

ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РГБ ОД

28 НОЯ 2000

На правах рукописи

ФЕДОТОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 11.00.07. – Гидрология суши,
водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

*Диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук*

Пермь, 2000

Работа выполнена в Пермском государственном университете.

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор, академик Международной академии наук высшей школы. А.М. Комлев.

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой водного хозяйства и технологии воды УГТУ действительный член Академии водохозяйственных наук и Российской экологической академии, И.С. Шахов (г. Екатеринбург); кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного университета им. А.М. Горького Е.Б. Соболева (г. Пермь).

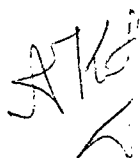
Ведущая организация: Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды (г. Пермь).

Защита состоится «26» июня 2000 года в 14 часов на заседании Диссертационного совета Д 063.59.05 в Пермском государственном университете им. А.М. Горького по адресу: 614600, Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15, Пермский университет, корп. 1, зал заседаний Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного университета.

Автореферат разослан «25» мая 2000 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
кандидат географических
наук, доцент



А.Б. Китаев

29(2P36-417c)225,6

225:3,с

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Вторая половина XX столетия характерна интенсивным техногенезом, одним из последствий которого стало усиление антропогенного воздействия на природную среду. Это вызвало необходимость оценки изменения ресурсов поверхностных вод под влиянием деятельности человека. Актуальность этой оценки обусловлена, прежде всего, необходимостью более эффективного в этих условиях использования и охраны водных ресурсов. Решение данной задачи в значительной мере зависит от точности оценки происшедших изменений в режиме рек в результате антропогенного воздействия и объективного представления о последствиях тех или иных хозяйственных мероприятий, способных и далее изменять условия формирования и величину речного стока. Произошедшие изменения необходимо учитывать и при инженерно-гидрологическом обосновании проектов. Использование традиционных расчетных методов оценки числовых характеристик стока, основанных на предположении о его стационарности, может привести в этих условиях к существенным ошибкам при принятии решений.

К настоящему времени выполнено большое количество исследований, посвященных оценке влияния, как отдельных видов, так и всего комплекса факторов хозяйственной деятельности преимущественно на сток крупных рек. Применительно к малым и средним рекам таких исследований значительно меньше. Существующие оценки влияния хозяйственной деятельности на сток этих рек в отдельных районах страны имеют часто разноречивый характер и, как правило, охватывают только некоторые виды этой деятельности, характерные для отдельных бассейнов.

Использование методов оценки антропогенного влияния на речной сток, применяемых для больших водосборов, не всегда возможно для малых и средних рек. Это связано, главным образом, с отсутствием достаточной исходной информации. В этих условиях требуются дополнительные исследования с це-

лю оценки влияния хозяйственной деятельности применительно к конкретным ее особенностям, а также местным условиям формирования водного режима рек.

Речной сток изменяется во времени под влиянием целого комплекса природных факторов, ведущими из которых являются метеорологические. Поэтому исследование характера природной зависимости стока от этих факторов является надежной основой для объективной оценки влияния на него хозяйственной деятельности. Важным моментом в реализации данной задачи является отбор из множества метеорологических элементов и их сочетаний наиболее значимых, стокоформирующих.

Целью данной работы является оценка характера и степени изменения водного режима рек Пермской области под влиянием хозяйственной деятельности. За исключением реки Камы такая оценка до сих пор не производилась. Значительная часть территории области относится к наиболее развитым в промышленном отношении регионам страны, где влияние антропогенных факторов на сток становится уже заметным. Нарушенным является режим стока некоторых рек и в районах интенсивного развития сельского хозяйства.

Оценка влияния антропогенных факторов на сток связана с большими трудностями, одна из которых – отсутствие достаточной и репрезентативной количественной информации о разных видах хозяйственной деятельности на водосборах рек. Вторая сложность заключается в том, что влияние антропогенных факторов приходится оценивать на фоне естественных флуктуаций речного стока и формирующих его факторов. Большие затруднения связаны и с тем, что число гидрологических и метеорологических пунктов наблюдений в области и продолжительность периода этих наблюдений для исследований не всегда достаточны.

В этих условиях для достижения поставленной цели в ходе работы решались следующие задачи.

- Анализ имеющейся режимной гидрометеорологической информации.

- Выбор для исследования рек, в бассейнах которых в течение достаточно длительного периода ведутся гидрометрические и метеорологические наблюдения.
- Выбор исследуемых параметров водного режима рек. В данном случае исследовалось влияние антропогенных факторов на годовой сток рек, максимальный сток весеннего половодья и минимальный сток летней и зимней межени, а также изменение внутригодового перераспределения стока, оцениваемое коэффициентом естественной зарегулированности стока.
- Сбор по возможности полной информации о развитии различных видов хозяйственной деятельности, действующих на территории Пермской области.
- Выбор и обоснование методики исследования.
- Выполнение корреляционного анализа для количественной оценки влияния различных естественных факторов на речной сток и на этой основе восстановление нарушенных многолетних рядов этого стока.
- Оценка характера и степени изменения естественного режима стока под влиянием хозяйственной деятельности.

