | 3,5 | 25,4 | 20,5 |
| 39 | 18,2 | 0,33 | 2 | 13,1 | 9,9 | 23,8 | 0,23 | 2 | 19,1 | 15,8 |
| 40 | 49,8 | 0,16 | 3 | 43 | 38 | 72 | 0,22 | 3,5 | 58,6 | 50 |
| 41 | 9,7 | 0,4 | 2 | 6,4 | 4,5 | 12,5 | 0,23 | 2 | 10 | 8,3 |
| 42 | 11,1 | 0,29 | 3 | 8,4 | 6,8 | 19 | 0,27 | 2,5 | 14,7 | 11,8 |
| 43 | 12,4 | 0,34 | 1,5 | 28,7 | 24,7 | 23 | 0,29 | 0,9 | 17,2 | 13 |
| 44 | 25,1 | 0,23 | 1 | 20,1 | 16,2 | 33,9 | 0,18 | 2 | 0,83 | 0,7 |
| 45 | 83,2 | 0,3 | 2 | 62,5 | 49,9 | 111 | 0,17 | 1,5 | 95 | 82,3 |
| 46 | 8,9 | 0,39 | 3 | 6,1 | 4,6 | 17,9 | 0,51 | 5,5 | 11,3 | 8,7 |
| 47 | 25,3 | 0,26 | 1,5 | 19,7 | 15,6 | 45,1 | 0,18 | | 38,3 | 33,3 |
| 48 | 5,8 | 0,21 | 2 | 4,8 | 4 | 7,9 | 0,19 | 1 | 6,6 | 5,5 |
| 49 | 11,9 | 0,24 | 0,8 | 9,5 | 7,6 | 19,8 | 0,17 | 1,5 | 17 | 14,6 |
| 50 | 46,4 | 0,24 | 0,8 | 38,5 | 38,9 | 75,1 | 0,21 | | 36,9 | 29,5 |
| 51 | 10,5 | 0,28 | 0,5 | 7,9 | 5,7 | 16,9 | 0,32 | 3 | 12,4 | 9,8 |
| 52 | 2 | 0,45 | 3 | 1,3 | 0,96 | 4,9 | 0,34 | 3 | 3,5 | 2,7 |
| 53 | 6,9 | 0,41 | 0,5 | 3,2 | 2,4 | 16,1 | 0,31 | 2,5 | 11,9 | 9,3 |
| 54 | 11,2 | 0,33 | 2 | 8,1 | 6,1 | 26,8 | 0,27 | 2 | 20,7 | 16,5 |
| 55 | 24 | 0,29 | 5 | 18,5 | 15,5 | 43,5 | 0,27 | 3 | 33,7 | 27,6 |
| 56 | 3,8 | 0,37 | 1,5 | 2,6 | 1,8 | 7,5 | 0,28 | 4,5 | 5,7 | 4,9 |
| 57 | 1,69 | 0,49 | 1 | 0,97 | 0,53 | 3 | 0,28 | 3 | 2,3 | 1,9 |
| 58 | 3,3 | 0,28 | 0,5 | 2,5 | 1,8 | 7,5 | 0,29 | 2 | 5,6 | 4,4 |
| 59 | 0,41 | 0,6 | 2,5 | 0,21 | 0,13 | 0,47 | 0,74 | 2,5 | 0,21 | 0,11 |
| 60 | 1,7 | 0,44 | 1,5 | 1 | 0,67 | 2,9 | 0,33 | 0,71 | 2,1 | 1,4 |
| 61 | 3,8 | 0,6 | 0,5 | 1,7 | 0,56 | 8,3 | 0,36 | 5 | 6 | 4,9 |
| 62 | 4,1 | 0,6 | 0,9 | 1,9 | 0,85 | 7,6 | 0,31 | 1 | 5,6 | 4,1 |
| 63 | 0,83 | 0,65 | 2 | 0,39 | 0,22 | 2,2 | 0,62 | 4,5 | 1,3 | 0,9 |
| 64 | 2 | 0,41 | 1,5 | 1,3 | 0,9 | 3,3 | 0,32 | 0,5 | 2,4 | 1,6 |
| 65 | 20,6 | 0,33 | 0,5 | 14,5 | 9,5 | 21,3 | 0,3 | 1 | 15,8 | 11,7 |

| <i>№ n/n</i> | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ | <i>№ n/n</i> | ΔQ_{cp} | ΔC_v | $\Delta Q_{80\%}$ | $\Delta Q_{95\%}$ |
|--------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------|
| 30 | 51 | -4 | 52 | 37 | | | | | |
| 31 | 32 | -24 | 43 | 52 | | | | | |
| 32 | 43 | 0 | 69 | 82 | | | | | |
| 33 | 100 | -7 | 101 | 146 | | | | | |
| 34 | -14 | 2 | 87 | -9 | | | | | |
| 35 | 54 | -8 | 62 | 66 | | | | | |
| 36 | 49 | -5 | 51 | 52 | | | | | |
| 37 | 37 | 52 | 24 | 4 | | | | | |
| 38 | 90 | -50 | 170 | 253 | | | | | |
| 39 | 31 | -31 | 46 | 60 | | | | | |
| 40 | 45 | 38 | 36 | 32 | | | | | |

Список гидрологических постов

| № | Код поста | Водный объект | Пост | Площадь водосбора |
|----|-----------|---------------|------------------------------|--------------------|
| | | | | F, км ² |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 75128 | р. Молога | г. Устюжна | 19100 |
| 2 | 75150 | р. Чагодыща | д. Анисимово | 2720 |
| 3 | 75151 | р. Чагодыща | с. Мегрино | 7330 |
| 4 | 75168 | р. Суда | с. Борисово-Судское | 2440 |
| 5 | 75169 | р. Суда | д. Куракино | 4950 |
| 6 | 75176 | р. Колпь | с. Торопово | 1670 |
| 7 | 75202 | р. Куность | д. Ростани | 1160 |
| 8 | 75209 | р. Кема | д. Игнатово | 1610 |
| 9 | 75210 | р. Кема | д. Левково | 4160 |
| 10 | 75530 | р. Выша | пос. 10 октябрь | 2190 |
| 11 | 75623 | р. Сура | с. Кадышево | 27900 |
| 12 | 75635 | р. Уза | с. Чардым | 3240 |
| 13 | 75643 | р. Барыш | г. Карсун | 3680 |
| 14 | 75006 | р. Волга | г. Старица | 21100 |
| 15 | 75241 | р. Кострома | г. Буй (ниже устья р. Вексы) | 8870 |
| 16 | 75254 | р. Тебза | с. Борок | 1010 |
| 17 | 75259 | р. Обнора | с. Шарна | 1800 |
| 18 | 75280 | р. Немда | с. Селище | 3810 |
| 19 | 75284 | р. Унжа | г. Кологрив | 11500 |
| 20 | 75286 | р. Унжа | г. Мантурово | 16200 |
| 21 | 75287 | р. Унжа | г. Макарьев | 18500 |
| 22 | 75311 | р. Ока | г. Белев | 17500 |
| 23 | 75348 | р. Нугрь | г. Болхов | 1010 |
| 24 | 75359 | р. Упа | с. Орлово | 8210 |
| 25 | 75368 | р. Жиздра | г. Козельск | 6940 |
| 26 | 75382 | р. Угра | пгш Товарково | 15300 |
| 27 | 75389 | р. Протва | с. Спас-Загорье | 3640 |
| 28 | 75480 | р. Бужа | д. Избище | 1100 |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------|-----------|----------------------|-------|
| 29 | 75500 | р.Мокша | с.Шевелевский Майдан | 28600 |
| 30 | 75514 | р.Цна | с.Кузьмина Гать | 4260 |
| 31 | 75518 | р.Цна | с.Княжево | 13600 |
| 32 | 75552 | р.Клязьма | г.Владимир | 14300 |
| 33 | 75553 | р.Клязьма | г.Ковров | 24900 |
| 34 | 75674 | р.Ветлуга | с.Михайловицы | 12600 |
| 35 | 76001 | р.Кама | клх.Ширяевский | 5030 |
| 36 | 76003 | р.Кама | с.Волосницкое | 9750 |
| 37 | 76075 | р.Коса | с.Коса | 6340 |
| 38 | 76076 | р.Лолог | пос.Сергеевский | 1600 |
| 39 | 76105 | р.Колва | д.Петрецова | 2830 |
| 40 | 76127 | р.Яйва | пос.База | 3630 |
| 41 | 76130 | р.Яйва | с.Усть-Игум | 5320 |
| 42 | 76139 | р.Иньва | г.Кудымкар | 2050 |
| 43 | 76141 | р.Иньва | д.Слудка | 5210 |
| 44 | 76159 | р.Обва | с.Карагай | 4310 |
| 45 | 76176 | р.Чусовая | пгт Староуткинск | 5450 |
| 46 | 76180 | р.Чусовая | пгт Кын | 10400 |
| 47 | 76190 | р.Чусовая | пгт Лямино | 21500 |
| 48 | 76240 | р.Сылва | с.Подкаменное | 19700 |
| 49 | 76256 | р.Тулва | с.Барда | 1890 |
| 50 | 76345 | р.Лемеза | с.Нижние Лемезы | 1680 |
| 51 | 76351 | р.Инзер | д.Азово | 4260 |
| 52 | 76355 | р.Уршак | с.Ляхово | 3130 |
| 53 | 76363 | р.Уфа | г.Михайловск | 5650 |
| 54 | 76364 | р.Уфа | г.Красноуфимск | 14200 |
| 55 | 76461 | р.Юрюзань | пгт Вязовая | 2430 |
| 56 | 76462 | р.Юрюзань | д.Чулпан | 4850 |
| 57 | 76466 | р.Юрюзань | пос.Атняш | 6930 |
| 58 | 76482 | р.Дема | д.Дюсяново | 4030 |
| 59 | 76486 | р.Дема | д.Бочкарева | 12500 |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------|--------------------|-----------------------------|-------|
| 60 | 76490 | р.Чермасан | д.Новоюмраново | 3570 |
| 61 | 76492 | р.Бирь | с.Малосухоязово | 1210 |
| 62 | 76550 | р.Вятка | с.Красноглинье | 2320 |
| 63 | 76553 | р.Вятка | д.Усатьевская (пгт.Нагорск) | 16500 |
| 64 | 76584 | р.Черная Холуница | с.Троица | 1480 |
| 65 | 76593 | р.Летка | с.Казань | 2870 |
| 66 | 76596 | р.Чепца | с.Полом | 5930 |
| 67 | 76597 | р.Чепца | г.Глазов | 9750 |
| 68 | 76601 | р.Лоза | пгт Игра | 1110 |
| 69 | 76611 | р.Великая | с.Великорецкое | 3410 |
| 70 | 76614 | р.Быстрица | д.Шипицино | 3540 |
| 71 | 76619 | р.Молома | д.Пермятская | 6070 |
| 72 | 76620 | р.Молома | д.Спасское | 10500 |
| 73 | 76627 | р.Воя | г.Нолинск | 2680 |
| 74 | 76634 | р.Кильмезь | д.Вичмарь | 16400 |
| 75 | 76637 | р.Лумпун | д.Шмыки | 1210 |
| 76 | 76638 | р.Вала | с.Вавож | 4770 |
| 77 | 76640 | р.Нылга | с.Нылга | 1190 |
| 78 | 76642 | р.Лобань | с.Рыбная Ватага | 2300 |
| 79 | 76500 | р.Сюнь | с.Миньярово | 4140 |
| 80 | 76512 | р.Ик | с.Нагайбаково | 12300 |
| 81 | 76519 | р.Усень | г.Туймазы | 2300 |
| 82 | 76537 | р.Зай(Степной Зай) | с.Старое Пальчиково | 4540 |
| 83 | 76275 | р.Белая | Арский Камень,д/о | 2300 |
| 84 | 76280 | р.Белая | д.Сыртланово | 10100 |
| 85 | 76325 | р.Селеук | д.Нижнеиткулово | 141 |
| 86 | 76416 | р.Ай | с.Лаклы | 6440 |
| 87 | 76417 | р.Ай | с.Метели | 14200 |
| 88 | 76421 | р.Куса | пгт Магнитка | 287 |
| 89 | 76423 | р.Большая Арша | д.Вознесенская | 277 |
| 90 | 76456 | р.Сарс | с.Султанбеково | 1300 |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-------|--------------------|---------------------------|-------|
| 91 | 77112 | р.Цивиль | д.Тувси | 4040 |
| 92 | 77115 | р.Малый Цивиль | с.Шигали | 1200 |
| 93 | 77116 | р.Большая Кокшага | пгт Санчурск | 2140 |
| 94 | 77124 | р.Малая Кокшага | рзд Куяр | 2630 |
| 95 | 77130 | р.Средний Аниш | с.Байгулово | 366 |
| 96 | 77140 | р.Свияга | с.Вырыпаевка | 3600 |
| 97 | 77152 | р.Сельда | ст.Сельдь | 987 |
| 98 | 77164 | р.Кубня | с.Чутеево | 930 |
| 99 | 77179 | р.Шешма | с.Слобода Петропавловская | 3110 |
| 100 | 77189 | р.Кичуй | с.Утяшкино | 1330 |
| 101 | 77193 | р.Берсут | с.Урманчеево | 445 |
| 102 | 77201 | р.Актай | с.Караваево | 690 |
| 103 | 77209 | р.Красная | с.Красная Река | 311 |
| 104 | 77210 | р.Тушонка | с.Сергеевка | 309 |
| 105 | 77212 | р.Большой Черемшан | пгт Новочеремшанск | 6050 |
| 106 | 77217 | р.Малый Черемшан | с.Абалдуевка | 1230 |
| 107 | 77223 | р.Уса | с.Байдеряково | 1940 |
| 108 | 77231 | р.Сок | ст.Сургут | 4730 |
| 109 | 77242 | р.Кондурча | с.Кошки | 2390 |
| 110 | 77245 | р.Самара | с.Новосергиевка | 2160 |
| 111 | 77250 | р.Самара | с.Елшанка | 22800 |
| 112 | 77260 | р.Малый Уран | с.Грачевка | 1440 |
| 113 | 77266 | р.Ток | с.Ероховка | 5440 |
| 114 | 77270 | р.Бузулук | д.Перевозниково | 4280 |
| 115 | 77276 | р.Колтубанка | рзд Лес | 119 |
| 116 | 77285 | р.Большой Кинель | с.Азаматово | 908 |
| 117 | 77292 | р.Большой Кинель | с.Тимашево | 12000 |
| 118 | 77298 | р.Малый Кинель | с.Полудни | 2090 |
| 119 | 77311 | р.Чапаевка | с.Подъем Михайловка | 1480 |
| 120 | 77329 | р.Сызрань | с.Репьевка | 4380 |
| 121 | 77336 | р.Чагра | с.Новотулка | 2550 |
| 122 | 77362 | р.Большой Караман | пгт Советское | 3470 |

Проверка рядов минимального 30ти-дневного стока на стационарность (однородность) за зимний период

| Пост | Однородность ряда по критерию (эмпир/критич) | | Пост | Однородность ряда по критерию (эмпир/критич) | |
|----------|--|----------|----------|--|----------|
| | Стьюдента | Фишера | | Стьюдента | Фишера |
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
| 75128 | 5,32 | 3,05 | 76492 | 4,54 | 2,07 |
| | 2,28 | 1,85 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75146 | 4,19 | 2,78 | 76495 | 8,01 | 1,83 |
| | 2,28 | 2,09 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75150 | 4,88 | 2,04 | 76550 | 3,51 | 1,2 |
| | 2,25 | 1,99 | | 2,39 | 1,93 |
| | + | + | | + | - |
| 75151 | 3,63 | 2,04 | 76553 | 4,85 | 1,04 |
| | 1,92 | 1,99 | | 2,4 | 1,9 |
| | + | + | | + | - |
| 75168 | 4,07 | 5,93 | 76584 | 5,62 | 1,96 |
| | 2,5 | 2,06 | | 2,69 | 2,22 |
| | + | + | | + | - |
| 75169 | 4,65 | 1,06 | 76593 | 10 | 1,11 |
| | 2,48 | 2,01 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 75176 | 3,47 | 1,78 | 76596 | 7,45 | 1,4 |
| | 2,07 | 2,04 | | 3,88 | 2,38 |
| | + | - | | + | - |
| 75202 | 2,38 | 2,12 | 76597 | 5,44 | 3,14 |
| | 1,74 | 2,03 | | 2,74 | 2,05 |
| | + | + | | + | + |
| 75209 | 4,04 | 5,45 | 76601 | 5,38 | 2,81 |
| | 2,39 | 2,21 | | 2,91 | 2,29 |
| | + | + | | + | + |
| 75210 | 3,82 | 1,87 | 76611 | 6 | 2,61 |
| | 2,44 | 2 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 75530 | 4,38 | 10,58 | 76614 | 10,03 | 1,44 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75623 | 5,52 | 6,79 | 76619 | 5,16 | 1,12 |
| | 3,43 | 2,52 | | 2,3 | 1,87 |
| | + | + | | + | - |
| 75632 | 5,5 | 1,59 | 76620 | 6,4 | 5,43 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75635 | 7,31 | 2,97 | 76627 | 8,35 | 1,96 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75643 | 4,49 | 3,67 | 76637 | 7,75 | 2,26 |
| | -990 | -990 | | 3,73 | 2,48 |
| | + | + | | + | - |
| 75006 | 5,98 | 5,01 | 76638 | 7,2 | 3,03 |
| | 2,32 | 1,63 | | 3,97 | 2,69 |
| | + | + | | + | + |
| 75241 | 0,75 | 2,41 | 76640 | 3,36 | 4,26 |
| | 1,99 | 1,64 | | 2,43 | 2,25 |
| | - | + | | + | + |
| 75254 | 3,07 | 2,09 | 76642 | 9,04 | 2,79 |
| | 2,51 | 2,24 | | 3,8 | 2,48 |
| | + | - | | + | + |
| 75259 | 5,79 | 1,15 | 76500 | 7,87 | 8,17 |
| | 2,95 | 2,15 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 75280 | 4,46 | 2,92 | 76512 | 10,68 | 3,48 |
| | 2,34 | 2,08 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75284 | 6,12 | 4 | 76519 | 6,92 | 3,6 |
| | 2,75 | 2,15 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75286 | 5,88 | 5,32 | 76537 | 5,35 | 6,28 |
| | 2,73 | 2,27 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75287 | 8,93 | 6,04 | 76275 | 3,54 | 1,11 |
| | 3,73 | 2,07 | | 2,3 | 1,84 |
| | + | + | | + | - |
| 75311 | 9,7 | 3,06 | 76280 | 4,91 | 1,69 |
| | -990 | -990 | | 2,45 | 1,97 |
| | + | + | | + | - |
| 75348 | 5,04 | 6,26 | 76325 | 1,91 | 1,64 |
| | 3,1 | 2,38 | | 2,07 | 1,93 |
| | + | + | | - | - |
| 75359 | 6,97 | 5,66 | 76416 | 6,63 | 1,35 |
| | -990 | -990 | | 3,4 | 2,24 |
| | + | + | | + | - |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 75368 | 6,98 | 4,48 | 76417 | 6,62 | 1,79 |
| | 3,23 | 2,35 | | 3,28 | 2,21 |
| | + | + | | + | - |
| 75382 | 6,53 | 3,23 | 76421 | 4,02 | 1,39 |
| | 2,73 | 2,04 | | 3,37 | 2,66 |
| | + | + | | + | - |
| 75389 | 8,72 | 1,73 | 76423 | 4,91 | 2,88 |
| | 3,73 | 2,48 | | 3,01 | 2,46 |
| | + | - | | + | + |
| 75480 | 4,33 | 3,21 | 76456 | 5,32 | 2,76 |
| | 2,07 | 2,04 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75500 | 8,2 | 12,32 | 77112 | 5,83 | 4,35 |
| | 3,39 | 2,34 | | 3,49 | 2,46 |
| | + | + | | + | + |
| 75514 | 7,42 | 15,57 | 77115 | 5,16 | 6,11 |
| | -990 | -990 | | 2,97 | 2,41 |
| | + | + | | + | + |
| 75518 | 10,45 | 7,36 | 77116 | 4,65 | 6,33 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75552 | 8,09 | 1,23 | 77124 | 6,72 | 8,3 |
| | 3,61 | 2,22 | | 2,81 | 2,11 |
| | + | - | | + | + |
| 75553 | 8,22 | 2,51 | 77130 | 8,51 | 2,26 |
| | 3,43 | 2,31 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75674 | 3,71 | 7,44 | 77140 | 8,55 | 3,05 |
| | 1,91 | 1,97 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76075 | 5,99 | 2,71 | 77152 | 7,22 | 4,62 |
| | 3,36 | 2,49 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76076 | 3,53 | 2,23 | 77164 | 6,03 | 4,15 |
| | 2,3 | 2,18 | | 3,79 | 2,53 |
| | + | + | | + | + |
| 76105 | 4,58 | 1,02 | 77179 | 9,65 | 4,65 |
| | 2,76 | 1,95 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76127 | 1,96 | 1,6 | 77201 | 10,13 | 5,7 |
| | 1,9 | 2,11 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76130 | 1,45 | 1,47 | 77209 | 5,01 | 1,44 |
| | 1,78 | 2,12 | | -990 | -990 |
| | - | - | | + | + |
| 76139 | 6,84 | 2 | 77210 | 5,26 | 1,17 |
| | 3,28 | 2,21 | | 3,82 | 2,76 |
| | + | - | | + | - |

