

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ ԹՐԱՀԵԼ ԳԵՐԱՍԻՄԻ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԵՏԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՏՏՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ  
ԿԼԻՄԱՅԻ ԳԼՈՔԱԼ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՐՈՒՄ**

Ի.Գ. 03. 01 «Ֆիզիկական աշխարհագրություն, գեոմորֆոլոգիա, օդերևութաբանություն  
և կլիմայագիտություն» մասնագիտությամբ աշխարհագրական գիտությունների  
դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

**Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր**

**Երևան – 2013**

---

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ВАРДАНЯН ТРАЕЛ ГЕРАСИМОВИЧ**

**КОЛЕБАНИЯ СТОКА РЕК АРМЕНИИ И ЕГО ПРОГНОЗ ПРИ  
ГЛОБАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук  
по специальности 24.03.01 – «Физическая география, геоморфология,  
метеорология и климатология»

**Ереван – 2013**

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

**Գիտական խորհրդատու՝** աշխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր **Ն. Ի. Ալեքսեևսկի**  
(Մոսկվայի պետական համալսարան)

**Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝**  
աշխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ. **Է. Շ. Էլիզարաշվիլի**  
աշխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ. **Ա. Վ. Խոյեցյան**  
աշխ. գիտ. դոկտոր **Հ. Յ. Սայադյան**

**Առաջատար կազմակերպություն՝ ՌԳԱ Աշխարհագրության ինստիտուտ**

Պաշտպանությունը կայանալու է **2013թ. մայիսի 8-ին, ժամը 14<sup>30</sup>-ին** Երևանի պետական համալսարանում գործող Երկրագիտության 005 մասնագիտական խորհրդում:

Հասցե՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան, 1, ԵՊՀ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2013 թ. ապրիլի 6-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, դոցենտ



Մ. Ա. Գրիգորյան

---

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

**Научный консультант:** доктор геогр. наук, профессор **Н. И. Алексеевский**  
(Московский государственный университет)

**Официальные оппоненты:** доктор геогр. наук, профессор **Э. Ш. Элиزابашвили**  
доктор геогр. наук, профессор **А. В. Хоецян**  
доктор геогр. наук **О. Я. Саядян**

**Ведущая организация:** *Институт географии РАН*

Защита состоится **8 мая 2013 г. в 14<sup>30</sup>** часов на заседании Специализированного совета 005 “Науки о Земле” при Ереванском государственном университете.  
Адрес: 0025, г. Ереван, ул. А. Манукяна, 1, ЕГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 6 апреля 2013 г.

Ученый секретарь Специализированного совета, доцент



Մ. Ա. Գրիգորյան

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

---

### **Актуальность проблемы**

XX век ознаменовался глобальными изменениями в общественной, политической и экономической сферах. Одновременно изменилось состояние окружающей среды, в т. ч. климат и водные ресурсы.

Подобные изменения обусловлены увеличением содержания парниковых газов в атмосфере, повышением температуры приземного слоя атмосферы. Среднегодовая температура воздуха на земном шаре в последнем столетии возросла на 0,6-0,8<sup>0</sup>С. При сохранении современной тенденции увеличения выбросов парниковых газов к концу XXI в. средняя температура приземного слоя воздуха может повыситься на 3-5<sup>0</sup>С (IPCC ..., 1995; 1997; 2001; 2009).

Повышение температуры воздуха, в частности, влияет на величину и изменчивость водных ресурсов, качество воды. Количество и качество воды определяют возможность устойчивого развития любой страны, влияют на здоровье и уровень жизни населения. Их негативное изменение приводит к возрастанию уязвимости водных экосистем, к необходимости их адаптации к новым условиям существования, возрастанию затрат на защиту водных объектов от истощения, загрязнения и засорения.

По проблемам гидроклиматического изменения в последние десятилетия проведены многочисленные международные конференции и симпозиумы. На Всемирном саммите в Рио-де-Жанейро (1992 г.) определены стратегические задачи в сфере изменения климата, рационального использования и охраны водных ресурсов. Для их решения разработана программа специальных мер (Коста-Рика, 1997; Киото, 1997, 2003; Париж, 2000; Йоханнесбург, 2002; 2003; Буэнос-Айрес, 2004; Копенгаген, 2009; Рио-де-Жанейро, 2012).

Глобальные аспекты изменения увлажненности суши неизбежно отражаются в изменении водных ресурсов даже малых территорий.

Армения - небольшая горная страна, для которой характерна засушливость климата и маловодность рек. Современное изменение климата может привести к уменьшению возобновляемых водных ресурсов страны, усилению аридности ее территории, повышению вероятности увеличения частоты и интенсивности опасных явлений (засух, наводнений, маловодий, селей и др.). В этих условиях исключительно актуальна задача исследования и оценки изменений водных ресурсов рек, разработки методов прогноза трансформации стока в условиях возможного изменения климата.

### **Цель и задачи исследований**

Цель работы – выявление закономерностей колебаний и пространственно-временных изменений стока рек Армении (с учетом возможного

изменения климата) для повышения надежности работы водного хозяйства страны.

Для достижения этой цели были поставлены следующие основные научные задачи.

- Изучить и проанализировать прежние и современные глобальные гидроклиматические изменения.
- Оценить роль природных и техногенных факторов в формировании возобновляемых водных ресурсов страны.
- Выделить основные гидрографические, гидрологические и гидроэкологические черты рек Армении.
- Разработать статистический метод восстановления естественного стока рек.
- Определить естественный сток изученных рек Армении статистическим методом.
- Установить тенденции колебаний и изменения условий формирования естественного среднегодового и сезонного стока изученных рек РА в XX в.
- Выявить закономерности пространственно-временного соответствия изменений речного стока, атмосферных осадков и температуры воздуха на территории Армении.
- Районировать территорию РА по величине изменения многолетнего среднегодового и сезонного стока воды.
- Разработать прогноз изменения (уязвимости) речного стока при глобальном изменении климата.
- Районировать территорию РА по степени изменения (уязвимости) многолетнего среднего стока воды в пределах отдельных речных бассейнов при разных сценариях изменения климата.
- Оценить риск для водного хозяйства страны в условиях глобального изменения климата, обосновать пути повышения надежности работы водного хозяйства страны.

### **Исходные материалы и методы исследований**

В качестве исходных материалов в данной работе использованы результаты гидрометеорологических наблюдений Армгосгидромета, других ведомственных организаций страны, климатические и гидрологические атласы, а также материалы собственных полевых исследований на разных реках Армении в 1998-2003 гг.

В диссертации для обработки исходных данных, анализа изменений речного стока, оценки степени уязвимости стока при глобальном изменении климата использованы основные принципы и методы пространственно-временного анализа (общегеографического, физико-географического, гидрометеорологического, социально-экономического, гидроэкологического) и синтеза соответствующих данных и обобщений. При исследовании

гидрометеорологической информации применялись эмпирико-статистические и генетические теоретические модели, методы математического статистического анализа, географической интерполяции, полевых экспедиционных наблюдений, приемы обработки специализированных баз данных, географические информационные системы, другие методы и приемы, используемые в практике гидрологических расчетов и прогнозов.

### **Объект и предмет исследований**

Объектом исследований являются речные бассейны, водные ресурсы и водное хозяйство Республики Армения, изменяющиеся под влиянием природных факторов и антропогенных нагрузок.

Предмет защиты – закономерности пространственно-временной изменчивости состояния речных бассейнов и водных ресурсов рек страны в современных и ожидаемых гидрометеорологических условиях.

### **Научная новизна работы**

- Выполнено современное обобщение гидрометеорологической информации в пределах территории РА по тематике работы.
- Впервые разработан обоснованный статистический метод восстановления естественного стока рек.
- Выявлены закономерности пространственно-временных изменений многолетнего среднегодового, максимального и минимального стока рек РА и особенности его внутригодового распределения для различных высотных зон речных бассейнов.
- Впервые в гидрологии использовано понятие «30-дневный максимальный сток» и выполнен его расчет. Выявлены закономерности пространственно-временных изменений максимального 30-дневного стока рек РА.
- Выявлен ряд особенностей и закономерностей соответствия изменений речного стока, атмосферных осадков и температуры воздуха.
- Произведено районирование территории страны по величине и изменчивости среднего многолетнего, максимального и минимального годового стока по отдельным речным бассейнам.
- Выявлены тенденции изменения возобновляемых водных ресурсов и циклические закономерности их увеличения или уменьшения.
- Разработан прогноз изменения (уязвимости) среднего многолетнего годового стока воды для разных сценариев глобального изменения климата.
- Установлены районы страны, подобные в отношении изменения возобновляемых водных ресурсов для заданных сценариев изменения климата.
- Произведена оценка риска для водного хозяйства страны в трех аспектах: предупреждения риска селей и наводнений, оценки уязвимости надежности орошения и работы ГЭС в условиях изменения климата и намечены пути его минимизации.

## **Практическая значимость работы и внедрение результатов исследований**

Разработанные методы и полученные научные результаты являются новыми и имеют как теоретическое, так и большое практическое значение.

Результаты исследований позволяют реально оценить величину и изменчивость водных ресурсов РА в пределах основных речных бассейнов и в характерных высотных зонах.

Полученные оценки изменения характерных расходов воды будут полезны при оптимизации работы систем водоснабжения, орошения, объектов гидроэнергетики, проектировании водохранилищ и т. п. Они позволят оценить ресурсы воды и потребности водопользователей, создать рациональную стратегию распределения и использования воды на национальном уровне и для бассейнов трансграничных рек.

Прогноз изменения водных ресурсов страны может рассматриваться в качестве основы для программы стратегического развития водного хозяйства Армении и устойчивого развития экономики страны.

Предлагаемые в диссертации методы и разработанные подходы к анализу пространственно-временной изменчивости стока имеют универсальный характер. Они могут использоваться при проведении подобных исследований в других природных условиях, при подготовке специалистов в области гидрометеорологии.

Основные положения работы и полученные результаты одобрены международными организациями, и в частности, Комиссией по Устойчивости Вод Международного Географического Союза (International Geographical Union (IGU) Commission for Water Sustainability), и включены в их программные положения, а также Фонда Джона Д. и Кэтрин Т. Макартуров, который частично финансировал выполнение работы.

Полученные результаты диссертации частично применены Агенством по управлению водными ресурсами Министерства охраны природы РА – в правовых актах, разработанных для услуг в сфере управления водными ресурсами (обеспечение управления и охраны водных ресурсов в рамках национальной программы по воде, формирование потребности качественного и количественного мониторинга водных ресурсов, обеспечение государственного кадастра водных ресурсов и т. д.).

Предложенные в диссертации методы и полученные результаты были применены в некоторых учебных программах факультета географии и геологии ЕГУ, и в частности, в программах учебных дисциплин «Общая гидрология», «Географический прогноз», «Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», «Современные проблемы гидрометеорологии», «Глобальные изменения климата».

## **Основные защищаемые положения диссертации**

На защиту выносятся следующие научные положения.

- Надежность применения имеющихся и разработанных нами новых методов восстановления естественного стока рек и определения его основных характеристик.
- Значимость результатов исследований пространственно-временных изменений и колебаний среднегодового, максимального и минимального стоков рек Армении.
- Прогноз изменений среднегодового стока рек Армении при разных климатических сценариях ожидаемых глобальных гидроклиматических изменений во второй половине XXI в.
- Надежность водохозяйственных работ Армении и устойчивое развитие страны при ожидаемых гидроклиматических изменениях.
- Научные концепции (комплекса вопросов), связанных с исследованием колебаний стока рек Армении и его прогноза при глобальных гидроклиматических изменениях.

## **Апробация работы**

Основные теоретические положения и результаты исследований докладывались автором на ряде международных, региональных и республиканских научных симпозиумах, конференциях и семинарах. В частности, они обсуждались на XI Симпозиуме ВМО по образованию и подготовке кадров (Ситеко, Индонезия, 2010); Международной конференции «Уменьшение природных рисков в горных районах» (Бишкек, Кыргызстан, 2009); Международном Географическом Конгрессе (Тунис, 2008); на заседаниях рабочих встреч под эгидой НАТО «Природные катастрофы и безопасность воды: оценка риска, чрезвычайная реакция и управление окружающей средой» (Ереван, Армения, 2007), «Трансграничные наводнения: сокращение риска и усиление безопасности посредством планирования усовершенствованного управления наводнениями» (Орадя, Румыния, 2005), «Водообеспечение городов в чрезвычайных ситуациях» (Тель-Авив, Израиль, 2005), «Методы и средства для очищения загрязненных местностей» (Синая, Румыния, 2006), «Научная поддержка для принятия решений в секторе безопасности» (Велинград, Болгария, 2006); на Всемирной конференции по изменению климата (Москва, Россия, 2003); на 8-ой международной конференции по восприятию будущих изменений среды засушливых земель от динамики прошлого (Язд, Иран, 2002); на 2-ой международной конференции по экологической химии (Кишинев, Молдова, 2002); на 3-ей международной конференции по экологической химии (Кишинев, Молдова, 2005); на международной научной конференции, посвященной Международному Году Пресной Воды – 2003 «Рациональное использование и охрана водных ресурсов в изменяющейся окружающей

среде» (Ереван, Армения, 2003); на международной конференции «Мониторинг миграции и аккумуляции радионуклидов в компонентах природных экосистем» (Душанбе, Таджикистан, 2004); на I международной конференции по экологии и управлению окружающей средой Кавказа (Тбилиси, Грузия, 2001); на четвертой научной конференции «Современные проблемы земледелия» (Ереван, Армения, 2001); на конференции, посвященной 70-летию географического факультета Ереванского государственного университета «Основные проблемы географии Южного Кавказа и прилегающих регионов» (Ереван, Армения, 2005); на научной конференции, посвященной 70-летию основания Армянского Географического Общества «Географическая наука в Армении: настоящее и будущее» (Ереван, Армения, 2005); на международной научной конференции «Биогеографические и экологические аспекты процесса опустынивания в аридных и семиаридных регионах» (Ереван, Армения, 2000) и др.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано более 80 научных работ. Основные результаты исследований изложены в монографии (178 с.) и более 40 статьях.

### **Объем и структура работы**

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 266 страницах. Он иллюстрирован 16 картами, 70 рисунками, 29 таблицами. Список литературы содержит 254 наименований на армянском, русском и английском языках.

*Автор благодарен научному консультанту диссертации, заведующему кафедрой гидрологии суши МГУ им. М. В. Ломоносова, доктору географических наук, профессору Н. И. Алексеевскому, за советы при формировании структуры работы и редакцию текста диссертации.*



## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена современным подходам и тенденциям глобальных гидроклиматических изменений. В ней дан краткий очерк об изменении климата в разных регионах земного шара, Рамочной Конвенции Генеральной ассамблеи ООН, Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Раскрыт смысл Киотского протокола, позиции Армении по проблемам изменения климата.

Проведен краткий анализ влияния изменений климата на водные ресурсы, а также изменения речного стока на планете и в Армении.

**Во второй главе** кратко изложены природные условия формирования речного стока, возобновляемых водных ресурсов, особенности физико-географического положения Армении, дана характеристика видов хозяйственной деятельности, влияющих на величину и изменчивость речного стока.

Кратко представлены антропогенная нагрузка на реки РА, удельный вес каналов и водохранилищ на территории РА, а также прежние и нынешние объемы водопользования по отраслям хозяйства.

Речной сток, включающий сток воды, наносов, химических веществ и другие составляющие, формируется под влиянием сложного сочетания природных факторов и техногенных нагрузок.

**В третьей главе** дана характеристика информационной основы диссертационного исследования и рассмотрены использованные методы гидрологического анализа и синтеза натуральных и расчетных данных.

Информационной основой диссертации стали материалы гидрометеорологических наблюдений Армгосгидромета, других ведомственных организаций страны, опубликованные климатические и гидрологические обобщения, а также материалы собственных полевых исследований на разных реках Армении в 1998-2003 гг.

Для исследования временной изменчивости стока воды использованы сведения по пунктам наблюдений, для которых выполнялись следующие условия:

- они отражают специфическое сочетание совокупности природных факторов формирования стока воды;
- наблюдения характеризуют разнообразие условий формирования стока воды на территории Армении;
- данные наблюдений относятся к периоду формирования естественного стока воды;
- характеризуют сток рек различного размера (в большом диапазоне изменения площади водосборного бассейна);
- продолжительность наблюдений должна быть максимально возможной, а ряды гидрологической информации не содержать пропусков;

- для опорного гидрологического поста должна существовать возможность сопоставления данных с наблюдениями на репрезентативной метеорологической станции.

При наличии в рядах наблюдений пропусков, несовпадении длины рядов наблюдений на опорных постах, проверке этих рядов на однородность использовались специальные методы анализа и обработки материалов гидрометеорологического мониторинга. К ним относятся методы восстановления пропущенных данных, проверки рядов на однородность информации, приведения данных по различным рекам к единому периоду для обеспечения репрезентативности информации в пределах исследуемой территории (Статистические методы ..., 1970; Рождественский А. В., Чеботарев А. И., 1974; Каган Л. П., 1979; Трофимов А. М., Игонин Е. И., 2001; Trofimov A. M. & al., 2004).