Исходными материалами для исследований послужили материалы гидрометрических и метеорологических наблюдений Росгидромета за период с 1881 по 1997 годы по 40 гидрологическим и 28 метеорологическим станциям и постам. Кроме того использовались фондовые материалы Управления лесами Пермской области, Комитета по водному хозяйству Пермской области и Управления водных ресурсов Коми-Пермяцкого автономного округа.

Решение поставленных задач производилось на основе методов географо-гидрологического анализа результатов расчета эмпирических связей стока и формирующих его факторов методами математической статистики (оценка статистической однородности рядов наблюдений, регрессионный анализ).

Научная новизна работы заключается в том, что в результате использования обширного объема гидрометеорологической информации, применения современных статистических методов и вычислительной техники впервые дос-

таточно подробно оценена роль различных факторов формирования годового стока рек Пермской области, а также его экстремальных значений. На основе генетического анализа полученных результатов ряда гидрометрических наблюдений разделены на периоды с различным уровнем влияния на сток хозяйственной деятельности. Восстановлены естественные ряды характеристик стока по ркам, для которых установлены их существенные антропогенные изменения, оценены статистические параметры этих рядов, определена степень воздействия антропогенных факторов на экстремальные характеристики стока ряда рек Пермской области и характер его внутригодового распределения. Установлено, что среднегодовой сток рек исследуемой территории под воздействием этих факторов практически не изменился.

Практическая ценность работы заключается в том, что количественная оценка антропогенного изменения максимального и минимального стока ряда рек необходима для определения расчетных параметров этого стока при проектировании различных сооружений и объектов. Следовательно, полученные результаты могут быть использованы при разработке новых территориальных строительных норм. Восстановленные ряды стока могут использоваться как аналоги при дальнейших оценках влияния хозяйственной деятельности на речной сток. Выявленные связи стока с основными его природными факторами могут использоваться для уточнения методов долгосрочных гидрологических прогнозов.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждены на VI Межвузовской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Экология: проблемы и пути решения» (Пермь, 1998 г.), научно-практической конференции «Гидрология Урала на рубеже веков» (Пермь, 1999 г.) и на VIII Межвузовской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Экология: проблемы и пути решения» (Пермь, 2000 г.), на научном семинаре кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов ПГУ (Пермь, 2000 г.).

Публикации. Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 3 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц, 40 рисунков, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (112 наименований) и приложения.

Автор выражает большую благодарность за предоставление необходимой для исследований информации и методическую помощь при ее использовании следующим организациям: Пермскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды, Уральскому Управлению по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды, Управлению лесами Пермской области, Комитету по водному хозяйству Пермской области, Управлению водных ресурсов Коми-Пермяцкого автономного округа, Гидрологической станции г. Березники.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, изложены цели и задачи исследования.

В **первой главе** дана характеристика природных факторов, формирующих водный режим рек Пермской области. Исследуемая территория общей площадью около 160,2 тыс. км² охватывает западные склоны и предгорья Уральских гор и восточную окраину Русской равнины. Приводятся краткие сведения о рельефе и геологическом строении, почвенном и растительном покрове, особенностях климата в различных частях области.

Все водотоки рассматриваемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью. В питании рек преимущественное

значение имеют снеговые воды. Их доля в годовом стоке изменяется по территории от 60% в горах Северного Урала до 75% на равнине. Гидрологическое районирование территории, основывающееся на учете различий степени увлажнения территории и других условий формирования стока принято согласно изданию государственного водного кадастра (Ресурсы ..., 1973). В главе приведены основные сведения о водном режиме рек отдельных районов.

Во второй главе рассмотрены *основные виды хозяйственной деятельности*, действующие на территории Пермской области и оказывающие влияние на водный режим рек. Начальный этап антропогенного воздействия на водный режим некоторых, преимущественно небольших рек, относится к XVII-XVIII в.в. На это время приходится освоение плодородных почв Кунгурской лесостепи, строительство первых металлургических заводов и заводских прудов. В XVIII-XIX в.в. для производства древесного угля и расчистки земель под сельхозугодья вырубались леса, создавались шахты, карьеры, появлялись отвалы горных пород, рудничные водоотливы и др. Таким образом, водный режим некоторых малых рек к моменту организации в Пермской области гидрологических наблюдений был уже частично нарушен. Однако, вплоть до XX столетия влияние вышеперечисленных факторов не вызывало существенных изменений в режиме основных водных объектов.

Положение коренным образом изменилось в нынешнем столетии в связи с начавшимся интенсивным техногенезом, с научно-технической революцией в промышленности и сельском хозяйстве. Расширились старые и создавались новые населенные пункты, менялась технология производства, степень урбанизации населенных территорий, их благоустройство. Начались осуществляться агротехнические, гидротехнические мероприятия. Резко возросло производственное и хозяйственно-бытовое водопотребление и водоотведение.

Основной объем забора воды на хозяйственные нужды приходится на городские поселения и промышленные центры, большая часть которых расположена вдоль берегов Камского и Воткинского водохранилищ и в предгорных

районах области (бассейны Яйвы, Косьвы, Чусовой). Добыча полезных ископаемых (в том числе дражным способом) сосредоточена главным образом в предгорных и южных (месторождения нефти) районах области. Сельское хозяйство развито на юге и западе области (бассейны Сылвы, Ирени, Тулвы, Иньвы, Обвы и др.). В этих районах находятся и *основные участки орошаемых земель*.