Продолжение

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 76141 | 6,2 | 2,94 | 77212 | 8,52 | 1,97 |
| | 3,37 | 2,53 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76159 | 7,61 | 3,24 | 77217 | 7,48 | 1,62 |
| | 3,68 | 2,46 | | 3,71 | 2,42 |
| | + | + | | + | - |
| 76176 | 3,14 | 1,96 | 77223 | 5,93 | 9,85 |
| | 2,18 | 1,94 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76180 | 5,22 | 3,47 | 77231 | 7,11 | 6,03 |
| | 2,48 | 2,08 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76190 | 3,55 | 3,71 | 77242 | 9,15 | 6,43 |
| | 3,14 | 2,34 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76240 | 6,77 | 1,92 | 77245 | 8,83 | 6,77 |
| | 4,02 | 2,59 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76256 | 4,46 | 2,86 | 77250 | 9,89 | 2,29 |
| | 2,66 | 2,29 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76345 | 1,6 | 1,54 | 77260 | 8,79 | 7,32 |
| | 1,85 | 2,07 | | -990 | -990 |
| | - | - | | + | + |
| 76351 | 2,45 | 1,76 | 77266 | 15,18 | 4,12 |
| | 2,3 | 2,18 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76355 | 8,77 | 9,53 | 77270 | 6,9 | 1,4 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| | | | | | |
| 76363 | 2,46 | 1,8 | 77276 | 6,3 | 2,95 |
| | 2,38 | 2,17 | | 3,46 | 2,45 |
| | + | - | | + | + |
| 76364 | 2,5 | 1,93 | 77285 | 14,5 | 2,13 |
| | 2,01 | 1,8 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76461 | 3,37 | 1,71 | 77292 | 12,56 | 4,66 |
| | 2,87 | 2,34 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 76462 | 3,91 | 2,25 | 77298 | 12,82 | 4,94 |
| | 3,08 | 2,4 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76466 | 5,15 | 13,61 | 77311 | 6,34 | 7,77 |
| | 2,69 | 1,99 | | 2,82 | 2,08 |
| | + | + | | + | + |
| 76482 | 7,85 | 5,14 | 77329 | 12,19 | 2,39 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76486 | 9,69 | 3,13 | 77336 | 7,9 | 1,22 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76490 | 9,96 | 10,03 | 77362 | 6,15 | 66,88 |
| | -990 | -990 | | 2,65 | 2 |
| | + | + | | + | + |

Проверка рядов минимального 30ти-дневного стока на стационарность (однородность) за
летне-осенний период

| Пост | Однородность ряда по критерию (эмпир/критич) | | Пост | Однородность ряда по критерию (эмпир/критич) | |
|-------|--|--------|-------|--|--------|
| | Стьюдента | Фишера | | Стьюдента | Фишера |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 75128 | 3,57 | 2,11 | 76421 | 4,02 | 1,39 |
| | 2,03 | 1,81 | | 3,37 | 2,66 |
| | + | + | | + | - |
| 75146 | 3,53 | 1,88 | 76423 | 4,91 | 2,88 |
| | 3 | 2,36 | | 3,01 | 2,46 |
| | + | - | | + | + |
| 75150 | 3,23 | 1,87 | 76456 | 5,32 | 2,76 |
| | 2,06 | 1,81 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75151 | 2,59 | 3,29 | 76001 | 2,35 | 1,73 |
| | 1,73 | 1,94 | | 2,02 | 2,01 |
| | + | + | | + | - |
| 75168 | 0 | 1,24 | 76003 | 2,9 | 1,18 |
| | 1,72 | 1,89 | | 2,12 | 1,94 |
| | - | - | | + | - |
| 75169 | 2,56 | 2,28 | 76075 | 1,43 | 2,42 |
| | 1,88 | 1,85 | | 2,01 | 2 |
| | + | + | | - | + |
| 75176 | 2,64 | 5,87 | 76076 | 1,32 | 2,11 |
| | 1,73 | 1,99 | | 2,31 | 2,18 |
| | + | + | | - | - |
| 75202 | 1,26 | 1,13 | 76105 | 0,86 | 1,59 |
| | 1,74 | 2,03 | | 1,7 | 1,72 |
| | - | - | | - | - |
| 75209 | 1,45 | 7,41 | 76127 | 1,55 | 1,03 |
| | 1,74 | 2,06 | | 1,75 | 2,11 |
| | - | + | | - | - |
| 75210 | 2,86 | 1,22 | 76139 | 4,56 | 3,09 |
| | 1,85 | 1,88 | | 2,83 | 2,02 |
| | + | - | | + | + |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|------|------|-------|------|-------|
| 75530 | 7,24 | 3,28 | 76159 | 5,19 | 3,34 |
| | -990 | -990 | | 2,86 | 2,13 |
| | + | + | | + | + |
| 75623 | 4,91 | 1,93 | 76176 | 2,75 | 1,65 |
| | 3,58 | 2,56 | | 2,14 | 1,89 |
| | + | - | | + | - |
| 75632 | 4,29 | 1,86 | 76180 | 4,06 | 5,56 |
| | 3,62 | 2,67 | | 2,71 | 2,14 |
| | + | - | | + | + |
| 75635 | 8,39 | 1,53 | 76190 | 2,04 | 3,01 |
| | -990 | -990 | | 2,18 | 1,98 |
| | + | + | | - | + |
| 75643 | 6,02 | 1,75 | 76240 | 5,08 | 2,55 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75006 | 2,77 | 1,17 | 76256 | 4,9 | 1,58 |
| | 2,01 | 1,57 | | 3,75 | 2,81 |
| | + | - | | + | - |
| 75241 | 0,49 | 1,58 | 76345 | 1,86 | 1,87 |
| | 1,86 | 1,61 | | 1,98 | 2,1 |
| | - | - | | - | - |
| 75241 | 0,49 | 1,58 | 76351 | 2,08 | 2,43 |
| | 1,86 | 1,61 | | 1,98 | 2,07 |
| | - | - | | + | + |
| 75254 | 4,08 | 7,93 | 76355 | 5,69 | 11,63 |
| | 2,07 | 2,09 | | 3,46 | 2,45 |
| | + | + | | + | + |
| 75259 | 5,06 | 7,12 | 76363 | 6,08 | 6,97 |
| | 2,18 | 1,9 | | 3,24 | 2,44 |
| | + | + | | + | + |
| 75280 | 1,89 | 2,61 | 76364 | 2,76 | 1,07 |
| | 1,73 | 1,95 | | 2,38 | 1,85 |
| | + | + | | + | - |
| 75286 | 1,92 | 2,48 | 76461 | 2,22 | 4,13 |
| | 1,73 | 1,97 | | 1,85 | 2,02 |
| | + | + | | + | + |
| 75287 | 5,83 | 3,72 | 76462 | 2,17 | 2,72 |
| | 2,07 | 1,6 | | 2,01 | 2,03 |
| | + | + | | + | + |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|-------|------|-------|------|------|
| 75311 | 9,28 | 2,52 | 76482 | 7,11 | 5,47 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75348 | 3,78 | 5,25 | 76486 | 7,11 | 2,64 |
| | 2,94 | 2,31 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75359 | 6,89 | 4,36 | 76490 | 8,56 | 3,55 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75368 | 4,86 | 1,21 | 76492 | 4,95 | 2,03 |
| | 1,97 | 1,92 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 75382 | 3,02 | 4,01 | 76495 | 6,49 | 1,64 |
| | 1,89 | 1,81 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 75389 | 7,79 | 4,33 | 76550 | 0,39 | 2,26 |
| | 2,85 | 2,09 | | 2,03 | 1,87 |
| | + | + | | - | + |
| 75480 | 0,53 | 1,46 | 76553 | 1,01 | 2,06 |
| | 1,73 | 1,97 | | 1,91 | 1,81 |
| | - | - | | - | + |
| 75500 | 7,74 | 3,81 | 76584 | 2,88 | 1,99 |
| | -990 | -990 | | 2,28 | 2,09 |
| | + | + | | + | - |
| 75514 | 6,51 | 3,43 | 76593 | 3,31 | 1,26 |
| | -990 | -990 | | 1,84 | 1,8 |
| | + | + | | + | - |
| 75518 | 10,01 | 9,85 | 76596 | 5,9 | 1,83 |
| | -990 | -990 | | 2,72 | 1,97 |
| | + | + | | + | - |
| 75552 | 9,78 | 1,09 | 76597 | 4,2 | 2,79 |
| | 3,63 | 2,21 | | 2,26 | 1,88 |
| | + | - | | + | + |
| 75553 | 7,43 | 1,76 | 76601 | 5,58 | 1,94 |
| | 3,08 | 2,16 | | 3,32 | 2,47 |
| | + | - | | + | - |
| 75674 | 1,91 | 4,72 | 76611 | 2,05 | 1,05 |
| | 1,72 | 1,91 | | 1,72 | 1,91 |
| | + | + | | + | - |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 76614 | 5,83 | 1,42 | 77164 | 4,17 | 1,89 |
| | 2,49 | 1,83 | | 3,02 | 2,24 |
| | + | - | | + | - |
| 76619 | 1,87 | 2,08 | 77179 | 10,53 | 2,78 |
| | 1,71 | 1,79 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76620 | 3,53 | 1,41 | 77189 | 8,19 | 1,41 |
| | 1,7 | 1,72 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76627 | 7,15 | 1,71 | 77193 | 7,1 | 2,74 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76637 | 7,26 | 3,48 | 77197 | 6,35 | 2,94 |
| | 2,98 | 2,16 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76638 | 6,47 | 2,49 | 77201 | 6,98 | 6,59 |
| | 2,81 | 2,18 | | 3,63 | 2,52 |
| | + | + | | + | + |
| 76640 | 4,95 | 4,16 | 77210 | 3,65 | 1,02 |
| | 2,94 | 2,46 | | 3,33 | 2,54 |
| | + | + | | + | - |
| 76642 | 5,07 | 1,72 | 77212 | 7,38 | 2,22 |
| | 2,43 | 1,96 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76500 | 5,57 | 10,1 | 77217 | 5,35 | 1,37 |
| | 3,32 | 2,34 | | 2,82 | 2,08 |
| | + | + | | + | - |
| 76512 | 7,97 | 2,72 | 77223 | 3,15 | 12,49 |
| | -990 | -990 | | 3,25 | 2,5 |
| | + | + | | - | + |
| 76519 | 5,4 | 1,97 | 77231 | 5,53 | 5,23 |
| | 4,1 | 2,78 | | 3,65 | 2,33 |
| | + | - | | + | + |
| 76537 | 6,07 | 3,1 | 77242 | 11,55 | 4,23 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 76275 | 0,8 | 1,48 | 77245 | 8,58 | 9,77 |
| | 2,01 | 1,79 | | -990 | -990 |
| | - | - | | + | + |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 76280 | 1,41 | 1,96 | 77250 | 7,2 | 1,53 |
| | 1,86 | 1,83 | | -990 | -990 |
| | - | + | | + | + |
| 76325 | 3,83 | 1,93 | 77260 | 9,72 | 1,97 |
| | 2,67 | 2,08 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 76416 | 1,54 | 1,11 | 77266 | 11,35 | 3,31 |
| | 1,88 | 1,81 | | -990 | -990 |
| | - | - | | + | + |
| 76417 | 3,5 | 1,89 | 77270 | 6,4 | 2,26 |
| | 2,43 | 1,91 | | 3,64 | 2,52 |
| | + | - | | + | - |
| 76421 | 1,34 | 4,06 | 77276 | 3,63 | 3,39 |
| | 2,11 | 2,15 | | 3,39 | 2,39 |
| | - | + | | + | + |
| 76423 | 1,87 | 13,57 | 77285 | 11,51 | 3,81 |
| | 2,01 | 2,1 | | -990 | -990 |
| | - | + | | + | + |
| 76456 | 5,45 | 1,56 | 77292 | 9,51 | 2,32 |
| | 2,96 | 2,2 | | -990 | -990 |
| | + | - | | + | + |
| 77112 | 5,11 | 4,62 | 77298 | 9,48 | 9,42 |
| | 3,45 | 2,42 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 77115 | 4,46 | 8,65 | 77311 | 2,48 | 1,69 |
| | 2,86 | 2,36 | | 2,09 | 1,92 |
| | + | + | | + | - |
| 7716 | 5,33 | 9,69 | 77329 | 8,65 | 1,54 |
| | 2,86 | 2,2 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 77124 | 6,24 | 3,51 | 77336 | 10,59 | 1,08 |
| | 2,49 | 1,96 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 77130 | 10,1 | 1,32 | 77362 | 7,41 | 170,3 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |

Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|-------|------|------|-------|------|------|
| 77140 | 8,86 | 2,51 | 77370 | 9,51 | 1,73 |
| | -990 | -990 | | -990 | -990 |
| | + | + | | + | + |
| 77152 | 7,81 | 2,54 | | | |
| | -990 | -990 | | | |
| | + | + | | | |

Знак «+» означает, что ряд нестационарен (неоднороден), знак «-» – ряд стационарен.

Статистические характеристики рядов 30ти-дневного минимального стока за зимний период