Для восстановления естественного стока рек Армении использованы два подхода: стандартный метод учета суммарного забора воды (Ресурсы ..., 1975, 1979) и метод математической статистики (Шикломанов И. А., 1979; Владимиров А. М., 1990). Суть первого метода состоит в том, что объем забора воды из рек для покрытия различных хозяйственных нужд корректируется с учетом процента безвозвратных потерь и добавляется к фактическому стоку рек. Анализ результатов применения этого метода для восстановления естественного стока рек Армении показал, что он дает недостоверные оценки вследствие больших погрешностей задания величины водозабора (Vardanian T. G., 2005). Для отдельных рек водохозяйственная информация может вообще отсутствовать. В этих условиях предпочтительнее использование статистических методов восстановления естественного стока (Шикломанов И. А., 1979; Варданян Т. Г., 2004; Vardanian T. G., 2005).

Процедура восстановления естественного стока включает выбор реки-аналога с естественным стоком, обоснование корреляционного уравнения, связывающего расходы этой реки и реки, сток которой необходимо восстановить (Владимиров А. М., 1990; Варданян Т. Г., 1995; Саркисян В. О., 2002). Для этого используется часть ряда наблюдений, когда хозяйственная деятельность в бассейнах рек отсутствовала или ее влияние на сток было малым. В последующие годы, когда влиянием техногенных нагрузок пренебречь нельзя, разность между наблюдаемым фактическим и восстановленным стоком количественно характеризует объем безвозвратного водопотребления. При отсутствии надежного аналога обосновывается связь между многолетним среднегодовым расходом и расходом воды за определенный месяц многоводного сезона года для этой же реки (Варданян Т. Г., 1995).

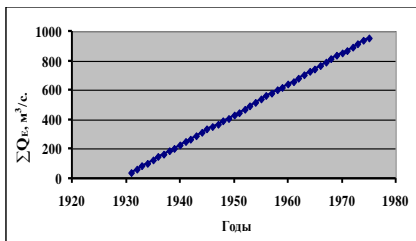
Для восстановления естественного стока рек при подготовке диссертации нами разработан новый способ математического метода (отныне – новый метод), основанный на теории математической статистики.

При использовании предлагаемого нами нового метода нет необходимости выбора реки-аналога. Ряд многолетних наблюдений за изменением стока рек воды делится на две части. Первая выборка заканчивается годом появления безвозвратных потерь стока. Вторая выборка начинается с года, когда нарушились естественные условия формирования стока. Для определения указанной временной границы производится генетический анализ ряда наблюдений за стоком воды. Для проверки степени достоверности метода в диссертации использован ряд случайных величин расходов воды.

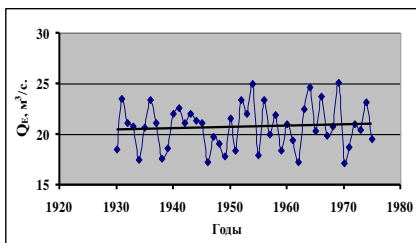
Члены этого ряда последовательно суммируются друг с другом, начиная от года начала до последнего года наблюдений ( $Q_c = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m$ , где  $m$  – число членов ряда). График связи между нарастающей суммой фактических расходов и расходом воды за каждый последующий год ( $Q_c = f(T)$ ) в естественных условиях формирования стока носит линейный характер (рис. 1), а тренд изменения расхода воды реки отсутствует (рис. 2). При нарушении однородности ряда возникают отклонения (рис. 3) этой линии от биссектрисы угла в координатах нарастающей суммы расходов воды и времени (годы). В этом случае существует тренд изменения расхода воды (рис. 4).

Дата начала такого отклонения (1956 г.) является началом искажения стока воды (рис. 5). Ординаты участка биссектрисы угла после 1956 г. при этом соответствуют нарастающей сумме естественного (восстановленного) расхода воды. Разность значений  $Q_c$  для естественных и современных условий формирования водности реки характеризует объем безвозвратных потерь стока и степень его искажения под влиянием хозяйственной деятельности. При наличии периода с естественными условиями формирования расходов воды и даты возникновения антропогенного их искажения обосновывается корреляционное соотношение  $Q_E = f(T)$  (рис. 6), на основе которого восстанавливается естественный сток после начала хозяйственного использования водных ресурсов.

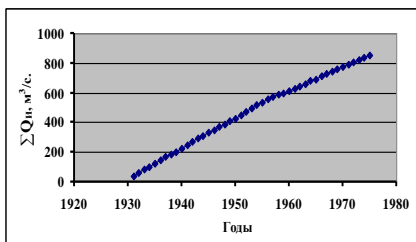
Отклонения между естественными и восстановленными расходами воды дают представление о степени изменения процесса формирования стока. Среднее квадратичное отклонение разницы восстановленного и естественного стока для использованного ряда по случайным величинам составляет 4,74%. Достаточную достоверность факта техногенного нарушения стока подтверждает наличие тренда восстановленного стока (рис. 7) и нарастающей суммы расходов воды (рис. 8).



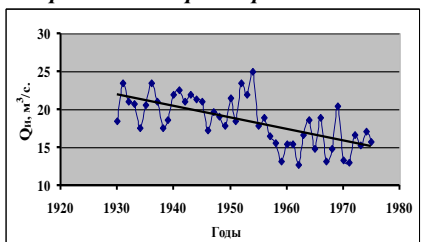
**Рис. 1** Изменение во времени нарастающей суммы естественных расходов



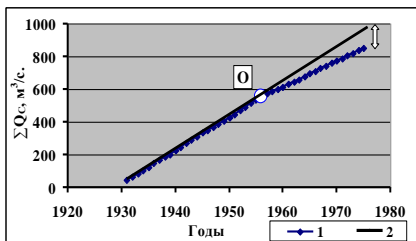
**Рис. 2** Изменение средних годовых расходов воды при отсутствии антропогенных факторов



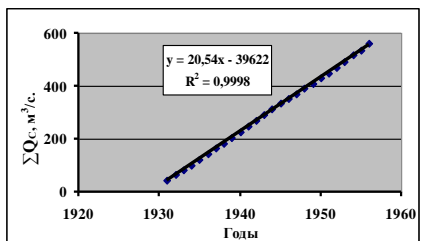
**Рис. 3** Изменение нарастающей суммы расходов воды при нарушении естественных условий формирования стока воды



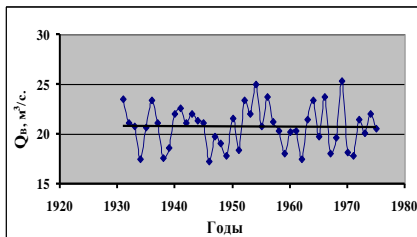
**Рис. 4** Тренд антропогенного изменения средних годовых расходов воды



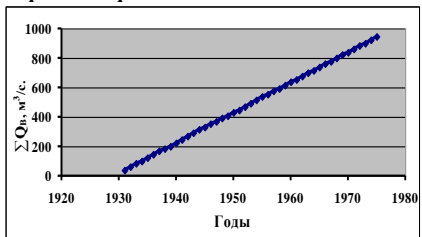
**Рис. 5** К выделению периодов измененного (1) и естественного (2) стока



**Рис. 6** Связь изменения нарастающих сумм естественных расходов и периодов времени



**Рис. 7** Изменчивость и тренд восстановленных средних годовых расходов воды

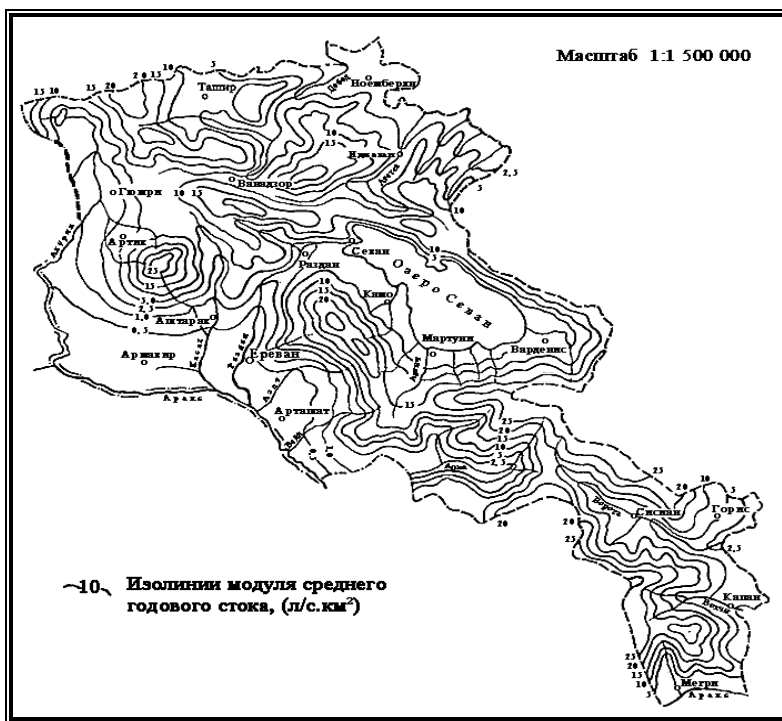


**Рис. 8** Изменение нарастающей суммы восстановленных расходов воды

**Четвертая глава** посвящена анализу специфики основных гидрографических и гидрологических характеристик рек Армении. Выполнен детальный анализ роли различных источников питания рек, факторов, определяющих особенности водного режима рек страны, изменчивость минерализации и качества речных вод. Питание рек осуществляется в основном за счет таяния снега, выпадения дождей и разгрузки подземных вод.

Большинство рек Армении имеет весеннее половодье. Исключение составляет небольшая группа водотоков, стекающих с г. Арагац. Для них характерно половодье в теплую часть года. Отличительной чертой весеннего половодья является растянутая на 3-4 месяца высокая волна повышенного стока с накладывающимися на эту волну паводками, обусловленными особенностями режима таяния снега в горах и выпадения дождей. До 50-70% годового стока воды в этом случае формируется в период весеннего половодья.

В водном режиме рек страны наблюдается два меженных периода: летне-осенний и зимний. Они отличаются по характеру формирования, объему, изменчивости стока и продолжительности меженного периода.



*Рис. 9 Распределение модуля среднегодового стока воды по территории Армении*

Летне-осенний меженный сток по объему несколько превышает зимний (на 8-10%), а в отдельных случаях (бассейн р. Гехарот) - в 1,5-2 раза (Варданян Т. Г., 1995).

Для выяснения закономерности территориального распределения годового стока рек построена карта модуля стока рек Армении (рис. 9).

В настоящее время Государственная программа мониторинга охватывает 54 водных объекта (в т. ч. 48 рек, 6 озер и водохранилищ), 146 наблюдательных пунктов (Центр Мониторинга воздействий на окружающую среду Министерства охраны природы РА).

До 1990 г. качество речных вод постепенно снижалось вследствие увеличения стока растворенных веществ. Наиболее сложная ситуация была характерна для рр. Раздан, Памбак, Дебед, Вохчи, Гаварагет. Лимитирующее значение имело увеличение общей минерализации воды, содержание в воде биогенных элементов, пестицидов, нефтепродуктов, тяжелых металлов. Предельно допустимые концентрации превышались в десятки раз по взвешенным веществам, фенолам и др. В этих условиях заметное изменение испытали экосистемы преимущественно малых рек.

На современном этапе (после 1990 г.) следствием экономического кризиса в Армении стало сохранение малого числа действующих промышленных предприятий, сокращение площади сельскохозяйственных угодий, применение удобрений и ядохимикатов на предельно низком уровне.

Пробы поверхностных вод из рр. Дебед, Ахурян, Севджур, Агстев, Раздан, Вохчи, отобранные в 2010 г., показали, что водные объекты в основном имеют «высокую загрязненность». В этом случае ПДК только отдельных ионов (медь, алюминий, ванадий и ион аммония) могут быть выше. Например, в р. Вохчи, ниже г. Капан, в течение года ПДК меди превышена в 93 раза (10 случаев), а в р. Раздан, близ с. Дарбник, ПДК иона аммония превышена в 34 раза (10 случаев).

В отдельных малых притоках может наблюдаться также и «чрезвычайно высокая» загрязненность поверхностных вод. Например, в устьевой части р. Ахтала в 11 случаях ПДК меди превышена в 128, а цинка – в 171 раз (Окружающая среда и природные ресурсы РА в 2010 году, статистический сборник 2011).

Наличие в речных водах многочисленных опасных видов химических веществ, несмотря на сокращение объемов промышленных сточных вод, связано с почти полным прекращением работы очистных сооружений.

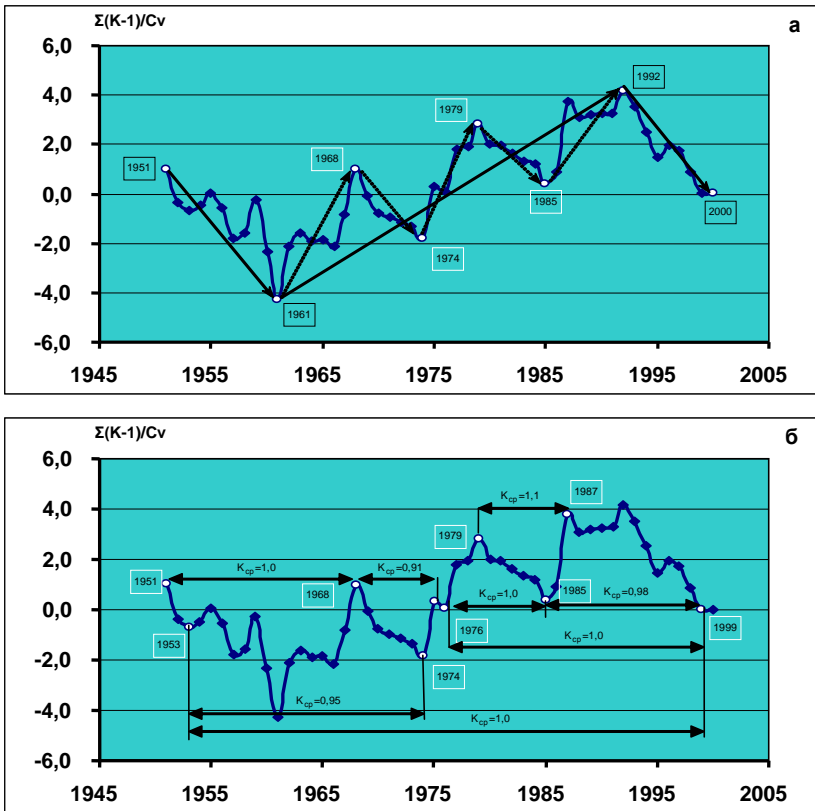
В условиях дефицита водных и земельных ресурсов в Республике Армения особенно актуален поиск путей их экономного использования. Они должны базироваться на использовании ресурсосберегающих технологий, улучшении технологий очистки сточных вод.

**В пятой главе** рассмотрены особенности многолетнего изменения годового стока рек Армении, результаты анализа колебаний речного стока в XX в. Изменения стока оценены для низкоргорных рек, сток которых

приведен к естественным условиям, а также высокогорных малых рек, где сток близок к естественному фону.

Для территории страны проведен детальный анализ многолетней изменчивости речного стока с целью выявления циклического чередования периодов повышенного и пониженного стока, связи этого процесса с климатическими изменениями.

Анализ циклических колебаний суммарного стока воды рек Армении произведен на основе разностных интегральных кривых. Этот метод позволил изучить закономерности многолетних колебаний суммарного стока основных рек Армении (рис. 10а).



*Рис. 10 Нормированная разностная интегральная кривая суммарного годового стока некоторых рек Армении с характеристикой фаз водности (а) и средних модульных коэффициентов (б)*

Период 1951-1961 гг. является маловодным со средним модульным коэффициентом  $k_{cp.} = 0,70$ . Период 1962-1992 гг., наоборот, является многоводным и осложненным менее продолжительными флуктуациями стока. Средний модульный коэффициент  $k_{cp.} = 1,26$ . В 1993-2000 гг. водность рек была понижена,  $k_{cp.} = 0,52$ .

Периоды полных циклов (средний модульный коэффициент стока равен 1) пришлось на 1951-1968 гг., 1976-1999 гг., 1976-1985 гг. и 1953-1999 гг. Полным циклом также можно считать 1953-1974 гг., 1968-1975 гг., 1985-1999 гг. и 1979-1987 гг., когда средний за период модульный коэффициент стока мало отличался от 1. Все эти изменения наблюдались на фоне макроцикла изменения водности рек Армении, который занял период с 1953 г. по 1999 г. (47 лет). Для этого периода  $k_{cp.} = 1,0$  (рис. 10б).

При прочих равных условиях в высокогорных частях речных бассейнов влияние хозяйственной деятельности на сток меньше. Здесь чаще реки близки к естественному состоянию. В низкогорных частях бассейнов роль хозяйственной деятельности сильно возрастает.

Изменение среднегодового стока воды для низкогорной части территории страны оценено по данным за 1930-2000 гг. для 17 участков рек.

Сглаживание колебаний стока производилось с использованием 9-11-летнего биномального фильтра. Линии тренда соответствуют линейным уравнениям с параметрами, характеризующими степень выраженности тенденций изменения стока (табл. 1).

По характеру изменений стока воды реки Армении можно объединить в 3 группы (рис. 11): с тенденцией увеличения, уменьшения стока и относительно стабильным стоком.

Увеличение стока характерно для преобладающей (64,7%) части исследуемых рек (рр. Ахурян, Дзорагет, Ташир, Агстев, Аргичи, Гаварагет, Масрик, Арпа, Воротан, Вохчи, Мегригет). Максимальное увеличение стока за период 1945-1990 гг. характерно для р. Вохчи (близ г. Капан) – 24,3%. Для остальных рек оно в среднем составляет 7-8% (табл. 1).

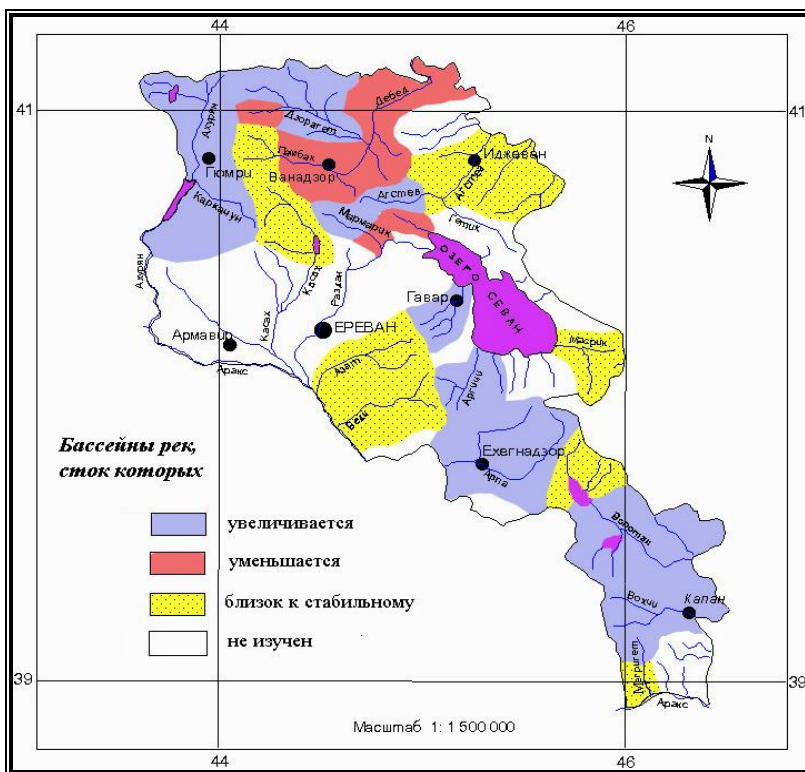
Уменьшение стока характерно для малой части (17,6%) исследуемых рек (Дебед, Мармарик и Памбак). Для 17,7% рек существенные изменения стока воды отсутствуют (изменение не превышает 2%, которое принято в качестве признака стабильности водных ресурсов).



**Таблица 1****Тенденции изменения стока воды в низкогорной части речных бассейнов**

Река –пункт	Уравнение для линии тренда	Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Изменение расхода воды, Q	
			м <sup>3</sup> /с	%
Ахурян – Айкадзор	$Q = 0,12T - 198,1$	32,2	2,27	7,05
Дзорагет - ниже р. Гаргар	$Q = 0,02T - 30,1$	16,4	0,35	2,13
Ташир – Саратовка	$Q = 0,01T - 23,9$	2,7	0,25	9,26
Памбак - Ширакамут	$Q = - 0,00T + 5,4$	2,5	-0,08	-3,20
Памбак – Тумаян	$Q = - 0,01T + 20,4$	10,4	-0,18	-1,73
Дебед – Айрум	$Q = - 0,04T + 107,4$	33,1	-1,17	-3,53
Агстев – Иджеван	$Q = 0,02T - 31,1$	9,6	0,75	7,81
Мармарик - Агавнадзор	$Q = - 0,01T + 30,9$	5,2	-0,15	-2,88
Гаварагет - Норадуз	$Q = 0,01T - 5,9$	3,8	0,30	7,89
Аргичи - В. Геташен	$Q = 0,02T - 32,9$	5,6	0,47	8,39
Масрик – Торф	$Q = 0,01T - 9,5$	3,8	0,12	3,16
Арпа - Арени	$Q = 0,06T - 99,5$	21,9	1,79	8,17
Веди – Урцадзор	$Q = - 0,00T + 4,3$	1,9	-0,03	-1,58
Азат – Гарни	$Q = - 0,00T + 9,5$	6,1	-0,01	0,00
Воротан – пос. Воротан	$Q = 0,03T - 44,6$	22,5	0,94	4,18
Вохчи – Капан	$Q = 0,12T - 230,8$	11,1	2,70	24,32
Мегригет – Мегри	$Q = 0,01T - 8,3$	3,5	0,19	5,43

Высокогорные малые реки отличаются рядом особенностей многолетних колебаний стока. Сток воды высокогорных малых рек близок к естественному фону. На изменение водности рек мало влияет размер площади водосбора. Все реки имеют примерно одинаковые гидрографические характеристики. Сток воды в высокогорных зонах республики почти однозначно возрастает (табл. 2). Исключение составляет р. Дзорагет (Катнарат), где сток в незначительной степени (на 6,9%) уменьшается.



**Рис. 11 Районирование территории Армении по тенденции изменения возобновляемых водных ресурсов рек**

Для рр. Воротан (Цхук), Агстев (Фиолетово) и Гехарот (Арагац) изменение стока воды равно 0,8-(-2,3)%, что свидетельствует о стабильности их водных ресурсов.

Увеличение возобновляемых водных ресурсов малых горных рек происходит на фоне аналогичных изменений температуры воздуха, испарения и суммы атмосферных осадков. Но, они часто отличаются от особенностей изменения атмосферных осадков.

В целом, для этих рек наблюдается закономерное увеличение стока в 60% случаев. Нередко (30% рек) водность рек стабильна. Лишь для 10% водотоков сток воды уменьшился.

Суммарный сток рек Армении (для водотоков в высокогорной и низкогорной частях бассейнов) в 1950-1991 гг. увеличивался (рис. 12). Увеличение суммарных возобновляемых водных ресурсов составило 4-5% по сравнению с многолетней нормой. Хотя данные наблюдений в 1991-2000 гг.

нерегулярны и имеются для ограниченного числа рек, тем не менее они позволяют достаточно уверенно говорить о современных тенденциях уменьшения водности рек. Суммарный сток рек Армении в период 1950-2000 гг. немного уменьшился (рис. 14). Уменьшение составило 1% по сравнению с многолетней нормой. Оно почти полностью соответствует уменьшению суммы атмосферных осадков за аналогичный период времени (рис. 15).

**Таблица 2**

***Тенденции изменения стока высокогорных рек Армении***

Река – пункт	Уравнение	Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Изменение расхода воды, Q	
			м <sup>3</sup> /с	%
Дзорагет - Катнарат	$Q = - 0,00T + 6,8$	2,60	-0,18	-6,92
Алвар - Алвар	$Q = 0,00T - 8,8$	0,75	0,08	10,66
Агстев – Фиолетово	$Q = 0,01T - 7,5$	1,30	0,01	0,8
Гехарот - Арагац	$Q = - 0,00T + 3,6$	0,96	-0,01	-1,04
Мармарик – Анкаван	$Q = 0,00T - 1,6$	1,65	0,13	7,88
Мартуни - Геховит	$Q = 0,01T - 22,8$	1,70	0,25	14,70
Арпа - Джермук	$Q = 0,02T - 29,4$	5,33	0,38	7,13
Воротан - Цхук	$Q = - 0,01T + 18,1$	6,95	-0,16	-2,30
Вохчи - Каджаран	$Q = 0,01T - 21,3$	3,60	0,23	6,39
Мегригет - Личк	$Q = 0,00T - 1,3$	0,63	0,08	12,7

Почти такая же картина наблюдается в 1950-2010 гг. (рис. 16 и 17). Только в этом случае тенденция уменьшения не замечается, что обусловлено тем, что в течение последних десяти лет в определенной степени увеличилось количество осадков.

Изменчивость водного стока рек Армении в целом не совпадает с тенденциями колебаний водности рек в других странах и регионах. На фоне их уменьшения в Армении существует тенденция увеличения речного стока на территории Беларуси (Изменения климата ..., 2003; Логинов В. Ф. и др., 2000), в лесостепных и степных районах юга Сибири (Баженова О. И., Мартыянова Г. Н., 2001), в целом для территории России (Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2003) и бассейна Волги (Шикломанов, Георгиевский,

2003; Мусаелян С., Мусаелян А., 2004), высокогорных рек Кавказа (Лурье П. М., Панов В. Д., 2003), Удмуртии (Рысин И. И., 2001), Ирландии (Charlton R. & al., 2002), Грузии (Брегвадзе Г. и др., 2004).

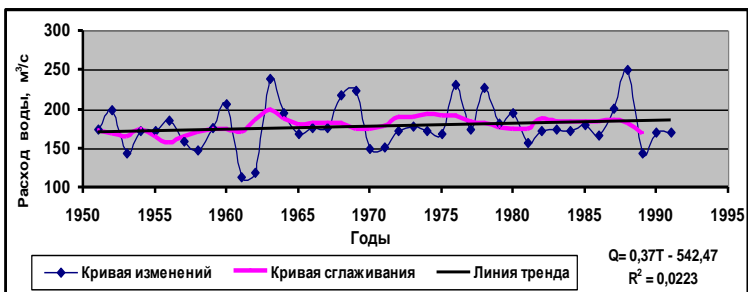


Рис. 12 Изменение суммарного стока рек Армении в 1950-1991 гг.

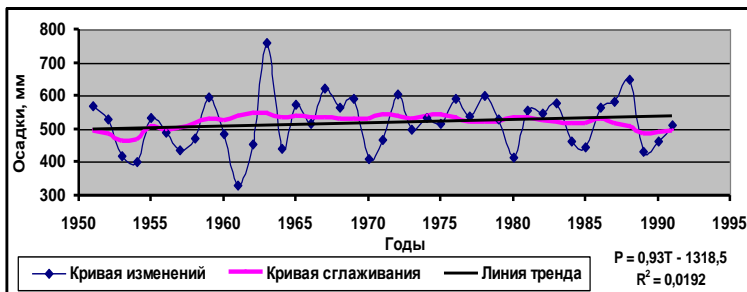


Рис. 13 Вариация атмосферных осадков на территории Армении (1950-1991 гг.)

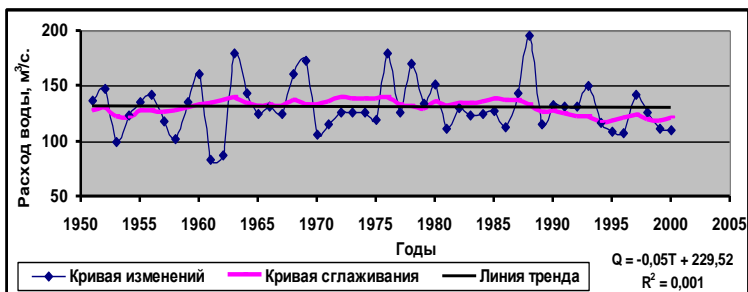
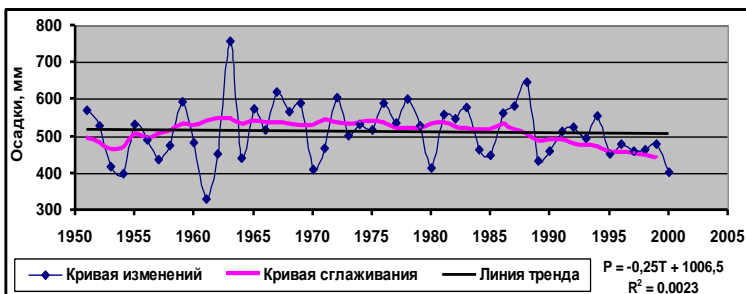
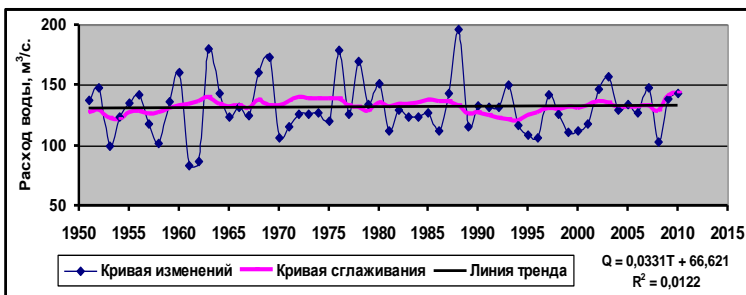


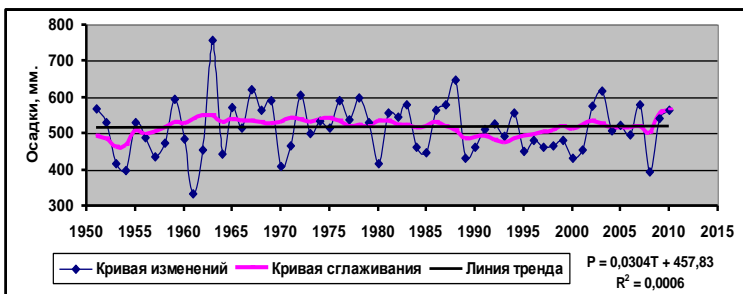
Рис. 14 Изменение суммарного стока рек Армении в 1950-2000 гг.



*Рис. 15 Вариация атмосферных осадков на территории Армении (1950-2000 гг.)*



*Рис. 16 Изменение суммарного стока рек Армении (1950-2010 гг.)*



*Рис. 17 Вариация атмосферных осадков на территории Армении (1950-2010 гг.)*

Для рек Испании (Gallart F. and Llorens P., 2002), бассейна Куры (Фатуллаев Г. Ю., 2000), рек Африки (Бабкин В. И. и др., 2000) и др., как и для территории Армении характерно уменьшение возобновляемых водных ресурсов. В целом, для земного шара в 1880-1980 гг. поверхностный сток имел тенденцию к увеличению. На океанических островах увеличение стока

составило 12%. Для внутренних районов континентов оказалось характерно уменьшение стока на 20% (Клиге Р. К., 2000).

**Шестая глава** посвящена анализу изменений максимального, минимального (летне-осеннего и зимнего) и внутригодового распределения стока рек Армении в разных высотных зонах водосборов. Исследование закономерностей внутригодовой изменчивости стока рек и стока в лимитирующие сезоны года имеет важное научное и практическое значение, поскольку на этой основе планируется водохозяйственная деятельность.

В диссертации выполнен анализ изменений стока некоторых рек Армении за многоводный и маловодный период года в многолетнем разрезе и внутри года.

В качестве расчетных величин рассматривались 30-дневные максимальный и минимальный сток за летне-осенний и зимний лимитирующий период года.

В работе впервые использовано понятие **«30-дневный максимальный сток»**. В практике водохозяйственного проектирования основными расчетными величинами речного стока в период весеннего половодья и дождевых паводков являются различные характеристики максимального стока:

- расходы воды, средние за месяц или сутки с наибольшим стоком, наблюдавшимся в данном сезоне;
- наибольшие расходы воды за весь период наблюдений (абсолютный максимум);
- максимальные расходы воды различной обеспеченности.

Наиболее часто используемой расчетной величиной является максимальный среднемесячный расход воды. Определение этой характеристики производилось путем автоматической выборки наибольшего среднемесячного расхода воды в период весеннего половодья и дождевых паводков из имеющихся среднемесячных расходов воды за год или многолетний период. При этом не учитывались различия между календарным наибольшим среднемесячным расходом воды и расходом за период наибольшего стока продолжительностью в 30 суток, который мог не совпадать с календарными границами.

Расчеты показали, что 30-дневный максимальный сток значительно превышает календарный среднемесячный. Поэтому применительно к расчетам максимального стока за основную характеристику следует принимать величину максимального 30-дневного (среднего за 30 суток) расхода воды, а не максимальную среднемесячную (календарную) величину.

Исследование максимальных 30-дневных расходов воды в период весеннего половодья и дождевых паводков показало, что для рр. Агстев, Мармарик, Мегригет и Ташир характерна тенденция их увеличения, а для рр. Аргичи, Арпа, Далигет, Вохчи и Гехарот – тенденция уменьшения стока (табл. 3).

Таблица 3

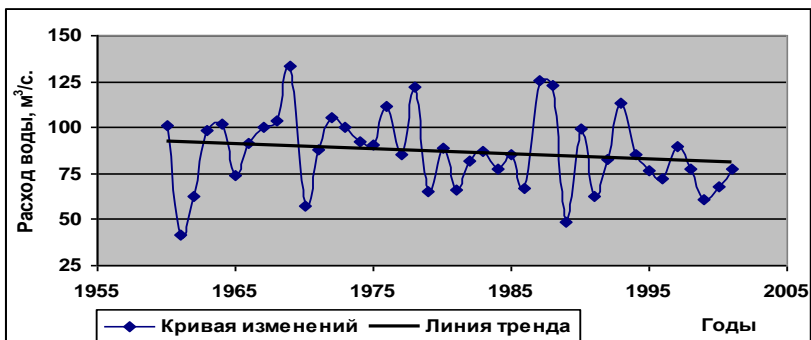
Изменение 30-дневного максимального стока некоторых рек Армении

Река – пункт	Уравнения трендов	Максимальный 30-дн. расход, м <sup>3</sup> /с, (ср. 1950-2001 гг.)	Изменение расходов воды, Q <sub>max</sub>	
			м <sup>3</sup> /с	%
Ташир – Саратовка	$Q = 0,09T - 108,7$	6,64	1,34	20,2
Агстев - Дилижан	$Q = 0,06T - 106,8$	8,34	1,51	18,1
Мармарик - Анкаван	$Q = 0,06T - 111,8$	7,85	1,14	14,5
Гехарот – Арагац	$Q = - 0,00T + 5,7$	3,02	-0,02	-0,6
Аргичи – Геташен	$Q = - 0,08T + 174,5$	21,57	-1,26	-5,8
Арпа – Джермук	$Q = - 0,08T + 181,1$	18,48	-1,65	-8,9
Далигет - Цхук	$Q = - 0,025T + 55,3$	5,12	-0,63	-12,3
Вохчи – Каджаран	$Q = - 0,03T + 69,7$	11,46	-0,51	-5,3
Мегригет - Личк	$Q = 0,00T - 0,9$	2,45	0,01	0,5
<b>Суммарный сток</b>	<b><math>Q = - 0,29T + 653,7</math></b>	<b>84,93</b>	<b>-4,11</b>	<b>-4,8</b>

Наибольшее увеличение максимального стока установлено для р. Ташир (Саратовка) – 20,2%, а наименьшее – для р. Мегригет (Личк) – 0,5%. Наибольшее уменьшение максимального стока характерно для р. Далигет (Цхук) – 12,3%. Оно оказалось минимальным для р. Гехарот (Арагац) – 0,6%. Изменение максимального стока для всех других рек в среднем находится в пределах 5-9% (табл. 3).

Изменение 30-дневного максимального стока по отдельным речным бассейнам не дает целостного представления об общем изменении стока. Поэтому исследовалось изменение 30-дневного максимального суммарного стока по всем речным бассейнам вместе за тот же промежуток времени (табл. 3, рис. 18).

Максимальный 30-дневный суммарный сток рек имеет тенденцию к уменьшению (рис. 18). Расчеты показывают, что по отношению к среднему многолетнему 30-дневному максимальному стоку (1950-2001 гг.) он уменьшился на 4,8%. Однако необходимо отметить, что такое снижение максимального стока почти не влияет на водное хозяйство.



*Рис. 18 Изменение 30-дневного максимального суммарного стока некоторых рек Армении (1950-2001 гг.)*

Летне-осенние 30-дневные минимальные расходы воды для большей части изученных рек Армении обнаруживают устойчивую тенденцию к увеличению. Они возросли на 11,2-60,9% в рр. Арпа, Вохчи, Ташир, Агстев, Мегригет и Гехарот (табл. 4).

**Таблица 4**

*Тренды изменения летне-осеннего 30-дневного минимального стока некоторых рек Армении*

Река – пункт	Уравнения трендов	Летне-осенний 30-дн. минимальный расход, м <sup>3</sup> /с	Изменение расходов воды, Q	
			м <sup>3</sup> /с	%
Ахурян - Капс	$Q = - 0,010T + 25,8$	5,31	-0,24	-4,52
Ташир – Саратовка	$Q = 0,016T - 30,5$	1,44	0,42	29,17
Агстев - Дилижан	$Q = 0,009T - 16,1$	1,22	0,25	20,49
Мармарик - Анкаван	$Q = - 0,002T + 5,1$	0,44	-0,13	-29,54
Гехарот – Арагац	$Q = 0,007T - 13,6$	0,46	0,28	60,87
Аргичи – Геташен	$Q = - 0,017T + 35,0$	1,07	-0,41	-38,32
Арпа – Джермук	$Q = 0,022T - 39,8$	2,53	0,61	24,11
Далигет - Цхук	$Q = - 0,007T + 13,5$	0,52	-0,18	-34,61
Вохчи – Каджаран	$Q = 0,004T - 6,2$	1,05	0,15	14,28
Мегригет - Мегри	$Q = 0,002T - 1,8$	1,03	0,12	11,16



Максимально возросли меженные расходы воды в русле р. Гехарот. Для других изученных рек минимальный сток уменьшился на 4,5-38,3%. Уменьшение стока оказалось максимальным (38,3%) в бассейне р. Аргичи.

Изменение летне-осенних 30-дневных минимальных расходов воды зависит от флуктуаций среднегодовых расходов воды. В большинстве случаев увеличение среднегодового стока рек приводит к возрастанию минимальных расходов воды.

Изменения зимнего 30-дневного минимального стока (табл. 5) носят неоднозначный характер. Для большей части изученных рек Армении он возрастает. Увеличение стока воды на 3,2-37,9% характерно для рр. Мармарик, Арпа, Ташир, Агстев, Аргичи, Мегригет и Гехарот. Значительно возрос минимальный сток рр. Мармарик и Ташир – на 37-38%. Для других рек водность в межень уменьшилась на 9,8–25,0%. Максимальное уменьшение водности оказалось характерным для р. Далигет.

***Таблица 5***

***Тренды изменения зимнего 30-дневного минимального стока для некоторых рек Армении***

Река – пункт	Уравнения трендов	Зимний 30-дн. минимальный расход, м <sup>3</sup> /с	Изменение расхода воды, Q	
			м <sup>3</sup> /с	%
Ахурян - Капс	$Q = - 0,029T + 60,2$	4,15	-0,65	-15,7
Ташир - Саратовка	$Q = 0,011T - 20,9$	0,95	0,36	37,9
Агстев - Дилижан	$Q = 0,009T - 16,4$	0,96	0,23	24,2
Мармарик - Анкаван	$Q = 0,002T - 3,9$	0,35	0,13	37,1
Гехарот - Арагац	$Q = 0,003T - 5,9$	0,23	0,01	3,2
Аргичи - Геташен	$Q = 0,009T - 15,8$	1,80	0,35	19,4
Арпа - Джермук	$Q = 0,019T - 34,9$	2,15	0,57	26,5
Далигет - Цхук	$Q = - 0,005T + 11,3$	0,64	-0,16	-25,0
Вохчи - Каджаран	$Q = - 0,002T + 4,2$	0,81	-0,05	-9,8
Мегригет - Мегри	$Q = 0,001T - 0,9$	0,85	0,04	4,8

Степень изменения минимального зимнего стока зависит от гидрогеологических особенностей речных бассейнов. Кроме того, она обусловлена изменчивостью слоя атмосферных осадков (Чатрчян С. А., 1999; Айрапетян К. А., 1999). Изменение летне-осенних и зимних 30-дневных

минимальных расходов воды синхронизировано с аналогичным изменением среднегодовых расходов воды.

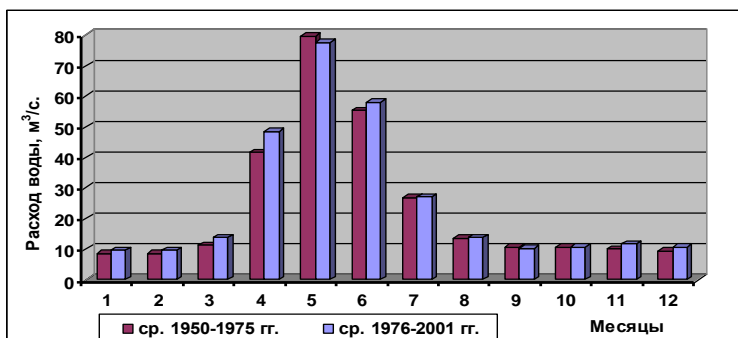
Изменение летне-осенних и зимних 30-дневных минимальных расходов воды для большей части рек Армении (Арпа, Ташир, Агстев, Далигет, Гехарот, Мегригет и Ахурян) происходит практически синхронно. При уменьшении летне-осенних минимумов стока уменьшаются и минимальные зимние расходы воды. В целом, меженный сток рек Армении возрастает.

Уже в настоящее время есть признаки будущих изменений внутригодового распределения стока воды (Брегвадзе Г. и др., 2004). Они проявляются в выравнивании расходов воды по сезонам года (Варданян Т. Г., 2001, 2003, 2006).

На фоне стабилизации летне-осеннего стока увеличилась продолжительность меженного периода. Наоборот, изменчивость зимних расходов воды возросла, а продолжительность зимней межени несколько уменьшилась. Другие изменения внутригодового распределения стока связаны с уменьшением максимальных расходов половодья при сохранении объема стока за этот сезон года.

Исследование изменчивости сезонного распределения водных ресурсов рек страны показало, что в Южной Армении (рр. Далигет, Мегригет и Вохчи), а также в р. Аргичи в 1976-2001 гг. произошло уменьшение доли стока весеннего половодья и летне-осеннего периода по сравнению с 1951-1975 гг. Одновременно возросла доля зимнего стока (исключение - р. Далигет). Тенденция сезонного выравнивания стока характерна и для бассейна р. Арпа. Для некоторых рек (рр. Агстев, Гехарот и Ташир) в 1976-2001 гг. произошло увеличение стока только за период половодья на фоне общего увеличения водности во все сезоны года.

Суммарный месячный сток рр. Вохчи, Ташир, Мармарик, Арпа, Аргичи, Агстев, Мегригет, Далигет и Гехарот в 1976-2001 гг. слабо возрастал по сравнению с 1950-1975 гг. (рис. 19), хотя средний многолетний сток воды за эти периоды был практически одинаков.



*Рис. 19 Изменение осредненного внутригодового распределения среднемесячных суммарных расходов воды основных рек Армении*

Сток за летний сезон 1976-2001 гг. почти идентичен стоку за этот сезон года в 1950-1975 гг. В 1976-2001 гг. произошло увеличение стока в зимнюю межень, а также в некоторые месяцы периода половодья. Сток в мае, наоборот, несколько уменьшился. Небольшое уменьшение стока характерно и для некоторых осенних месяцев, когда формируются небольшие паводки.

**В седьмой главе** рассмотрены современные подходы, методы и модели исследования гидроклиматического прогнозирования, результаты долгосрочного прогноза стока рек Армении, дана оценка его уязвимости при возможном изменении климата.

Факт глобального потепления уже не вызывает сомнений. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) многолетняя среднегодовая температура воздуха на земном шаре в последнее столетие возросла на  $0,83^{\circ}\text{C}$  и продолжает повышаться. По некоторым прогнозам она может достичь  $5-6^{\circ}\text{C}$  в конце XXI в. За последние 100 лет Северное полушарие прогрелось на  $0,3^{\circ}\text{C}$  больше, чем Южное, которое отличается большей площадью океана и большей массой льда.

Исследования, проведенные в Армении (Мелконян Г. А., 1999; Мохов и др., 1999; Чатрчян С. А., 1999; Айрапетян К. А., 1999; Мелконян Г. А. Халатян Е., 2011) также свидетельствуют о том, что в условиях глобального изменения климата ожидается тенденция увеличения температуры воздуха и уменьшения атмосферных осадков.

В настоящее время существует лишь одна научно разработанная концепция будущего состояния климата - теория антропогенно-обусловленного глобального изменения. Считается, что ее альтернативой является сохранение современного состояния климата.

Для оперативного гидрологического прогнозирования МГЭИК разработан целый ряд концептуальных моделей и сценариев. Пока национальные институты, обязанные обрабатывать гидрологические данные и делать прогнозы, не будут разрабатывать приемлемые модели сами, они сталкиваются с трудностью выбора нужной модели из множества предлагаемых для оперативного использования.

Выбор конкретной модели будет зависеть от специфических условий и задачи моделирования. При выборе модели необходимо учитывать ее цели, климатические и физико-географические характеристики бассейна, качество имеющихся данных (как временных, так и пространственных), возможную необходимость сведения параметров модели и возможность усовершенствования модели на основе учета текущих метеорологических условий и климатических сценариев, которые следует принимать во внимание. Кроме того, этот выбор должен быть сосредоточен на тех конкретных моделях, которые ранее зарекомендовали себя с положительной стороны.

В процессе подготовки Вторых национальных сообщений, предусмотренных Рамочной конвенцией об изменении климата (РКИК) ООН, три государства Закавказья произвели несколько прогонов модели

регионального климата PRECIS (обеспечивая региональные климаты для изучения последствий) для различных социально-экономических сценариев и двух моделей глобального климата – HadAM3P и ECHAM4 – для оценки будущего климата в регионе.

По Айрапетяну К. А. (1999), который исследовал ожидаемые изменения годовых осадков на территории РА для 2025, 2050 и 2100 гг., до 2100 г. на территории РА годовые атмосферные осадки в среднем могут уменьшиться на 10,3%, а на отдельных территориях – до 28%. Одновременно в отдельных районах ожидается также увеличение осадков на 16% (Айрапетян, 1999).

По Мелконяну Г. А. (2011) на территории РА до 2100 г. годовые атмосферные осадки уменьшатся на 8,7%, а температура воздуха повысится на 4,4<sup>0</sup>С (эти результаты совпадают с результатами PRECIS, табл. 6, 7).

**Таблица 6**

***Отклонения сезонной и годовой температуры (°С) по региональной модели PRECIS от нормы 1961-1990 гг.***

Период	Зима	Весна	Лето	Осень	Годовые
2030	1,1	1,3	1,1	1	1,1
2070	2,6	3	2,6	2,5	2,7
2100	4,4	4,7	4,2	4,3	4,4

**Таблица 7**

***Отклонения сезонных и годовых осадков (%) в Армении по региональной модели PRECIS от нормы 1961-1990 гг.***

Период	Зима	Весна	Лето	Осень	Годовые
2030	-2,7	-2,9	-6,9	1,2	-3,1
2070	-4,9	-5,1	-13,6	2,8	-5,9
2100	-7,2	-8,1	-18,9	3,2	-8,7

По данным Северо-Евразийского климатического центра (Изменения климата стран СНГ в XXI в., <http://seack.meteoinfo.ru/research/34-change-climat21/130-change-climat21>) все без исключения модели СМIP3 (Coupled Model Intercomparison Project – Проект сравнения объединенных моделей (общей циркуляции атмосферы и океана)) (Meehl G. A. et al., 2007; Randall et al., 2007) дают потепление климата стран СНГ, в т. ч. в регионе СНГ-К (Кавказ: Армения, Грузия, Азербайджан), в XXI в. для всех трех рассматриваемых сценариев (сценарии B1 (14 моделей), A1B (15 моделей), A2 (16 моделей)).

В Армении при «жестком» сценарии А2 в конце XXI в. температура воздуха повысится на 4,4<sup>0</sup>С, сумма осадков уменьшится на 12,3%, а для «промежуточного» сценария А1В температура воздуха повысится на 2,1<sup>0</sup>С, сумма осадков уменьшится на 4,9%.

Анализируя приведенный выше ряд моделей, разработанных и отобранных Северо-Евразийским климатическим центром, а также Хэдлинским центром (Великобритания) климатических прогнозов и исследований (несколько моделей регионального климата PRECIS для различных социально-экономических сценариев и двух моделей глобального климата – HadAM3P и ECHAM4) для оценки будущего климата в Закавказье (при сценарии А2), заключаем, что:

1. за период 2011-2040 гг. температуры от базового среднего будут повышаться на 0,9 -1,1<sup>0</sup>С, а сумма осадков уменьшится на 0,9-3,1%;
2. 2041-2070 гг. - соответственно повысится на 2,1-2,7<sup>0</sup>С и уменьшатся на 4,9-5,9%;
3. 2071-2100 гг. - соответственно повысится на 4,4<sup>0</sup>С и уменьшатся на 8,7-12,3%.

Таким образом, для оценки степени уязвимости стока рек РА выше отмеченные значения изменения температуры воздуха и атмосферных осадков нами объединены в две группы.

*Первую группу* составляют осредненные значения сценариев прогнозирования климата по ряду моделей, разработанных и отобранных Северо-Евразийским климатическим центром, а также Хэдлинским центром климатических прогнозов и исследований (несколько моделей регионального климата PRECIS для различных социально-экономических сценариев и двух моделей глобального климата – HadAM3P и ECHAM4) для оценки будущего климата в Армении (табл. 8).

**Таблица 8**

***Осредненные значения сценариев прогнозирования климата по ряду моделей, разработанных и отобранных Северо-Евразийским климатическим центром, а также Хэдлинским центром климатических прогнозов и исследований) для оценки будущего климата в Армении (при сценарии А2)***

Номер сценария	Годы	Сценарии изменения температуры, <sup>0</sup> С	Сценарии изменения осадков, мм
1	2011-2040	T + 1,0	0,98P
2	2041-2070	T + 2,4	0,95P
3	2071-2100	T + 4,4	0,90P

*Вторая группа* – это сценарии для прогноза будущего климата в Армении по региональной модели PRECIS (табл. 9).

Сценарии для прогноза будущего климата в Армении по региональной модели PRECIS (при сценарии А2)

Номер сценария	Годы	Сценарии изменения температуры, °С	Сценарии изменения осадков, мм
1	2011-2040	T + 1,1	0,97P
2	2041-2070	T + 2,7	0,94P
3	2071-2100	T + 4,4	0,91P

С учетом ряда разработанных МГЭИК сценариев глобального потепления климата, ранее проведенных в Армении исследований (Армения ..., 1999, 2003; Чилингарян Л. А. и др., 2003; Габриелян Г. К., 2003; Саркисян, 1999, 2003; Мелконян Г. А., 1999; Никогосян Г. Т., 1999; 180. Шагинян М. В., Закарян Б. Г., 1999 и др.), учитывая несколько глобальных и региональных особенностей изменения климата и, в частности, что средний рост температуры воздуха в РА в течение последних 100 лет составил 0,83°С, что почти эквивалентно среднемировому, а также то обстоятельство, что согласно принятой на саммите в Копенгагене декларации, повышение глобальной температуры воздуха необходимо соблюдать в пределах 2°С, то можно предположить, что в РА она также повысится всего на 2°С.

Кроме того, Армения – горная страна, 90% ее территории расположено выше 1000 м над у. м., поэтому, по нашему мнению, на этих высотах до 2075 г. температура воздуха не может повыситься более чем на 2°С, а осадки не могут уменьшиться более чем на 10%. Поэтому, учитывая отмеченное обстоятельство, нами разработаны еще три сценария для 2050-2075 гг., в которых изменение осадков принято в размере 10%, а максимальное значение повышения температуры принято за 2°С (табл. 10).

По всем выше отмеченным климатическим сценариям рассчитана степень уязвимости стока рек РА в начале, середине и конце текущего столетия.

Для определения реакции возобновляемых водных ресурсов страны на изменение климата использованы многолетние наблюдения за стоком воды, атмосферными осадками и температурой воздуха за 1930-2010 гг.

Для оценки реакции стока воды использованы корреляционные соотношения между характеристиками стока воды (Q) и климатическими факторами.

$$Q = aP + bT + c, \quad (1)$$

где P и T – средние многолетние слой атмосферных осадков и температура воздуха, a, b, c – эмпирические коэффициенты.

**Разработанные сценарии изменения климата для территории Армении  
в середине (2050-2075 гг.) XXI в. (при сценарии А2)**

Номер сценария	Сценарии изменения температуры, °С	Сценарии изменения осадков, мм
1	Т + 1	0,9Р
2	Т + 2	1,1Р
3	Т + 2	0,9Р

Степень достоверности полученных связей ( $Q=f(P,T)$ ) не всегда высока, и поэтому они не использовались для прогноза стока. В большинстве же случаев она достаточна для уверенного вывода о наличии связи между переменными (коэффициент корреляции  $R > 0,7$ ).

Расчеты показали, что значения уязвимости стока, полученные в результате применения трех типов моделей (осредненной, PRECIS и разработанной нами) существенно отличаются друг от друга. В частности, значения уязвимости стока, рассчитанные по осредненной модели и модели PRECIS, намного выше, чем при разработанной нами.

Одновременно расчеты показали, что значения уязвимости стока, рассчитанные по осредненной модели и модели PRECIS, очень мало отличаются друг от друга, поэтому их можно обобщить.

По этим двум моделям **при первых сценариях** речной сток больше всего уменьшится в р. Алвар (-25,3%), сравнительно мало (-0,1%) – в р. Арпа, а в отдельных случаях – в рр. Мартуни и Масрик, он даже увеличится –1,1-3,8%.

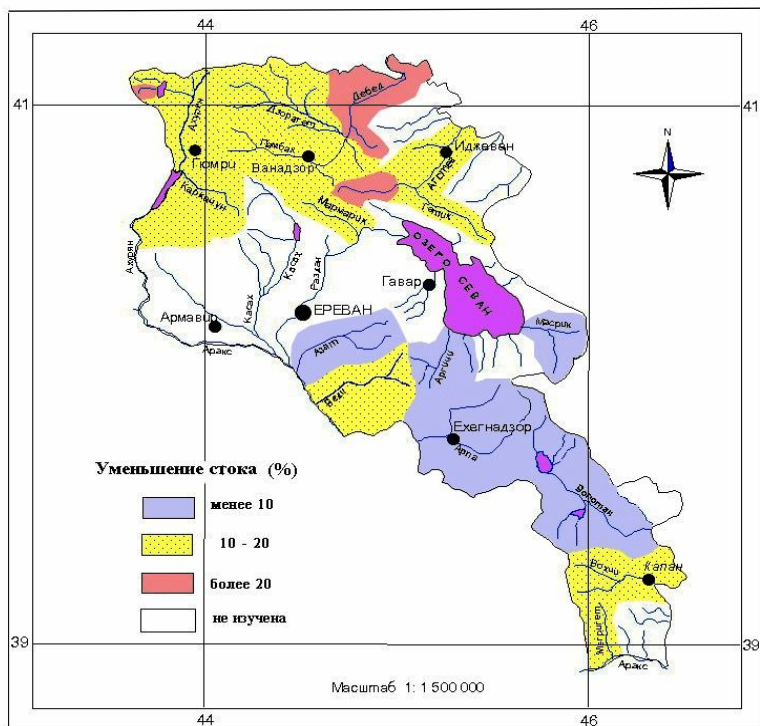
**При вторых сценариях** картина более уязвима. В этом случае сток рек больше всего уменьшится тоже в р. Алвар – (-45,3%), сравнительно мало – (-1,8-2,5%), в рр. Азат, Арпа и Аргичи. При этом сценарии увеличение стока (4,0-5,1%) будет наблюдаться также в рр. Масрик и Мартуни.

**При третьих сценариях** в четырех реках (Алвар, Агстев, Дебед и Мегри) сток уменьшится на 41,2-66,7%, а в рр. Масрик и Мартуни увеличится до 7,3%.

**Третья, разработанная нами модель** оценки уязвимости стока рек РА для 2050-2075 гг., по нашему мнению, более правдоподобна, что уже обосновано выше (табл. 10).

Исходя из этого, сочли целесообразным полученные по этой модели прогнозы представить ниже более обстоятельно: по отдельным сценариям (табл. 11), речным бассейнам и картам пространственного распределения (рис. 20, 21, 22).

По сценарию 1 предполагается, что температура воздуха увеличится на  $1^{\circ}\text{C}$ , а сумма осадков уменьшится на 10%. Второй сценарий базируется на предположении об увеличении температуры воздуха на  $2^{\circ}\text{C}$  и суммы осадков на 10%. Уменьшение осадков на 10% при увеличении температуры на  $2^{\circ}\text{C}$  формирует третий сценарий изменения климата Армении.



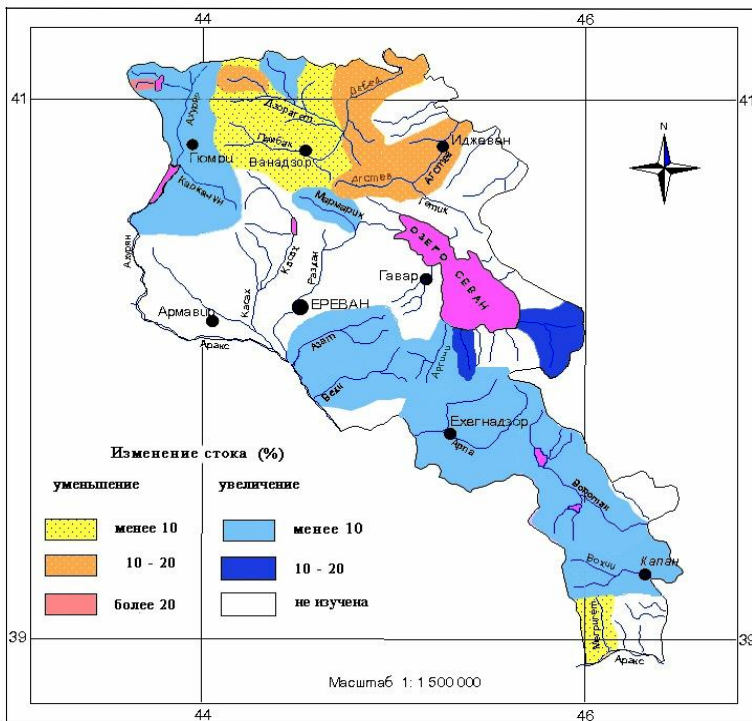
**Рис. 20** Изменение (%) водных ресурсов Армении при первом сценарии изменения климата ( $T+1,0^{\circ}\text{C}$ ;  $0,9P$ )

**При реализации первого сценария** изменения климата ( $T+1,0^{\circ}\text{C}$ ;  $0,9P$ ) сток всех рек уменьшится на 2,6 (Масрик - Торф) - 40% (Алвар - Алвар) (рис. 20).

Наибольшие значения уменьшения стока (20-40%) наблюдаются в небольшом отрезке северной части Армении – в нижнем бассейне р. Дебед, р. Агстев (Фиолетово) и в речке Алвар. Средняя величина уменьшения объема водных ресурсов страны составит 14,6% (табл. 11).

**При втором сценарии** изменения климата ( $T+2,0^{\circ}\text{C}$ ;  $1,1P$ ) получены неоднозначные изменения значений нормы годового стока рек: он и уменьшается, и увеличивается (рис. 21).



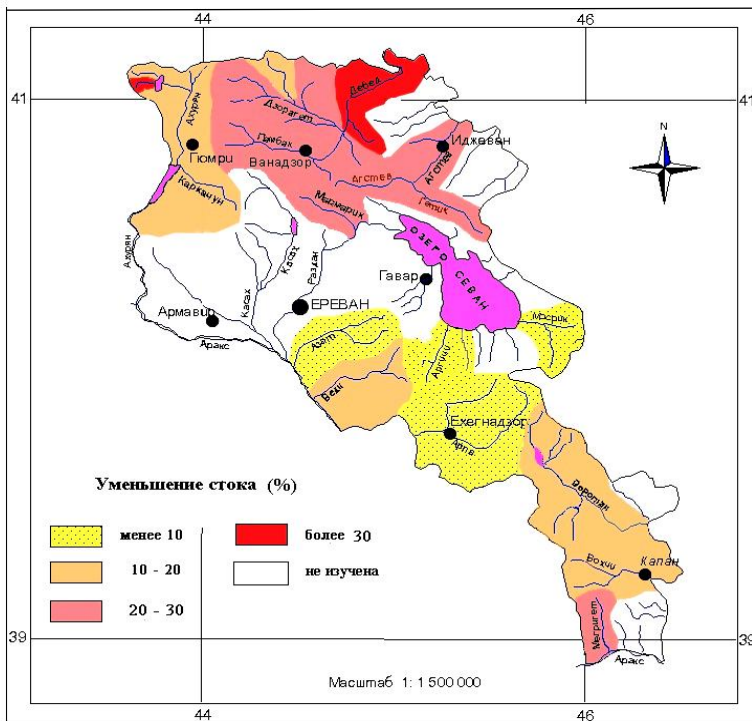


**Рис. 21** Изменение (%) водных ресурсов рек Армении при втором сценарии изменения климата ( $T+2,0^{\circ}\text{C}$ ;  $1,1P$ )

Увеличение стока воды на 2,1-18,6% характерно для рр. Ахурян, Ташир, Мармарик, Аргичи, Мартуни, Масрик, Веди, Азат, Арпа, Воротан, Вохчи и Мегри. Для других рек объем водных ресурсов уменьшается на 6,7–37,3% в зависимости от специфики каждого речного бассейна. Максимальное увеличение стока воды следует ожидать в бассейне р. Мартуни (18,6%). Максимальное уменьшение водности (37,3%) будет характерно для р. Алвар (рис. 21).

Средняя тенденция изменения стока при этом сценарии соответствует уменьшению водных ресурсов страны на 1,5% (табл. 11).

**По третьему сценарию** изменения климата ( $T+2,0^{\circ}\text{C}$ ;  $0,9P$ ) ожидается уменьшение стока для всех рек Армении (рис. 22). Максимальное уменьшение стока при всех сценариях возможно в бассейне р. Алвар (на 53,3%).



**Рис. 22** Изменение (%) водных ресурсов рек Армении при третьем сценарии изменения климата ( $T+2,0^{\circ}C$ ;  $0,9P$ )

Среднее снижение объема водного стока всех рек при этом сценарии составит 18,9% (табл. 11).

Таким образом, максимальное изменение стока воды ожидается при третьем сценарии (уменьшение в среднем на 18,9%). Оно сравнительно мало (уменьшение в среднем на 1,5%) при втором сценарии изменения климата (табл. 11). Независимо от выбора сценария наибольшей климатической уязвимостью отличаются рр. Алвар, Дзорагет, Памбак, Дебед и Агстев. Эти реки в основном формируют сток в сравнительно влажных районах Армении. Повышенная опасность снижения стока воды характерна и для р. Мегригет, бассейн которой находится в зоне сухого субтропического климата.

По всей совокупности сценариев возможное изменение климата приведет к уменьшению водных ресурсов республики в среднем на 11,67% к концу первой половины XXI в. (табл. 11).

**Таблица 11****Прогноз стока рек Армении при разных сценариях изменения климата**

Номер сценария	Годы	Сценарии изменения температуры, °С	Сценарии изменения осадков, мм	Сценарии изменения стока рек, %
<b>1</b>	2050-2075	T + 1	0,9P	<b>-14,6</b>
<b>2</b>	2050-2075	T + 2	1,1P	<b>-1,5</b>
<b>3</b>	2050-2075	T + 2	0,9P	<b>-18,9</b>
<b>Среднее</b>				<b>-11,67</b>

Сравнивая полученный для 2041-2070 гг. по выше отмеченным моделям прогноз, приходим к тому выводу, что речной сток РА становится наиболее уязвимым при третьем сценарии разработанной нами модели – 18,9% (табл. 11). При модели **PRECIS** он в среднем уменьшится на 16,8%, а в случае **осредненной** модели - на 15,5%; в 2071-2100 гг. – уменьшение будет соответственно на (-24,9%) и (-26,7%) (табл. 12).

**Таблица 12****Прогноз стока рек Армении при разных моделях изменения климата**

Название модели	Годы	Сценарии изменения температуры, °С	Сценарии изменения осадков, мм	Сценарии изменения стока рек, %
<i>Осредненные</i>	2041-2070	T + 2,4	0,95P	-15,5
<i>PRECIS</i>	2041-2070	T + 2,7	0,94P	-16,8
<i>Разработанные</i>	2050-2075	T + 2	0,9P	-18,9
<b>Среднее</b>				<b>-17,1</b>

По сравнению с другими регионами мира речной сток Армении уменьшится сравнительно умеренно – в среднем на 17,1%. Следовательно, негативные социальные, экономические и экологические последствия будут относительно слабыми.

Исследования на Украине (Косолец А. А., Вишневский В. И., 2003), в Беларуси (Логинов В. Ф., и др., 2000; Изменения климата Беларуси ..., 2003), Молдове (Лалыкин Н. В., Самотьев С. П., 2000), в целом по России (Шикломанов, Георгиевский, 2003), в бассейнах крупных рек мира (рр. Амур, Замбези, Меконг) (Манабе С., Везеролд Р., 2003) дают уменьшение стока воды на 5-30%.

В ряде регионов нашей планеты ожидается увеличение стока рек. В бассейнах Волги, Рейна, Эльбы, Параны сток может увеличиться на 25-30%

(Манабе С., Везеролд Р., 2003), на реках Большого Кавказа – на 30-45%, а в Предкавказье – в три раза (Лурье П. М., Панов В. Д., 2003).

Несмотря на полученные по глобальным климатическим моделям достаточно впечатляющие результаты, их следует рассматривать не более как первый шаг на пути к оценке будущего климата Армении. Необходимо продолжить эти исследования на основе более полного учета местных орографических и циркуляционных особенностей республики как одних из основных климатообразующих факторов.

**В восьмой главе** рассмотрены особенности уязвимости и адаптации водного хозяйства страны к возможному климатическому изменению возобновляемых водных ресурсов и характерных расходов воды. Выполнен анализ изменения угрозы наводнения, режима и условий орошения, работы предприятий гидроэнергетики.

Уязвимость той или иной системы характеризуется как внешними аспектами, которые находят отражение в ее подверженности изменению и изменчивости климата, так и внутренними аспектами, которые находят отражение в ее чувствительности к этим факторам и способности к адаптации.

В глобальном масштабе число крупных внутриконтинентальных катастрофических наводнений в течение десяти лет (1996-2005 гг.) возросло, в расчете за десятилетие, более чем в два раза по сравнению с периодом 1950-1980 гг., в то время как причиненный экономический ущерб вырос в пять раз (Kron W. and Berz G., 2007).

Наводнения явились самыми частыми стихийными бедствиями, которые затрагивают в среднем 140 млн. человек в год (Доклад ..., 2003; 2004).

При изменении климата хозяйству Армении большой ущерб нанесут опасные гидрометеорологические явления – засухи, ранние весенние заморозки, наводнения, сели, град, обильные осадки, сильные ветры, туман и т. д.

В течение последних 30 лет суммарное число опасных гидрометеорологических явлений увеличилось на 1,2 случая в год, а в течение последних 20 лет – на 1,8 случаев в год (Государственная служба ..., 2011).

Среди гидрологических явлений при изменении климата наибольшие ущербы связаны с затоплением освоенной местности, с наводнениями. Кроме того на территории Армении высока вероятность формирования катастрофических селей, увеличения частоты и интенсивности которых можно ожидать в условиях изменения климата.

Ущерб, причиненный природными катастрофами, в Армении составляет около 33 млн. американских долларов в год. Ущерб, причиненный в 1994-2007 гг. только селями составил 17,5 млн. американских долларов, а наводнениями – более 41 млн. американских долларов.

Аридизация климата, увеличение интенсивности ливневых дождей и возрастающая антропогенная нагрузка на ландшафты создают благоприятные условия для повышения опасности селевых явлений. Это подтверждают исследования в селеопасных районах Армении (Назарян Х. Е., 1999, 2003). Анализ карт селеопасности и селеопасности территории республики по

состоянию на 50-е и 90-е гг. прошлого века показал, что за 40-50 лет в пределах Амасийской котловины, в бассейне р. Гаварагет, в окрестностях сел Еранос, Вардазор, Золакар Мартунийского региона, на левобережном отрезке верхнего течения р. Масрик, в верхней части бассейна р. Арпа многие (ранее потенциально селеносные) зоны приобрели статус действующих селеносных участков. Одновременно появились новые потенциально селеносные участки речных бассейнов (Назарян Х. Е., 2003). По времени их возникновения совпало с периодом увеличения стока воды рр. Ахурян, Алвар, Гаварагет, Мартуни, Аргичи, Масрик, Арпа. Одновременно с увеличением мощности селей, селевых бассейнов произошло снижение числа селей. Это корреспондируется с аналогичным изменением числа весенних паводков (Тер-Минасян Р., 2003).

Для смягчения или предотвращения опасности, возникающей вследствие формирования селей, в условиях затопления местности разработана программа противоселевых, противопаводковых и противозерозионных мероприятий, направленная на предупреждение ущерба от стихийных бедствий (Transboundary Floods ..., 2005; Vardanian T. G., 2004, 2005). В ряде случаев эффективными могут оказаться относительно менее затратные методы предотвращения таких бедствий. К их числу относятся строительство водохранилищ для временной аккумуляции стока в период выпадения ливней, селевой массы, создание поперечных террас в руслах селевых рек, спрямление отдельных участков русел, укрепление берегов, осуществление фитомелиоративных работ на горных склонах, рационализация использования пастбищ, внедрение в практику сельского хозяйства соответствующих агротехнических правил и т. д.

Поскольку территория Армении расположена в пределах пояса континентального сухого субтропического климата, то в условиях потепления климата наиболее уязвимой отраслью хозяйства страны окажется сельское хозяйство. Уменьшение водных ресурсов приведет к нарушению надежности работы оросительных систем республики (Чилингарян Л. А. и др., 2003; Никогосян Г. Т., 2003).

В Армении больше всего воды расходуется на орошение полей. В целом для сельского хозяйства необходимо 3,0 млрд. м<sup>3</sup> (или 80% объема всей изъятной воды), а только на нужды орошения требуется 2,8 млрд. м<sup>3</sup> (или около 74%). Однако в годы экономического кризиса водопотребление в орошении резко сократилось, и составило 1,5 млрд. м<sup>3</sup>. В настоящее время заметна тенденция его возрастания - 2 млрд. м<sup>3</sup>.

Напряженность водохозяйственного баланса будет максимальной в маловодных районах республики, где изменение климата вызовет наибольшее снижение водности рек (при повышении температуры воздуха на 2<sup>0</sup>С и уменьшении атмосферных осадков на 10% водные ресурсы сократятся в среднем на 18,9%).

В условиях потепления климата увеличится частота засух на территории Армении, что еще больше обострит проблемы обеспечения водой участников водохозяйственного комплекса страны.

Вследствие потепления климата увеличится потребность в более частом орошении полей. В результате ожидается изменение механического состава и плодородия почв, их деградация, опустынивание ландшафтов. Изменение режима орошения приведет к нарушению режима обработки почвы и снижению урожайности ряда сельскохозяйственных культур.

Для обеспечения надежности орошения и адаптации всего водохозяйственного комплекса страны к условиям возможного потепления климата необходима реализация комплекса мер, обоснованных в работах (Чилингарян Л. А. и др., 2003; Никогосян Г. Т., 2003; Габриелян Г. К., 2003; Бальян С. П., Аветисян В. А., 2003 и др.), а также автора.

Прогнозируемые в связи с потеплением изменения стока и еще более значительные изменения в его внутригодовом распределении существенным образом отразятся на водно-энергетических показателях эксплуатируемых и проектируемых ГЭС.

В условиях изменения климата и речного стока потребуются корректировка в использовании увеличивающегося зимнего стока ряда рек (а значит, выработки энергии на ГЭС) наряду с проблемами снижения летних расходов. То есть потребуются изменение принципов регулирования стока водохранилищами, особенно функционирующими в каскаде плотин, и диспетчерских правил управления режимом водохранилищ.

Наиболее важный аспект влияния изменения климата на гидроэнергетику - это проблема сохранности гидротехнических сооружений в связи с ростом максимальных расходов и объемов экстремальных половодий и паводков, для которых будет недостаточна пропускная способность действующих и запроектированных гидроузлов.

Гидроузлы на малых реках Армении имеют в своем составе небольшие водохранилища суточного регулирования. Поэтому увеличение дефицита водных ресурсов негативно скажется на производственной мощности гидроэнергетической отрасли.

Гидроэнергетическая система Армении включает электростанции, находящиеся в основном на двух реках – Раздан и Воротан. В энергетическом балансе страны удельный вес гидроэнергетики составляет около 25% общих суммарных мощностей и 10-12% вырабатываемой электроэнергии.

Исследования, проведенные в бассейне р. Воротан, показали, что при разных сценариях глобального изменения климата сток реки изменится незначительно. Если температура воздуха повысится на 1-2<sup>0</sup>С, а осадки уменьшатся на 10%, то водные ресурсы уменьшатся на 4,1-15,6%. При повышении температуры воздуха на 2<sup>0</sup>С и увеличении осадков на 10% сток воды, наоборот, возрастет на 2,6%. В этих условиях количество

вырабатываемой электроэнергии в ожидаемых климатических условиях вряд ли изменится.

Изменение условий работы каскада электростанций на р. Раздан будет зависеть от реального потепления климата. В зависимости от изменения температуры воздуха и слоя атмосферных осадков средний годовой уровень воды в оз. Севан понизится (Саркисян В. О., 1999) за счет возросшего испарения на 4-5 см (без учета переброски воды из бассейна р. Арпа и забора воды в деривационный канал Гегамаван). При этом сток из озера сократится в два раза (Никогосян Г. Т., 1999) и заметно уменьшится выработка электроэнергии.

С другой стороны, потепление приведет к увеличению потребности в воде для орошения земель в Арартской долине. Возникающий при этом дефицит водных ресурсов можно покрыть лишь за счет увеличения попусков воды из озера Севан, которые могут составить 20-25% объема нынешних попусков (Чилингарян Л. А. и др., 2003). В результате выработка электроэнергии может даже увеличиться по сравнению с современными условиями, а экологические проблемы, наоборот, существенно обострятся.

Во многих странах выполнялась оценка влияния глобальных изменений климата на ГЭС, но полученные выводы очень противоречивы из-за различий применявшихся методов прогноза, разных сценариев климатических изменений, разнонаправленности влияющих на водные ресурсы процессов, различной их изученности и т. д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водные ресурсы являются важнейшим компонентом окружающей среды, определяющим возможность устойчивого развития любой страны. Они обуславливают качество и уровень жизни, здоровье населения. Вода играет исключительную роль в геологических процессах, жизнедеятельности человека, в формировании различных природных экосистем.

Увеличение численности населения, расширение урбанизированных территорий, рост промышленного производства, расширение сельскохозяйственного производства создали проблему пресной воды. В связи с ожидаемым изменением климата эта проблема получит дальнейшее обострение. В этой связи рациональное использование и охрана водных ресурсов требуют внимания общества, государственных структур и населения.

В диссертационном исследовании получены следующие основные научные, методические и практические результаты.

- Пространственно-временная изменчивость характеристик речного стока, возобновляемых водных ресурсов и характерных расходов воды рек Армении отражает глобальные изменения процессов влагооборота на планете и тесно связана с региональными факторами, контролирующими изменение температуры воздуха и суммы атмосферных осадков.

- Изменение объема возобновляемых водных ресурсов и водного режима рек РА в основном обусловлено климатическими факторами (атмосферные осадки, температура воздуха). Сток воды в отдельных небольших речных бассейнах испытывает существенное влияние рельефа и гидрогеологических условий, которые нарушают общие пространственно-временные закономерности изменения речного стока.

- Реки Армении испытывают большую техногенную нагрузку. Она привела к изменению речного стока, водного режима и качества воды. Максимальному хозяйственному изменению стока воды по количественному показателю подверглись водные ресурсы рр. Раздан, Ахурян, Касах, Азат, Веди, Воротан, а по индексу загрязненности воды - рр. Раздан, Дебед, Мецамор, Вохчи. Водные объекты в основном имеют «высокую загрязненность». В отдельных малых притоках может наблюдаться также и «чрезвычайно высокая» загрязненность вод.

- Восстановление естественного стока рек необходимо для объективной оценки возобновляемых водных ресурсов территории, их изменчивости, а также для определения техногенного изменения стока воды.

Анализ результатов применения стандартного метода учета суммарного забора воды для восстановления естественного стока рек Армении показал, что он дает недостоверные оценки. Это связано с тем, что велики погрешности учета величины водозабора. Для отдельных рек может вообще отсутствовать водохозяйственная информация. Существуют также погрешности определения возвратных вод, т. к. плохо контролируются потери стока.



Поэтому для восстановления естественного стока рек нами предложен новый способ математического метода, основанный на теории математической статистики. Расчеты показывают, что среднее квадратичное отклонение разницы восстановленного и естественного стока для использованного ряда по случайным величинам составляет 4,74%.

- Возобновляемые водные ресурсы на территории Армении в XX в. подверглись значительным изменениям. Для большей части территории страны, в высокогорных и низкогорных частях речных бассейнов, возобновляемые водные ресурсы в 1930-2000 гг. увеличились, на 14,8% изученной территории они уменьшились, а на 22,2% – остались неизменными.

- Суммарный объем возобновляемых водных ресурсов основных рек РА не испытывает направленных изменений. В 1950-1991 гг. он увеличился на 4-5%, в 1961-1991 гг. – был близок к норме. Незначительное его уменьшение (на 1%) в 1950-2000 гг. соответствует общей закономерности глобального изменения стока во внутренних районах земного шара. Почти такая же картина наблюдается в 1950-2010 гг. Только в этом случае тенденция уменьшения выраженно не проявляется. Это обусловлено тем, что в течение последних десяти лет в определенной степени увеличилось количество осадков.

- Многолетние колебания суммарного стока рек Армении носят хорошо выраженный циклический характер. Выделены следующие по водности периоды: 1951-1961 гг. (11 лет) – маловодный с модульным коэффициентом  $k_{cp} = 0,70$ ; 1962-1992 гг. (31 год) – многоводный,  $k_{cp} = 1,26$ ; 1993-2000 гг. (8 лет) – маловодный,  $k_{cp} = 0,52$ . Из рассматриваемого многолетнего ряда репрезентативным периодом, включающим наибольшее число законченных циклов колебания суммарного стока, является период с 1953 г. по 1999 г. (47 лет), где  $k_{cp} = 1,0$ .

- Колебания стока воды в отдельных створах рек носят квазипериодический характер. Периоды повышенного и пониженного стока согласуются с ритмикой колебаний суммы атмосферных осадков. Средняя продолжительность периодов колебаний водности рек составляет 7-11 лет.

- Трансформация внутригодового распределения стока рек Армении заключается в уменьшении минимальных летне-осенних и максимальных весенних расходов воды, а также увеличении зимнего стока воды. То есть наблюдалась тенденция выравнивания сезонных стоков рек.

- Изменение многолетнего среднегодового, максимального и минимального 30-дневного стока рек РА контролируется изменением суммы атмосферных осадков и температуры воздуха. Закономерное изменение характеристик стока в отдельных небольших речных бассейнах может нарушаться вследствие влияния рельефа и гидрогеологических условий.

- Исследование и расчет максимального стока весенних и дождевых паводков являются наиболее важной проблемой учения о стоке как в

практическом, так и научном отношении. Расчеты показали, что 30-дневный максимальный сток значительно превышает календарный среднемесячный. Поэтому для расчета максимального стока за основную характеристику предлагаем принимать величину максимального 30-дневного (среднего за 30 дней) расхода воды, а не максимальную среднемесячную (календарную) величину, т. к. 30-дневный максимальный сток всегда больше, чем календарный месячный.

- Расчеты показывают, что 30-дневный максимальный суммарный сток рек имеет тенденцию уменьшения. По сравнению со средним многолетним 30-дневным максимальным стоком 1950-2000 гг. он уменьшился на 4,8%. Однако необходимо отметить, что эта величина уменьшения максимального стока почти не имеет существенного значения для экономики, т. к. он не является лимитирующим стоком.

- В изменениях 30-дневных минимальных расходов воды в летне-осеннюю и зимнюю межень выражена тенденция к увеличению для 65% исследованных рек. Они в основном контролируются изменением среднего многолетнего стока и слоя атмосферных осадков.

- Если изменение 30-дневного максимального стока сравнить со среднегодовым суммарным стоком рек за тот же промежуток времени, то заметим, что, при изменении суммарного стока также наблюдается тенденция его уменьшения. Это обстоятельство также свидетельствует о том, что многолетний среднегодовой сток рек РА сильно зависит от 30-дневного максимального стока. Последний имеет решающее значение, и не случайно, что 60-70% многолетнего среднегодового стока приходится на полноводный сезон рек.

- При всех трех рассмотренных сценариях разработанной нами модели изменения климата ожидается однозначное уменьшение речного стока на территории Армении. Осреднение последствий возможного изменения климата на сток рек Армении в среднем указывает на уменьшение водных ресурсов республики для 2050-2075 гг. на 11,67%. Эти оценки соответствуют прогнозам МГЭИК для внутренних районов земного шара.

- Максимальное уменьшение стока воды (-18,9%) ожидается при третьем сценарии (Т+2,0<sup>0</sup>С; 0,9Р) разработанной нами модели изменения климата. При модели PRECIS он в среднем уменьшится на 16,8%, а в случае осредненной модели - на 15,5%; в 2071-2100 гг. – уменьшение будет соответственно на -24,9% и -26,7%.

- Независимо от выбора модели и сценария наибольшей климатической уязвимостью отличаются рр. Дебед, Дзорaget, Памбак, Алвар и Агстев (уменьшение стока от 40 до 66,7%). Эти реки в основном формируют сток в сравнительно влажных районах Армении. Повышенная опасность снижения стока воды характерна и для р. Мегригет, бассейн которой находится в зоне сухого субтропического климата.

- В условиях ожидаемых гидроклиматических изменений наиболее уязвимой становится водное хозяйство страны. При уменьшении объема возобновляемых водных ресурсов и повышении температуры воздуха увеличится объем воды, необходимой для орошения и водоснабжения, что отразится в проблемах обеспечения устойчивого развития экономики страны.

- При изменении климата хозяйству Армении большой ущерб нанесут опасные гидрометеорологические явления – засухи, ранние весенние заморозки, наводнения, сели, град, обильные осадки, сильные ветры, туман и т. д. Аридизация климата, увеличение интенсивности ливневых дождей и возрастающая антропогенная нагрузка на ландшафты создают благоприятные условия для повышения опасности селевых явлений.

- В условиях ожидаемых гидроклиматических изменений напряженность водохозяйственного баланса будет максимальной в маловодных районах республики (Арагатская долина и прилегающие к ней районы), а также в речных бассейнах, где при «жестком» сценарии изменение климата вызовет наибольшее уменьшение водности рек. К ним относятся бассейны рр. Дебед (сток уменьшится до 58,8%), Агстев (до 48,8%), Мегригет (до 41,1%), Дзорагет–Катнарат (до 41,5%), Памбак-Туманян (до 38,4%), Мармарик-Анкаван (до 38,8%). Наиболее сложная водохозяйственная обстановка ожидается в бассейне р. Алвар, где ожидается уменьшение стока воды примерно на 66,7%.

- Вследствие потепления трансформация водного режима рек может привести к изменению функций ГЭС в каскаде и эффективности их объединения по территории, а неодинаковые изменения стока на реках потребовать оптимизации их совместной работы, в т. ч. многоступенчатых каскадов ГЭС в энерго- и водохозяйственных системах.

Исследования, проведенные в бассейне р. Воротан, показали, что при разных сценариях глобального изменения климата сток реки изменится незначительно. В этих условиях количество вырабатываемой электроэнергии в ожидаемых климатических условиях вряд ли изменится. Что касается каскада электростанций на р. Раздан, то изменение условий их работы при возможном потеплении климата зависит от отдельных элементов водного баланса оз. Севан.

*Для рационального использования и охраны водных ресурсов, повышения надежности работы отраслей хозяйства, адаптации водных экосистем к условиям возможного изменения климата необходимо:*

- закрепить юридическими и законодательными актами подходы к управлению водными ресурсами, которые уменьшат уязвимость отраслей хозяйства страны и повысят адаптационный потенциал водных объектов;
- разработать территориальные схемы рационального использования и охраны водных ресурсов и перейти к бассейновому управлению водными ресурсами;

- планомерно осуществлять программы обучения в области рационального использования и охраны водных ресурсов для специалистов и населения;
- при введении в строй новых водохранилищ проектировать относительно небольшие по объему, с минимальными потерями воды, безопасные в отношении заиливания и предупреждения наводнений искусственные водоемы;
- в условиях засушливого климата использовать малые подземные водохранилища, которые в условиях изменения климата могут оказаться более эффективными;
- искусственно пополнять запасы подземных вод для их расширенного использования в лимитирующие сезоны года;
- внедрять системы оборотного и повторного водопользования, позволяющие уменьшить водоемкость различных производств и нагрузку на реки вследствие водоотведения;
- использовать дифференцированные градации стоимости используемой воды для организации экономного водопользования и повышения надежности отраслей водного хозяйства в условиях нарастания дефицита водных ресурсов;
- совершенствовать системы учета стока и развивать мониторинг водных ресурсов (национальный и трансграничный); усилить гидрометеорологический мониторинг с целью учета и прогноза водных ресурсов в перспективе;
- повысить знания и навыки по устойчивому управлению водными ресурсами;
- развить системы гидрологического прогнозирования.

Для их упреждающего решения необходимо предусмотреть и реализовать комплекс специальных мер, направленных на минимизацию социальных, экономических и экологических ущербов. Постепенное осуществление этих мер обеспечит устойчивое развитие Армении, в т. ч. в условиях ожидаемого изменения климата.

## **Основные опубликованные работы автора по теме диссертации:**

1. *Варданян Т. Г.* Состояние минерализации рек бассейна озера Севан //Известия НАН РА, Науки о Земле, ЛП, N 2-3, 1999, с. 97-100 (на армянском языке)
2. *Варданян Т. Г.* Изменчивость минимального стока горных рек, факторы, влияющие на него и методы расчета. В кн.: Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем. Доклады к Международной конференции, Алматы, Казахстан, 2000, с. 164-167
3. *Варданян Т. Г.* О некоторых вопросах внутрigoдового распределения минерализации речных вод //Ученые записки Ереванского государственного университета, естественные науки, N 1, 2001, с. 153-157 (на армянском языке)
4. *Варданян Т. Г.* Водные ресурсы рек РА по отдельным областям и их роль в системе орошения. В кн.: Современные проблемы земледелия. Материалы 4-ой научной конференции, Ереван, 2001, с. 99-102 (на армянском языке)
5. *Варданян Т. Г.* Оценка возможных изменений водных ресурсов и водного режима рек Республики Армения в условиях глобального потепления климата. В кн.: География, общество, окружающая среда: развитие географии в странах Центральной и Восточной Европы. Материалы докладов Международной научной конференции, Калининград/Светлогорск, Россия, 2001, ч. 1, с. 25-27
6. *Варданян Т. Г.* Оценка экологического риска речного стока аридных горных регионов в условиях глобального изменения климата. В кн.: Стратегия и методы оценки экологического риска аридных и горных территорий. Материалы Международного симпозиума, Алматы, Казахстан, 2001, с. 26-29
7. *Варданян Т. Г.* Проблемы водных ресурсов Южного Кавказа в конце 20-го и на пороге 21-го века //Кавказский Географический Журнал, N 2, Тбилиси, 2003, с. 28-29
8. *Варданян Т. Г.* Прогнозирование и оценка степени уязвимости речного стока Республики Армения в условиях глобального потепления климата //Вода и водоочистные технологии (научно-практический журнал), N 4 (8), Киев, Украина, 2003, с. 39-42
9. *Варданян Т. Г.* Роль водных ресурсов в изменении окружающей среды. В кн.: «АКВА Украина – 2003». Материалы научно-практической конференции Международного Водного Форума, Киев, Украина, 2003, с. 68-69
10. *Варданян Т. Г.* О некоторых вопросах восстановления естественного стока рек. Материалы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 3. Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод, гидрологические последствия хозяйственной деятельности и изменений климата; уязвимость и адаптация социально-экономической сферы, Санкт-Петербург, Россия, 2004, с. 151-153

11. *Варданян Т. Г.* Динамика изменений меженного стока рек Армении. В кн.: Географическая наука в Армении: настоящее и будущее. Материалы научной конференции, посвященной 70-летию основания Армянского Географического Общества, Ереван: Изд-во Ереванского университета, 2006, с. 209-213

12. *Варданян Т. Г.* Уязвимость и адаптация водного хозяйства Армении при глобальном потеплении климата //Материалы седьмого международного конгресса "Вода: экология и технология" ЭКВАТЭК-2006. CD-Rom. 1.1. Ресурсы, качество, использование и охрана поверхностных вод. Москва, Россия, 2006, 6 с.

13. *Варданян Т. Г.* Исследование минерализации и качества речных вод Армении. В кн.: Горизонты географии. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Западно-Казахстанского географического общества, Уральск, Казахстан, 2006, с. 45-48

14. *Варданян Т. Г.* Сток рек Армении и оценка его изменения при глобальном потеплении климата. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2006, 178 с.

15. *Варданян Т. Г.* Методы расчета восстановления естественного стока рек. Ученые записки Ереванского государственного университета, естественные науки, N 1, 2007, с. 124-130

16. *Варданян Т. Г.* Особенности изменений годового стока рек Армении. География и природные ресурсы (научный журнал Сибирского отделения РАН), N 2, Иркутск, 2007, с. 169-177

17. *Варданян Т. Г.* Оценка внутрigoдового хода изменчивости стока воды некоторых рек Армении. Труды Института Гидрометеорологии Грузии. Том N 115. Материалы международной конференции, посвященной Международному Году Планеты Земля "Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе", Тбилиси, 2008, с. 246-254

18. *Варданян Т. Г.* Прогностические оценки стока рек бассейна озера Севан при разных сценариях изменения климата. В кн.: Современные проблемы климатологии Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию профессора О. А. Дроздова, Санкт-Петербург, Россия, 2009, с. 47-48

19. *Варданян Т. Г.* Методика долгосрочного прогнозирования речного стока бассейна озера Севан. Ученые записки Ереванского государственного университета, естественные науки, N 1, 2010, с. 31-39 (в соавторстве) (на армянском языке)

20. *Варданян Т. Г.* Экологическое состояние поверхностных вод бассейна реки Севджур. В кн.: Стимулирование потенциала общества, науки и неправительственных организаций к сохранению биоразнообразия и охраны окружающей среды. Материалы Международной конференции, Душанбе, Таджикистан, 2011, с. 16-18

21. *Варданян Т. Г.* Моделирование в географии – носитель конструктивно - прикладного потенциала отрасли науки. Ученые записки Ереванского государственного университета, Геология и география, N 3, 2011, с. 27-31(на армянском языке)

22. *Vardanian T. G.* River Runoff as an Indicator of Global Climate Change. In: Images and Reconstructions of Weather and Climate over the Last Millennium.

Edited by Barbara Obrebska-Starkel. Prace Geograficzne, Fascicle 108. Crakow, Poland, 2000, pp. 93-98

23. *Vardanian T. G.* The Minimal River Runoff in Arid Regions and its Significance for Plants and Animals in the Republic of Armenia. Proceedings of the IGU BSG – YSU DFG Annual International Conference “Biogeographical and Ecological Aspects of Desertification Process in Arid and Semiarid Environments”, Yerevan, Armenia, 2000, pp. 31-34

24. *Vardanian T. G.* The Role of River Runoff in Landscape Protection under the Conditions of the Global Changes of Climate. In: Nature and Society in Regional Context. Edited by Pavlina Hlavinkova and Jan Munzar. Brno, Czech Republic, 2001, pp. 156-159

25. *Vardanian T. G.* On the Ecological Monitoring of Pollution of Waters Resources in Armenia. Articles of the I International Conference on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, 2001, pp. 95-98

26. *Vardanian T. G.* The Evaluation of Ecological Risk and Vulnerability of Water Resources of the Arax River Basin in the Republic of Armenia (RA) in Drought Period under the Conditions of the Global Climate Change. In: Water Problems 2001. International Conference, Yerevan, Armenia, 2001, pp. 474-478

27. *Vardanian T. G.* The Qualitative Changes of River Waters and Their Significance in the Emergence of Water Hunger. In: Advances and Prospects of Ecological Chemistry. Proceedings of the Second International Conference on Ecological Chemistry, Chisinau, Moldova, 2002, pp. 167-170

28. *Vardanian T. G.* The Dynamics of Changes in the Runoff of Rivers in Summer-Autumn and Winter Drought Periods. In: Water is the Basis of Life and Human Existence. Papers of the International Conference, Dushanbe, Tajikistan, 2003, pp. 212-213

29. *Vardanian T. G.* The Role of Hydroclimatic Changes in Land Degradation. In: Society and Environment Interaction under Global and Regional Changes. Abstracts of the International conference, Moscow-Barnaul, Russia, 2003, pp. 289-290

30. *Vardanian T. G.* The Role of Water Resources in the Process of the Change of the Environment. In: “Aqua, Ukraine – 2003”. Proceedings of the Scientific-Practical Conference of the International Water Forum, Kiev, 2003, pp. 70-71

31. *Vardanian T. G.* The Application of Mathematical Models and GIS System for Flood Forecasting. Abstracts of the 6th Plinius Conference on Mediterranean Storms Catching Storms in the Mediterranean, Italy, 2004, pp. 34-35

32. *Vardanian T.G.* Changes in the Runoff of Several High-Mountain Rivers in Armenia and Evaluation of the Runoff Vulnerability under Conditions of Global Warming. In: The Rational Use and Conservation of Water Resources in a Changing Environment, Volume 1, Yerevan: Yerevan State University Press, 2004, pp. 200-208

33. *Vardanian T.G.* The Anthropogenic Changes of Water Component of the Environment in the Republic of Armenia. In: Monitoring of Migration and Accumulation of Radionuclides in Component of Natural Ecosystems, Dushanbe, Tajikistan, 2004, pp. 48-51

34. *Vardanian T. G.* The Minimal Runoff of River Waters as an Indicator of Evaluation of Hydroecological Risk. In: Monitoring of Migration and Accumulation of Radionuclides in Component of Natural Ecosystems, Dushanbe, Tajikistan, 2004, pp. 36-40
35. *Vardanian T. G.* The Application of Mathematical Methods for Flood Forecasting. In: Transboundary Floods: Reducing Risks and Enhancing Security through Improved Flood Management Planning. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Oradea (Baile Felix), Romania, 2005, pp. 250-257
36. *Vardanian T. G.* The Peculiarities of the River Runoff Restoration in Armenia. In: Main Problems of Geography of South Caucasus and Neighbouring Regions. Proceedings of the Conference Dedicated to the 70-th Anniversary of the Foundation of the Faculty of Geography Yerevan State University, Yerevan, Armenia, 2005, pp. 9-12
37. *Vardanian T. G.* The Anthropogenic Changes of Water Resources in the Republic of Armenia in XX Century. In: Lucrarile Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir 100 de Ani de Invatamant Geografic Iesean. NR.25, Iasi, Romania, 2005, pp. 195-202
38. *Vardanian T. G.* The Ecological Monitoring of Pollution and Modeling of Hydroecosystems. In: Water Supply in Emergency Situations. Edited by Y. Sharan et al. NATO Security through Science Series – C: Environmental Security, The Netherlands: Springer, 2007, pp. 101-104
39. *Vardanian T. G.* Forecasting River Runoff under Various Global Warming Scenarios: A Case Study in Armenia. Chapter 15 in: Managing Water Resources in a Changing Physical and Social Environment. Edited by Peter J. Robinson, Tony Jones and Ming-ko Woo. Home of Geography: Societa Geografica Italiana, Rome, 2007, pp. 151-163
40. *Vardanian T. G.* Will the Present-Day Scientific Approaches Enable to Forecast Natural Disasters? In: Scientific Support for the Decision Making in the Security Sector. Edited by Ognyan Kounchev, Rene Willems, Velizar Shalamanov and Tsvetomir Tsachev. NATO Science for Peace Security Series - D: Information and Communication Security, Amsterdam: IOS Press, vol.12, 2007, pp. 267-273
41. *Vardanian T. G.* The Technogene Changes of Water Component of the Environment in the Republic of Armenia (RA). In: Environmental Change and Rational Water Use. Edited by Olga E. Scarpati and J.A.A.Jones, eds., Buenos Aires, Argentina, 2007, pp. 389-396
42. *Vardanian T. G.* The Issues of Transboundary Rivers in South Caucasus at the End of the 20th and Beginning of the 21st Centuries. In: Rescue of Sturgeon Species by Means of Transboundary Integrated Water Management in the Ural River Basin, Edited by V. Lagutov. NATO Security through Science Series – C: Environmental Security, The Netherlands: Springer, 2008, pp. 53-58
43. *Vardanian T. G.* Water Disasters in the Territory of Armenia. In: Threats to Global Water Security. Edited by J. A. A. Jones, Trahel G. Vardanian, Christina Hakopian. NATO Science for Peace Security Series – C: Environmental Security, The Netherlands: Springer, 2009, pp. 215-224



## Թրահել Գերասիմի Վարդանյան

### ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԵՏԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՏՏՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ ԿԼԻՄԱՅԻ ԳԼՈՒԲԱԼ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

#### Համառոտագիր

XX դարը նշանավորվեց հասարակական, քաղաքական և տնտեսական ոլորտների համամոլորակային փոփոխություններով, որոնք իրենց ազդեցությունն ունեցան շրջակա միջավայրի, այդ թվում նաև ջրային օբյեկտների վիճակի վրա: Բնության բաղադրիչների մասն փոփոխությունները պայմանավորված են մթնոլորտում ջերմոցային գազերի ավելացմամբ և, դրանից կախված՝ մթնոլորտի երկրամերձ շերտի օդի ջերմաստիճանի բարձրացմամբ: Կլիմայի փոփոխության միջկառավարական խմբի փորձագետների (ՄԴՅԻԿ) ուսումնասիրություններում նշվում է, որ երկրագնդի վրա օդի բազմամյա միջին տարեկան ջերմաստիճանը վերջին հարյուրամյակում աճել է 0,6-0,8<sup>0</sup>C: Ջերմոցային գազերի արտանետումների ներկա աճի տեսլերի պահպանության դեպքում մինչև XXI դարի վերջը ենթադրվում է, որ մթնոլորտի երկրամերձ շերտի միջին ջերմաստիճանը կբարձրանա 3-5<sup>0</sup>C:

Աշխատանքում բացահայտվել և գնահատվել է Հայաստանի գետերի ջրային ռեսուրսների փոփոխությունների դիմամիկան XX դարում, մշակվել է գետերի բնական հոսքի արժեքների վերականգնման մեթոդ, ինչպես նաև կանխատեսվել է կլիմայի փոփոխության պայմաններում հոսքի տրանսֆորմացիան: Պարզաբանվել են երկրի ջրային տնտեսության աշխատանքների հուսալիության ուղիները և ջրային օբյեկտների հարմարվողականությունը նոր ջրակլիմայական պայմաններին:

Աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, ութ գլխից, եզրակացություններից, հավելվածից և գրականության ցանկից:

Առաջին գլուխը նվիրված է ջրակլիմայական համամոլորակային փոփոխությունների արդի մոտեցումներին և միտումներին: Տրվել է երկրագնդի առանձին տարածաշրջանների կլիմայի փոփոխության համառոտ ակնարկ: Հակիրճ վերլուծվել է կլիմայի փոփոխության ազդեցությունը վերականգնվող ջրային ռեսուրսների վրա:

Երկրորդ գլխում ներկայացվել են վերականգնվող ջրային ռեսուրսների ձևավորման բնական պայմանները, ՀՀ ֆիզիկաաշխարհագրական դիրքի առանձնահատկությունները, ինչպես նաև քննարկվել է տեխնաձին գործոնների ազդեցությունը գետերի հոսքի մեծության և փոփոխականության վրա:

Երրորդ գլխում մանրամասն քննարկվել են ջրաբանական ուսումնասիրությունների տեղեկատվական հիմքը և մեթոդները: Ներկայացվել են դիտարկված ջրաբանական շարքերի մշակման, երկարացման, բնական հոսքի վերականգնման հիմնական մեթոդները:

Չորրորդ գլուխը նվիրված է Հայաստանի գետերի ջրագրական, ջրաբանական և ջրակլոլոգիական հիմնական բնութագրիչների վերլուծությանը:

Քննարկվել և գնահատվել են գետերի սնման աղբյուրները, ջրային ռեժիմը, ինչպես նաև գետերի ջրի հանքայնացումը և որակը:

Հինգերորդ գլխում քննարկվել և վերլուծվել են Հայաստանի գետերի հոսքի փոփոխության արդյունքները XX դարում: Հոսքի փոփոխությունը դիտարկվել է ինչպես բարձրլեռնային փոքր գետերի, որոնց հոսքը մոտ է բնականին, այնպես էլ գետերի ցածրադիր ավազանների համար, որոնց հոսքը երբևէ է բնական վիճակի:

Վեցերորդ գլուխը նվիրված է ՀՀ գետերի հոսքի ներտարեկան բաշխման առանձնահատկություններին, առավելագույն և նվազագույն հոսքերի փոփոխություններին: Սեզոնային տատանումները համեմատվել են մթնոլորտային տեղումների և օդի ջերմաստիճանի փոփոխությունների հետ:

Յոթերորդ գլխում կատարվել է գետերի հոսքի երկարաժամկետ կանխատեսում կլիմայի հավանական փոփոխության տարբեր սցենարների դեպքում: Այն իրականացվել է գետի ջրի հոսքի և կլիմայական բնութագրիչների միջև բազմագործոն կապերի հաստատման միջոցով:

Ութերորդ գլուխը վերաբերում է երկրի ջրային տնտեսության խոցելիությանը և հարմարվողականությանը կլիմայի հնարավոր տաքացման դեպքում: Կատարվել է ջրհեղեղների վտանգի, ոռոգման պայմանների ու ռեժիմի, ջրաէներգետիկ ձեռնարկությունների աշխատանքի փոփոխությունների վերլուծություն:

Ատենախոսական ուսումնասիրություններում ստացվել են գիտական, մեթոդական և կիրառական նշանակության հետևյալ հիմնական արդյունքներ:

- Հայաստանի գետային հոսքի բնութագրիչների, վերականգնվող ջրային ռեսուրսների և գետերի ջրի բնորոշ ծախսերի տարածաժամանակային փոփոխականությունը արտացոլում է խոնավության շրջանառության պրոցեսների գլոբալ փոփոխությունները մոլորակի վրա և սերտորեն կապված է ռեգիոնալ գործոնների հետ, որոնք վերահսկում են օդի ջերմաստիճանի փոփոխությունը և մթնոլորտային տեղումների գումարը:

- Հայաստանի վերականգնվող ջրային ռեսուրսների ծավալի և գետերի հոսքի ռեժիմի փոփոխությունները հիմնականում պայմանավորված են կլիմայական գործոններով: Ջրի հոսքն առանձին փոքր գետավազաններում ենթարկվում է ռելիեֆի և ջրաերկրաբանական պայմանների որոշակի ազդեցության, որոնք խախտում են գետերի հոսքի տարածաժամանակային փոփոխությունների ընդհանուր օրինաչափությունները:

- Հայաստանի գետերը ենթարկվել են տեխնածին մեծ ծանրաբեռնվածության, որի արդյունքում գետերի բնական հոսքը, ջրային ռեժիմը և ջրի որակը զգալի փոփոխություններ են կրել: Գետային հոսքի քանակական առավել մեծ փոփոխության են ենթարկվել Հրազդանը, Ախուրյանը, Զասախը, Ագատը, Վեդին և Որոտանը, իսկ աղտոտվածության աստիճանով՝ Հրազդանը, Դեբեդը, Սևջուրը և Ողջին: Գետերն հիմնականում ունեն «բարձր աղտոտվածություն», իսկ առանձին փոքր վտակներում դիտվում է նաև «արտակարգ բարձր աղտոտվածություն»:

- Հայաստանի տարածքի վերականգնվող ջրային ռեսուրսները 20-րդ դարում կրել են զգալի փոփոխություններ: Երկրի տարածքի մեծ մասի համար՝ բարձրադիր և ցածրադիր գետավազաններում, վերականգնվող

ջրային ռեսուրսները 1930-2000 թթ. աճել են: Ուսումնասիրված տարածքի 14,8% համար այն նվազել է, իսկ 22,2%՝ մնացել անփոփոխ:

- ՀՀ հիմնական գետերի վերականգնվող ջրային ռեսուրսների գումարային ծավալը չի ենթարկվել ուղղորդված փոփոխության: Այն 1950-1991 թթ. 4-5% աճել է, 1961-1991 թթ. եղել է նորմային մոտ, իսկ 1950-2000 թթ. դիտվել է նվազման չնչին միտում (մոտ 1%), որը համապատասխանում է երկրագնդի ներքին շրջանների հոսքի գլոբալ փոփոխության ընդհանուր օրինաչափությանը: Գրեթե մման պատկեր է դիտվել նաև 1950-2010 թթ., սակայն այս դեպքում հոսքի նվազման միտում հստակ չի նկատվում:

- ՀՀ գետերի հոսքի ներտարեկան բաշխվածության տրանսֆորմացիան արտահայտվում է ամառ-աշնանային սակավաջուր և գարնանային առավելագույն ծախսերի նվազմամբ, ինչպես նաև ձմեռային սակավաջուր ծախսի աճով:

- ՀՀ գետերի բազմամյա միջին տարեկան, 30-օրյա առավելագույն և նվազագույն հոսքերի փոփոխությունները վերահսկվում են օդի ջերմաստիճանի և մթնոլորտային գումարային տեղումների փոփոխությամբ: Այս օրինաչափությունը առանձին փոքր գետավազաններում խախտվում է ռելիեֆի և ջրաերկրաբանական պայմանների ազդեցությամբ:

- Գետերում ջրի հոսքի տատանումը կրում է քվադրպարբերական բնույթ: Հոսքի աճի և նվազման ժամանակաշրջանները համապատասխանում են գումարային մթնոլորտային տեղումների տատանման ռիթմայնությանը: Գետերի ջրայնության տատանման ժամանակաշրջանի միջին տևողությունը կազմում է 7-11 տարի:

- Հայաստանի տարածքի համար մեր կողմից մշակված կլիմայի գլոբալ փոփոխության երեք սցենարների դեպքում սպասվում է գետերի հոսքի միանշանակ նվազում: Միջին հաշվով այն 2050-2075 թթ. կնվազի 11,67%՝ 1950-2000 թթ. միջինի հետ համեմատած: Այս գնահատականները համապատասխանում են երկրագնդի ներքին շրջանների համար կատարված Կլիմայի միջկառավարական փորձագիտական խմբի կանխատեսումներին:

- Գետերի հոսքի նվազման առավելագույն արժեքը (-18,9%) սպասվում է մեր կողմից մշակված երրորդ սցենարի դեպքում (T+2,0°C; 0,9P): PRECIS մոդելով այն կնվազի 16,8%, իսկ 2071-2100 թթ.՝ 24,9%:

Սպասվող գլոբալ ջրակլիմայական փոփոխությունների պայմաններում առավել խոցելի է դառնում երկրի ջրային տնտեսությունը: Վերականգնվող ջրային ռեսուրսների նվազման և օդի ջերմաստիճանի բարձրացման պայմաններում կենձանա ոռոգման և ջրամատակարարման համար անհրաժեշտ ջրի ծավալը, ինչը կազդի երկրի կայուն հասարակական զարգացման վրա:

Դրանց կանխման համար անհրաժեշտ է նախապատրաստել և իրագործել համալիր հատուկ միջոցառումներ՝ ուղղված սոցիալական, տնտեսական և էկոլոգիական վնասների նվազեցմանը:

Միջոցառումների աստիճանական իրագործումը կնպաստի երկրի կայուն զարգացմանը, այդ թվում նաև կլիմայի գլոբալ փոփոխության պայմաններում:

## **Trahel Gerasim Vardanian**

### **THE FLUCTUATIONS OF THE RUNOFF OF RIVERS IN ARMENIA AND ITS FORECASTING UNDER THE GLOBAL CHANGE OF CLIMATE**

#### **Abstract**

The 20<sup>th</sup> century was marked by global changes in the social, political and economic spheres that had an impact on the state of environment, including water bodies. These changes in environmental components are connected with the increase of greenhouse gas concentration in the atmosphere and the growth of temperature of the sub-surface layer of the atmosphere. The studies by the IPCC experts indicate growth of the mean annual air temperature on the Earth by 0,6-0,8<sup>0</sup>C within the last century. If the greenhouse gas emissions keep growing at the same rate, the mean temperature of the sub-surface layer is likely to increase by 3-5<sup>0</sup>C by the end of the 21<sup>st</sup> century.

The author of the dissertation has uncovered and evaluated the dynamics of changes in water resources of rivers in Armenia in the 20<sup>th</sup> century, developed a method for reconstruction of the values of the natural river runoff, as well as carried out forecasts for runoff transformation under conditions of climate change. The dissertation also elucidates the ways of reliability of activities in the country's water economy and adaptability of water bodies to new hydro-climatic conditions.

The dissertation consists of Introduction, eight Chapters, Conclusion, Appendices and Bibliography.

Chapter One is related to the contemporary approaches and tendencies of global hydro-climatic changes. It contains a brief overview of climate change in different parts of the planet. It also includes concise analysis of the impact of climate change on the restorable water resources.

In Chapter Two the author describes the natural conditions for formation of restorable water resources, the distinctive features of the physical-geographical location of Armenia, and discusses the impact of the technogenic factors on the volume and variability of river runoff.

Chapter Three is a detailed discussion about the information base and methods in hydrological research. It presents the main methods for development of observed hydrological series, extension, as well as restoration of natural runoff.

Chapter Four analyses the main hydrographical, hydrological and hydro-ecological characteristics of rivers in Armenia. A detailed discussion and evaluation of the sources of river alimentation, water regime as well as water mineralisation and quality have been carried out.

Chapter Five discusses and analyses the results of changes in runoff of rivers in Armenia in the 20<sup>th</sup> century. Here, the work consisted in the observation of runoff change in high-mountainous small rivers, where the runoff is close to the natural state, as well as lowland river basins, for which the runoff was brought to its natural state.

Chapter Six analyses the peculiarities of the intra-annual distribution of runoff of the rivers in Armenia, as well as the maximal and minimal runoff changes. The seasonal fluctuations were compared with the changes in precipitation and air temperature.

Chapter Seven presents long-term forecasting for river runoff. It has been carried out by establishing multi-factor links between river water runoff and climate characteristics.

Chapter Eight views the vulnerability and adaptability of water economy in the country, under conditions of possible warming of climate change. It contains analysis of flood hazard, irrigation conditions and regime, as well as changes in operation of hydro-energy companies.

The following main scientific, methodological and practical results were obtained during the dissertation research.

- The spatial-temporal change of river runoff characteristics, restorable water resources and typical discharges of river water for the rivers in Armenia reflects the global changes of humidity circulation processes on the Earth and is closely related to regional factors which control the change in air temperature and the aggregate precipitation.

- The changes in the volume of restorable water resources and runoff regime of rivers in the Armenia are mainly caused by climatic factors. In some small river basins runoff is considerably influenced by the relief and hydro-geological conditions, which violate the common spatial-temporal regularities of changes in river runoff.

- The rivers of Armenia have been subject to significant technogenic pressure, which has brought about changes in the natural runoff of rivers, water regime and water quality. The water resources of the Hrazdan, Akhourian, Kasakh, Azat, Vedi, Vorotan rivers have undergone the maximal quantitative change river runoff, while the Hrazdan, Debed, Sevjur and Voghji rivers have been mostly influenced when measured by an index of water contamination. The rivers are classified as “highly contaminated”, while in some smaller tributaries of these rivers one observes “extremely high contamination”.

- In the 20<sup>th</sup> century, the restorable water resources of Armenia have undergone considerable changes. In major part of the country's territory, in the mountainous and lowland areas of river basins, the restorable water resources increased in the 1930-2000s. On 14,8% of the observed territory they have decreased, and on 22,2% of the territory they have remained unchanged.

- The total volume of the restorable water resources of the main rivers in Armenia has not undergone intentional changes. In 1950-1991s it grew by 4-5%, in 1961-1991s it was close to the norm, while in 1950-2000s its slight decrease (by 1%) was observed, which corresponds to the general regularity of the global change in the runoff in the inland regions of the Earth. Nearly a similar situation was observed in 1950-2010s; however, in this case no tendency of runoff decrease has been noticed.

- The transformation of the intra-annual discharge of river runoff in Armenia is expressed in the reduction of the summer-autumn low-water and the spring maximal discharge, as well as in the growth of winter low-water runoff.

- The changes of perennial mean annual, maximal and minimal 30-day river runoff in Armenia are controlled by the change of the aggregate precipitation and air temperature. In some separate small river basins, this regularity may be violated as a result of the influence of relief and hydro-geological conditions.

- River runoff fluctuations have a quasi-periodical nature. The periods of increased and decreased runoff correspond to the rhythm of fluctuations of the aggregate precipitation. The mean duration of fluctuation periods for bankful rivers is 7 to 11 years.

- For three scenarios of global warming developed by the author, river runoff will most likely decrease. On the average, in the period of 2050-2075, it will decrease by 11,67%, compared with the average of years 1950-2000s. These estimates correspond to the IPCC forecasts for the inland regions of the Earth

- The maximal value (-18,9%) of the river runoff decrease is expected in case of the third scenario developed by the author (T+2,0<sup>0</sup>C; 0,9P). By PRECIS method, it will decrease by 16,8%, while in 2071-2100 by 24,9%.

Under the anticipated global hydro-climatic changes, water economy of the country becomes particularly vulnerable. The reduction of the volume of restorable water resources and growth of air temperature will lead to increase in water amount required for irrigation and water supply, and it will affect the sustainable development of society in the country.

To prevent it, we suggest envisaging and implementing a complex of special measures, directed at minimisation of the social, economic and ecological damage.

The gradual implementation of these measures will ensure the sustainable development in the country, considering the global change of climate as well.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### ВВЕДЕНИЕ

**Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ**

**Глава 2. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АРМЕНИИ**

**2.1 Факторы формирования и изменения стока и водных ресурсов рек**

2.1.1 Орографические факторы формирования стока рек

2.1.2 Климатические факторы возобновляемых водных ресурсов

2.1.3 Ландшафтные факторы изменения речного стока

**2.2 Техногенные нагрузки и сток рек**

**Глава 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОКА РЕК**

**3.1 Исходные данные и оценка репрезентативности данных базисного периода**

**3.2 Разработка метода восстановления естественного стока рек**

**Глава 4. ОСНОВНЫЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ РЕК АРМЕНИИ**

**4.1 Гидрографические особенности рек**

**4.2 Гидрологический режим рек**

**4.3 Речной сток и особенности его территориального распределения**

**4.4 Гидроэкологические черты рек**

**Глава 5. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК АРМЕНИИ И ЕГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

**5.1 Общий характер колебания годового стока воды рек**

**5.2 Динамика изменения многолетнего годового стока рек Армении и его территориальное распределение**

5.2.1 Анализ и оценка изменения стока воды в низкогорной части речных бассейнов

5.2.2 Анализ и оценка изменения стока воды малых рек в высокогорной части бассейнов

5.2.3 Особенности изменения суммарного стока воды основных рек Армении

**Глава 6. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЯ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА АРМЕНИИ**

**6.1 Общий характер колебания внутригодового распределения стока**

6.1.1 Анализ и оценка изменения максимального 30-дневного стока воды рек

6.1.2 Анализ и оценка изменения минимального стока воды рек

*6.1.2.1 Особенности изменения летне-осеннего 30-дневного минимального стока*

*6.1.2.2 Особенности изменения зимнего 30-дневного минимального стока*

**6.2 Внутригодовой ход изменчивости стока воды рек**

**Глава 7. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СТОКА РЕК АРМЕНИИ ПРИ ГЛОБАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

**7.1 Современные подходы, методы и модели исследования гидроклиматического прогнозирования**

**7.2 Прогноз стока рек Армении при разных сценариях изменения климата**

**Глава 8. УЯЗВИМОСТЬ И АДАПТАЦИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СТРАНЫ ПРИ ГЛОБАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

**8.1 Предупреждение риска наводнений и селей**

**8.2 Уязвимость надежности орошения**

**8.3 Уязвимость надежности работы ГЭС**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