Наиболее значимыми по степени воздействия на водный режим рек факторами являются *регулирование стока прудами и лесоэксплуатация*. Пруды наиболее распространены в сельскохозяйственных районах южной и западной частей области, в основном это небольшие и средние по величине водосемы, преимущественно рыбохозяйственного и противопожарного назначения. Вырубка лесов характерна для бассейнов большинства рассматриваемых рек. Наиболее существенное изменение лесной площади, ее породного и возрастного состава характерно для территории речных бассейнов Яйвы и Косьвы.

В третьей главе излагается методика исследования и дается характеристика исходной информации.

Оценка антропогенного влияния на сток рек затруднена вследствие нескольких причин. Во-первых, на водосборе может действовать не один, а несколько факторов хозяйственной деятельности, изменяющих сток в различных направлениях. Во-вторых, антропогенные изменения стока накладываются на естественные его колебания, амплитуда которых может значительно превосходить искусственные. Наконец, чаще всего отсутствуют надежные данные о времени, масштабах и интенсивности проведения тех или иных хозяйственных мероприятий. Анализ существующих методов оценки антропогенных изменений речного стока показал, что в данных условиях цели работы в наибольшей степени отвечают статистические методы. Они позволяют произвести оценку влияния хозяйственной деятельности на основании уже имеющихся многолетних гидрометеорологических материалов наблюдений на опорной сети гидрометеорологических станций и постов. При этом производится оценка суммар-

ного изменения гидрологических процессов в целом на водосборе реки под влиянием комплекса антропогенных факторов.

Суть статистических методов заключается в разделении ряда наблюдений на периоды с различным уровнем хозяйственной деятельности (периоды естественного и нарушенного стока), восстановлении естественных характеристик речного стока за нарушенный период по зависимостям от стокоопределяющих факторов (уравнения множественной регрессии) и сравнении их с наблюдаемыми данными.

На первом этапе исследований проверялась однородность рядов исследуемых

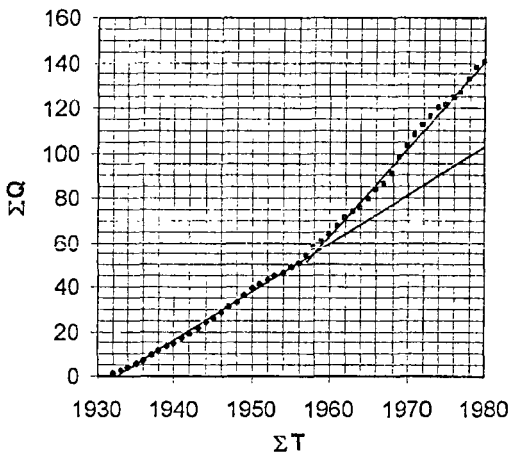
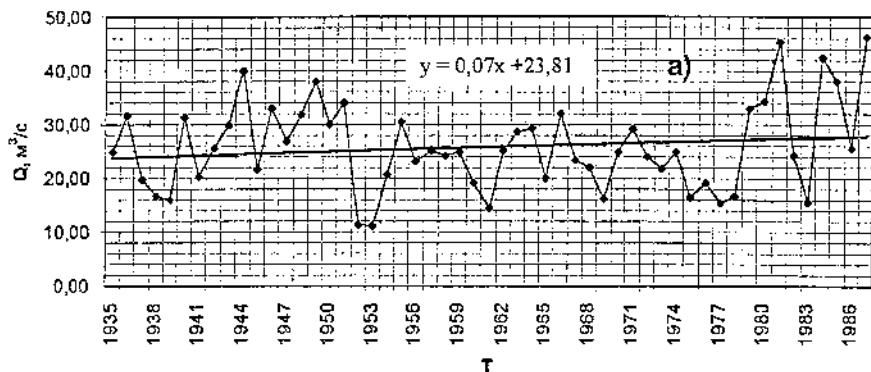


Рис. 1. Суммарная интегральная кривая минимального легнего стока р. Бабка – д. Балалы

характеристик стока, и определялся момент ее нарушения. Для разделения общей выборки на две части с предполагаемо разными уровнями развития хозяйственной деятельности использовались стандартные приемы: построение *суммарных (интегральных) зависимостей* характеристик стока от времени (рис. 1) и анализ их *хронологических графиков* (рис. 2) с расчетом уравнения *линейного тренда*. На-

личие факта и момента нарушения однородности определялось по изменению угла наклона линии связи интегральной зависимости к оси абсцисс. Необходимо отметить, что изменение угла наклона свидетельствует об изменении стока, однако не позволяет однозначно утверждать, что оно вызвано хозяйственной деятельностью. Однородность рядов стока может нарушаться и при изменении увлажнения.