| Весь период наблюдений | | | | | до 1978 | | | после 1978 | | |
|------------------------|--------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| Код поста | Год перелома | Q _{ср.м³/с} | C _v | C _s | Q _{ср.м³/с} | C _v | C _s | Q _{ср.м³/с} | C _v | C _s |
| 75128 | 1979 | 35.3 | 0.48 | 1.58 | 28.1 | 0.39 | 0.77 | 46.2 | 0.4 | 1.65 |
| 75150 | 1979 | 9.05 | 0.29 | 0.49 | 7.63 | 0.24 | 0.48 | 10.4 | 0.24 | 0.1 |
| 75151 | 1979 | 23.5 | 0.31 | 0.69 | 19.5 | 0.27 | 0.97 | 26.3 | 0.28 | 0.44 |
| 75168 | 1981 | 8.44 | 0.31 | 2.06 | 7.25 | 0.19 | 1.83 | 9.52 | 0.32 | 1.63 |
| 75169 | 1979 | 14.6 | 0.22 | 0.27 | 13.5 | 0.21 | 0.32 | 16.9 | 0.18 | 0 |
| 75176 | 1979 | 4.55 | 0.26 | 0.57 | 3.94 | 0.24 | 1.21 | 5 | 0.23 | 0.24 |
| 75623 | 1975 | 39.9 | 0.45 | 2.15 | 34.2 | 0.29 | 0 | 62.1 | 0.4 | 1.45 |
| 75635 | 1979 | 4.46 | 0.36 | 0.79 | 3.07 | 0.23 | 0.55 | 5.44 | 0.24 | 1.32 |
| 75006 | 1977 | 48.9 | 0.52 | 2.11 | 41.5 | 0.38 | 1.19 | 73.5 | 0.47 | 1.3 |
| 75241 | 1979 | 12.7 | 0.45 | 1.42 | 12.5 | 0.5 | 1.52 | 13.6 | 0.28 | 0.54 |
| 75254 | 1977 | 2.06 | 0.22 | 0.51 | 1.86 | 0.18 | -0.1 | 2.28 | 0.21 | 0.3 |
| 75259 | 1977 | 2.61 | 0.26 | 0.24 | 2.3 | 0.25 | 0.6 | 3.14 | 0.16 | 0.16 |
| 75280 | 1977 | 8.05 | 0.25 | 1.95 | 7.19 | 0.17 | -0.15 | 9.25 | 0.24 | 2.4 |
| 75284 | 1979 | 21.9 | 0.34 | 1.47 | 18.6 | 0.23 | -0.24 | 28.2 | 0.29 | 1.33 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|
| 75286 | 1979 | 30.7 | 0.35 | 1.34 | 24.7 | 0.2 | -0.17 | 39.1 | 0.29 | 0.93 |
| 75287 | 1976 | 37.3 | 0.44 | 2.2 | 31.3 | 0.24 | 0.27 | 59.5 | 0.36 | 1.12 |
| 75311 | 1979 | 37.1 | 0.41 | 0.96 | 27.7 | 0.26 | 0.07 | 51.8 | 0.24 | 1.03 |
| 75348 | 1979 | 1.47 | 0.6 | 1.83 | 1.04 | 0.41 | 1.33 | 2.03 | 0.5 | 1.32 |
| 75359 | 1979 | 21.8 | 0.36 | 1.45 | 17 | 0.2 | -0.34 | 27.9 | 0.28 | 1.46 |
| 75368 | 1976 | 14.6 | 0.56 | 1.12 | 9.77 | 0.4 | 1.05 | 21.1 | 0.37 | 0.6 |
| 75382 | 1978 | 32.6 | 0.43 | 1.55 | 26.1 | 0.32 | 1.35 | 44.3 | 0.33 | 1.53 |
| 75389 | 1977 | 7.24 | 0.4 | 0.83 | 5.53 | 0.31 | 1.48 | 10.1 | 0.21 | 1.7 |
| 75480 | 1976 | 1.46 | 0.71 | 1.02 | 0.979 | 0.64 | 0.51 | 2.04 | 0.55 | 0.53 |
| 75500 | 1976 | 32 | 0.65 | 2.25 | 22 | 0.35 | 1 | 54.7 | 0.42 | 2.01 |
| 75514 | 1979 | 5.5 | 0.6 | 1.53 | 3.9 | 0.23 | 0.16 | 9.07 | 0.43 | -0.28 |
| 75518 | 1979 | 18.3 | 0.65 | 1.56 | 11.7 | 0.35 | 0.63 | 31.4 | 0.36 | 1.16 |
| 75552 | 1972 | 35.5 | 0.38 | 0.45 | 29.7 | 0.34 | 0.21 | 49.2 | 0.19 | 1.98 |
| 75553 | 1976 | 59.5 | 0.33 | 1.08 | 49 | 0.24 | 0.51 | 78.1 | 0.23 | 1.53 |
| 75674 | 1980 | 16.5 | 0.5 | 2.96 | 13.4 | 0.3 | 0.56 | 21.7 | 0.5 | 2.38 |
| 76075 | 1977 | 7.89 | 0.34 | 0.67 | 5.78 | 0.25 | -0.01 | 9.33 | 0.26 | 0.77 |
| 76076 | 1977 | 1.35 | 0.43 | 0.56 | 0.941 | 0.4 | -0.33 | 1.53 | 0.37 | 0.49 |
| 76078 | 1977 | 4.45 | 0.21 | 0.16 | 4.27 | 0.26 | 0.46 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| 76105 | 1980 | 6.17 | 0.21 | 0.26 | 5.71 | 0.21 | 0.74 | 6.87 | 0.17 | -0.27 |
| 76139 | 1980 | 2.25 | 0.35 | 0.66 | 1.82 | 0.29 | 1.08 | 2.81 | 0.26 | 0.14 |
| 76159 | 1977 | 5.96 | 0.45 | 0.6 | 3.99 | 0.37 | 0.09 | 7.91 | 0.3 | -0.01 |
| 76180 | 1977 | 15.7 | 0.36 | 1.52 | 12 | 0.25 | -0.11 | 18.7 | 0.29 | 2.02 |
| 76190 | 1977 | 35.6 | 0.31 | 1.29 | 29.9 | 0.22 | -0.21 | 40.3 | 0.29 | 1.15 |
| 76240 | 1977 | 53.5 | 0.27 | 0.6 | 46.1 | 0.21 | 0.26 | 67 | 0.19 | 0.35 |
| 76351 | 1981 | 7.58 | 0.44 | 0.86 | 6.62 | 0.44 | 0.63 | 8.39 | 0.41 | 0.94 |
| 76355 | 1980 | 3.15 | 0.39 | 1 | 2.27 | 0.16 | 0.54 | 4.04 | 0.28 | 0.39 |
| 76363 | 1977 | 7.06 | 0.44 | 0.56 | 5.84 | 0.4 | 0.49 | 7.97 | 0.41 | 0.29 |
| 76364 | 1977 | 21 | 0.35 | 0.61 | 19.3 | 0.31 | 0.15 | 23.5 | 0.36 | 0.52 |
| 76461 | 1980 | 2.11 | 0.53 | 0.37 | 1.5 | 0.57 | 0.18 | 2.46 | 0.45 | 0.24 |
| 76492 | 1977 | 7.57 | 0.19 | 0.33 | 6.91 | 0.16 | -0.08 | 8.2 | 0.19 | -0.04 |
| 76550 | 1977 | 4.22 | 0.35 | 0.41 | 3.72 | 0.35 | 0.27 | 4.81 | 0.3 | 0.44 |
| 76553 | 1977 | 29.6 | 0.25 | -0.1 | 26.2 | 0.25 | -0.06 | 33.8 | 0.18 | 0.04 |
| 76593 | 1977 | 4.34 | 0.46 | 2.23 | 3.2 | 0.27 | -0.01 | 5.35 | 0.16 | -0.2 |
| 76596 | 1977 | 7.43 | 0.47 | 0.56 | 5.47 | 0.45 | 1.08 | | | |
| 76597 | 1981 | 12.9 | 0.5 | 1.67 | 9.77 | 0.4 | 1.09 | 17.2 | 0.4 | 1.77 |
| 76601 | 1983 | 2.39 | 0.42 | 1.18 | 1.79 | 0.35 | 0.35 | 2.82 | 0.35 | 1.28 |

Продолжение

| Весь период наблюдений | | | | | до 1985 | | | после 1985 | | |
|------------------------|------|-------|------|------|---------|------|-------|------------|------|-------|
| 76611 | 1982 | 7.07 | 0.46 | 0.64 | 4.87 | 0.33 | -0.89 | 9.26 | 0.29 | 1.07 |
| 76614 | 1977 | 7.95 | 0.37 | 0.47 | 6.23 | 0.29 | 0.4 | 10.8 | 0.2 | 0.25 |
| 76619 | 1979 | 6.87 | 0.24 | 0.21 | 6.14 | 0.23 | 0.55 | 7.8 | 0.2 | -0.35 |
| 76620 | 1980 | 16 | 0.48 | 2.46 | 12.5 | 0.29 | 0.47 | 21.8 | 0.41 | 2.28 |
| 76627 | 1980 | 8.54 | 0.33 | 0.31 | 6.18 | 0.25 | 0.14 | 10.4 | 0.21 | 0.14 |
| 76637 | 1977 | 2.16 | 0.38 | 0.79 | 1.61 | 0.29 | 0.39 | 2.75 | 0.26 | 0.98 |
| 76642 | 1977 | 3.32 | 0.41 | 0.73 | 2.35 | 0.28 | 0.7 | 4.39 | 0.26 | 0.61 |
| 76275 | 1979 | 1.89 | 0.44 | 0.98 | 1.65 | 0.46 | 1.31 | 2.24 | 0.35 | 0.98 |
| 76280 | 1980 | 11.6 | 0.4 | 0.55 | 9.57 | 0.37 | 0.16 | 14.4 | 0.32 | 0.39 |
| 76325 | 1972 | 0.259 | 0.61 | 1.13 | 0.228 | 0.79 | 1.48 | 0.293 | 0.42 | 1.14 |
| 77112 | 1976 | 2.74 | 0.6 | 1.19 | 1.69 | 0.5 | 0.17 | 3.65 | 0.45 | 1.06 |
| 77116 | 1977 | 3.03 | 0.48 | 2.12 | 2.2 | 0.31 | 0.42 | 3.71 | 0.43 | 2.04 |
| 77124 | 1980 | 3.71 | 0.46 | 2.23 | 2.76 | 0.24 | 0.13 | 4.93 | 0.37 | 2.23 |
| 77140 | 1978 | 4.33 | 0.45 | 0.87 | 3.26 | 0.33 | 0.41 | 6.03 | 0.31 | 0.17 |
| 77179 | 1978 | 6.23 | 0.55 | 1.13 | 3.96 | 0.35 | 0.52 | 9.21 | 0.32 | 1.27 |
| 77189 | 1977 | 3.18 | 0.46 | 0.71 | 2.26 | 0.41 | 0.26 | 4.19 | 0.3 | 1.07 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|
| 77209 | 1980 | 0.411 | 0.34 | 0.19 | 0.299 | 0.34 | 0.31 | 0.47 | 0.25 | 0.32 |
| 77223 | 1980 | 3.17 | 0.4 | 1.28 | 2.07 | 0.18 | -0.51 | 3.76 | 0.32 | 1.41 |
| 77231 | 1980 | 7.75 | 0.56 | 2.43 | 5.35 | 0.34 | -0.54 | 10.9 | 0.42 | 2.93 |
| 77242 | 1977 | 1.36 | 0.75 | 1.57 | 0.698 | 0.54 | 0.54 | 2.2 | 0.44 | 1.83 |
| 77245 | 1977 | 1.16 | 0.69 | 1.6 | 0.664 | 0.44 | 0.61 | 1.84 | 0.42 | 1.57 |
| 77250 | 1977 | 13.3 | 0.44 | 0.9 | 9.58 | 0.33 | 0.78 | 18.5 | 0.26 | 1.34 |
| 77270 | 1977 | 1.1 | 0.45 | 0.25 | 0.735 | 0.44 | -0.19 | 1.42 | 0.27 | 0.51 |
| 77298 | 1978 | 1.08 | 0.77 | 1.16 | 0.544 | 0.5 | 0.44 | 1.83 | 0.41 | 0.52 |
| 75202 | 1987 | 2.83 | 0.59 | 0.89 | 2.29 | 0.6 | 0.72 | 3.31 | 0.54 | 0.81 |
| 75209 | 1993 | 4.81 | 0.53 | 1.83 | 3.79 | 0.3 | 0.55 | 5.62 | 0.55 | 1.26 |
| 75210 | 1987 | 10.5 | 0.28 | 0.69 | 9.62 | 0.24 | 1.16 | 11.8 | 0.28 | -0.01 |
| 75530 | 1986 | 2.93 | 0.71 | 2.6 | 1.82 | 0.42 | 1.09 | 4.09 | 0.58 | 2.32 |
| 75643 | 1985 | 7.11 | 0.33 | 0.96 | 5.67 | 0.21 | 1.01 | 8.27 | 0.29 | 0.47 |
| 76127 | 1990 | 10.4 | 0.22 | 0.7 | 10.2 | 0.22 | 0.38 | 10.7 | 0.23 | 0.95 |
| 76130 | 1991 | 18.8 | 0.18 | -0.32 | 19.1 | 0.16 | -0.29 | 18.6 | 0.19 | -0.3 |
| 76176 | | 5.74 | 0.35 | 1.14 | 5.48 | 0.33 | 0.43 | 6.43 | 0.37 | 1.87 |
| 76256 | 1983 | 4.81 | 0.47 | 1.96 | 3.56 | 0.38 | 0.74 | 6.11 | 0.38 | 2.7 |
| 76345 | 1991 | 4.87 | 0.35 | 0.52 | 4.58 | 0.32 | 0.37 | 5.32 | 0.38 | 0.33 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 76462 | 1983 | 6.86 | 0.39 | 0.65 | 5.77 | 0.33 | -0.05 | 8.29 | 0.35 | 0.32 |
| 76482 | 1982 | 6.91 | 0.5 | 1.18 | 4.93 | 0.31 | -0.2 | 10.3 | 0.31 | 0.99 |
| 76486 | 1984 | 16.6 | 0.46 | 1.09 | 12 | 0.3 | 1.18 | 24.2 | 0.26 | 1.34 |
| 76490 | 1985 | 1.79 | 0.85 | 1.16 | 0.803 | 0.52 | 0.63 | 3.23 | 0.43 | 0.26 |
| 76584 | 1982 | 5.19 | 0.27 | 0.43 | 4.52 | 0.28 | 1.4 | 5.88 | 0.21 | -0.1 |
| 76638 | 1983 | 7.48 | 0.51 | 0.72 | 5.18 | 0.39 | 0.09 | 10.5 | 0.33 | 0.15 |
| 76640 | 1983 | 1.85 | 0.42 | 1.11 | 1.44 | 0.28 | 0.74 | 2.14 | 0.4 | 0.63 |
| 76500 | 1983 | 3.64 | 0.71 | 1.57 | 2.24 | 0.44 | 0.08 | 6.02 | 0.45 | 0.99 |
| 76512 | 1984 | 18.9 | 0.5 | 0.96 | 13.7 | 0.32 | -0.22 | 29.6 | 0.27 | 0.34 |
| 76519 | 1984 | 3.15 | 0.56 | 0.87 | 2.19 | 0.4 | -0.21 | 4.67 | 0.37 | -0.01 |
| 76537 | 1986 | 11 | 0.64 | 0.76 | 6.84 | 0.45 | 0.46 | 16.3 | 0.44 | -0.4 |
| 76416 | 1983 | 11.4 | 0.37 | 0.54 | 9.69 | 0.34 | 0.53 | 15.1 | 0.26 | 0.13 |
| 76417 | 1983 | 23.1 | 0.35 | 0.79 | 19.8 | 0.3 | 0.35 | 30 | 0.26 | 0.76 |
| 76421 | 1987 | 0.572 | 0.33 | -1 | 0.47 | 0.39 | -0.81 | 0.657 | 0.23 | -1.74 |
| 76423 | 1983 | 0.262 | 0.5 | 0.53 | 0.204 | 0.42 | -0.38 | 0.351 | 0.39 | -0.13 |
| 76456 | 1983 | 6.84 | 0.27 | 0.16 | 6.04 | 0.2 | -0.06 | 8.21 | 0.24 | -1.26 |
| 77130 | 1988 | 0.185 | 0.73 | 0.5 | 0.084 | 0.8 | 0.88 | 0.27 | 0.59 | 1.19 |
| 77152 | 1985 | 1.34 | 0.58 | 1.53 | 0.818 | 0.4 | 1.91 | 1.89 | 0.43 | -0.05 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 77164 | 1988 | 0.499 | 0.65 | 1.37 | 0.355 | 0.52 | 1.3 | 0.718 | 0.39 | 1.85 |
| 77201 | 1987 | 0.344 | 0.75 | 0.91 | 0.168 | 0.51 | 1.16 | 0.572 | 0.51 | 0.71 |
| 77210 | 1988 | 0.707 | 0.31 | -0.26 | 0.578 | 0.32 | 0.21 | 0.83 | 0.39 | 0.01 |
| 77212 | 1988 | 6.02 | 0.44 | 0.61 | 4.36 | 0.34 | 0.47 | 8.08 | 0.2 | -0.72 |
| 77217 | 1988 | 0.57 | 0.55 | 0.86 | 0.422 | 0.52 | 0.95 | 0.83 | 0.29 | 0.03 |
| 77260 | 1988 | 0.59 | 0.66 | 1.21 | 0.345 | 0.4 | -0.2 | 0.884 | 0.35 | 0.71 |
| 77266 | 1988 | 5.29 | 0.67 | 0.91 | 2.92 | 0.36 | 0.24 | 9.17 | 0.45 | 0.52 |
| 77276 | 1988 | 0.104 | 0.65 | 1.09 | 0.072 | 0.57 | 0.43 | 0.155 | 0.29 | -0.02 |
| 77285 | 1984 | 0.916 | 0.58 | 0.46 | 0.523 | 0.4 | -0.12 | 1.5 | 0.46 | 0.68 |
| 77292 | 1984 | 12.4 | 0.56 | 1.28 | 8.48 | 0.31 | -0.37 | 20.7 | 0.18 | 0.56 |
| 77311 | 1987 | 0.116 | 0.76 | 1.82 | 0.078 | 0.51 | 0.32 | 0.185 | 0.27 | 1.6 |
| 77329 | 1988 | 7.5 | 0.38 | 0.71 | 5.64 | 0.22 | 0.26 | 10.4 | 0.59 | 0.94 |
| 77336 | 1983 | 0.601 | 0.29 | 0.61 | 0.518 | 0.24 | 0.9 | 0.775 | 0.2 | 0.16 |
| 77362 | 1984 | 0.197 | 1.38 | 4.71 | 0.08 | 0.58 | 0.81 | 0.422 | 0.17 | 0.51 |

Статистические характеристики 30ти-дневного минимального стока за период открытого русла

| Весь период наблюдений | | | | | до 1978 | | | после 1978 | | |
|------------------------|--------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| Код поста | Год перелома | Q _{ср} м³/с | C _v | C _s | Q _{ср} м³/с | C _v | C _s | Q _{ср} м³/с | C _v | C _s |
| 75128 | 1975 | 41.9 | 0.57 | 1.86 | 34.5 | 0.53 | 1.64 | 53 | 0.51 | 1.84 |
| 75150 | 1976 | 10.2 | 0.33 | 1.17 | 9.23 | 0.29 | 0.48 | 11.7 | 0.32 | 1.31 |
| 75151 | 1975 | 27.7 | 0.41 | 1.82 | 23.7 | 0.3 | 0.4 | 30.5 | 0.42 | 1.65 |
| 75168 | 1976 | 12 | 0.27 | 0.7 | 12.1 | 0.28 | 0.41 | 11.9 | 0.26 | 1.09 |
| 75169 | 1974 | 20.6 | 0.38 | 1.09 | 19.3 | 0.35 | 0.86 | 23.1 | 0.39 | 1.04 |
| 75176 | 1981 | 5.9 | 0.4 | 2.29 | 5.11 | 0.26 | 1.38 | 6.53 | 0.43 | 1.89 |
| 75623 | 1974 | 47.7 | 0.31 | 0.61 | 44.1 | 0.28 | 0.46 | 62 | 0.23 | 0.65 |
| 75635 | 1976 | 4.81 | 0.29 | 0.04 | 3.6 | 0.24 | 0.97 | 5.64 | 0.17 | -0.1 |
| 75006 | 1978 | 60.8 | 0.54 | 1.26 | 56 | 0.56 | 1.72 | 75.8 | 0.44 | 0.29 |
| 75241 | 1976 | 21.2 | 0.64 | 1.93 | 21.2 | 0.62 | 1.79 | 21 | 0.69 | 2.43 |
| 75254 | 1976 | 2.01 | 0.38 | 1.87 | 1.68 | 0.32 | 2.81 | 2.34 | 0.35 | 1.69 |
| 75259 | 1978 | 3.36 | 0.38 | 3.19 | 2.9 | 0.3 | 2.52 | 4.1 | 0.37 | 3.52 |
| 75280 | 1976 | 8.26 | 0.32 | 1.43 | 7.94 | 0.32 | 1.79 | 8.66 | 0.31 | 1.17 |
| 75284 | 1978 | 30.1 | 0.53 | 3 | 27.7 | 0.56 | 4.17 | 34.2 | 0.47 | 1.69 |
| 75286 | 1978 | 42.6 | 0.5 | 2.76 | 40.8 | 0.63 | 2.89 | 44.8 | 0.31 | 1.64 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 75287 | 1976 | 50.5 | 0.56 | 2.02 | 43.9 | 0.54 | 2.68 | 73.3 | 0.43 | 1.51 |
| 75311 | 1975 | 39.1 | 0.29 | 0.62 | 32.3 | 0.2 | -0.04 | 49.7 | 0.19 | 0.31 |
| 75348 | 1978 | 1.49 | 0.52 | 1.64 | 1.18 | 0.35 | 0.83 | 1.88 | 0.5 | 1.02 |
| 75359 | 1978 | 21.8 | 0.32 | 1.02 | 17.5 | 0.19 | 0.42 | 26.7 | 0.25 | 0.5 |
| 75368 | 1975 | 13.2 | 0.42 | 0.84 | 10.9 | 0.45 | 1.36 | 16.2 | 0.31 | 0.95 |
| 75382 | 1978 | 31.9 | 0.47 | 4.03 | 28 | 0.58 | 5.34 | 38.9 | 0.21 | 0.8 |
| 75389 | 1975 | 7.33 | 0.37 | 1.48 | 5.89 | 0.23 | 1.56 | 9.56 | 0.29 | 1.18 |
| 75480 | 1978 | 0.779 | 1.12 | 2.63 | 0.78 | 0.99 | 2.87 | 0.777 | 1.27 | 2.54 |
| 75500 | 1974 | 30.5 | 0.43 | 0.96 | 24.7 | 0.36 | 1.01 | 42 | 0.31 | 0.5 |
| 75514 | 1974 | 4.66 | 0.53 | 1.22 | 3.48 | 0.4 | 0.96 | 7.01 | 0.36 | 0.6 |
| 75518 | 1975 | 16.1 | 0.66 | 1.13 | 10.1 | 0.38 | 1.28 | 27.5 | 0.36 | -0.25 |
| 75552 | 1976 | 35.9 | 0.43 | 0.38 | 28.5 | 0.37 | -0.03 | 52.8 | 0.21 | 0.12 |
| 75553 | 1974 | 62.6 | 0.31 | 0.73 | 53.9 | 0.26 | 1.18 | 78.7 | 0.23 | 0 |
| 75674 | 1977 | 22.8 | 0.66 | 3.4 | 22 | 0.78 | 3.76 | 24.1 | 0.46 | 1.15 |
| 76001 | 1977 | 8.63 | 0.57 | 1.71 | 7.39 | 0.56 | 1.6 | 10.3 | 0.53 | 1.72 |
| 76003 | 1960 | 20.2 | 0.51 | 0.91 | 18.3 | 0.5 | 1.2 | 22.3 | 0.38 | 1.25 |
| 76075 | 1977 | 15.3 | 0.58 | 2.95 | 13.8 | 0.49 | 0.96 | 16.3 | 0.61 | 3.25 |
| 76105 | 1968 | 17.4 | 0.48 | 1.61 | 16.5 | 0.53 | 1.95 | 18.6 | 0.4 | 1.11 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| 76139 | 1982 | 3.97 | 0.49 | 1.79 | 3.28 | 0.41 | 0.57 | 4.9 | 0.46 | 1.83 |
| 76141 | 1982 | 11.9 | 0.54 | 2.57 | 9.76 | 0.5 | 0.26 | 13.4 | 0.52 | 3.15 |
| 76159 | 1977 | 8.05 | 0.48 | 1.68 | 6.14 | 0.39 | 0.67 | 10.2 | 0.4 | 1.88 |
| 76180 | 1977 | 27.7 | 0.47 | 2.21 | 21.5 | 0.35 | 1.93 | 32.8 | 0.44 | 2.05 |
| 76190 | 1977 | 87.2 | 0.46 | 2.08 | 79.1 | 0.42 | 1.95 | 94.3 | 0.47 | 2.07 |
| 76240 | 1977 | 78.1 | 0.32 | 1.29 | 67.7 | 0.26 | 0.44 | 96.6 | 0.28 | 1.56 |
| 76345 | 1981 | 8.6 | 0.59 | 1.5 | 7.37 | 0.6 | 2.99 | 9.55 | 0.57 | 0.9 |
| 76351 | 1981 | 16.1 | 0.69 | 2.18 | 12.9 | 0.67 | 2.98 | 18.6 | 0.67 | 1.9 |
| 76355 | 1983 | 3.77 | 0.46 | 2.08 | 2.8 | 0.2 | 0.83 | 4.71 | 0.42 | 1.53 |
| 76364 | 1981 | 41.1 | 0.38 | 1.04 | 38.4 | 0.39 | 1.29 | 45.6 | 0.34 | 0.86 |
| 76461 | 1981 | 7.71 | 0.72 | 2.2 | 5.51 | 0.53 | 2.21 | 8.99 | 0.71 | 1.83 |
| 76492 | 1978 | 7.99 | 0.23 | 0.23 | 7.03 | 0.17 | -0.08 | 8.94 | 0.22 | -0.51 |
| 76550 | 1977 | 6.75 | 0.51 | 3.4 | 6.58 | 0.61 | 3.99 | 6.95 | 0.39 | 1.06 |
| 76553 | 1960 | 48.1 | 0.46 | 1.37 | 46.9 | 0.54 | 1.49 | 49.8 | 0.35 | 1.13 |
| 76593 | 1960 | 6.78 | 0.51 | 1.92 | 5.98 | 0.59 | 2.79 | 8.14 | 0.34 | 1.04 |
| 76596 | 1977 | 9.62 | 0.52 | 0.99 | 7.32 | 0.5 | 0.43 | 12.9 | 0.38 | 1.44 |
| 76597 | 1977 | 18 | 0.49 | 1.66 | 15 | 0.42 | 0.73 | 22.3 | 0.46 | 1.66 |
| 76601 | 1982 | 2.86 | 0.43 | 0.72 | 2.03 | 0.38 | 0.72 | 3.47 | 0.33 | 0.7 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|
| 76611 | 1977 | 9.15 | 0.49 | 1.5 | 8.27 | 0.61 | 2.19 | 9.88 | 0.39 | 0.89 |
| 76614 | 1964 | 9.8 | 0.35 | 0.77 | 8.51 | 0.34 | 1.33 | 12 | 0.27 | 0.44 |
| 76619 | 1977 | 10.4 | 0.53 | 2.15 | 10 | 0.62 | 2.65 | 10.9 | 0.42 | 0.82 |
| 76620 | 1980 | 23.1 | 0.46 | 1.98 | 21.1 | 0.56 | 2.59 | 26.4 | 0.27 | 0.47 |
| 76627 | 1977 | 11 | 0.33 | 0.14 | 8.17 | 0.3 | 0.29 | 13.2 | 0.22 | -0.04 |
| 76634 | 1981 | 31.7 | 0.36 | 0.42 | 24.6 | 0.31 | 0.26 | 38.8 | 0.26 | 0.23 |
| 76637 | 1977 | 2.48 | 0.38 | 1.19 | 1.9 | 0.25 | 0.23 | 3.13 | 0.3 | 1.03 |
| 76642 | 1977 | 3.63 | 0.41 | 0.85 | 2.92 | 0.38 | 0.23 | 4.43 | 0.34 | 0.95 |
| 76462 | 1982 | 19 | 0.58 | 1.45 | 16 | 0.49 | 2.17 | 21.2 | 0.59 | 1.07 |
| 76482 | 1982 | 9.17 | 0.53 | 1.09 | 5.94 | 0.33 | 0.4 | 12.5 | 0.37 | 0.65 |
| 76584 | 1982 | 6.93 | 0.37 | 1.05 | 5.8 | 0.35 | 0.99 | 7.64 | 0.34 | 1.04 |
| 76275 | 1978 | 4.29 | 0.61 | 2.12 | 4.15 | 0.68 | 2.48 | 4.52 | 0.52 | 1.39 |
| 76280 | 1978 | 19.5 | 0.42 | 1.75 | 18.4 | 0.5 | 2.24 | 21.3 | 0.3 | 0.67 |
| 76325 | 1976 | 0.414 | 0.53 | 1.27 | 0.325 | 0.5 | 0.69 | 0.511 | 0.46 | 1.31 |
| 77112 | 1975 | 3.23 | 0.57 | 1.65 | 2.44 | 0.75 | 3.62 | 3.94 | 0.39 | 0.75 |
| 77115 | 1977 | 0.692 | 0.71 | 1.33 | 0.415 | 1.18 | 3.33 | 0.83 | 0.53 | 1.14 |
| 77116 | 1974 | 3.28 | 0.65 | 1.37 | 2.24 | 0.6 | 2.04 | 4.16 | 0.55 | 1.01 |
| 77124 | 1977 | 3.23 | 0.44 | 0.84 | 2.51 | 0.42 | 1.72 | 4.11 | 0.32 | 0.49 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 77140 | 1977 | 5.14 | 0.38 | 0.6 | 4.11 | 0.29 | 0.12 | 6.84 | 0.27 | -0.2 |
| 77179 | 1977 | 7.78 | 0.5 | 0.7 | 5.27 | 0.35 | 0.35 | 11.2 | 0.29 | 0 |
| 77189 | 1977 | 4.08 | 0.44 | 0.38 | 2.92 | 0.4 | 0.09 | 5.42 | 0.27 | 0.33 |
| 77193 | 1980 | 1.09 | 0.4 | 0.72 | 0.8 | 0.29 | -0.59 | 1.42 | 0.27 | 0.67 |
| 77212 | 1977 | 5.85 | 0.55 | 0.74 | 3.67 | 0.52 | 1.04 | 7.55 | 0.4 | 0.53 |
| 77231 | 1977 | 8.93 | 0.57 | 1.68 | 6.68 | 0.38 | -0.17 | 12 | 0.5 | 1.14 |
| 77242 | 1983 | 1.66 | 0.8 | 1.06 | 0.802 | 0.59 | 0.61 | 2.76 | 0.45 | 0.3 |
| 77250 | 1981 | 16.3 | 0.42 | 0.61 | 12.8 | 0.39 | 0.71 | 21.2 | 0.29 | 0.48 |
| 77370 | 1977 | 0.353 | 0.43 | 0.41 | 0.254 | 0.39 | 0.74 | 0.474 | 0.23 | 0.63 |
| 75202 | 1985 | 3.48 | 0.66 | 1.41 | 3.12 | 0.72 | 1.93 | 3.81 | 0.62 | 1.16 |
| 75209 | 1987 | 6.7 | 0.42 | 1.6 | 6.02 | 0.21 | 0.62 | 7.24 | 0.48 | 1.08 |
| 75210 | 1985 | 16.6 | 0.42 | 1.02 | 14.8 | 0.43 | 1.58 | 19.4 | 0.36 | 0.57 |
| 75530 | 1986 | 2.67 | 0.61 | 0.65 | 1.55 | 0.52 | 0.2 | 3.79 | 0.39 | 0.11 |
| 75643 | 1985 | 8.67 | 0.29 | 0.04 | 7.03 | 0.21 | 0.19 | 10.1 | 0.23 | -1.11 |
| 76127 | 1983 | 26.4 | 0.42 | 0.93 | 24.1 | 0.45 | 1.07 | 29.2 | 0.38 | 0.96 |
| 76130 | 1989 | 47.7 | 0.37 | 1.64 | 49.6 | 0.36 | 1.19 | 46.5 | 0.39 | 2.04 |
| 76256 | 1984 | 6.08 | 0.46 | 0.57 | 4.65 | 0.46 | 0.54 | 7.63 | 0.34 | 0.59 |
| 76363 | 1983 | 19.2 | 0.62 | 1.55 | 12.5 | 0.4 | 0.83 | 28 | 0.45 | 1.1 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 76466 | 1992 | 31.9 | 0.64 | 1.78 | 27.4 | 0.58 | 2.12 | 43.5 | 0.6 | 1.08 |
| 76490 | 1985 | 2.82 | 0.59 | 1.02 | 1.83 | 0.42 | 0.25 | 4.31 | 0.35 | 0.6 |
| 76486 | 1984 | 23.9 | 0.42 | 0.75 | 18.6 | 0.31 | 0.12 | 32.5 | 0.3 | 0.01 |
| 76638 | 1984 | 6.92 | 0.49 | 0.83 | 5.08 | 0.39 | 0.59 | 9.43 | 0.36 | 0.24 |
| 76640 | 1982 | 1.63 | 0.48 | 0.57 | 1.14 | 0.46 | 1.21 | 1.98 | 0.38 | 0.17 |
| 76500 | 1983 | 4.98 | 0.72 | 2.73 | 3.45 | 0.41 | 0.47 | 7.59 | 0.6 | 2.04 |
| 76512 | 1984 | 25 | 0.47 | 0.62 | 19.3 | 0.36 | -0.37 | 36.6 | 0.32 | -0.56 |
| 76519 | 1983 | 5.05 | 0.45 | 0.6 | 4 | 0.38 | -0.28 | 6.66 | 0.34 | 0.29 |
| 76537 | 1984 | 11.2 | 0.56 | 0.38 | 7.42 | 0.44 | 0.51 | 16.4 | 0.34 | -1.25 |
| 76416 | 1983 | 19.2 | 0.49 | 1.28 | 18.4 | 0.5 | 1.58 | 21 | 0.45 | 0.82 |
| 76417 | 1983 | 41 | 0.36 | 0.97 | 37.5 | 0.32 | 0.56 | 48.4 | 0.37 | 0.8 |
| 76421 | 1987 | 1.27 | 0.52 | 2.29 | 1.15 | 0.37 | 0.93 | 1.36 | 0.59 | 2.06 |
| 76423 | 1983 | 0.607 | 0.85 | 4.34 | 0.484 | 0.38 | 0.96 | 0.783 | 0.96 | 3.01 |
| 76456 | 1983 | 9.2 | 0.26 | 0.35 | 8.16 | 0.22 | 0.08 | 11.1 | 0.19 | 0.04 |
| 77152 | 1985 | 1.76 | 0.54 | 0.68 | 1.11 | 0.45 | 1.16 | 2.46 | 0.34 | 0.13 |
| 77164 | 1988 | 0.539 | 0.78 | 1.36 | 0.409 | 0.8 | 1.6 | 0.732 | 0.64 | 1.05 |
| 77201 | 1989 | 0.433 | 0.59 | 1.53 | 0.305 | 0.36 | 1.35 | 0.619 | 0.46 | 0.67 |
| 77209 | 1985 | 0.498 | 0.25 | -0.17 | 0.547 | 0.23 | -0.96 | 0.45 | 0.23 | 0.35 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|
| 77210 | 1984 | 0.873 | 0.31 | 0.02 | 0.755 | 0.31 | -0.69 | 0.99 | 0.26 | 0.36 |
| 77217 | 1985 | 0.596 | 0.66 | 1.31 | 0.444 | 0.71 | 2.55 | 0.87 | 0.44 | 0.7 |
| 77223 | 1991 | 3.49 | 0.48 | 2.11 | 2.87 | 0.22 | 0.17 | 4.12 | 0.51 | 1.34 |
| 77245 | 1987 | 1.17 | 0.67 | 1.8 | 0.788 | 0.37 | 0.39 | 1.96 | 0.46 | 0.82 |
| 77260 | 1988 | 0.834 | 0.6 | 0.56 | 0.484 | 0.51 | 0.28 | 1.27 | 0.3 | 0.34 |
| 77266 | 1985 | 5.63 | 0.64 | 0.88 | 3.43 | 0.45 | 0.04 | 9.42 | 0.31 | 0.17 |
| 77270 | 1985 | 1.12 | 0.64 | 0.76 | 0.723 | 0.62 | 0.82 | 1.69 | 0.39 | 0.44 |
| 77276 | 1985 | 0.04 | 0.97 | 1.81 | 0.027 | 0.93 | 1.39 | 0.061 | 0.78 | 1.35 |
| 77285 | 1984 | 1.06 | 0.58 | 0.78 | 0.647 | 0.36 | -0.22 | 1.68 | 0.27 | 0.22 |
| 77292 | 1984 | 15 | 0.49 | 0.75 | 11.4 | 0.38 | 0.23 | 22.7 | 0.28 | 0.08 |
| 77298 | 1984 | 1.2 | 0.56 | 1.57 | 0.849 | 0.28 | 0.37 | 1.95 | 0.35 | 0.79 |
| 77311 | 1988 | 0.079 | 0.88 | 1.49 | 0.063 | 0.95 | 1.95 | 0.107 | 0.73 | 1.04 |
| 77329 | 1985 | 8.52 | 0.31 | 0.4 | 7.05 | 0.23 | -0.72 | 10.9 | 0.21 | 0.06 |
| 77336 | 1983 | 0.534 | 0.35 | 0.52 | 0.436 | 0.27 | 0.93 | 0.742 | 0.15 | 0.49 |
| 77362 | 1985 | 0.19 | 1.52 | 2.82 | 0.055 | 0.53 | 1.06 | 0.458 | 0.83 | 1.5 |

Изменение минимального стока относительно предыдущего периода в бассейне р. Волги

| № | Код поста | Водный объект | Пост | К | Δq , л с/км ² | К | Δq , л с/км ² |
|----|-----------|---------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|------|----------------------------------|
| | | | | зимний период | период открытого русла | | |
| 1 | 75128 | р. Молога | г. Устюжна | 1,64 | 0,95 | 1,54 | 0,97 |
| 2 | 75150 | р. Чагодоща | д. Анисимово | 1,36 | 1,02 | 1,27 | 0,91 |
| 3 | 75151 | р. Чагодоща | с. Мегрино | 1,35 | 0,93 | 1,29 | 0,93 |
| 4 | 75168 | р. Суда | с. Борисово-Судское | 1,31 | 0,93 | 0,98 | -0,08 |
| 5 | 75169 | р. Суда | д. Куракино | 1,25 | 0,69 | 1,2 | 0,77 |
| 6 | 75176 | р. Колпь | с. Торопово | 1,27 | 0,63 | 1,28 | 0,85 |
| 7 | 75202 | р. Куношь | д. Ростани | 1,45 | 0,88 | 1,22 | 0,59 |
| 8 | 75209 | р. Кема | д. Игнатово | 1,48 | 1,14 | 1,2 | 0,76 |
| 9 | 75210 | р. Кема | д. Левково | 1,23 | 0,52 | 1,31 | 1,11 |
| 10 | 75530 | р. Выша | пос. 10 октябрь | 2,25 | 1,04 | 2,45 | 1,02 |
| 11 | 75623 | р. Сура | с. Кадышево | 1,82 | 1 | 1,41 | 0,64 |
| 12 | 75635 | р. Уза | с. Чардым | 1,77 | 0,73 | 1,57 | 0,63 |
| 13 | 75643 | р. Барыш | г. Карсун | 1,46 | 0,71 | 1,44 | 0,83 |
| 14 | 75006 | р. Волга | г. Старица | 1,77 | 1,52 | 1,35 | 0,94 |
| 15 | 75241 | р. Кострома | г. Буй(ниже устья р. Вексы) | 1,09 | 0,12 | 0,99 | -0,02 |
| 16 | 75254 | р. Тебза | с. Борок | 1,23 | 0,42 | 1,39 | 0,65 |
| 17 | 75259 | р. Обнора | с. Шарна | 1,37 | 0,47 | 1,41 | 0,67 |
| 18 | 75280 | р. Немда | с. Селище | 1,29 | 0,54 | 1,09 | 0,19 |
| 19 | 75284 | р. Унжа | г. Кологрив | 1,52 | 0,83 | 1,23 | 0,57 |
| 20 | 75286 | р. Унжа | г. Мантурово | 1,58 | 0,89 | 1,1 | 0,25 |
| 21 | 75287 | р. Унжа | г. Макарьев | 1,9 | 1,52 | 1,67 | 1,59 |
| 22 | 75311 | р. Ока | г. Белев | 1,87 | 1,38 | 1,54 | 0,99 |
| 23 | 75348 | р. Нугрь | г. Болхов | 1,95 | 0,98 | 1,59 | 0,69 |
| 24 | 75359 | р. Упа | с. Орлово | 1,64 | 1,33 | 1,53 | 1,12 |
| 25 | 75368 | р. Жиздра | г. Козельск | 2,16 | 1,63 | 1,49 | 0,76 |
| 26 | 75382 | р. Угра | пгш Товарково | 1,7 | 1,19 | 1,39 | 0,71 |
| 27 | 75389 | р. Протва | с. Спас-Загорье | 1,83 | 1,26 | 1,62 | 1,01 |
| 28 | 75480 | р. Бужа | д. Избище | 2,08 | 0,96 | 1 | 0 |
| 29 | 75500 | р. Мокша | с. Шевелевский Майдан | 2,49 | 1,14 | 1,7 | 0,6 |
| 30 | 75514 | р. Цна | с. Кузьмина Гать | 2,33 | 1,21 | 2,01 | 0,83 |
| 31 | 75518 | р. Цна | с. Княжево | 2,68 | 1,45 | 2,72 | 1,28 |
| 32 | 75552 | р. Клязьма | г. Владимир | 1,66 | 1,36 | 1,85 | 1,7 |
| 33 | 75553 | р. Клязьма | г. Ковров | 1,59 | 1,17 | 1,46 | 1 |