Хронологический график минимальных зимних расходов
воды по пункту р. Чусовая - пгт Лямино



Хронологический график минимальных зимних расходов
воды по пункту р. Тюй - д. Гумбино

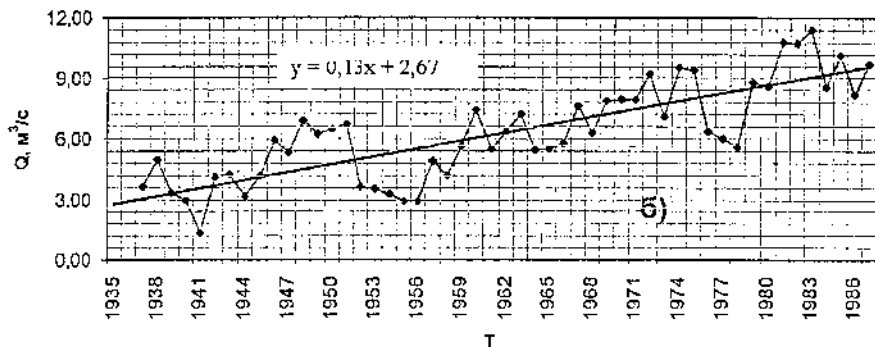


Рис. 2.

а – естественный режим стока; б – нарушенный режим стока

В этих условиях для установления возможных причин изменения стока особую значимость приобретает анализ имеющейся информации о динамике антропогенных и метеорологических факторов, а также коэффициента естественной зарегулированности стока. Для исследования динамики факторов хозяйственной деятельности использовались хронологические графики соответствующих величин.

Величина коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ является характеристикой доли устойчивого (базисного) стока в годовом объеме и в

условиях естественного режима формирования стока достаточно устойчива, то есть незначительно меняется в зависимости от длины ряда наблюдений (Ресурсы ..., 1973, Соболева, 1985). Поэтому неоднородность ряда коэффициента ϕ рассматривалась как одно из подтверждений изменения водного режима рек под влиянием хозяйственной деятельности. Для анализа однородности рядов коэффициента естественной зарегулированности стока использовались те же приемы, что и при анализе других характеристик стока (см. выше).

Оценка изменений метеорологических факторов также осуществлялась путем построения суммарных интегральных зависимостей от времени и хронологических графиков с вычислением линейного тренда. Кроме того, для исследования изменения условий увлажнения строились *разностные интегральные кривые* стока и осадков по наиболее длиннорядным гидрологическим (со стационарным режимом стока) и метеорологическим станциям и постам (рис. 3). Тенденция изменения увлажнения периодов до и после нарушения однородности ряда стока оценивалась также путем расчета *коэффициента водности* (Анализ однородности рядов речного стока, 1985):

$$K_w = U_2/U_1 \quad (1)$$

где U_2 и U_1 – среднее значение годовой (сезонной) суммы осадков за периоды после и до нарушения ряда однородности стока.

Разностная интегральная кривая средних годовых расходов воды по пункту р. Чусовая - пгт Лямино

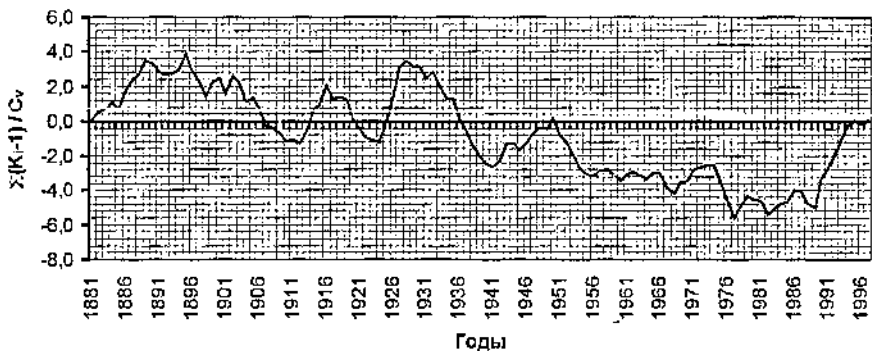


Рис. 3

В случае установления нарушения однородности ряда стока (кроме случая изменения климатических условий его формирования) осуществлялась проверка существенности данного нарушения с помощью *статистического и генетического анализа*.

Первый предусматривает проверку однородности ряда с помощью статистических критериев, среди которых выделяются параметрические и непараметрические. Параметрические в основном, разработаны для условий отсутствия внутрирядной связанности и предполагают симметричное нормальное распределение элементов выборки. К гидрологическим характеристикам, часто имеющим асимметричное распределение, эффективно применение непараметрических критериев (Рождественский, Чеботарев, 1974, Анализ ..., 1985, Шикломанов, 1989). В данной работе однородность характеристик стока проверялась при помощи непараметрических критериев Вилкоксона и Колмогорова-Смирнова с использованием пакета программ для ПЭВМ. Уровень значимости при статистической проверке однородности рядов стока принимался согласно рекомендациям, изложенным в (Анализ ..., 1985) в зависимости от тенденции изменения стока и водности периодов до и после нарушения однородности ряда стока, а именно:

- при однозначном изменении тенденции величины стока и относительной водности принимался уровень значимости 0,01;
- при различной направленности этих изменений – 0,10.

Коэффициент водности рассчитывался согласно формуле 1.

При выборках ограниченного объема и различных периодов по водности статистический анализ нарушения однородности может не дать объективных результатов. В случаях, когда при графическом анализе было установлено нарушение однородности ряда, но статистически нулевая гипотеза не могла быть отвергнута при соответствующих уровнях значимости, к оценке привлекался *генетический анализ*. Его сущность заключается в сопоставлении погрешности выборки σ_0 , относящейся к естественному режиму рассматриваемого ряда и

относительной величины изменения значений стока при нарушении их однородности (Анализ ..., 1985), определяемых по формулам:

$$\sigma_Q = (C_v / \sqrt{n}) 100\% \quad (2)$$

$$\varepsilon_Q = ((\Delta Q / (Q_1 K_v)) 100\% \quad (3)$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 K_v \quad (4)$$

где C_v – коэффициент вариации, n – число членов выборки, K_v – коэффициент водности, определяемый по формуле 1. Если $\sigma_Q > \varepsilon_Q$ нарушение однородности не доказывается и, наоборот, при $\sigma_Q \leq \varepsilon_Q$ ряд признается неоднородным, и рассматриваются две выборки. При незначительном нарушении стока оценивалась тенденция изменений путем расчета уравнения линейного тренда.

На втором этапе работы исследовались *закономерности формирования стока* на территории Пермской области. Основные характеристики речного стока за год, за отдельные периоды и их многолетняя изменчивость обуславливаются главным образом метеорологическими факторами. Их разнообразное сочетание при сравнительно небольшом диапазоне изменений может приводить к существенно большим колебаниям стока. В связи с этим основной задачей данного этапа исследований является определение, на основе генетического метода, главных стокообразующих факторов (предикторов) для среднего годового стока, а также его экстремальных значений.

Современный подход к изучению природы требует рассмотрения явлений в их взаимосвязи. Теория корреляции позволяет выразить эти взаимосвязи в количественной форме. Использование компьютерной техники значительно расширило возможности поиска объективных статистических связей стока с обуславливающими его метеорологическими факторами. Расчет коэффициентов парной линейной корреляции r производился как для пунктов с выявленным нарушением однородности, так и для пунктов с однородными стоковыми рядами. Определялись значения r для всего ряда наблюдений. Кроме того, для пунктов с установленной неоднородностью рядов стока определялись величины r за нарушенный и ненарушенный периоды. Правильность выводов проверялась с

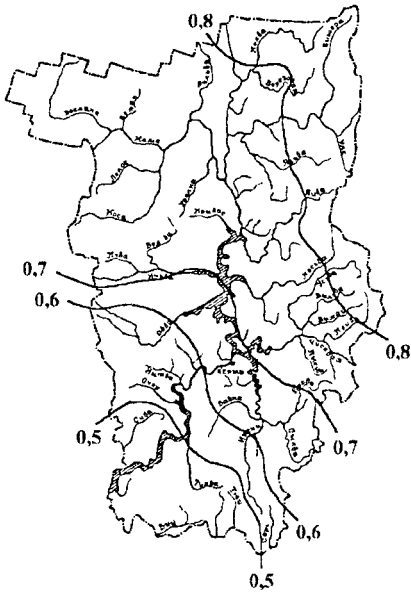


Рис. 4 Изокорреляты годового стока и осадков текущего года

помощью генетического анализа. Распределение коэффициентов корреляции по территории, представленное на соответствующих картах в виде *изокоррелят* (рис. 4), позволило выявить пространственную вариацию зависимости стока от перечисленных факторов и ограничить (в первом приближении) перечень предполагаемых предикторов. Величины коэффициентов корреляции наносились на карту исследуемой территории по центрам тяжести водосборов.

На третьем этапе работы для определения по данным наблюдений зависимости стока от основных стокоформирующих факторов применялся метод *множественной линейной корреляции* в виде:

$$Q_{\text{ест}} = k_1 X_1 + k_2 X_2 + \dots + k_n X_n + k_0, \quad (5)$$

где $Q_{\text{ест}}$ – сезонный сток за естественный период; X – характеристика естественных факторов; k – коэффициент регрессии; k_0 – свободный член. Расчет уравнений регрессии производился для рек с выявленными антропогенными изменениями стока. Уравнения регрессии получены с использованием современного пакета программ на ПЭВМ. В качестве критерия качества уравнений использовались величины сводного коэффициента корреляции R ($R > 0,7$) и средней погрешности σ_R ($R/\sigma_R > 2$). Уменьшение многомерности статистической модели производилось путем исключения взаимосвязанных предикторов в случае если выполнялось неравенство $k_j/\sigma_{k_j} < 2$. Здесь σ_{k_j} – средняя квадратическая ошибка коэффициента уравнения регрессии k_j .

Восстановление нарушенного стока проводилось по уравнениям, полученным для естественного периода. Процентное изменение стока за условный нарушенный период определялось как отношение средней величины отклонения $\Delta Q_{\text{воз ср}}$ на среднюю величину восстановленного по уравнениям множественной линейной регрессии стока $Q_{\text{воз ср}}$ за этот же период. Изменение стока признано существенным когда процентное изменение стока $\Delta Q_{\text{воз ср}}$ выходит за пределы допустимой погрешности измерения и вычисления стока (10%).

Для решения поставленных задач в работе *использованы материалы* по среднему годовому стоку, максимальному весеннему и минимальному летнему и зимнему стоку, а также коэффициенту естественной зарегулированности стока по 40 гидрологическим постам с продолжительностью наблюдений не менее 20 лет. Данная информация в основном отражает режим средних и малых рек с площадями водосбора от 278 до 30900 км² (за исключением 2 постов на Каме, имеющих площадь водосбора более 50000 км²). Ежегодные значения коэффициента естественной зарегулированности стока вычислены аналитическим методом (Комлев, Проскурина, 1973) с месячным интервалом осреднения. В качестве основных метеорологических факторов формирования стока использовались суммы атмосферных осадков за различные периоды, температура и дефицит влажности воздуха, а также максимальные запасы воды в снежном покрове. Данные наблюдений за указанными элементами по выбранным 28 метеорологическим станциям и постам в основном отражают естественные условия формирования стока в выбранных для исследования бассейнах рек. В целом, в работе использована гидрометеорологическая информация по 68 пунктам наблюдений за период с 1881 по 1997 год.

В работе использованы фондовые материалы Управления лесами Пермской области, Комитета по водному хозяйству Пермской области и Управления Водных ресурсов Коми-Пермяцкого автономного округа. Данная информация отражает динамику вырубки и восстановления лесов, создания водохранилищ и прудов, а также объемов водопотребления-водоотведения (в том числе на нуж-

ды орошения) на территории области. К сожалению, эта информация не всегда однородна, полна и сопоставима. Поэтому она привлекалась в основном лишь для интерпретации результатов статистического анализа.

Четвертая глава содержит результаты статистического анализа однородности рядов стока.

Статистический анализ проводился в два этапа. На первом производился графический анализ исходной гидрометеорологической информации, а также данных о развитии в бассейнах рек факторов хозяйственной деятельности. В общей сложности построено и проанализировано около 4000 графических объектов (суммарных и разностных интегральных кривых, хронологических графиков исследуемых величин). Кроме того, тенденция изменения характеристик стока и метеозаэментов оценивалась путем расчета коэффициентов водности и линейного тренда. Данные расчеты были произведены для 5 величин по 40 гидрологическим постам и в среднем для 6 величин по 28 метеорологическим станциям и постам.

На втором этапе для рек с установленными антропогенными изменениями характеристик стока была проверена существенность нарушения неоднородности их рядов при помощи непараметрических критериев Вилкоксона и Колмогорова-Смирнова, а также генетического анализа. В результате были получены следующие результаты.

Антропогенного изменения *годового стока* исследуемых рек не установлено. Для 13 рек выявлены изменения или тенденции изменения *максимальных весенних, минимальных межсезонных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности стока* в различных сочетаниях. В 11 случаях (р. Кама – КамГЭС, р. Кама – г. Сарапул, бассейны Кондаса, Иньвы, Обвы, Сылвы, Ирени, Бабки, Тюя, Быстрого Таныла) характер внутригодового перераспределения стока благоприятен для народного хозяйства, то есть снижаются максимальные расходы весеннего половодья, увеличивается минимальный сток летней и зимней межени, наблюдается рост значений коэффициента естествен-

ной зарегулированности стока. Для р. Яйвы – с. Усть-Игум установлено увеличение минимального зимнего стока. Главной причиной этих изменений является регулирование стока водохранилищами и прудами. Для р. Косьвы установлен обратный характер перераспределения стока внутри года, то есть происходит рост минимального весеннего стока при снижении минимальных меженных расходов и коэффициента естественной зарегулированности стока. Причиной данного изменения, скорее всего, является вырубка лесов, смена в результате этого их породного и возрастного состава. Количественная оценка антропогенных изменений водного режима рек дана в главе 6.

В **пятой главе** приводятся результаты корреляционного анализа связей речного стока и стокоформирующих факторов, выполненного для восстановления нарушенной части рядов этого стока.

Территория Пермской области отличается разнообразием природных условий, обуславливающих различие гидрологического режима рек. Поэтому, выявление характера связи стока со стокоформирующими факторами по отдельным участкам этой территории представляет определенный интерес. В частности, это позволяет ограничить перечень реальных предикторов при поиске расчетных уравнений регрессии для групп речных бассейнов. В каждой из них величина вклада и роль отдельных метеорологических факторов колеблется в зависимости от конкретных физико-географических условий.

На величину годового, максимального весеннего и минимальных летнего и зимнего стока оказывают влияние метеорологические условия не только данного сезона, но также и предыдущих сезонов и даже лет. В связи с этим в настоящем исследовании весь комплекс гидрометеорологических факторов условно разделен на две группы: факторы предшествующего гидрологического года, и факторы текущего гидрологического года. Из всей метеорологической информации в процессе корреляционного анализа было рассмотрено 31 вид и сочетание метеозлементов, оказывающих, предположительно, влияние на формирование годового, максимального весеннего, минимальных летнего и зимнего стока. В дальнейшем, на основании анализа коэффициентов парной линейной корреляции отобрано 18 предикторов, представляющих собой суммы атмосферных осадков за различные пе-

риоды, максимальные запасы воды в снеге, температуру и дефицит влажности воздуха. Распределение коэффициентов корреляции по территории, представленное на соответствующих картах в виде изокоррелят, показывает пространственную вариацию зависимости стока от перечисленных факторов. Анализ карт изокоррелят позволил выделить по бассейнам основных рек определенный набор предикторов для рассматриваемых характеристик стока, реальность которых подтверждена генетическим анализом.

Годовой сток. Для рек горной части области в связи с избыточным увлажнением территории их водосборов и значительными уклонами их поверхности, обуславливающими высокую динамичность поверхностного и подземного стока, формирование стока в целом за год определяется условиями этого года (коэффициенты парной линейной корреляции с осадками 0,8). На юге равнинной территории области, где в период половодья проходит до 75% годового стока, величина стока этого периода в большей степени связана с увлажненностью почвогрунтов, определяющей размеры потерь талых вод на фильтрацию. Величина влажности почв водосбора в свою очередь определяется условиями (в том числе осадками) предшествующего года, что и приводит к увеличению тесноты связи с ними годового стока. Для бассейнов рек Тую и Быстрый Тяпч характерна даже преобладающая роль условий предшествующего года в формировании годового стока (например, коэффициенты корреляции с осадками текущего года составляют около 0,45, предшествующего – 0,55).

Максимальный весенний сток. Главным фактором, определяющим величину максимального весеннего стока на большей части территории области, являются запасы воды в снежном покрове (осадки холодного периода года) и осадки периода половодья. В то же время, большое значение имеют метеорологические акторы, определяющие фильтрационную способность почвогрунтов. На севере области таким фактором является температура воздуха зимнего периода, определяющая промерзание почвогрунтов, а, следовательно, и величину потерь талых вод на фильтрацию. В центральной части равнинной территории области эти потери определяются влажностью почвогрунтов, которая в свою очередь зависит от весеннего увлажнения территории водосборов. На крайнем юге области влажность

почвогрунтов определяется осадками всего предшествующего гидрологического года и дефицитом влажности за его теплый период.

Минимальный летний сток. Формирование летнего стока происходит как за счет условий текущего (летнего) сезона, так и за счет запасов подземных вод, определяемых условиями предшествующих сезонов и даже лет. Последние наибольшее значение имеют на крайнем юге области (в бассейнах Тюя, Быстрого Тяньша). Здесь наиболее высока теснота связи минимального летнего стока с запасами воды в снеге (0,50-0,65) и условиями предшествующего года (около 0,4). Для горной, а также северной и центральной частей равнинной территории области характерно формирование летнего стока под влиянием метеорологических условий преимущественно текущего (летнего) сезона (коэффициенты корреляции около 0,6-0,7). В целом, на равнине при движении с севера на юг происходит постепенное увеличение роли метеорологических условий предшествующего сезона (года) и снижение роли текущего сезона.

Минимальный зимний сток. На величину зимнего стока определяющее влияние оказывают метеорологические условия предшествующего года (особенно летне-осеннего сезона), а также факторы текущего зимнего сезона (суровость зимы, высота снежного покрова, определяемая суммой осадков холодного периода). Роль метеорологических условий зимнего сезона наиболее выражена в горной и на севере равнинной территории области (коэффициенты корреляции r 0,4-0,6). Наибольшая теснота ($r = 0,5-0,6$) связи с осадками теплого (летнего) периода предыдущего гидрологического года также отмечается для рек горной и севера равнинной территории области. При движении с северо-востока на юго-запад теснота связи снижается. Роль дефицита влажности и температуры воздуха теплого (летнего) периода предыдущего года уменьшается в обратном направлении.

В шестой главе излагается оценка степени антропогенного изменения речного стока с использованием расчетных уравнений множественной линейной регрессии стока от выбранных стокоформирующих факторов. Установлена также величина изменения средних многолетних величин стока в целом за весь период наблюдений.

Следует отметить, что не для всех постов удалось получить надежные уравнения регрессии. Наименьшее их количество характерно для минимального зимнего стока – 5 постов из 11. Вследствие этого восстановление естественных величин произведено не для всех рек с выявленной неоднородностью рядов характеристик стока. Значимые изменения максимального весеннего и минимального летнего стока отмечаются на большинстве пунктов с зафиксированным нарушением однородности их рядов. Трпимп тооиттропасъмм

Максимальный весенний сток. Существенное изменение средних значений максимального весеннего стока установлено для двух пунктов на Каме (КамГЭС и Сарапул), для р. Обвы – с. Карагай и р. Косьвы – д. Останино. В первых трех пунктах максимальный весенний сток снизился на 20-32%, а на р. Косьве – д. Останино произошло его увеличение на 15%. Снижение максимальных весенних расходов, отмечаемое для первых трех рек, вызвано регулирующей ролью водохранилищ и прудов. Причиной увеличения максимальных весенних расходов, установленного для Косьвы, вероятно, является снижение лесной площади в бассейне реки и изменение ее породного состава.

Минимальный летний сток. Увеличение его значений выявлено для 7 пунктов, причем для 6 из них (Обва, Сылва, Ирень, Бабка, Тюй; Быстрый Танып) величина изменений является существенной (25,5-112,6%). Причинами увеличения минимальных летних расходов, установленного для этих рек является регулирование стока. Существенное снижение (на 29%) минимальных летних расходов, вызванное отрицательной динамикой лесной площади и ее характеристик установлено для р. Косьвы – д. Останино.

Минимальный зимний сток. Характер и причины его изменений аналогичны установленным для минимальных летних расходов. Однако, в связи с отсутствием надежных эмпирических связей существенное увеличение минимального зимнего стока (на 17,1-68,3%) удалось установить только для 5 рек (Кондас, Обва, Сылва, Бабка, Быстрый Танып).

Коэффициент естественной зарегулированности стока. Подтверждением наличия и характера внутригодового перераспределения стока исследуемых рек

является изменение величины коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ . Для 11 рек (р. Кама в пунктах КамГЭС и Сарапул, Кондас, Иньва, Обва и пунктах Карагай и Рождественское, Сылва, Ирень, Бабка, Тюй и Быстрый Танып) установлено увеличение величины ϕ на 6-30%. Наибольший рост значений коэффициента ϕ характерен для Камы и Обвы (22-30%), наименьший – для Ирени (6%). Для р. Косъвы – д. Останино установлено снижение коэффициента естественной зарегулированности стока на 8%.

Для всех пунктов с установленным изменением величин экстремальных расходов синтезированы исправленные ряды характеристик стока: до момента раздела – фактические данные, после момента раздела – восстановленные по уравнениям множественной линейной регрессии. По ним восстановлены естественные *средние многолетние значения* экстремальных расходов, а также статистические параметры (C_v , C_s) за весь период наблюдений. В большинстве случаев произошедшее вследствие этого изменение среднего многолетнего значения является существенным (16-46%), а в трех случаях величина этих изменений не превышает 10%.

В заключении диссертации содержатся *основные выводы*:

1. В результате статистического анализа однородности рядов *годового* стока исследуемых рек, антропогенного изменения этого стока не установлено. Для 13 рек выявлены изменения или тенденции изменения *максимальных весенних, минимальных межсезонных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности стока* в различных сочетаниях.

2. Достаточно надежным способом количественной оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на экстремальные расходы воды является использование многофакторной статистической связи стока со стокоопределяющими метеорологическими факторами. В качестве последних приняты за различные периоды суммы атмосферных осадков, температура и дефицит влажности воздуха, а также максимальные снеготпасы.

3. Полученные по результатам корреляционного анализа связей стока с формирующими его факторами карты изолиний коэффициентов корреляции (изо-

коррелят), дали возможность значительно детальнее выявить закономерности формирования исследуемых характеристик стока в различных частях области.

4. Использование многофакторной статистической связи стока со стокоопределяющими метеорологическими факторами позволило с достаточной степенью надежности восстановить естественные значения стока, нарушенные за период интенсивной хозяйственной деятельности, а также оценить величину и направленность происшедших изменений.

5. Полученные результаты изменений характеристик стока под влиянием хозяйственной деятельности позволили выделить на территории области речные бассейны с их однонаправленным изменением.

Существенное изменение *максимального весеннего стока* установлено для двух пунктов на р. Каме (КамГЭС и Сарапул), для р. Обвы – с. Карагай и р. Косьвы. В первых трех пунктах снижение максимальных весенних расходов является следствием регулирования стока, увеличение весеннего стока, установленное для р. Косьвы, вероятно, вызвано отрицательной динамикой лесной площади и ее характеристик.

Минимальный сток. Наиболее чувствительным к воздействию антропогенных факторов является минимальный сток рек.

Увеличение *минимального летнего стока* на 25-112% отмечается на реках с зарегулированным режимом (Обва, Сытва, Ирень, Бабка, Тюй, Быстрый Танып). Существенное (на 29%) снижение летних минимумов вследствие, главным образом, вырубок лесов отмечено для р. Косьвы.

По той же, что и для минимального летнего стока причине, произошло увеличение на 17-68% значений *минимального зимнего стока* на 5 реках (Коплас, Обва, Сытва, Бабка, Быстрый Танып).

6. Для рек с установленным изменением величин экстремальных расходов воды восстановлены их естественные средние многолетние значения, а также статистические параметры (C_v , C_s) за весь период наблюдений.

7. В итоге, получена достаточно объективная оценка изменения речного стока под влиянием хозяйственной деятельности. Результаты исследований показали, что по многим рекам, которые обычно используются при гидрологических

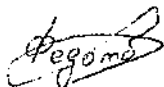
расчетах в качестве аналогов, естественный водный режим нарушен. Установленная количественная оценка антропогенного изменения водного режима этих рек может быть использована при определении расчетных параметров максимальных и минимальных расходов воды для проектирования различных сооружений и объектов, при разработке новых территориальных строительных норм, а также при составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Восстановленные ряды естественных характеристик стока могут использоваться в качестве аналогов при дальнейших оценках влияния антропогенных факторов на речной сток.

Самостоятельное значение имеют результаты выявленных связей стока с основными стокоформирующими факторами, которые могут быть использованы для уточнения методов долгосрочных гидрологических прогнозов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Федотов С.А. О влиянии хозяйственной деятельности на сток рек Пермской области // Экология: проблемы и пути решения, Тез. докл. VI межвуз. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, Изд-во ПГУ, 1998, С. 187-188.
2. Федотов С.А. О влиянии антропогенных факторов на водный режим рек Пермской области // Гидрология Урала на рубеже веков, Тез. докл. науч. практ. конф., Пермь, Изд-во ПГУ, 1999, С. 33-34.
3. Федотов С.А. К вопросу об изменении водного режима рек Пермской области под влиянием хозяйственной деятельности // Экология: проблемы и пути решения, Матер. VIII межвуз. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, ч. 2, Пермь, Изд-во ПГУ, 2000, С. 71-72.

Соискатель



С.А. Федотов

Подписано в печать 22.05.00. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 1,39 . Тираж 100 экз. Заказ 230

614600, г.Пермь, ул.Букирева, 15.
Типография Пермского университета.