Продолжение

| | | | | | | | |
|----|-------|-------------------|----------------------------|------|------|------|------|
| 34 | 75674 | р.Ветлуга | с.Михайловицы | 1,62 | 0,66 | 1,1 | 0,17 |
| 35 | 76001 | р.Кама | клх.Ширяевский | | | 1,39 | 0,58 |
| 36 | 76003 | р.Кама | с.Волосницкое | | | 1,22 | 0,41 |
| 37 | 76075 | р.Коса | с.Коса | 1,61 | 0,56 | 1,18 | 0,39 |
| 38 | 76076 | р.Лолог | пос.Сергеевский | 1,63 | 0,37 | | |
| 39 | 76105 | р.Колва | д.Петрецова | 1,2 | 0,41 | 1,13 | 0,74 |
| 40 | 76127 | р.Яйва | пос.База | 1,05 | 0,14 | 1,21 | 1,4 |
| 41 | 76130 | р.Яйва | с.Усть-Игум | 0,97 | 0 | 0,94 | 0 |
| 42 | 76139 | р.Иньва | г.Кудымкар | 1,54 | 0,48 | 1,49 | 0,79 |
| 43 | 76141 | р.Иньва | д.Слудка | | | 1,37 | 0,7 |
| 44 | 76159 | р.Обва | с.Карагай | 1,98 | 0,91 | 1,66 | 0,94 |
| 45 | 76176 | р.Чусовая | пгт Староуткинск | 1,17 | 0,17 | | |
| 46 | 76180 | р.Чусовая | пгт Кын | 1,56 | 0,64 | 1,53 | 1,09 |
| 47 | 76190 | р.Чусовая | пгт Лямино | 1,35 | 0,48 | 1,19 | 0,71 |
| 48 | 76240 | р.Сылва | с.Подкаменное | 1,45 | 1,06 | 1,43 | 1,47 |
| 49 | 76256 | р.Тулва | с.Барда | 1,72 | 1,35 | 1,64 | 1,58 |
| 50 | 76345 | р.Лемеза | с.Нижние Лемезы | 1,16 | 0,44 | 1,3 | 1,3 |
| 51 | 76351 | р.Инзер | д.Азово | 1,27 | 0,42 | 1,44 | 1,34 |
| 52 | 76355 | р.Уршак | с.Ляхово | 1,78 | 0,57 | 1,68 | 0,61 |
| 53 | 76363 | р.Уфа | г.Михайловск | 1,36 | 0,38 | 2,24 | 2,74 |
| 54 | 76364 | р.Уфа | г.Красноуфимск | 1,22 | 0,3 | 1,19 | 0,51 |
| 55 | 76461 | р.Юрюзань | пгт Вязовая | 1,64 | 0,4 | 1,63 | 1,43 |
| 56 | 76462 | р.Юрюзань | д.Чулпан | 1,44 | 0,52 | 1,33 | 1,07 |
| 57 | 76466 | р.Юрюзань | пос.Атняш | | | 1,59 | 2,32 |
| 58 | 76482 | р.Дема | д.Дюсяново | 2,09 | 1,33 | 2,1 | 1,63 |
| 59 | 76486 | р.Дема | д.Бочкарева | 2,02 | 0,98 | 1,75 | 1,11 |
| 60 | 76490 | р.Чермасан | д.Новоюмраново | 4,02 | 0,68 | 2,36 | 0,69 |
| 61 | 76492 | р.Бирь | с.Малосухоязово | 1,19 | 1,07 | | |
| 62 | 76550 | р.Вятка | с.Красноглинье | 1,29 | 0,47 | 1,06 | 0,16 |
| 63 | 76553 | р.Вятка | д.Усатьевская(пгт Нагорск) | 1,29 | 0,46 | 1,06 | 0,18 |
| 64 | 76584 | р.Черная Холуница | с.Троица | 1,3 | 0,92 | 1,32 | 1,24 |
| 65 | 76593 | р.Летка | с.Казань | 1,67 | 0,75 | 1,36 | 0,75 |
| 66 | 76596 | р.Чепца | с.Полом | | | 1,76 | 0,94 |
| 67 | 76597 | р.Чепца | г.Глазов | 1,76 | 0,76 | 1,49 | 0,75 |
| 68 | 76601 | р.Лоза | пгт Игра | 1,58 | 0,93 | 1,71 | 1,3 |
| 69 | 76611 | р.Великая | с.Великорецкое | 1,9 | 1,29 | 1,19 | 0,47 |
| 70 | 76614 | р.Быстрица | д.Шипицино | 1,73 | 1,29 | 1,41 | 0,99 |
| 71 | 76619 | р.Молома | д.Пермятская | 1,27 | 0,27 | 1,09 | 0,15 |

Продолжение

| | | | | | | | |
|-----|-------|--------------------|---------------------------|------|------|------|------|
| 72 | 76620 | р.Молома | д.Спасское | 1,74 | 0,89 | 1,25 | 0,5 |
| 73 | 76627 | р.Воя | г.Нолинск | 1,68 | 1,57 | 1,62 | 1,88 |
| 74 | 76634 | р.Кильмезь | д.Вичмарь | | | 1,58 | 0,87 |
| 75 | 76637 | р.Лумпун | д.Шмыки | 1,71 | 0,94 | 1,65 | 1,02 |
| 76 | 76638 | р.Вала | с.Вавож | 2,03 | 1,12 | 1,86 | 0,91 |
| 77 | 76640 | р.Нылга | с.Нылга | 1,49 | 0,59 | 1,74 | 0,71 |
| 78 | 76642 | р.Лобань | с.Рыбная Ватага | 1,87 | 0,89 | 1,52 | 0,66 |
| 79 | 76500 | р.Сюнь | с.Миньярово | 2,69 | 0,91 | 2,2 | 1 |
| 80 | 76512 | р.Ик | с.Нагайбаково | 2,16 | 1,29 | 1,9 | 1,41 |
| 81 | 76519 | р.Усень | г.Туймазы | 2,13 | 1,08 | 1,67 | 1,16 |
| 82 | 76537 | р.Зай(Степной Зай) | с.Старое Пальчиково | 2,38 | 2,08 | 2,21 | 1,98 |
| 83 | 76275 | р.Белая | Арский Камень,д/о | 1,36 | 0,26 | 1,09 | 0,16 |
| 84 | 76280 | р.Белая | д.Сыртланово | 1,5 | 0,48 | 1,16 | 0,29 |
| 85 | 76325 | р.Селеук | д.Нижнеиткулово | 1,29 | 0,46 | 1,57 | 1,32 |
| 86 | 76416 | р.Ай | с.Лаклы | 1,56 | 0,84 | 1,14 | 0,4 |
| 87 | 76417 | р.Ай | с.Метели | 1,52 | 0,72 | 1,29 | 0,77 |
| 88 | 76421 | р.Куса | пгт Магнитка | 1,4 | 0,65 | 1,18 | 0,73 |
| 89 | 76423 | р.Большая Арша | д.Вознесенская | 1,72 | 0,53 | 1,62 | 1,08 |
| 90 | 76456 | р.Сарс | с.Султанбеково | 1,36 | 1,67 | 1,36 | 2,26 |
| 91 | 77112 | р.Цивиль | д.Тувси | 2,16 | 0,49 | 1,61 | 0,37 |
| 92 | 77115 | р.Малый Цивиль | с.Шигали | | | 2 | 0,35 |
| 93 | 77116 | р.Большая Кокшага | пгт Санчурск | 1,69 | 0,71 | 1,86 | 0,9 |
| 94 | 77124 | р.Малая Кокшага | рзд Куяр | 1,79 | 0,83 | 1,64 | 0,61 |
| 95 | 77130 | р.Средний Аниш | с.Байгулово | 3,21 | 0,51 | | |
| 96 | 77140 | р.Свияга | с.Вырыпаевка | 1,85 | 0,77 | 1,66 | 0,76 |
| 97 | 77152 | р.Сельда | ст.Сельдь | 2,31 | 1,09 | 2,22 | 1,37 |
| 98 | 77164 | р.Кубня | с.Чутеево | 2,02 | 0,39 | 1,79 | 0,35 |
| 99 | 77179 | р.Шешма | с.Слобода Петропавловская | 2,33 | 1,69 | 2,13 | 1,91 |
| 100 | 77189 | р.Кичуй | с.Утяшкино | 1,85 | 1,45 | 1,86 | 1,88 |
| 101 | 77193 | р.Берсут | с.Урманчеево | | | 1,78 | 1,39 |
| 102 | 77201 | р.Актай | с.Караваево | 3,4 | 0,59 | 2,03 | 0,46 |
| 103 | 77209 | р.Красная | с.Красная Река | 1,57 | 0,55 | 0,82 | 0 |
| 104 | 77210 | р.Тушонка | с.Сергеевка | 1,44 | 0,82 | 1,31 | 0,76 |
| 105 | 77212 | р.Большой Черемшан | пгт Новочеремшанск | 1,85 | 0,61 | 2,06 | 0,64 |
| 106 | 77217 | р.Малый Черемшан | с.Абалдуевка | 1,97 | 0,33 | 1,96 | 0,35 |
| 107 | 77223 | р.Уса | с.Байдеряково | 1,82 | 0,87 | 1,44 | 0,64 |

Продолжение

| | | | | | | | |
|-----|-------|----------------------|---------------------|------|------|------|------|
| 108 | 77231 | р.Сок | ст.Сургут | 2,04 | 1,17 | 1,8 | 1,12 |
| 109 | 77242 | р.Кондурча | с.Кошки | 3,15 | 0,63 | 3,44 | 0,82 |
| 110 | 77245 | р.Самара | с.Новосергиевка | 2,77 | 0,54 | 2,49 | 0,54 |
| 111 | 77250 | р.Самара | с.Елшанка | 1,93 | 0,39 | 1,66 | 0,37 |
| 112 | 77260 | р.Малый Уран | с.Грачевка | 2,56 | 0,37 | 2,62 | 0,55 |
| 113 | 77266 | р.Ток | с.Ероховка | 3,14 | 1,15 | 2,75 | 1,1 |
| 114 | 77270 | р.Бузулук | д.Перевозниково | 1,93 | 0,16 | 2,34 | 0,23 |
| 115 | 77276 | р.Колтубанка | рзд Лес | 2,15 | 0,7 | 2,26 | 0,29 |
| 116 | 77285 | р.Большой Кинель | с.Азаматово | 2,87 | 1,08 | 2,6 | 1,14 |
| 117 | 77292 | р.Большой Кинель | с.Тимашево | 2,44 | 1,02 | 1,99 | 0,94 |
| 118 | 77298 | р.Малый Кинель | с.Полудни | 3,36 | 0,62 | 2,3 | 0,53 |
| 119 | 77311 | р.Чапаевка | с.Подъем Михайловка | 2,37 | 0,07 | 1,7 | 0,03 |
| 120 | 77329 | р.Сызрань | с.Репьевка | 1,84 | 1,09 | 1,55 | 0,88 |
| 121 | 77336 | р.Чагра | с.Новотулка | 1,5 | 0,1 | 1,7 | 0,12 |
| 122 | 77362 | р.Большой Караман | пгт Советское | 5,28 | 0,1 | 8,33 | 0,12 |

Расчетное распределение минимального 30-ти дневного стока ($\text{м}^3/\text{с}$) в виде ординат кривых обеспеченности за летне-осеннюю межень

| Посты | Ординаты кривых обеспеченности | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.1% | 1% | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 95% | 97% | 99% | 99.5% | 99.9% |
| 75006 | 225,31 | 156,97 | 123,52 | 106,31 | 86,00 | 72,61 | 62,41 | 54,01 | 46,68 | 39,89 | 33,16 | 25,61 | 20,64 | 17,91 | 13,61 | 11,60 | 8,13 |
| 75128 | 179,67 | 122,62 | 86,93 | 72,22 | 57,52 | 48,70 | 42,16 | 36,78 | 32,03 | 27,57 | 23,08 | 17,99 | 14,63 | 12,79 | 9,92 | 8,61 | 6,44 |
| 75150 | 27,03 | 20,41 | 16,17 | 14,41 | 12,61 | 11,47 | 10,57 | 9,80 | 9,07 | 8,34 | 7,54 | 6,51 | 5,72 | 5,24 | 4,40 | 3,98 | 3,21 |
| 75151 | 92,49 | 65,98 | 48,86 | 41,76 | 34,88 | 30,89 | 27,95 | 25,51 | 23,32 | 21,20 | 18,96 | 16,23 | 14,26 | 13,09 | 11,11 | 10,11 | 8,26 |
| 75168 | 24,95 | 20,92 | 17,80 | 16,29 | 14,59 | 13,46 | 12,54 | 11,73 | 10,96 | 10,18 | 9,33 | 8,23 | 7,41 | 6,91 | 6,03 | 5,57 | 4,70 |
| 75169 | 56,23 | 44,22 | 34,95 | 30,75 | 26,33 | 23,54 | 21,37 | 19,51 | 17,78 | 16,08 | 14,25 | 11,99 | 10,35 | 9,38 | 7,74 | 6,92 | 5,45 |
| 75176 | 20,54 | 14,39 | 10,49 | 8,86 | 7,27 | 6,38 | 5,78 | 5,31 | 4,92 | 4,56 | 4,20 | 3,76 | 3,42 | 3,21 | 2,78 | 2,55 | 2,12 |
| 75202 | 14,04 | 10,65 | 7,95 | 6,64 | 5,19 | 4,28 | 3,58 | 2,99 | 2,48 | 2,01 | 1,55 | 1,05 | 0,75 | 0,59 | 0,37 | 0,28 | 0,16 |
| 75209 | 21,14 | 15,98 | 12,07 | 10,25 | 8,44 | 7,45 | 6,75 | 6,19 | 5,69 | 5,19 | 4,63 | 3,88 | 3,26 | 2,87 | 2,21 | 1,90 | 1,38 |
| 75210 | 46,99 | 36,56 | 29,27 | 25,80 | 21,94 | 19,38 | 17,35 | 15,58 | 13,96 | 12,37 | 10,72 | 8,76 | 7,42 | 6,66 | 5,44 | 4,85 | 3,84 |
| 75241 | 99,98 | 67,89 | 46,98 | 38,33 | 29,78 | 24,73 | 21,05 | 18,06 | 15,46 | 13,06 | 10,68 | 8,01 | 6,26 | 5,30 | 3,81 | 3,12 | 2,00 |
| 75254 | 6,10 | 4,57 | 3,50 | 3,02 | 2,51 | 2,18 | 1,96 | 1,80 | 1,67 | 1,55 | 1,44 | 1,31 | 1,22 | 1,16 | 1,06 | 1,01 | 0,90 |
| 75259 | 12,74 | 8,20 | 5,73 | 4,78 | 3,95 | 3,56 | 3,30 | 3,08 | 2,89 | 2,70 | 2,50 | 2,23 | 2,02 | 1,89 | 1,66 | 1,54 | 1,31 |
| 75280 | 21,87 | 16,71 | 13,14 | 11,62 | 10,08 | 9,14 | 8,43 | 7,83 | 7,29 | 6,75 | 6,18 | 5,46 | 4,93 | 4,61 | 4,05 | 3,76 | 3,19 |
| 75284 | 141,58 | 91,93 | 60,44 | 48,09 | 37,47 | 32,18 | 28,70 | 26,02 | 23,74 | 21,64 | 19,48 | 16,87 | 14,85 | 13,51 | 10,63 | 9,02 | 6,39 |
| 75286 | 188,05 | 116,68 | 80,42 | 67,34 | 55,02 | 47,84 | 42,58 | 38,25 | 34,40 | 30,74 | 26,96 | 22,43 | 19,18 | 17,25 | 13,97 | 12,37 | 9,59 |
| 75287 | 214,43 | 151,22 | 106,26 | 86,66 | 67,40 | 56,55 | 49,02 | 43,17 | 38,23 | 33,75 | 29,35 | 24,38 | 21,04 | 19,18 | 16,17 | 14,73 | 12,21 |
| 75311 | 77,93 | 68,37 | 59,97 | 55,39 | 49,39 | 44,36 | 40,22 | 37,13 | 34,55 | 32,12 | 29,53 | 26,21 | 23,65 | 22,06 | 19,23 | 17,73 | 14,86 |
| 75348 | 5,30 | 4,09 | 3,06 | 2,56 | 2,00 | 1,68 | 1,46 | 1,29 | 1,15 | 1,02 | 0,89 | 0,74 | 0,64 | 0,58 | 0,47 | 0,41 | 0,29 |
| 75359 | 48,69 | 41,52 | 35,23 | 31,86 | 27,59 | 24,38 | 21,91 | 20,09 | 18,64 | 17,37 | 16,09 | 14,56 | 13,45 | 12,78 | 11,60 | 11,00 | 9,82 |
| 75368 | 36,03 | 28,72 | 23,29 | 20,68 | 17,71 | 15,69 | 14,02 | 12,52 | 11,09 | 9,69 | 8,26 | 6,67 | 5,64 | 5,08 | 4,19 | 3,77 | 3,06 |
| 75382 | 71,00 | 57,74 | 48,47 | 44,01 | 38,78 | 34,99 | 31,66 | 28,63 | 26,03 | 23,88 | 22,00 | 20,12 | 18,99 | 18,39 | 17,50 | 17,10 | 16,47 |
| 75389 | 20,39 | 15,85 | 12,60 | 11,08 | 9,36 | 8,18 | 7,26 | 6,55 | 6,01 | 5,56 | 5,17 | 4,75 | 4,48 | 4,34 | 4,11 | 4,00 | 3,82 |
| 75480 | 5,89 | 4,08 | 2,55 | 1,88 | 1,23 | 0,89 | 0,65 | 0,49 | 0,35 | 0,25 | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 75500 | 79,50 | 67,86 | 56,51 | 49,93 | 40,92 | 34,63 | 30,70 | 27,72 | 25,09 | 22,52 | 19,76 | 16,29 | 13,71 | 12,18 | 9,60 | 8,33 | 6,08 |
| 75514 | 15,04 | 12,10 | 9,56 | 8,23 | 6,61 | 5,48 | 4,63 | 3,99 | 3,48 | 3,04 | 2,62 | 2,15 | 1,83 | 1,66 | 1,37 | 1,23 | 0,99 |
| 75518 | 48,65 | 44,50 | 38,20 | 33,55 | 26,26 | 19,24 | 13,89 | 11,45 | 9,97 | 8,82 | 7,77 | 6,62 | 5,85 | 5,41 | 4,67 | 4,28 | 3,49 |
| 75530 | 7,93 | 6,80 | 5,63 | 4,97 | 4,13 | 3,50 | 2,93 | 2,32 | 1,92 | 1,61 | 1,25 | 0,79 | 0,49 | 0,34 | 0,16 | 0,10 | 0,04 |
| 75552 | 83,52 | 73,45 | 63,45 | 57,42 | 49,25 | 43,63 | 38,98 | 34,73 | 30,63 | 26,49 | 22,05 | 16,66 | 12,90 | 10,79 | 7,49 | 6,00 | 3,66 |
| 75553 | 125,96 | 112,78 | 99,34 | 91,23 | 80,29 | 71,72 | 64,51 | 58,59 | 53,70 | 49,43 | 45,37 | 40,85 | 37,80 | 36,07 | 33,20 | 31,76 | 29,06 |
| 75623 | 101,05 | 87,47 | 74,52 | 67,44 | 59,37 | 54,08 | 49,90 | 46,23 | 42,76 | 39,25 | 35,38 | 30,41 | 26,65 | 24,37 | 20,42 | 18,40 | 14,67 |
| 75635 | 8,26 | 7,60 | 6,95 | 6,58 | 6,09 | 5,71 | 5,34 | 4,93 | 4,42 | 3,82 | 3,37 | 2,99 | 2,76 | 2,63 | 2,42 | 2,31 | 2,12 |
| 75643 | 13,00 | 12,95 | 12,67 | 12,29 | 11,38 | 10,27 | 9,17 | 8,34 | 7,67 | 7,06 | 6,43 | 5,63 | 5,00 | 4,58 | 3,68 | 2,97 | 0,00 |
| 75674 | 134,16 | 78,92 | 48,91 | 39,02 | 30,43 | 25,66 | 22,23 | 19,43 | 16,97 | 14,66 | 12,31 | 9,60 | 7,78 | 6,76 | 5,16 | 4,42 | 3,17 |
| 76001 | 35,22 | 24,88 | 17,96 | 14,99 | 11,97 | 10,13 | 8,75 | 7,62 | 6,61 | 5,66 | 4,70 | 3,60 | 2,88 | 2,48 | 1,86 | 1,58 | 1,12 |
| 76003 | 60,12 | 48,31 | 40,33 | 35,16 | 28,65 | 24,29 | 20,98 | 18,25 | 15,84 | 13,58 | 11,32 | 8,73 | 7,00 | 6,04 | 4,53 | 3,83 | 2,65 |
| 76075 | 77,29 | 46,58 | 30,78 | 25,34 | 20,28 | 17,34 | 15,18 | 13,40 | 11,83 | 10,35 | 8,84 | 7,09 | 5,87 | 5,17 | 3,97 | 3,37 | 2,30 |
| 76076 | 14,73 | 11,07 | 8,21 | 6,84 | 5,35 | 4,41 | 3,68 | 3,08 | 2,55 | 2,05 | 1,57 | 1,03 | 0,71 | 0,54 | 0,31 | 0,22 | 0,10 |
| 76105 | 63,99 | 43,94 | 32,65 | 27,99 | 23,17 | 20,16 | 17,84 | 15,88 | 14,10 | 12,39 | 10,63 | 8,57 | 7,17 | 6,39 | 5,14 | 4,56 | 3,58 |
| 76127 | 72,51 | 58,10 | 46,72 | 41,23 | 35,11 | 31,06 | 27,83 | 25,01 | 22,37 | 19,76 | 16,96 | 13,55 | 11,13 | 9,74 | 7,50 | 6,45 | 4,66 |
| 76130 | 142,47 | 105,22 | 80,83 | 70,44 | 59,84 | 53,36 | 48,49 | 44,45 | 40,82 | 37,36 | 33,77 | 29,48 | 26,38 | 24,55 | 21,37 | 19,75 | 16,76 |
| 76139 | 15,35 | 10,64 | 7,55 | 6,34 | 5,22 | 4,56 | 4,06 | 3,64 | 3,25 | 2,87 | 2,46 | 1,96 | 1,60 | 1,40 | 1,06 | 0,90 | 0,64 |
| 76141 | 55,47 | 33,99 | 22,59 | 18,96 | 15,72 | 13,73 | 12,21 | 10,91 | 9,71 | 8,53 | 7,22 | 5,39 | 3,91 | 3,11 | 1,97 | 1,50 | 0,82 |
| 76159 | 30,02 | 20,95 | 15,25 | 12,89 | 10,58 | 9,23 | 8,23 | 7,38 | 6,61 | 5,85 | 5,02 | 3,99 | 3,27 | 2,85 | 2,19 | 1,88 | 1,36 |
| 76176 | 25,82 | 21,52 | 17,50 | 15,42 | 13,07 | 11,51 | 10,27 | 9,20 | 8,20 | 7,22 | 6,17 | 4,91 | 4,01 | 3,49 | 2,64 | 2,24 | 1,54 |
| 76180 | 107,35 | 73,53 | 52,79 | 44,26 | 35,75 | 30,69 | 27,04 | 24,18 | 21,81 | 19,73 | 17,78 | 15,69 | 14,34 | 13,60 | 12,39 | 11,80 | 10,63 |
| 76190 | 325,55 | 225,66 | 162,84 | 137,13 | 111,93 | 97,23 | 86,63 | 78,11 | 70,74 | 63,91 | 57,05 | 49,10 | 43,54 | 40,27 | 34,51 | 31,41 | 25,33 |
| 76240 | 208,92 | 157,94 | 124,19 | 109,97 | 95,76 | 87,08 | 80,42 | 74,68 | 69,30 | 63,87 | 57,90 | 50,32 | 44,71 | 41,37 | 35,65 | 32,76 | 27,38 |
| 76256 | 16,37 | 13,40 | 10,97 | 9,76 | 8,37 | 7,41 | 6,62 | 5,89 | 5,18 | 4,43 | 3,60 | 2,62 | 1,99 | 1,66 | 1,18 | 0,97 | 0,63 |
| 76275 | 20,55 | 13,19 | 9,18 | 7,58 | 5,98 | 5,02 | 4,31 | 3,72 | 3,20 | 2,72 | 2,25 | 1,71 | 1,37 | 1,18 | 0,89 | 0,76 | 0,55 |
| 76280 | 68,71 | 45,10 | 33,93 | 29,78 | 25,39 | 22,51 | 20,22 | 18,24 | 16,41 | 14,66 | 12,87 | 10,81 | 9,43 | 8,66 | 7,43 | 6,85 | 5,82 |
| 76325 | 1,51 | 1,10 | 0,82 | 0,70 | 0,57 | 0,50 | 0,43 | 0,38 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,03 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 76345 | 31,11 | 23,89 | 18,68 | 15,77 | 12,36 | 10,18 | 8,59 | 7,35 | 6,31 | 5,40 | 4,51 | 3,52 | 2,82 | 2,36 | 1,46 | 1,05 | 0,51 |
| 76351 | 80,78 | 55,61 | 37,99 | 30,43 | 22,94 | 18,60 | 15,54 | 13,15 | 11,15 | 9,36 | 7,66 | 5,82 | 4,65 | 4,01 | 2,99 | 2,51 | 1,64 |
| 76355 | 13,60 | 9,91 | 7,33 | 6,16 | 4,86 | 4,04 | 3,53 | 3,20 | 2,95 | 2,73 | 2,52 | 2,28 | 2,10 | 2,00 | 1,81 | 1,71 | 1,50 |
| 76363 | 75,93 | 57,45 | 42,97 | 35,91 | 27,81 | 22,42 | 18,56 | 15,75 | 13,56 | 11,68 | 9,89 | 7,92 | 6,59 | 5,85 | 4,65 | 4,08 | 3,10 |
| 76364 | 112,15 | 87,46 | 69,97 | 61,90 | 53,10 | 47,36 | 42,84 | 38,92 | 35,29 | 31,74 | 27,99 | 23,49 | 20,33 | 18,51 | 15,53 | 14,08 | 11,53 |
| 76416 | 65,49 | 47,48 | 36,58 | 31,61 | 26,17 | 22,65 | 19,92 | 17,60 | 15,50 | 13,49 | 11,44 | 9,06 | 7,45 | 6,55 | 5,12 | 4,44 | 3,28 |
| 76417 | 106,32 | 85,29 | 68,69 | 60,86 | 52,38 | 46,92 | 42,66 | 38,98 | 35,57 | 32,22 | 28,63 | 24,21 | 20,99 | 19,10 | 15,91 | 14,32 | 11,47 |
| 76421 | 5,39 | 3,62 | 2,50 | 2,06 | 1,65 | 1,42 | 1,26 | 1,13 | 1,01 | 0,89 | 0,78 | 0,63 | 0,53 | 0,47 | 0,37 | 0,32 | 0,24 |
| 76423 | 4,56 | 2,71 | 1,53 | 1,10 | 0,78 | 0,64 | 0,55 | 0,48 | 0,42 | 0,36 | 0,30 | 0,22 | 0,16 | 0,13 | 0,08 | 0,06 | 0,03 |
| 76456 | 16,72 | 15,06 | 13,38 | 12,42 | 11,23 | 10,37 | 9,67 | 9,05 | 8,45 | 7,84 | 7,17 | 6,31 | 5,65 | 5,24 | 4,53 | 4,16 | 3,47 |
| 76461 | 40,34 | 27,78 | 18,63 | 14,72 | 10,97 | 8,87 | 7,41 | 6,26 | 5,29 | 4,41 | 3,55 | 2,60 | 1,98 | 1,64 | 1,12 | 0,89 | 0,53 |
| 76462 | 68,51 | 54,24 | 40,94 | 34,15 | 26,75 | 22,25 | 19,01 | 16,44 | 14,26 | 12,26 | 10,29 | 8,02 | 6,41 | 5,44 | 3,71 | 2,84 | 1,56 |
| 76466 | 139,35 | 101,95 | 72,50 | 58,98 | 45,20 | 37,11 | 31,33 | 26,76 | 22,88 | 19,37 | 15,96 | 12,19 | 9,74 | 8,39 | 6,25 | 5,23 | 3,41 |
| 76482 | 27,87 | 23,11 | 18,76 | 16,38 | 13,29 | 10,83 | 9,02 | 7,80 | 6,86 | 6,03 | 5,20 | 4,23 | 3,54 | 3,15 | 2,49 | 2,17 | 1,62 |
| 76486 | 57,97 | 50,77 | 43,14 | 38,53 | 32,39 | 27,99 | 24,70 | 22,06 | 19,76 | 17,58 | 15,31 | 12,56 | 10,59 | 9,44 | 7,51 | 6,57 | 4,91 |
| 76490 | 9,16 | 7,57 | 6,08 | 5,26 | 4,18 | 3,38 | 2,84 | 2,44 | 2,09 | 1,77 | 1,44 | 1,05 | 0,80 | 0,66 | 0,44 | 0,35 | 0,21 |
| 76492 | 12,72 | 12,18 | 11,33 | 10,68 | 9,69 | 8,92 | 8,32 | 7,82 | 7,36 | 6,91 | 6,40 | 5,74 | 5,21 | 4,87 | 4,22 | 3,86 | 3,08 |
| 76500 | 28,62 | 18,36 | 11,97 | 9,32 | 6,72 | 5,42 | 4,61 | 4,00 | 3,48 | 3,01 | 2,53 | 1,97 | 1,59 | 1,38 | 1,04 | 0,88 | 0,61 |
| 76519 | 13,15 | 11,15 | 9,22 | 8,12 | 6,72 | 5,99 | 5,41 | 4,88 | 4,35 | 3,79 | 3,15 | 2,32 | 1,72 | 1,38 | 0,88 | 0,66 | 0,35 |
| 76537 | 22,20 | 22,15 | 21,75 | 20,91 | 18,35 | 14,81 | 11,71 | 9,64 | 8,08 | 6,74 | 5,46 | 4,02 | 3,07 | 2,53 | 1,67 | 1,22 | 0,00 |
| 76550 | 32,25 | 18,44 | 12,67 | 10,72 | 8,83 | 7,68 | 6,81 | 6,08 | 5,43 | 4,80 | 4,16 | 3,44 | 2,96 | 2,70 | 2,30 | 2,11 | 1,77 |
| 76553 | 164,88 | 117,19 | 88,17 | 76,18 | 63,84 | 56,10 | 50,10 | 44,93 | 40,13 | 35,37 | 30,23 | 23,86 | 19,31 | 16,72 | 12,65 | 10,80 | 7,76 |
| 76584 | 18,20 | 14,53 | 11,69 | 10,34 | 8,87 | 7,92 | 7,19 | 6,56 | 5,98 | 5,41 | 4,81 | 4,08 | 3,56 | 3,26 | 2,74 | 2,49 | 2,03 |
| 76593 | 26,78 | 17,42 | 13,00 | 11,17 | 9,23 | 7,96 | 6,97 | 6,12 | 5,36 | 4,65 | 3,96 | 3,22 | 2,76 | 2,52 | 2,14 | 1,97 | 1,68 |
| 76596 | 33,62 | 24,64 | 18,47 | 15,88 | 13,33 | 11,70 | 10,38 | 9,19 | 8,01 | 6,77 | 5,35 | 3,65 | 2,58 | 2,03 | 1,25 | 0,94 | 0,50 |
| 76597 | 67,34 | 47,53 | 34,37 | 29,02 | 23,84 | 20,74 | 18,42 | 16,45 | 14,67 | 12,93 | 11,10 | 8,88 | 7,30 | 6,39 | 4,90 | 4,20 | 3,00 |
| 76601 | 7,49 | 6,18 | 5,08 | 4,52 | 3,87 | 3,41 | 3,04 | 2,70 | 2,39 | 2,09 | 1,79 | 1,43 | 1,18 | 1,05 | 0,82 | 0,72 | 0,54 |
| 76611 | 31,82 | 22,94 | 17,49 | 15,04 | 12,42 | 10,74 | 9,44 | 8,33 | 7,34 | 6,39 | 5,43 | 4,36 | 3,65 | 3,26 | 2,66 | 2,38 | 1,90 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 76614 | 22,55 | 19,16 | 16,20 | 14,61 | 12,68 | 11,32 | 10,22 | 9,27 | 8,42 | 7,62 | 6,82 | 5,89 | 5,25 | 4,88 | 4,28 | 3,98 | 3,44 |
| 76619 | 44,53 | 29,40 | 20,62 | 17,18 | 13,83 | 11,85 | 10,40 | 9,21 | 8,16 | 7,18 | 6,17 | 5,01 | 4,22 | 3,78 | 3,06 | 2,72 | 2,13 |
| 76620 | 87,65 | 58,80 | 42,52 | 36,15 | 29,94 | 26,25 | 23,51 | 21,22 | 19,15 | 17,12 | 14,92 | 12,23 | 10,41 | 9,42 | 7,86 | 7,13 | 5,87 |
| 76627 | 20,65 | 18,94 | 17,06 | 15,92 | 14,38 | 13,13 | 11,97 | 10,85 | 9,77 | 8,71 | 7,60 | 6,28 | 5,34 | 4,79 | 3,87 | 3,42 | 2,61 |
| 76634 | 66,77 | 59,65 | 52,11 | 47,56 | 41,58 | 37,23 | 33,69 | 30,59 | 27,71 | 24,85 | 21,76 | 17,93 | 15,12 | 13,47 | 10,69 | 9,33 | 6,92 |
| 76637 | 6,87 | 5,39 | 4,30 | 3,78 | 3,19 | 2,81 | 2,52 | 2,29 | 2,09 | 1,90 | 1,71 | 1,47 | 1,30 | 1,19 | 1,01 | 0,92 | 0,75 |
| 76638 | 18,88 | 16,23 | 13,45 | 11,84 | 9,79 | 8,34 | 7,20 | 6,27 | 5,46 | 4,72 | 3,98 | 3,13 | 2,56 | 2,24 | 1,72 | 1,48 | 1,07 |
| 76640 | 3,93 | 3,53 | 3,05 | 2,75 | 2,35 | 2,04 | 1,76 | 1,51 | 1,28 | 1,09 | 0,91 | 0,72 | 0,60 | 0,54 | 0,43 | 0,38 | 0,28 |
| 76642 | 10,17 | 8,02 | 6,35 | 5,57 | 4,77 | 4,25 | 3,84 | 3,48 | 3,14 | 2,78 | 2,38 | 1,87 | 1,50 | 1,28 | 0,94 | 0,78 | 0,52 |
| 77112 | 225,92 | 144,11 | 97,09 | 79,27 | 63,32 | 54,44 | 48,01 | 42,71 | 37,99 | 33,45 | 28,72 | 23,00 | 18,87 | 16,42 | 12,32 | 10,36 | 7,09 |
| 77115 | 83,14 | 51,38 | 32,69 | 25,46 | 18,95 | 15,49 | 13,10 | 11,19 | 9,55 | 8,03 | 6,52 | 4,83 | 3,71 | 3,10 | 2,15 | 1,72 | 1,03 |
| 77116 | 149,26 | 135,71 | 117,60 | 105,29 | 88,13 | 74,70 | 63,16 | 53,08 | 44,29 | 36,55 | 29,39 | 21,97 | 17,38 | 14,94 | 11,20 | 9,49 | 6,60 |
| 77124 | 158,10 | 124,37 | 98,14 | 85,98 | 73,10 | 64,86 | 58,37 | 52,70 | 47,38 | 42,03 | 36,22 | 28,96 | 23,68 | 20,62 | 15,64 | 13,28 | 9,32 |
| 77130 | 11,36 | 9,22 | 7,51 | 6,67 | 5,72 | 5,07 | 4,55 | 4,07 | 3,62 | 3,16 | 2,66 | 2,07 | 1,66 | 1,43 | 1,08 | 0,91 | 0,64 |
| 77140 | 94,68 | 86,45 | 76,61 | 70,11 | 60,62 | 53,24 | 47,74 | 43,42 | 39,68 | 36,11 | 32,34 | 27,65 | 24,16 | 22,06 | 18,44 | 16,60 | 13,22 |
| 77152 | 38,66 | 34,47 | 29,71 | 26,80 | 22,96 | 19,93 | 17,10 | 14,05 | 11,54 | 10,02 | 8,68 | 7,14 | 6,03 | 5,38 | 4,27 | 3,72 | 2,73 |
| 77164 | 48,23 | 33,89 | 23,59 | 19,10 | 14,63 | 12,06 | 10,23 | 8,79 | 7,56 | 6,44 | 5,34 | 4,10 | 3,29 | 2,84 | 2,14 | 1,82 | 1,28 |
| 77179 | 183,37 | 167,07 | 145,55 | 130,78 | 109,14 | 91,96 | 78,71 | 68,42 | 59,79 | 51,92 | 44,01 | 34,79 | 28,42 | 24,79 | 18,94 | 16,18 | 11,49 |
| 77189 | 91,14 | 78,27 | 65,88 | 58,99 | 50,58 | 44,59 | 39,61 | 35,10 | 30,79 | 26,48 | 21,90 | 16,49 | 12,82 | 10,80 | 7,68 | 6,28 | 4,04 |
| 77201 | 19,77 | 14,48 | 10,79 | 9,12 | 7,30 | 6,06 | 5,05 | 4,26 | 3,71 | 3,28 | 2,89 | 2,47 | 2,18 | 2,01 | 1,73 | 1,59 | 1,33 |
| 77209 | 8,63 | 7,55 | 6,53 | 6,02 | 5,48 | 5,12 | 4,82 | 4,55 | 4,27 | 3,99 | 3,65 | 3,20 | 2,84 | 2,62 | 2,21 | 2,01 | 1,62 |
| 77210 | 13,75 | 12,47 | 11,20 | 10,49 | 9,59 | 8,93 | 8,36 | 7,83 | 7,32 | 6,78 | 6,19 | 5,44 | 4,87 | 4,54 | 3,96 | 3,66 | 3,10 |
| 77212 | 163,89 | 142,07 | 122,99 | 112,87 | 100,73 | 92,10 | 84,84 | 78,14 | 71,53 | 64,55 | 56,49 | 45,56 | 36,96 | 31,77 | 23,26 | 19,30 | 12,83 |
| 77217 | 90,68 | 54,58 | 32,29 | 24,31 | 17,46 | 13,80 | 11,27 | 9,29 | 7,62 | 6,12 | 4,68 | 3,15 | 2,21 | 1,74 | 1,06 | 0,79 | 0,39 |
| 77223 | 98,01 | 74,20 | 57,28 | 49,51 | 40,94 | 35,60 | 32,30 | 29,96 | 28,01 | 26,16 | 24,18 | 21,66 | 19,70 | 18,48 | 16,27 | 15,09 | 12,82 |
| 77231 | 325,14 | 266,67 | 207,24 | 173,04 | 128,72 | 107,56 | 94,75 | 84,27 | 74,62 | 65,00 | 54,61 | 41,80 | 32,70 | 27,54 | 19,35 | 15,63 | 9,70 |
| 77242 | 85,44 | 70,35 | 55,44 | 47,05 | 36,58 | 29,27 | 23,79 | 19,55 | 16,11 | 13,12 | 10,31 | 7,32 | 5,46 | 4,48 | 3,04 | 2,42 | 1,49 |
| 77245 | 47,70 | 37,60 | 29,32 | 25,15 | 20,41 | 17,36 | 15,11 | 13,34 | 11,86 | 10,55 | 9,28 | 7,88 | 6,94 | 6,42 | 5,57 | 5,17 | 4,45 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 77250 | 391,1 | 331,9 | 281,2 | 254,8 | 223,4 | 201,3 | 183,0 | 166,7 | 151,4 | 136,4 | 120,6 | 101,4 | 87,5 | 79,4 | 65,7 | 58,9 | 46,6 |
| 77260 | 34,6 | 22,4 | 18,7 | 17,0 | 14,8 | 13,2 | 11,6 | 10,0 | 8,4 | 6,9 | 5,7 | 4,5 | 3,8 | 3,5 | 3,0 | 2,7 | 2,4 |
| 77266 | 166,8 | 146,2 | 124,5 | 111,1 | 92,6 | 77,7 | 64,9 | 54,7 | 46,7 | 40,1 | 34,0 | 27,6 | 23,4 | 21,1 | 17,4 | 15,7 | 12,7 |
| 77270 | 88,7 | 50,1 | 35,3 | 29,6 | 23,5 | 19,6 | 16,4 | 13,7 | 11,1 | 8,7 | 6,4 | 4,1 | 2,8 | 2,2 | 1,4 | 1,1 | 0,7 |
| 77276 | 3,1 | 2,4 | 1,9 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| 77285 | 27,6 | 24,5 | 21,2 | 19,2 | 16,5 | 14,0 | 11,6 | 9,6 | 8,1 | 6,9 | 5,8 | 4,7 | 3,9 | 3,5 | 2,9 | 2,6 | 2,0 |
| 77292 | 403,6 | 345,7 | 289,1 | 255,6 | 208,1 | 172,5 | 150,6 | 134,7 | 121,2 | 108,4 | 94,9 | 78,3 | 66,2 | 59,1 | 47,0 | 41,1 | 30,6 |
| 77298 | 41,8 | 35,9 | 29,8 | 26,2 | 21,2 | 17,5 | 14,7 | 12,6 | 10,9 | 9,3 | 7,9 | 6,2 | 5,1 | 4,5 | 3,5 | 3,0 | 2,2 |
| 77311 | 13,3 | 8,7 | 6,1 | 4,9 | 3,7 | 2,9 | 2,3 | 1,9 | 1,4 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 77329 | 157,5 | 140,5 | 123,7 | 114,1 | 101,3 | 90,6 | 80,3 | 74,6 | 69,9 | 65,3 | 60,0 | 52,7 | 46,8 | 43,0 | 36,1 | 32,5 | 25,5 |
| 77336 | 22,8 | 15,5 | 11,3 | 9,7 | 8,1 | 7,2 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 4,6 | 4,0 | 3,3 | 2,9 | 2,7 | 2,3 | 2,1 | 1,8 |
| 77362 | 27,6 | 20,3 | 11,4 | 7,5 | 3,8 | 2,2 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |

Расчетное распределение минимального 30-ти дневного стока ($\text{м}^3/\text{с}$) в виде ординат кривых обеспеченности за зимний период

| Пост | Ординаты кривых обеспеченности | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.1% | 1% | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 95% | 97% | 99% | 99.5% | 99.9% |
| 75006 | 199,57 | 141,99 | 98,74 | 80,11 | 63,08 | 53,99 | 47,71 | 42,73 | 38,41 | 34,37 | 30,26 | 25,42 | 22,04 | 20,10 | 16,87 | 15,28 | 12,42 |
| 75128 | 128,14 | 91,14 | 66,83 | 56,71 | 46,70 | 40,68 | 36,15 | 32,33 | 28,85 | 25,47 | 21,90 | 17,60 | 14,60 | 12,89 | 10,12 | 8,80 | 6,54 |
| 75150 | 17,26 | 15,53 | 13,74 | 12,69 | 11,33 | 10,33 | 9,49 | 8,76 | 8,09 | 7,45 | 6,78 | 5,97 | 5,37 | 5,02 | 4,40 | 4,09 | 3,50 |
| 75151 | 49,89 | 43,27 | 37,11 | 33,77 | 29,72 | 26,86 | 24,54 | 22,51 | 20,67 | 18,90 | 17,08 | 14,92 | 13,40 | 12,50 | 10,98 | 10,21 | 8,72 |
| 75168 | 23,51 | 17,58 | 13,63 | 11,89 | 10,09 | 9,02 | 8,27 | 7,70 | 7,25 | 6,86 | 6,49 | 6,09 | 5,83 | 5,68 | 5,40 | 5,17 | 4,56 |
| 75169 | 24,81 | 22,51 | 20,28 | 19,02 | 17,46 | 16,32 | 15,35 | 14,47 | 13,62 | 12,75 | 11,78 | 10,54 | 9,60 | 9,02 | 8,00 | 7,48 | 6,47 |
| 75176 | 8,49 | 7,57 | 6,69 | 6,20 | 5,58 | 5,13 | 4,75 | 4,41 | 4,10 | 3,80 | 3,50 | 3,15 | 2,90 | 2,75 | 2,50 | 2,37 | 2,08 |
| 75202 | 8,85 | 7,46 | 5,98 | 5,15 | 4,18 | 3,52 | 3,00 | 2,55 | 2,15 | 1,76 | 1,37 | 0,94 | 0,67 | 0,53 | 0,33 | 0,25 | 0,14 |
| 75209 | 18,44 | 13,56 | 9,91 | 8,22 | 6,39 | 5,33 | 4,67 | 4,18 | 3,76 | 3,36 | 2,92 | 2,36 | 1,94 | 1,69 | 1,26 | 1,06 | 0,72 |
| 75210 | 20,10 | 18,17 | 16,07 | 14,75 | 13,01 | 11,77 | 10,79 | 9,99 | 9,29 | 8,65 | 8,00 | 7,24 | 6,67 | 6,30 | 5,44 | 4,77 | 3,51 |
| 75241 | 43,98 | 31,24 | 23,05 | 19,87 | 16,73 | 14,76 | 13,21 | 11,86 | 10,60 | 9,36 | 8,04 | 6,48 | 5,40 | 4,80 | 3,83 | 3,38 | 2,60 |
| 75254 | 3,69 | 3,29 | 2,90 | 2,68 | 2,43 | 2,27 | 2,14 | 2,03 | 1,92 | 1,81 | 1,69 | 1,52 | 1,39 | 1,31 | 1,16 | 1,08 | 0,92 |
| 75259 | 4,66 | 4,20 | 3,77 | 3,53 | 3,23 | 2,99 | 2,79 | 2,59 | 2,40 | 2,21 | 2,00 | 1,76 | 1,58 | 1,47 | 1,29 | 1,20 | 1,03 |
| 75280 | 20,29 | 14,86 | 11,60 | 10,29 | 9,19 | 8,61 | 8,18 | 7,81 | 7,45 | 7,08 | 6,65 | 6,02 | 5,48 | 5,15 | 4,55 | 4,24 | 3,62 |
| 75284 | 60,08 | 46,28 | 36,31 | 31,48 | 26,21 | 23,85 | 22,21 | 20,79 | 19,42 | 17,99 | 16,36 | 14,15 | 12,41 | 11,33 | 9,43 | 8,44 | 6,61 |
| 75286 | 79,38 | 64,66 | 52,62 | 46,38 | 38,46 | 33,13 | 30,31 | 28,25 | 26,41 | 24,58 | 22,55 | 19,87 | 17,76 | 16,45 | 14,08 | 12,84 | 10,47 |
| 75287 | 133,14 | 99,04 | 72,18 | 58,05 | 44,51 | 39,31 | 35,97 | 33,30 | 30,89 | 28,51 | 25,94 | 22,68 | 20,22 | 18,72 | 16,11 | 14,76 | 12,24 |
| 75311 | 99,37 | 80,19 | 65,78 | 58,70 | 50,02 | 43,12 | 37,72 | 33,77 | 30,55 | 27,59 | 24,52 | 20,74 | 17,94 | 16,27 | 13,38 | 11,92 | 9,26 |
| 75348 | 5,99 | 4,47 | 3,26 | 2,67 | 2,03 | 1,65 | 1,40 | 1,21 | 1,06 | 0,93 | 0,81 | 0,66 | 0,57 | 0,51 | 0,42 | 0,38 | 0,30 |
| 75359 | 60,92 | 46,78 | 37,10 | 32,68 | 27,62 | 23,78 | 21,48 | 19,99 | 18,70 | 17,40 | 15,94 | 13,98 | 12,44 | 11,47 | 9,73 | 8,81 | 7,08 |
| 75368 | 46,84 | 38,38 | 30,65 | 26,48 | 21,32 | 17,57 | 14,62 | 12,35 | 10,58 | 9,10 | 7,74 | 6,26 | 5,29 | 4,75 | 3,87 | 3,46 | 2,74 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 75382 | 105,42 | 77,83 | 59,41 | 51,28 | 42,60 | 37,03 | 32,78 | 29,31 | 26,37 | 23,76 | 21,26 | 18,52 | 16,69 | 15,67 | 13,99 | 13,18 | 11,73 |
| 75389 | 19,32 | 15,13 | 12,36 | 11,14 | 9,78 | 8,81 | 7,85 | 6,69 | 5,80 | 5,15 | 4,59 | 3,98 | 3,59 | 3,36 | 3,00 | 2,82 | 2,51 |
| 75480 | 5,11 | 4,42 | 3,52 | 2,94 | 2,24 | 1,83 | 1,52 | 1,25 | 1,01 | 0,78 | 0,56 | 0,32 | 0,19 | 0,13 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |
| 75500 | 155,94 | 105,53 | 73,70 | 59,90 | 44,81 | 35,16 | 29,07 | 25,11 | 22,15 | 19,63 | 17,23 | 14,51 | 12,66 | 11,59 | 9,84 | 8,98 | 7,43 |
| 75514 | 15,38 | 14,89 | 13,29 | 11,46 | 7,33 | 5,29 | 4,69 | 4,28 | 3,94 | 3,62 | 3,28 | 2,86 | 2,54 | 2,34 | 1,95 | 1,70 | 0,95 |
| 75518 | 74,25 | 56,02 | 42,34 | 35,66 | 27,48 | 20,85 | 16,47 | 14,05 | 12,31 | 10,81 | 9,35 | 7,65 | 6,47 | 5,78 | 4,66 | 4,11 | 3,14 |
| 75530 | 16,33 | 10,36 | 6,89 | 5,52 | 4,18 | 3,36 | 2,72 | 2,27 | 1,95 | 1,70 | 1,45 | 1,17 | 0,97 | 0,86 | 0,67 | 0,58 | 0,41 |
| 75552 | 90,47 | 70,21 | 57,27 | 51,99 | 46,54 | 42,82 | 39,38 | 35,37 | 31,23 | 27,44 | 23,53 | 18,80 | 15,42 | 13,47 | 10,25 | 8,71 | 6,09 |
| 75553 | 152,38 | 118,57 | 95,90 | 85,79 | 74,84 | 67,58 | 61,67 | 56,43 | 51,64 | 47,20 | 42,82 | 37,71 | 34,05 | 31,88 | 28,14 | 26,23 | 22,65 |
| 75623 | 146,59 | 105,75 | 76,19 | 61,59 | 48,10 | 43,36 | 39,88 | 36,80 | 33,81 | 30,70 | 27,15 | 22,48 | 18,90 | 16,74 | 13,05 | 11,22 | 8,02 |
| 75635 | 11,24 | 8,91 | 7,30 | 6,57 | 5,77 | 5,23 | 4,76 | 4,31 | 3,86 | 3,42 | 3,02 | 2,59 | 2,30 | 2,13 | 1,85 | 1,70 | 1,44 |
| 75643 | 15,94 | 13,66 | 11,57 | 10,43 | 9,04 | 8,05 | 7,26 | 6,62 | 6,08 | 5,61 | 5,15 | 4,61 | 4,24 | 4,01 | 3,60 | 3,38 | 2,83 |
| 75674 | 74,36 | 48,08 | 32,24 | 25,86 | 20,45 | 17,83 | 16,05 | 14,62 | 13,36 | 12,14 | 10,85 | 9,26 | 8,11 | 7,43 | 6,26 | 5,67 | 4,60 |
| 76075 | 18,36 | 15,23 | 12,75 | 11,53 | 10,10 | 9,09 | 8,28 | 7,58 | 6,93 | 6,30 | 5,61 | 4,73 | 4,08 | 3,69 | 3,02 | 2,69 | 2,08 |
| 76076 | 3,39 | 2,90 | 2,42 | 2,16 | 1,83 | 1,60 | 1,44 | 1,30 | 1,16 | 1,02 | 0,86 | 0,65 | 0,50 | 0,40 | 0,25 | 0,19 | 0,09 |
| 76079 | 3,38 | 2,71 | 2,15 | 1,88 | 1,57 | 1,36 | 1,19 | 1,04 | 0,90 | 0,76 | 0,61 | 0,44 | 0,32 | 0,26 | 0,17 | 0,13 | 0,07 |
| 76105 | 10,18 | 9,02 | 8,38 | 7,96 | 7,37 | 6,89 | 6,47 | 6,09 | 5,73 | 5,38 | 5,02 | 4,57 | 4,24 | 4,04 | 3,69 | 3,51 | 3,16 |
| 76127 | 19,80 | 16,80 | 14,52 | 13,44 | 12,24 | 11,44 | 10,80 | 10,23 | 9,68 | 9,12 | 8,50 | 7,69 | 7,07 | 6,68 | 5,99 | 5,62 | 4,92 |
| 76130 | 26,91 | 25,59 | 24,06 | 23,10 | 21,80 | 20,79 | 19,89 | 19,03 | 18,15 | 17,20 | 16,07 | 14,49 | 13,17 | 12,30 | 10,68 | 9,78 | 8,00 |
| 76139 | 4,74 | 4,26 | 3,73 | 3,40 | 2,96 | 2,62 | 2,34 | 2,10 | 1,91 | 1,73 | 1,55 | 1,35 | 1,21 | 1,13 | 0,99 | 0,92 | 0,79 |
| 76141 | 20,55 | 15,56 | 12,26 | 10,81 | 9,27 | 8,27 | 7,48 | 6,77 | 6,09 | 5,40 | 4,68 | 3,86 | 3,31 | 2,99 | 2,47 | 2,22 | 1,76 |
| 76159 | 13,75 | 12,49 | 10,94 | 9,92 | 8,44 | 7,16 | 6,18 | 5,45 | 4,84 | 4,26 | 3,66 | 2,92 | 2,39 | 2,08 | 1,57 | 1,33 | 0,92 |
| 76176 | 16,05 | 11,96 | 9,30 | 8,26 | 7,21 | 6,54 | 6,00 | 5,53 | 5,08 | 4,62 | 4,11 | 3,45 | 2,94 | 2,63 | 2,10 | 1,84 | 1,38 |
| 76180 | 46,82 | 33,84 | 25,96 | 22,70 | 19,36 | 17,43 | 16,07 | 14,94 | 13,89 | 12,81 | 11,53 | 9,71 | 8,31 | 7,49 | 6,09 | 5,39 | 4,12 |
| 76190 | 90,11 | 70,57 | 56,53 | 50,00 | 42,97 | 39,08 | 36,33 | 34,01 | 31,84 | 29,63 | 27,17 | 23,92 | 21,35 | 19,72 | 16,76 | 15,17 | 12,14 |
| 76240 | 104,61 | 91,99 | 80,43 | 74,00 | 65,91 | 60,14 | 55,55 | 51,65 | 48,12 | 44,69 | 41,03 | 36,46 | 33,02 | 30,93 | 27,26 | 25,35 | 21,72 |
| 76256 | 18,45 | 12,32 | 8,87 | 7,53 | 6,25 | 5,49 | 4,92 | 4,45 | 4,02 | 3,58 | 3,09 | 2,44 | 1,99 | 1,76 | 1,39 | 1,22 | 0,93 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 76275 | 5,49 | 4,31 | 3,42 | 3,00 | 2,53 | 2,22 | 1,98 | 1,77 | 1,57 | 1,38 | 1,18 | 0,95 | 0,79 | 0,70 | 0,55 | 0,49 | 0,37 |
| 76280 | 27,68 | 24,00 | 20,08 | 17,82 | 15,32 | 13,68 | 12,36 | 11,17 | 10,02 | 8,85 | 7,56 | 5,94 | 4,77 | 4,09 | 2,99 | 2,47 | 1,63 |
| 76325 | 0,98 | 0,74 | 0,55 | 0,46 | 0,37 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,13 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| 76345 | 10,79 | 9,36 | 7,96 | 7,20 | 6,31 | 5,69 | 5,19 | 4,73 | 4,30 | 3,87 | 3,39 | 2,79 | 2,34 | 2,08 | 1,64 | 1,42 | 1,04 |
| 76351 | 20,63 | 16,94 | 13,70 | 12,06 | 10,21 | 8,98 | 8,00 | 7,15 | 6,36 | 5,58 | 4,76 | 3,77 | 3,07 | 2,67 | 2,03 | 1,73 | 1,23 |
| 76355 | 7,57 | 6,48 | 5,51 | 4,97 | 4,29 | 3,72 | 3,13 | 2,70 | 2,47 | 2,30 | 2,14 | 1,96 | 1,84 | 1,76 | 1,63 | 1,56 | 1,43 |
| 76363 | 16,92 | 15,01 | 12,71 | 11,34 | 9,67 | 8,50 | 7,56 | 6,73 | 5,95 | 5,18 | 4,36 | 3,36 | 2,66 | 2,27 | 1,64 | 1,35 | 0,87 |
| 76364 | 49,61 | 41,31 | 33,81 | 30,43 | 26,75 | 24,28 | 22,24 | 20,40 | 18,63 | 16,81 | 14,78 | 12,20 | 10,26 | 9,12 | 7,18 | 6,23 | 4,56 |
| 76416 | 25,22 | 22,30 | 19,24 | 17,43 | 15,13 | 13,45 | 12,09 | 10,90 | 9,81 | 8,76 | 7,65 | 6,32 | 5,38 | 4,83 | 3,91 | 3,46 | 2,67 |
| 76417 | 56,40 | 46,39 | 38,11 | 34,00 | 29,46 | 26,51 | 24,18 | 22,15 | 20,24 | 18,33 | 16,27 | 13,68 | 11,78 | 10,66 | 8,75 | 7,79 | 6,08 |
| 76421 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,75 | 0,68 | 0,65 | 0,61 | 0,56 | 0,48 | 0,39 | 0,24 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 76423 | 0,62 | 0,58 | 0,52 | 0,46 | 0,37 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,19 | 0,15 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 76456 | 10,43 | 10,39 | 10,11 | 9,70 | 8,69 | 7,77 | 7,14 | 6,64 | 6,20 | 5,77 | 5,30 | 4,68 | 4,19 | 3,89 | 3,34 | 3,06 | 2,66 |
| 76461 | 5,17 | 4,77 | 4,14 | 3,67 | 3,06 | 2,68 | 2,35 | 2,04 | 1,74 | 1,43 | 1,09 | 0,70 | 0,45 | 0,32 | 0,16 | 0,10 | 0,04 |
| 76462 | 16,43 | 14,24 | 11,90 | 10,50 | 8,94 | 7,99 | 7,25 | 6,59 | 5,96 | 5,32 | 4,60 | 3,69 | 3,02 | 2,62 | 1,96 | 1,65 | 1,12 |
| 76466 | 84,45 | 52,34 | 31,45 | 22,77 | 16,30 | 13,64 | 11,90 | 10,53 | 9,33 | 8,19 | 7,01 | 5,60 | 4,61 | 4,04 | 3,12 | 2,68 | 1,92 |
| 76482 | 22,01 | 17,19 | 13,57 | 11,81 | 9,71 | 8,01 | 6,77 | 6,09 | 5,48 | 4,87 | 4,20 | 3,33 | 2,68 | 2,30 | 1,68 | 1,39 | 0,91 |
| 76486 | 49,63 | 38,63 | 30,88 | 27,27 | 23,11 | 20,01 | 17,10 | 14,56 | 12,74 | 11,34 | 10,09 | 8,74 | 7,83 | 7,31 | 6,45 | 6,03 | 5,27 |
| 76490 | 6,75 | 5,98 | 4,93 | 4,22 | 3,19 | 2,27 | 1,54 | 1,17 | 0,94 | 0,75 | 0,57 | 0,39 | 0,28 | 0,22 | 0,14 | 0,11 | 0,06 |
| 76492 | 12,13 | 11,23 | 10,21 | 9,57 | 8,78 | 8,25 | 7,84 | 7,47 | 7,13 | 6,77 | 6,36 | 5,81 | 5,37 | 5,09 | 4,57 | 4,28 | 3,70 |
| 76500 | 15,73 | 11,99 | 8,91 | 7,35 | 5,45 | 4,00 | 3,38 | 2,93 | 2,52 | 2,12 | 1,69 | 1,18 | 0,84 | 0,66 | 0,40 | 0,30 | 0,15 |
| 76512 | 54,11 | 45,37 | 37,32 | 32,84 | 26,90 | 21,89 | 18,80 | 16,65 | 14,81 | 13,03 | 11,14 | 8,80 | 7,12 | 6,14 | 4,54 | 3,79 | 2,54 |
| 76519 | 9,24 | 7,94 | 6,55 | 5,72 | 4,63 | 3,76 | 3,21 | 2,80 | 2,43 | 2,06 | 1,67 | 1,20 | 0,88 | 0,71 | 0,45 | 0,34 | 0,19 |
| 76537 | 28,63 | 27,43 | 24,66 | 22,18 | 17,98 | 14,09 | 10,94 | 8,85 | 7,34 | 6,08 | 4,89 | 3,59 | 2,74 | 2,28 | 1,56 | 1,24 | 0,71 |
| 76550 | 9,33 | 7,96 | 6,77 | 6,16 | 5,44 | 4,94 | 4,52 | 4,14 | 3,77 | 3,39 | 2,97 | 2,42 | 2,01 | 1,77 | 1,36 | 1,17 | 0,83 |
| 76553 | 49,89 | 45,58 | 41,35 | 38,97 | 35,98 | 33,74 | 31,75 | 29,85 | 27,90 | 25,78 | 23,28 | 19,88 | 17,24 | 15,63 | 12,84 | 11,43 | 8,85 |
| 76584 | 9,65 | 8,65 | 7,68 | 7,14 | 6,45 | 5,93 | 5,48 | 5,06 | 4,68 | 4,31 | 3,93 | 3,48 | 3,16 | 2,97 | 2,64 | 2,47 | 2,16 |
| 76593 | 7,38 | 6,87 | 6,28 | 5,90 | 5,33 | 4,80 | 4,31 | 3,88 | 3,51 | 3,16 | 2,79 | 2,34 | 2,00 | 1,80 | 1,46 | 1,29 | 0,98 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 76596 | 19,23 | 16,30 | 13,68 | 12,26 | 10,52 | 9,23 | 8,09 | 7,03 | 6,04 | 5,11 | 4,21 | 3,24 | 2,61 | 2,27 | 1,74 | 1,49 | 1,08 |
| 76597 | 48,81 | 34,24 | 24,98 | 21,11 | 17,22 | 14,85 | 13,07 | 11,59 | 10,26 | 8,99 | 7,70 | 6,19 | 5,18 | 4,61 | 3,70 | 3,27 | 2,53 |
| 76601 | 7,19 | 5,46 | 4,25 | 3,70 | 3,10 | 2,75 | 2,48 | 2,25 | 2,03 | 1,82 | 1,58 | 1,29 | 1,07 | 0,94 | 0,74 | 0,64 | 0,47 |
| 76611 | 20,14 | 15,96 | 12,84 | 11,34 | 9,59 | 8,27 | 7,50 | 6,87 | 6,19 | 5,41 | 4,43 | 3,11 | 2,21 | 1,72 | 1,02 | 0,75 | 0,38 |
| 76614 | 17,23 | 15,14 | 13,19 | 12,09 | 10,66 | 9,51 | 8,49 | 7,57 | 6,77 | 6,03 | 5,29 | 4,43 | 3,82 | 3,47 | 2,87 | 2,58 | 2,04 |
| 76619 | 11,33 | 10,60 | 9,74 | 9,18 | 8,40 | 7,79 | 7,26 | 6,78 | 6,32 | 5,87 | 5,39 | 4,78 | 4,34 | 4,07 | 3,60 | 3,36 | 2,89 |
| 76620 | 66,17 | 44,01 | 30,72 | 25,22 | 20,06 | 17,47 | 15,73 | 14,34 | 13,10 | 11,90 | 10,61 | 9,02 | 7,84 | 7,13 | 5,94 | 5,34 | 4,25 |
| 76627 | 16,72 | 15,08 | 13,45 | 12,50 | 11,23 | 10,19 | 9,21 | 8,28 | 7,45 | 6,69 | 5,94 | 5,04 | 4,39 | 4,01 | 3,35 | 3,02 | 2,41 |
| 76634 | 79,57 | 62,06 | 50,23 | 44,93 | 39,09 | 34,97 | 31,69 | 29,83 | 27,47 | 24,14 | 18,97 | 12,08 | 7,57 | 5,31 | 2,34 | 1,27 | 0,00 |
| 76637 | 5,56 | 4,47 | 3,66 | 3,27 | 2,83 | 2,53 | 2,28 | 2,06 | 1,86 | 1,66 | 1,45 | 1,20 | 1,03 | 0,93 | 0,77 | 0,69 | 0,54 |
| 76638 | 19,77 | 17,38 | 14,71 | 13,06 | 10,79 | 9,02 | 7,77 | 6,78 | 5,92 | 5,08 | 4,21 | 3,18 | 2,46 | 2,06 | 1,44 | 1,16 | 0,72 |
| 76640 | 4,95 | 4,13 | 3,36 | 2,94 | 2,44 | 2,11 | 1,87 | 1,68 | 1,52 | 1,37 | 1,22 | 1,03 | 0,90 | 0,81 | 0,66 | 0,58 | 0,42 |
| 76642 | 8,27 | 6,95 | 5,83 | 5,25 | 4,54 | 4,00 | 3,51 | 3,08 | 2,71 | 2,39 | 2,10 | 1,78 | 1,56 | 1,43 | 1,23 | 1,12 | 0,93 |
| 77112 | 10,19 | 7,80 | 5,92 | 5,00 | 3,96 | 3,23 | 2,78 | 2,43 | 2,11 | 1,77 | 1,40 | 0,93 | 0,62 | 0,46 | 0,25 | 0,17 | 0,07 |
| 77115 | 2,70 | 2,10 | 1,55 | 1,26 | 0,94 | 0,72 | 0,58 | 0,48 | 0,40 | 0,33 | 0,26 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,07 | 0,05 | 0,03 |
| 77116 | 11,94 | 8,12 | 5,82 | 4,87 | 3,92 | 3,37 | 2,99 | 2,70 | 2,45 | 2,21 | 1,96 | 1,64 | 1,41 | 1,27 | 1,04 | 0,92 | 0,71 |
| 77124 | 14,16 | 9,68 | 7,00 | 5,88 | 4,71 | 4,01 | 3,59 | 3,29 | 3,03 | 2,78 | 2,50 | 2,16 | 1,90 | 1,74 | 1,47 | 1,33 | 1,07 |
| 77130 | 0,53 | 0,49 | 0,43 | 0,38 | 0,31 | 0,26 | 0,21 | 0,17 | 0,13 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 77140 | 11,12 | 9,71 | 8,17 | 7,24 | 5,98 | 5,07 | 4,41 | 3,91 | 3,48 | 3,08 | 2,68 | 2,20 | 1,86 | 1,66 | 1,33 | 1,17 | 0,89 |
| 77152 | 5,31 | 3,81 | 2,82 | 2,38 | 1,93 | 1,63 | 1,38 | 1,15 | 0,94 | 0,80 | 0,70 | 0,59 | 0,53 | 0,49 | 0,42 | 0,39 | 0,33 |
| 77164 | 1,86 | 1,52 | 1,17 | 0,97 | 0,73 | 0,58 | 0,49 | 0,41 | 0,35 | 0,30 | 0,24 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,04 |
| 77179 | 21,39 | 16,27 | 12,64 | 10,95 | 9,02 | 7,63 | 6,42 | 5,41 | 4,61 | 3,95 | 3,34 | 2,66 | 2,20 | 1,94 | 1,52 | 1,32 | 0,97 |
| 77189 | 9,26 | 7,27 | 5,79 | 5,09 | 4,32 | 3,83 | 3,44 | 3,08 | 2,72 | 2,34 | 1,92 | 1,41 | 1,07 | 0,89 | 0,61 | 0,49 | 0,30 |
| 77201 | 1,05 | 0,98 | 0,86 | 0,76 | 0,60 | 0,46 | 0,33 | 0,24 | 0,20 | 0,16 | 0,13 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| 77209 | 0,83 | 0,73 | 0,64 | 0,59 | 0,53 | 0,48 | 0,44 | 0,41 | 0,37 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,19 | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,08 |
| 77210 | 1,18 | 1,12 | 1,03 | 0,98 | 0,90 | 0,84 | 0,78 | 0,72 | 0,66 | 0,59 | 0,51 | 0,41 | 0,34 | 0,29 | 0,22 | 0,19 | 0,14 |
| 77212 | 14,59 | 12,72 | 10,86 | 9,80 | 8,44 | 7,37 | 6,38 | 5,54 | 4,86 | 4,27 | 3,68 | 2,98 | 2,49 | 2,20 | 1,73 | 1,50 | 1,09 |
| 77217 | 1,81 | 1,46 | 1,16 | 1,01 | 0,83 | 0,71 | 0,61 | 0,52 | 0,44 | 0,36 | 0,29 | 0,21 | 0,16 | 0,13 | 0,09 | 0,08 | 0,05 |

Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 77223 | 9,30 | 7,06 | 5,55 | 4,88 | 4,16 | 3,68 | 3,28 | 2,86 | 2,56 | 2,34 | 2,13 | 1,87 | 1,67 | 1,55 | 1,32 | 1,20 | 0,98 |
| 77231 | 36,17 | 22,89 | 15,68 | 12,91 | 10,15 | 8,34 | 7,61 | 7,02 | 6,40 | 5,68 | 4,76 | 3,49 | 2,57 | 2,06 | 1,28 | 0,95 | 0,43 |
| 77242 | 6,74 | 4,64 | 3,30 | 2,72 | 2,10 | 1,68 | 1,36 | 1,11 | 0,89 | 0,69 | 0,52 | 0,34 | 0,23 | 0,18 | 0,11 | 0,08 | 0,04 |
| 77245 | 5,31 | 3,78 | 2,74 | 2,27 | 1,75 | 1,39 | 1,12 | 0,93 | 0,78 | 0,65 | 0,52 | 0,39 | 0,30 | 0,25 | 0,17 | 0,14 | 0,09 |
| 77250 | 38,93 | 29,91 | 23,86 | 21,16 | 18,19 | 16,11 | 14,24 | 12,37 | 10,68 | 9,30 | 8,05 | 6,67 | 5,74 | 5,20 | 4,32 | 3,89 | 3,12 |
| 77260 | 2,15 | 1,76 | 1,37 | 1,16 | 0,90 | 0,71 | 0,57 | 0,48 | 0,41 | 0,34 | 0,27 | 0,19 | 0,14 | 0,11 | 0,07 | 0,05 | 0,03 |
| 77266 | 16,03 | 14,36 | 12,21 | 10,79 | 8,77 | 7,02 | 5,08 | 3,77 | 3,22 | 2,77 | 2,34 | 1,83 | 1,47 | 1,27 | 0,94 | 0,78 | 0,52 |
| 77270 | 2,72 | 2,31 | 1,95 | 1,76 | 1,52 | 1,33 | 1,21 | 1,09 | 0,98 | 0,84 | 0,67 | 0,45 | 0,30 | 0,22 | 0,12 | 0,09 | 0,04 |
| 77276 | 0,38 | 0,31 | 0,24 | 0,21 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 77285 | 2,40 | 2,08 | 1,81 | 1,67 | 1,48 | 1,31 | 0,96 | 0,75 | 0,63 | 0,53 | 0,43 | 0,31 | 0,23 | 0,18 | 0,12 | 0,09 | 0,05 |
| 77292 | 44,36 | 33,31 | 25,86 | 22,44 | 18,38 | 14,32 | 11,72 | 10,50 | 9,41 | 8,31 | 7,09 | 5,52 | 4,37 | 3,70 | 2,62 | 2,12 | 1,31 |
| 77298 | 4,13 | 3,46 | 2,76 | 2,35 | 1,80 | 1,33 | 0,99 | 0,79 | 0,65 | 0,52 | 0,40 | 0,28 | 0,20 | 0,16 | 0,10 | 0,07 | 0,04 |
| 77311 | 0,55 | 0,43 | 0,31 | 0,24 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| 77329 | 15,52 | 14,38 | 12,90 | 11,89 | 10,34 | 8,83 | 7,47 | 6,68 | 6,12 | 5,62 | 5,11 | 4,47 | 3,99 | 3,70 | 3,19 | 2,92 | 2,41 |
| 77336 | 1,21 | 1,05 | 0,92 | 0,84 | 0,75 | 0,69 | 0,63 | 0,58 | 0,53 | 0,49 | 0,45 | 0,40 | 0,36 | 0,34 | 0,31 | 0,29 | 0,26 |
| 77362 | 1,80 | 1,22 | 0,69 | 0,48 | 0,28 | 0,17 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |