

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
ГОУ ВПО  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(РГГМУ)

УДК 556.512 (286.254)

На правах рукописи

Чжан Гоюй

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РАЙОНОВ  
С ИНТЕНСИВНЫМ РАЗВИТИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
( НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА ОЗЕРА НАНЬСИ КНР)

Специальность 25.00.27 –  
гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2010

Работа выполнена на кафедре гидрологии суши Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор

Мякишева Наталия Вячеславовна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор

Дмитриев Василий Васильевич

доктор географических наук, профессор

Бабкин Алексей Владимирович

Ведущая организация:

Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена

Защита состоится « 24 » июня 2010 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.02 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу:

195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, д. 98, ауд. 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Отзывы на автореферат просьба присылать по адресу:

195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, д. 98, ученому секретарю Диссертационного Совета В.Н. Воробьеву.

Автореферат разослан « 24 » мая 2010 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
канд. геогр. наук, профессор



В.Н. Воробьев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Обеспечение потребности людей в воде, как одном из необходимых источников существования, невозможно без оптимизации стратегии рационального использования и охраны объектов гидросферы. Поэтому определение водных ресурсов Земли, изменяющихся под воздействием активных (климат) и адаптивных (подстилающая поверхность) факторов в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на водные объекты и их бассейны, – задача чрезвычайно актуальная. Все сказанное особенно важно для густонаселенных районов земного шара с жарким климатом, где интенсивная хозяйственная деятельность сочетается с ограниченными ресурсами поверхностных и подземных вод, малым количеством осадков и большим испарением.

Примером такого региона может служить бассейн озера Наньси, расположенный на востоке Китая и находящийся между реками Хуанхэ и Янцзы. На большинстве рек этого района естественный сток нарушен в результате переброски воды из р. Хуанхэ или устройства водохранилищ, а также в результате заборов воды на орошение, промышленные и хозяйственно-бытовые нужды и сбросов возвратных вод. Как следствие, нарушен и естественный ход колебаний уровня самого озера. В то же время оценка водных ресурсов любой территории основана прежде всего на данных о естественном режиме водных объектов.

Собранный к настоящему времени богатый фактический материал по расходам воды в реках и колебаниям уровня озера Наньси, включая информацию о заборах и сбросах вод, а также существующие методы анализа временных рядов позволяют оценить водные ресурсы региона. В дальнейшем полученные результаты позволят перейти к решению практических задач по управлению количеством и качеством воды в связи со строительством и реконструкцией Великого Китайского канала, 90 км которого проходят через бассейн озера Наньси и само озеро.

**Цель и задачи работы.** Основная цель работы состоит в определении водных ресурсов бассейна озера Наньси в условиях современного климата и возрастающей антропогенной нагрузки.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. выполнить районирование бассейна озера Наньси по особенностям формирования речного стока с учетом естественных факторов и хозяйственной нагрузки на реки и их водосборы;
2. установить соотношения между естественным (природным) и нарушенным стоком рек для выделенных районов и бассейна озера в целом; восстановить естественный сток рек;
3. оценить изменения климата и увлажненности бассейна озера Наньси;
4. выявить закономерности формирования естественного стока рек в зависимости от активных и адаптивных факторов;
5. на основе водного баланса оценить общие водные ресурсы бассейна озера Наньси в условиях изменяющегося климата;

6. определить экологический сток и доступные водные ресурсы исследуемого региона;
7. разработать рекомендации по рациональному использованию поверхностных вод бассейна озера Наньси и его районов.

**Исходные материалы.** Для решения поставленных задач использовались следующие данные:

- ряды средних месячных и годовых значений температуры воздуха ( $T^{\circ}\text{C}$ ), осадков ( $P$ , мм), испаряемости ( $E_0$ , мм). Данные получены по результатам наблюдений на 3 метеорологических станциях для  $T^{\circ}\text{C}$ , 53 станциях для  $P$  и 5 станциях для  $E_0$ ;
- рассчитанные на основе  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $P$ ,  $E_0$  временные ряды индексов гумидности Де-Мартона ( $\alpha^M$ ), аридности Стенца ( $S$ ) и увлажненности территории Иванова ( $K$ );
- ряды речного стока с месячной и годовой дискретностью, полученные по данным наблюдений на 23 гидрологических станциях. Всего взято 13 водосборов с площадями от 317 до 6123 км<sup>2</sup>, относящихся к категории средних и малых;
- ряды средних месячных и годовых объемов воды в озере Наньси по данным наблюдений на 4 озерных постах;
- ряды расходов воды в р. Хуанхэ по наблюдениям на 6 шлюзах и расходы воды из озера Наньси по данным одного шлюза.

Для всех перечисленных показателей климата и гидрологического режима длительность периода наблюдений составила 40 лет (с 1968 по 2007 гг.). Для бассейна р. Хуанхэ привлекались наблюдения над осадками с 1951 по 2008 гг.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались следующие методы:

1. метод водного баланса;
2. методы теории периодически – коррелированных случайных процессов (ПКСП);
3. метод квантильного анализа;
4. методы регрессии и авторегрессии – скользящего среднего (АРСС);
5. методы линейной и низкочастотной фильтрации Баттерворта.

**На защиту выносятся:**

1. районирование бассейна озера Наньси по особенностям формирования речного стока с учетом хозяйственной нагрузки;
2. уравнения руслового водного баланса для основных рек выделенных районов;
3. особенности изменений климата и увлажненности территории;
4. закономерности формирования естественного стока бассейна озера Наньси и функциональные зависимости стока от активных и адаптивных факторов;
5. характер внутригодовых, многолетних и долгопериодных изменений речного стока;
6. оценка общих и доступных ресурсов поверхностных вод, а также экологического стока;
7. практические рекомендации по рациональному использованию водных ресурсов бассейна озера Наньси.

### ***Научная новизна работы.***

1. впервые в бассейне озера Наньси выделено три района с различным сочетанием естественных и антропогенных факторов формирования речного стока;
2. впервые для районов с интенсивным развитием хозяйственной деятельности на основе предложенных уравнений руслового водного баланса восстановлен естественный сток рек;
3. впервые на единой методологической основе дана оценка внутригодовых, многолетних и долгопериодных колебаний основных показателей климата и увлажненности территории, речного стока и изменений объема воды в озере Наньси;
4. впервые для бассейна озера Наньси и его районов установлены функциональные зависимости естественного речного стока от температуры воздуха и осадков; определены климатические условия, при которых произойдет существенное уменьшение (прекращение) стока;
5. впервые установлены функциональные зависимости речного стока от факторов подстилающей поверхности; предложены расчетные уравнения для определения стока неизученных рек;
6. впервые дана оценка общих и доступных водных ресурсов бассейна озера Наньси и его районов, а также экологического стока;
7. предложены практические рекомендации по рациональному использованию водных ресурсов.

***Достоверность результатов работы*** обоснована:

- использованием большого объема данных Управления водными ресурсами бассейна озера Наньси, Метеорологического Управления г. Цзинин и Гидрологического Управления г. Цзинин;
- применением метода водного баланса;
- использованием современных статистических методов анализа и обобщения временных рядов.

### ***Практическая значимость работы.***

Результаты работы могут быть внедрены в оперативную службу водных ресурсов бассейна озера Наньси, а также для других районов КНР с интенсивным развитием хозяйственной деятельности. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при преподавании таких дисциплин как гидрология суши и водные ресурсы, а также дисциплины рациональное использование и охрана водных объектов. Результаты работы могут быть полезны и при выполнении научных проектов в области гидрометеорологических и экологических исследований.

***Апробация работы.*** Основные положения работы докладывались в Управлении водными ресурсами бассейна озера Наньси (Китай, 2008), в Гидрологическом Управлении г. Цзинин (Китай, 2008), на Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (Санкт-Петербург, 2009), на итоговой сессии Ученого совета РГГМУ по результатам научных работ 2009 года (2010).

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 5 научных работах, четыре из них в журналах, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК.

**Личный вклад автора.** Автором проведены полевые исследования, осуществлены обработка и анализ собранных данных, обобщены сведения из литературных источников, получены основные научные результаты, сформулированы выводы и практические рекомендации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и приложений, изложена на 121 странице, включает 48 рисунков, 23 таблицы, в том числе рисунки и таблицы приложений, и библиографию из 64 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы; сформулированы цель и задачи исследования; приведены положения и результаты, выносимые на защиту; показана научная новизна и практическая ценность работы.

**Во первой главе** «Исследование территории» описываются общие физико-географические условия и гидрологическая изученность бассейна озера Наньси, выбирается расчетный период.

**Общая характеристика района.** Бассейн озера Наньси расположен на востоке Китая и находится между реками Хуанхэ и Янцзы. На севере бассейн граничит с бассейном р. Хуанхэ, на юге заканчивается выходом к каналу, ведущему к р. Хуайхэ. Протяженность с юга на север – 175 км, с востока на запад – 252 км, занимает площадь 31,5 тыс. км<sup>2</sup>. Он обеспечивает водой 22 миллиона человек и является экономически развитым индустриальным районом, валовой внутренний продукт в 2009 г. составил 80 млрд. долл.

В орографическом отношении территория бассейна озера Наньси делится на две части: большую – равнинную (западный район) и меньшую – возвышенную (восточный район). В восточной части бассейна высота над уровнем море колеблется от 150 до 30 м, на западе и в устьевой части высотные отметки снижаются до 30 – 70 м от уровня моря. Бассейн находится в субтропическом поясе с ярко выраженным континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет 14,0 °С, значения осадков уменьшаются с юго-востока (800 мм) на северо-запад (600 мм), среднегодовая испаряемость изменяется с юга на север от 800 до 1200 мм.

**Гидрологическая изученность.** По величине озеро Наньси занимает 10-е место среди китайских озер. Оно является самым крупным озером на севере Китая и центральным регулирующим звеном региона. Площадь озера 1270 км<sup>2</sup>, максимальный объем воды составляет 5,4 км<sup>3</sup> при средней глубине 4,2 м. С 1960-го года в возвышенном районе построили четыре больших и 3 средних водохранилища, в районе насчитывается ещё 51 малое водохранилище и 236 маленьких водохранилищ. Суммарные объемы воды водохранилищ составляют 0,92 км<sup>3</sup>. На территории насчитывается 91 река, 10 рек имеют длину от 50 до 100 км, 3 реки – от 101 до 200 км.

В бассейне озера Наньси действуют 53 гидрометеорологических поста. Из них на 3 метеорологических постах измеряются осадки и температура воздуха, на 50 гидрометеорологических постах – осадки и испаряемость, на 23 речных гидрологических постах – сток рек, на 4 озерных постах – уровень озер (рисунок 1).

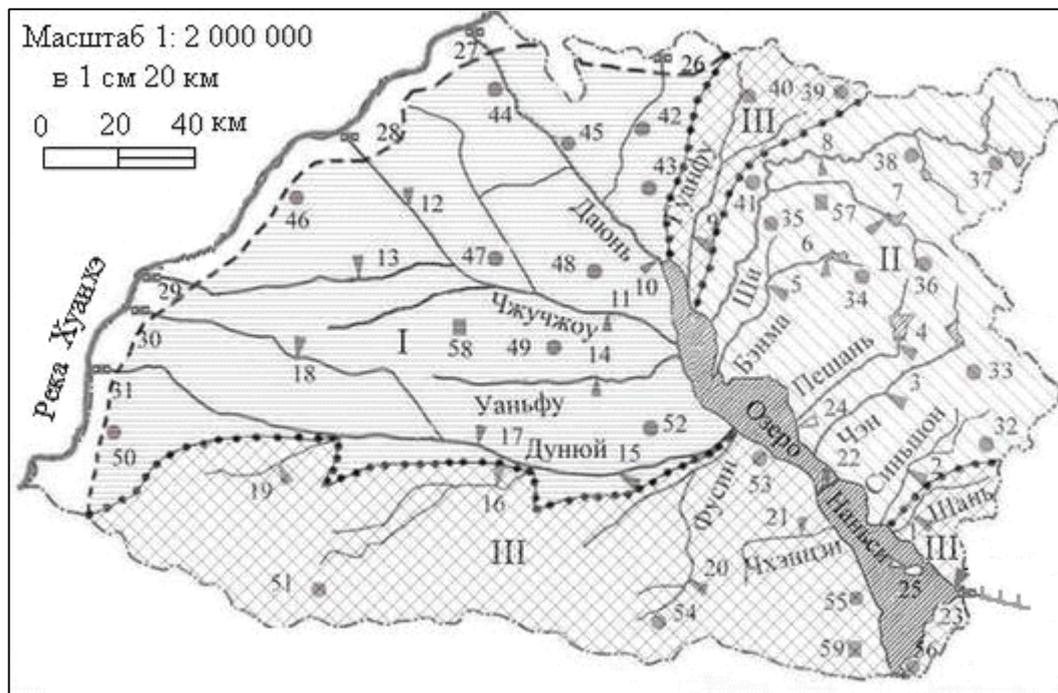


Рисунок 1 – Схема расположения гидрометеорологических постов в бассейне озера Наньси

■ – метеорологический пост, ● – гидрометеорологический пост, ▼ – речной гидрологический пост, ▽ – озерный пост, ☒ – шлюз, --- – граница водораздела р. Хуанхэ, ... – границы районов, I – III – районы с различным характером использования вод.

В бассейне имеются непрерывные ряды наблюдений за осадками, испаряемостью, температурой воздуха, расходами воды, уровнем озера Наньси и уровнем водохранилищ продолжительностью до 40 лет (с 1968 до 2007 гг.). Также наблюдаются расходы воды в р. Хуанхэ по 6 шлюзам и расходы воды из озера Наньси по одному шлюзу за период 1968 – 2007 гг.

**Выбор расчетного периода.** Вычисление среднего по бассейну озера Наньси слоя осадков производилось по данным 53 постов с использованием метода полигонов. Анализ нормированной разностной интегральной кривой слоя осадков (рисунок 2 а) показал, что в период с 1968 по 2007 гг. наблюдался один цикл водности с 1975 по 2007 гг., состоящий из маловодной и многоводной фаз. Анализ нормированных разностных интегральных кривых расходов воды для 23 постов (рисунок 2 б) показал, что в целом для бассейна озера Наньси характерны синхронные колебания стока, которые повторяют аналогичные колебания слоя осадков.

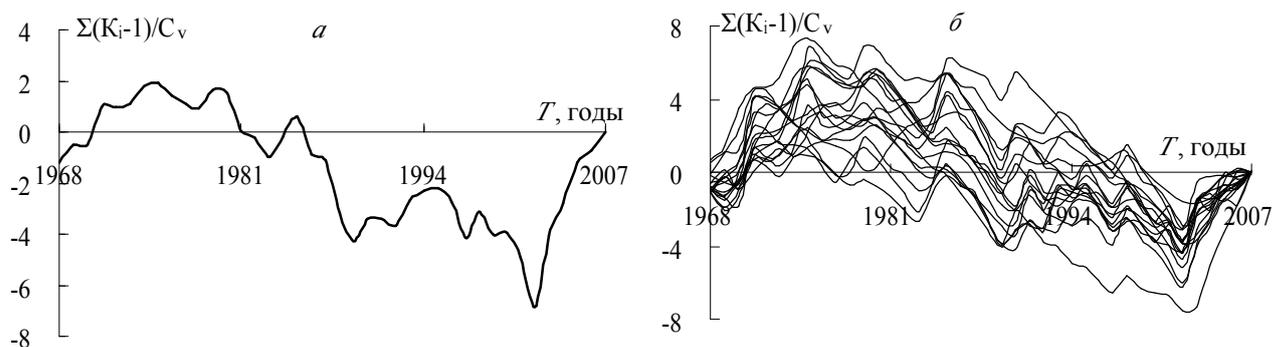


Рисунок 2 – Нормированные разностные интегральные кривые осадков (а) и наблюдаемых расходов воды для постов бассейна (б) за период 1968 – 2007 гг.

Совместный анализ нормированных разностных интегральных кривых слоя осадков бассейна р. Хуанхэ (в низовье) за период 1951 – 2008 гг. и бассейна озера Наньси за период 1975 – 2007 гг. показал, что в обоих районах наблюдались синхронные колебания. Поэтому в работе для исследований выбран период 1975 – 2007 гг.

**Во второй главе** «Климат и увлажненность территории» анализируются особенности многолетней изменчивости и внутригодового хода показателей климата и увлажненности.

**Многолетние колебания основных характеристик климата и увлажнения территории.** Используются как единичные показатели – температура воздуха ( $T^{\circ}\text{C}$ ), атмосферные осадки ( $P$ , мм), испаряемость ( $E_0$ , мм), так и интегральные показатели – индексы Де-Мартона ( $\alpha^M = P / (T^{\circ}\text{C} + 10)$ ), Стенца ( $S = E_0 / P$ ), Иванова ( $K = P / E_0$ ). Для обработки и анализа привлекаются ряды средних годовых значений и ряды значений для холодного и теплого периодов года.

Каждый временной ряд рассматривается как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принимается функция распределения  $F(x_p)$  и её квантили  $x_p$ . Наибольший интерес представляют пять квантилей  $x_{\min}$ ,  $x_{0,25}$ ,  $x_{0,5}$ ,  $x_{0,75}$ ,  $x_{\max}$ . В качестве оценки центра распределения данных в выборке в работе также рассчитываются среднее арифметическое значение  $m$  и трёхсреднее значение  $T^*$ , а в качестве оценок масштаба распределения – дисперсия  $D$  или стандарт  $\sigma$  (таблица 1). Сопоставление среднего значения  $m$  с медианой  $X_{0,5}$  и стандарта  $\sigma$  с интерквантильным расстоянием  $0,74Q$  показало, что распределение средних годовых значений рассматриваемых показателей климата близко к нормальному.

Для годовой температуры воздуха все рассчитанные оценки центра распределения данных в выборке ( $m$ ,  $T^*$  и  $T_{0,5}$ ) совпадают и составляют  $14,1^{\circ}\text{C}$ . Аналогичная картина наблюдается и для температуры теплого периода года (IV – X). Значения  $m$ ,  $T^*$  и  $T_{0,5}$  равны между собой ( $21,5^{\circ}\text{C}$ ). Различия перечисленных оценок для холодного периода года (XI – III)

минимальны и находятся в пределах их выборочной изменчивости. Для годовых осадков значения  $m$  и  $T^*$  совпадают и составляют 660 мм. Для осадков холодного и теплого периодов расхождения между  $m$ ,  $T^*$  и  $P_{0,5}$  находятся в пределах точности их измерений. Для ряда годовой испаряемости значения медианы и трехсреднего значения совпадают и составляют 1065 мм. Наименьшие различия между  $m$ ,  $T^*$  и  $E_{0,5}$  наблюдаются для холодного периода года, наибольшие – для теплого периода года.

Таблица 1 Статистические характеристики многолетней изменчивости показателей климата и увлажненности, осредненных для бассейна озера Наньси с 1975 по 2007 гг.:  $a$  – за год;  $b$  – для холодного периода;  $c$  – для теплого периода

Название	Осадки $P$ , мм			Температура воздуха $T$ , °C			Испаряемость $E_0$ , мм		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
$X_{\min}$	372	23	333	13,2	2,5	20,5	937	162	747
$X_{0,25}$	566	49	518	13,8	3,4	21,1	1032	188	829
$X_{0,50}$	656	69	581	14,1	3,7	21,5	1065	205	859
$X_{0,75}$	763	98	667	14,4	4,2	21,8	1098	218	910
$X_{\max}$	1060	162	939	15,0	5,6	22,3	1222	232	1005
$R$	688	139	606	1,8	3,1	1,8	285	70	258
$Q$	197	49	149	0,6	0,8	0,7	66	30	81
$X_B$	1059	172	891	15,4	5,5	22,9	1197	263	1032
$X_H$	271	-25	295	12,8	2,1	20,1	933	143	708
$T^*$	660	71	587	14,1	3,8	21,5	1065	204	864
$A_s$	0,04	0,09	0,08	-0,03	0,10	-0,07	0,01	-0,07	0,13
$m$	660	76	584	14,1	3,9	21,5	1070	202	868
$D$	21427	1135	18438	0,3	0,6	0,2	5124	365	4038
Название	Индекс Де-Мартона $\alpha^M$ , мм/°C			Индекс Стенца $S = E_0 / P$			Индекс Иванова $K = P / E_0$		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
$X_{\min}$	15,5	1,6	10,5	1,03	1,00	0,97	0,32	0,11	0,36
$X_{0,25}$	23,2	3,6	16,3	1,37	2,06	1,25	0,51	0,23	0,55
$X_{0,50}$	27,5	4,9	18,1	1,66	2,96	1,47	0,60	0,34	0,68
$X_{0,75}$	31,8	6,4	21,0	1,96	4,32	1,82	0,73	0,49	0,80
$X_{\max}$	43,3	11,6	30,2	3,10	8,83	2,81	0,97	1,00	1,03
$R$	27,8	10,0	19,7	2,07	7,83	1,84	0,65	0,89	0,67
$Q$	8,6	2,8	4,7	0,59	2,26	0,57	0,22	0,26	0,25
$X_B$	44,7	10,6	28,1	2,85	7,71	2,68	1,06	0,88	1,18
$X_H$	10,3	-0,6	9,3	0,49	-1,33	0,40	0,18	-0,16	0,18
$T^*$	27,5	5,0	18,4	1,66	3,08	1,50	0,61	0,35	0,68
$A_s$	0,01	0,04	0,12	0,01	0,10	0,11	0,09	0,08	-0,02
$m$	27,3	5,4	18,6	1,73	3,36	1,59	0,62	0,39	0,68
$D$	37,0	5,6	18,9	0,25	3,12	0,23	0,03	0,04	0,03

Наблюдается хорошая согласованность рядов годовых значений  $P$ ,  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $E_0$  со значениями для теплого периода, а также – хорошая согласованность рядов годовых значений  $T^{\circ}\text{C}$  со значениями для холодного периода года.

Низкочастотная фильтрация Баттерворта показала, что для годовых значений температуры воздуха тренд на повышение наблюдается с конца 80-х годов XX века. Так, средний уровень годовой температуры воздуха в 1978 – 1986 гг. был  $13,9^{\circ}\text{C}$ , а в 2007 г. –  $14,8^{\circ}\text{C}$  (увеличение составило  $0,9^{\circ}\text{C}$ ). Это повышение связано в большей степени с ростом температуры холодного периода года, чем теплого. Средний уровень температуры воздуха за теплый период 1975 – 2007 гг. увеличился на  $0,4^{\circ}\text{C}$ , а за холодный – на  $1,5^{\circ}\text{C}$ .

Средний уровень годовых осадков в 1982 – 1984 гг. году составил 634 мм, а в 2007 г. – 754 мм (увеличился на 120 мм). Средний уровень осадков за теплый период года в 1986 – 1987 гг. составил 566 мм, в 2007 г. вырос до 658 мм (увеличился на 92 мм). Средний уровень осадков за холодный период года в 1975 гг. составил 49 мм, в 2007 г. вырос до 96 мм (увеличился на 47 мм).

Графики временного хода годовых значений индексов  $\alpha^M$  и  $K$  совпадают и повторяют изменчивость осадков (рисунок 3 а, в). Для индекса  $S$  также наблюдается хорошая, но обратная зависимость от осадков (рисунок 3 б).

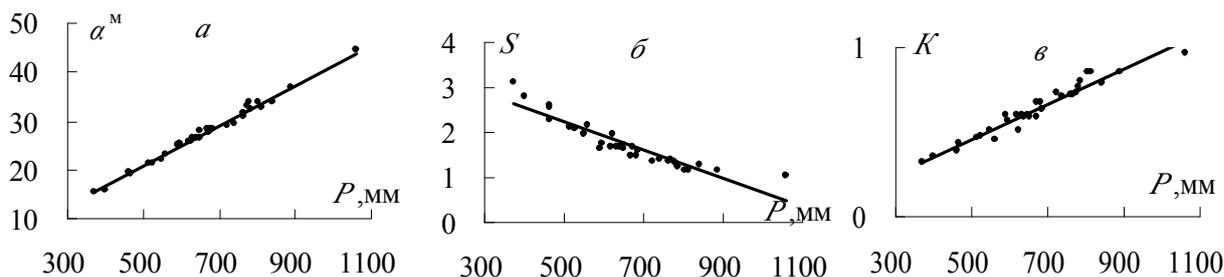


Рисунок 3 – Связь годовых значений показателей климата для бассейна озера Наньси за период с 1975 г. по 2007 г.: а.  $\alpha^M = f(P)$ ; б.  $S = f(P)$ ; в.  $K = f(P)$

Совместный анализ результатов линейной и низкочастотной фильтрации Баттерворта рядов средних годовых значений  $\alpha^M$  и  $S$  показал, что в период с 1975 по 2007 гг. в бассейне озера Наньси наблюдалось незначительное увеличение увлажненности территории (увеличение гумидности климата) и, соответственно, уменьшение аридности климата. Так, средний уровень индекса  $\alpha^M$  в 1980 – 1986 гг. составил  $26,6 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ , а в 2007 г. –  $30,3 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$  (увеличился на  $3,7 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ ). Средний уровень индекса  $\alpha^M$  за теплый период года в 1984 – 1989 гг. составил  $18,1 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ , в 2007 г. вырос до  $20,6 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$  (увеличился на  $2,5 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ ). Средний уровень индекса  $\alpha^M$  за холодный период года в 1975 гг. составил  $3,7 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ , в 2007 г. вырос до  $6,3 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$  (увеличился на  $2,6 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$ ).

Увлажненность бассейна озера Наньси существенно меняется в пределах года. Так, в холодный период с минимальным количеством осадков (XI – III) значение медианы индекса  $\alpha^M$  составляет  $4,9 \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}$  (при средней

величине  $\alpha^M = 5,4$  мм/°С). При этом в январе – месяце минимальных значений температуры воздуха и минимальном количестве осадков значение медианы  $\alpha^M$  уменьшается до 0,5 мм/°С. В теплый период года при максимальном количестве осадков (IV – X) значение медианы индекса  $\alpha^M$  достигает 18,1 мм/°С (при средней величине  $\alpha^M = 18,6$  мм/°С).

В зависимости от величины индекса  $K$ , бассейн озера Наньси можно отнести к зоне умеренного увлажнения. Однако для холодного периода года здесь наблюдаются условия, близкие к условиям зоны недостаточного или скудного увлажнения.

**Внутригодовые колебания основных показателей климата и увлажненности.** Внутригодовой ход осадков имеет вид одновершинной кривой с основным максимумом летом (июль) и минимумом зимой (январь). Аналогичный вид характерен и для внутригодового хода индексов  $\alpha^M$  и  $K$ . Максимум на графиках оценок дисперсии  $D^*(t)$  для рассмотренных процессов запаздывает на 1 мес. по сравнению с максимумом на кривых оценок математического ожидания  $m^*(t)$ . Это говорит о том, что в отдельные годы максимальные величины осадков, гумидности климата и увлажненности наблюдаются не только в июле, но и в августе. Максимальные значения температуры воздуха и испаряемости наблюдаются в теплый период года. С апреля по октябрь включительно температура превышает 10°С. Обратный ход графика  $D^*(t)$  по отношению к графику  $m^*(t)$  свидетельствует о большей изменчивости от года к году зимней температуры, чем летней. График  $m^*(t)$  индекса  $S$  имеет вид двухвершинной кривой с двумя максимумами в марте и ноябре и основным минимумом в июле – месяце максимальной температуры воздуха.

Корреляционные зависимости внутригодовой изменчивости  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  мес. для всех процессов достаточно быстро затухают на начальном участке коррелограммы и продолжают флуктуировать с незначительными отклонениями от нулевого уровня в дальнейшем.

**В третьей главе** «Гидрологический режим рек» предложены уравнения для восстановления естественного стока рек, построены карты распределения осадков и стока воды, рассмотрены особенности многолетней изменчивости и внутригодового хода речного стока.

**Естественный водный режим рек.** На примере бассейна озера Наньси можно исследовать способы оценки элементов водного баланса и определения водных ресурсов рек и озер, испытывающих очень большие нагрузки на водные системы в связи с удовлетворением потребностей в воде населения, сельского хозяйства и промышленности.

В общем виде речной сток исследуемой территории можно представить в следующем виде:

$$h_e - h_o - h_{\text{п}} - h_{\text{хб}} - h_{\text{ив}} + h_{\text{в}} + h_{\text{х}} = h_{\text{н}}, \quad (1)$$

где  $h_e$  – естественный сток;  $h_o$  – сток, забираемый на орошение;  $h_{\text{п}}$  – сток, забираемый промышленностью;  $h_{\text{хб}}$  – сток, забираемый на хозяйственно-бытовые нужды;  $h_{\text{ив}}$  – потери воды на испарение из водохранилищ;  $h_{\text{в}}$  – возвратные

воды;  $h_x$  – приток воды из р. Хуанхэ;  $h_n$  – наблюдаемый сток в створе измерений.

За рассматриваемый период потери воды на орошение происходили ежегодно. Система орошения практически не менялась. Поэтому значения  $h_o$  могут быть приняты как средние за весь период. Учет забора речных вод на промышленное водоснабжение происходит лишь для больших производств. Водозаборы для питьевого и хозяйственно-бытового назначения учитываются также в основном для больших населенных пунктов. Потери на испарение с поверхности водохранилищ могут быть приняты по данным о испарении с озера Наньси при наблюдениях на постах гидрометслужбы. Данные о количестве возвратных вод могут быть рассчитаны воднобалансовым методом. Наиболее надежными являются данные о притоке воды из р. Хуанхэ по результатам измерения на шлюзах.

Уравнение руслового водного баланса для района I будет:

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b - h_x, \quad (2)$$

где  $h_{от}$  – суммарный отток воды из русла

Естественный сток рек района II можно оценить по уравнению:

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b + h_{ив}, \quad (3)$$

где  $h_{ив}$  – потери воды на испарение из водохранилищ.

При сезонном и более коротком сроке регулирования стока водохранилищами в уравнении появляется еще один параметр ( $h_{вд}$ ), показывающий изменение стока из водохранилища в результате сброса воды или ее задержания в водохранилище:

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b + h_{ив} \pm h_{вд}, \quad (4)$$

В районе III отсутствуют водохранилища и переброска стока, поэтому уравнение руслового водного баланса несколько упрощается:

$$h_e = h_n + \sum h_{от} - \sum h_b. \quad (5)$$

Для построения карты среднемноголетнего слоя осадков использовался метод изогьет. Распределение осадков по территории бассейна озера Наньси показано на рисунке 4 а.

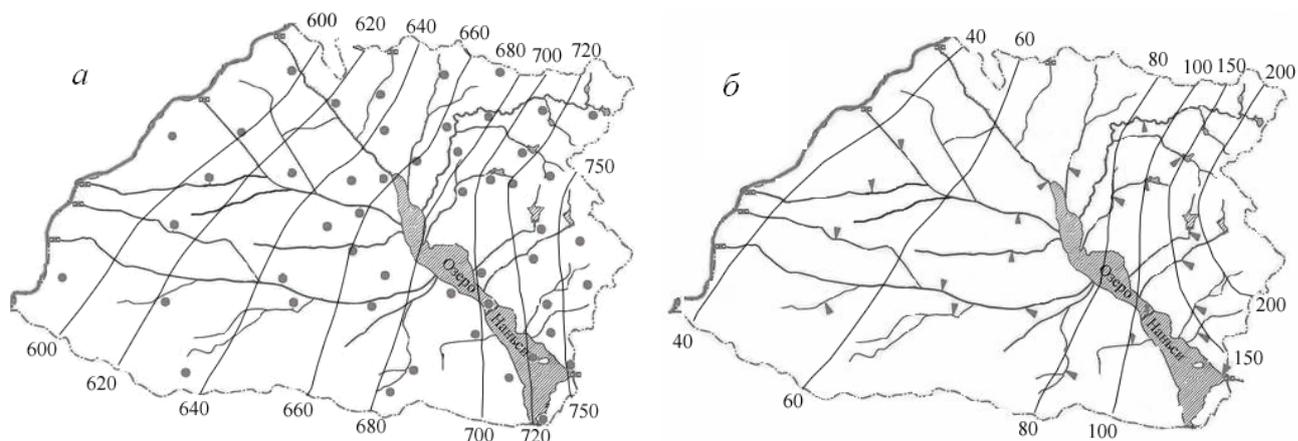


Рисунок 4 – Схематические карты среднемноголетнего слоя осадков (а) и слоя стока (б) в мм для бассейна озера Наньси за период 1975 – 2007 гг.

Среднегодовые суммы осадков в среднем по всему бассейну озера Наньси составляют от 600 до 750 мм за 1975 – 2007 гг. Среднемноголетние значения осадков уменьшаются с юго-востока (750 мм) на северо-запад (600 мм). Исследование влияния возвышенностей, находящихся в районе II, на выпадение осадков показывает, что наибольшее количество осадков выпадает именно в районе II. Исследование изменения речного стока по территории бассейна озера Наньси показывает, что значения естественного годового стока рек меняются в соответствии с изменением осадков. Наибольшие значения стока имеются в районе II, достигающие 200 мм, а наименьшие (40 мм) в долине р. Хуанхэ (рисунок 4 б).

Исследование связи годового стока с площадью водосбора показывает наличие достаточно четкой зависимости стока от размеров площади водосбора. На рисунке 5 представлены графики связи для всех трех районов. Связь является весьма тесной с коэффициентами корреляции  $r = 0,80$ . Поэтому её можно описать уравнением  $Q = aF$ , определив значения “ $a$ ” для района I равное 0,0019, для района II – 0,0053 и для района III – 0,0023.

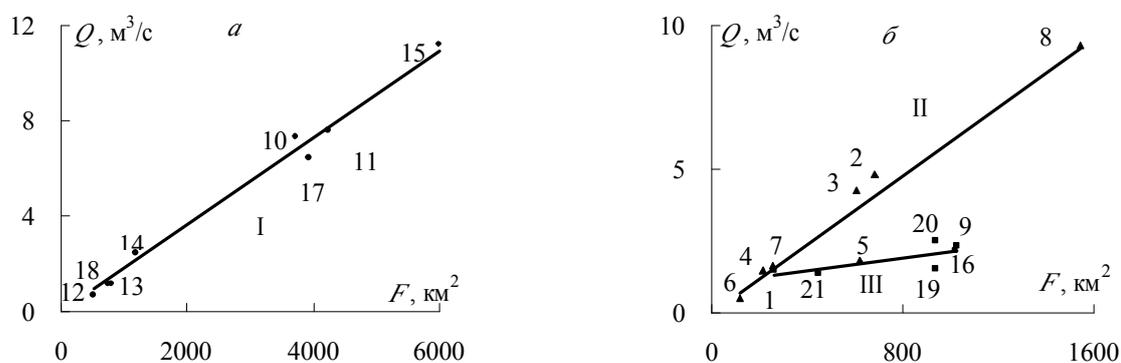


Рисунок 5 – Связь годового стока с площадью водосбора для района I (а) и районов II, III (б): 2 – номер поста, I – номер района

В таблице 2 показаны результаты расчетов для определения среднего по району расхода воды.

Таблица 2 Расчетные нормы стока воды районов за период 1975 – 2007 гг.

Название района	Площадь $F$ , км <sup>2</sup>	Осадки $P$ , мм	Расход воды $Q$ , м <sup>3</sup> /с	
			Рисунок 4	Рисунок 5
Район I	14500	634	27,3	27,6
Район II	6800	712	34,4	35,9
Район III	8930	663	22,4	20,5
Бассейн озера Наньси	30230	660	84,1	84,0

**Особенности внутригодового хода речного стока.** Для естественного стока рек бассейна озера Наньси характерные фазы водного режима выражены четко. Из года в год повторяются летний дождевой паводок и зимняя и осенняя межени. Меженный сток в районе II наблюдается ежегодно, но в районах I и III в засушливые годы сток отсутствует.

Графики  $m^*(t)$  слоя стока имеют вид одновершинных кривых с основным максимумом летом (август) и минимумом зимой (февраль). Эти графики практически повторяют все особенности внутригодового хода осадков на бассейн озера, что свидетельствует о паводочном режиме рек рассматриваемого района. Различие состоит лишь в том, что максимум и минимум расходов воды запаздывают на 1 мес. по отношению к соответствующим экстремумам осадков. Следует обратить внимание на то, что самый большой сток наблюдается с водосбора II района, а самый маленький – с водосбора I района. Так, в августе слой стока во II районе достигает 45,3 мм (при значении  $h_e$  в I районе 18,7 мм). В феврале сток с водосбора II района составляет 2,4 мм, а с водосбора I района – 0,1 мм.

В работе для естественного слоя стока построен средний многолетний гидрограф за водохозяйственный год, на котором выделены два сезона: лимитирующий период (1.XI – 30.IV) и нелимитирующий период (1.V – 31.X).

**Особенности многолетней изменчивости речного стока.** Расчет параметров кривых обеспеченности слоя стока бассейна озера Наньси показал, что  $\bar{h} = 88$  мм,  $C_v = 0,49$ . Ординаты аналитической кривой биномиального распределения стока следующие:  $P\% = 1$  и  $h = 219$  мм,  $P\% = 25$  и  $h = 112$  мм,  $P\% = 50$  и  $h = 85$  мм,  $P\% = 75$  и  $h = 57$  мм,  $P\% = 99$  и  $h = 20$  мм.

Ряд средних годовых значений слоя стока, осредненного для бассейна озера Наньси за период с 1975 по 2007 гг., приведен на рисунке 6.

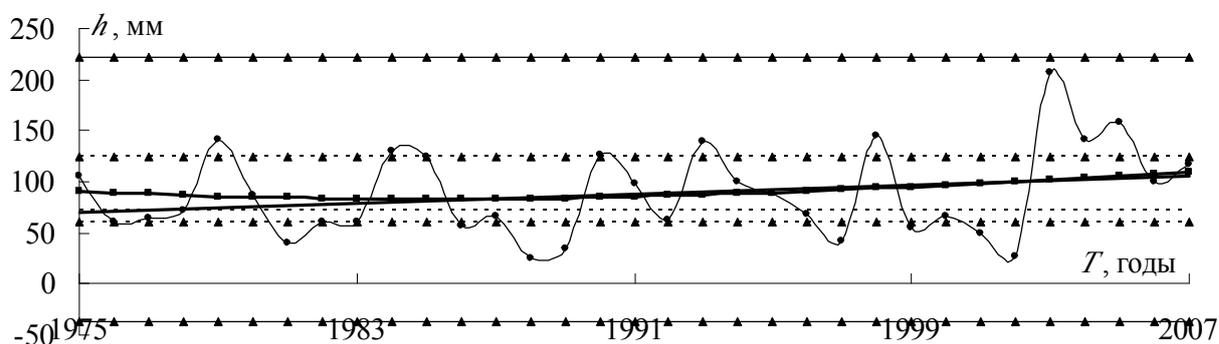


Рисунок 6 – Ежегодные значения слоя стока бассейна с 1975 по 2007 гг.

Тренд на повышение наблюдается с конца 80-х годов XX века. Средний уровень слоя стока в 1982 – 1988 гг. году составил 83 мм, а в 2007 г. – 110 мм (увеличился на 27 мм). Средний уровень слоя стока за нелимитирующий период года в 1982 – 1986 гг. составил 77 мм, в 2007 г. вырос до 101 мм (увеличился на 24 мм). Средний уровень слоя стока за лимитирующий период года в 1985 – 1988 гг. составил 4,8 мм, в 2007 г. вырос до 8,1 мм (увеличился на 3,3 мм).

**В четвертой главе** «Водные ресурсы и их рациональное использование» рассмотрены закономерности формирования водного баланса и регулирующей способности озера Наньси и его водосбора, дана оценка водных ресурсов в условиях изменяющегося климата, изучены доступные ресурсы поверхностных вод территории.

**Водный баланс озера Наньси и его водосбора.** Приходная часть водного баланса бассейна формируется за счет естественного стока  $h_e$  и переброски вод р. Хуанхэ  $h_x$ , расходная часть – определяется изъятием стока на хозяйственные нужды  $h_{от}$  и стоком из озера Наньси  $h_n$ . В таблице 3 приведены параметры составляющих водного баланса.

Таблица 3 Средние многолетние значения составляющих водного баланса бассейна озера Наньси за период 1975 – 2007 гг.

Район	Приход $h_{п}$ , мм/км <sup>3</sup>		Расход $h_{р}$ , мм/км <sup>3</sup>	
	Естественный сток $h_e$	Забор вод из р. Хуанхэ $h_x$	Сток с бассейна $h_n$	Изъятый сток $h_{от}$
I	60/0,87	83/1,20	58/0,84	85/1,23
II	157/1,07	–	93/0,63	64/0,44
III	77/0,69	–	45/0,41	31/0,28
I – III	88/2,63	40/1,20	63/1,88	65/1,95
	3,83 км <sup>3</sup>		3,83 км <sup>3</sup>	

Отметим важную для бассейна роль переброски вод р. Хуанхэ в объеме 1,20 км<sup>3</sup>/год. Без этой подпитки приходная часть водного баланса составит 2,63 км<sup>3</sup>/год. При сохранении прежних объемов изъятия вод на хозяйственные нужды 1,95 км<sup>3</sup>/год из бассейна будет забираться 74 % вод поверхностного стока. Это неизбежно приведёт к еще более глубокой перестройке экосистемы.

Внутри года водный баланс бассейна неоднороден из-за разнонаправленности режимов формирования стока и водопотребления. Внутригодовая изменчивость параметров, формирующих водный баланс бассейна, показана на рисунке 7.

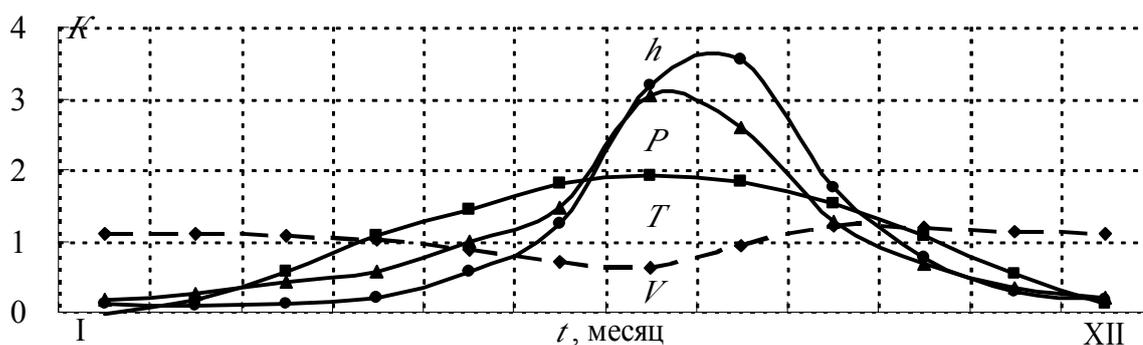


Рисунок 7 – Внутригодовое распределение анализируемых процессов для бассейна озера Наньси за период 1975 – 2007 гг.:

$T^{\circ}\text{C}$  – температура;  $P$  – осадки;  $h$  – слой стока;  $V$  – объем воды озера Наньси

Уравнение среднемноголетнего водного баланса озера Наньси можно записать в следующем виде:

$$\bar{H} = \bar{h}_{пр} - \bar{h}_{ст} + \bar{h}_{ос} - \bar{h}_{ис} + \Delta h, \quad (6)$$

где  $\bar{H}$  – уровень озера Наньси, мм;  $\bar{h}_{пр}$  – поверхностный приток в озеро Наньси, мм;  $\bar{h}_{ст}$  – поверхностный сток из озера Наньси, мм;  $\bar{h}_{ос}$  – осадки,

поступающие на поверхность озера Наньси, мм;  $\bar{h}_{ис}$  – испарение с поверхности озера Наньси, мм;  $\Delta h$  – невязка баланса, мм.

Среднемноголетняя невязка баланса озера Наньси за период 1975 – 2007 гг. составляет 0,27 км<sup>3</sup>, причина – подземный приток в озеро Наньси.

### Оценка регулирующей способности озера Наньси и его водосбора.

В качестве исходной информации для количественной оценки регулирующей способности озера Наньси и его водосбора использованы средние месячные значения осадков, притока воды в озеро Наньси и средние месячные объемы воды озера Наньси.

Алгоритм анализа исходных реализаций, основанный на выделении из последовательностей средних месячных величин 12 ежегодных подпоследовательностей значений для каждого месяца года, приводит к целесообразности их рассмотрения как многомерного случайного векторного процесса  $\xi_t = \{\xi_{1,t}, \dots, \xi_{12,t}\}^T \equiv \{\xi_{it}\}$ . Опишем каждую компоненту вектора  $\{\xi_{it}\}$  уравнением вида:

$$\xi_{it} = \varphi_{i,1} \xi_{i,t-1} + \varphi_{i,2} \xi_{i+1,t-1} + \varepsilon_{it} + m_i, \quad i=1, \dots, 12, \quad t=1, 2, \dots, N, \quad (7)$$

где  $\xi_{i,t}$  – дискретная последовательность белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_i^2$ ;  $m_i$  – математическое ожидание; параметры авторегрессии  $\varphi_{i,1}$ ,  $\varphi_{i,2}$ . Параметры  $\varphi_{i,1}$  определяются через компоненты матрицы многолетней изменчивости  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  год (рисунок 8), а параметры  $\varphi_{i,2}$  – через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  мес. (рисунок 9) по соотношению  $\varphi_i = K_{i,i+1} / K_{i,i}$ .

Выполненная аппроксимация позволяет в качестве количественных оценок регулирующей способности озера Наньси и его водосбора использовать параметры уравнения (7). Сопоставление параметров  $\varphi_{i,1}$ ,  $\varphi_{i,2}$ , описывающих межгодовую и внутригодовую коррелированность осадков и речного притока, позволяет оценить регулируемую способность водосбора, а сопоставление соответствующих параметров для речного притока и изменений объема воды в озере — регулируемую способность озера.

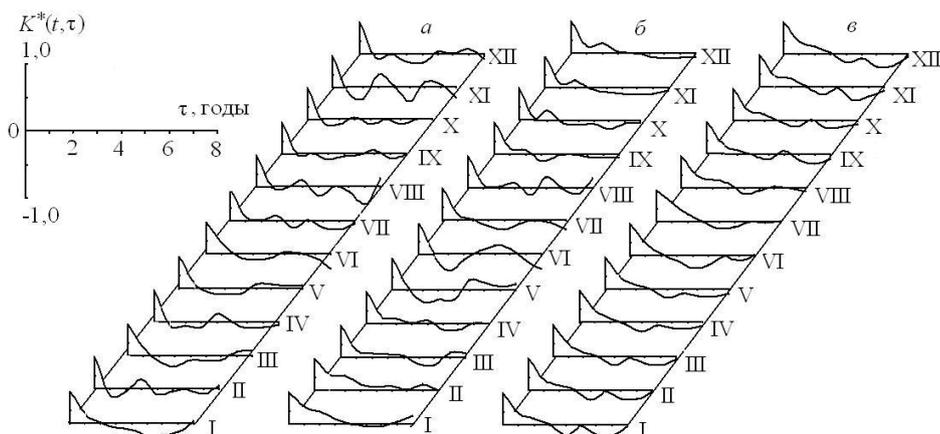


Рисунок 8 – Графики оценок корреляционных зависимостей межгодовой изменчивости анализируемых процессов в бассейне озера Наньси: *a* – суммарные месячные осадки; *б* – ненарушенный суммарный месячный приток воды в озеро Наньси; *в* – объем воды озера Наньси

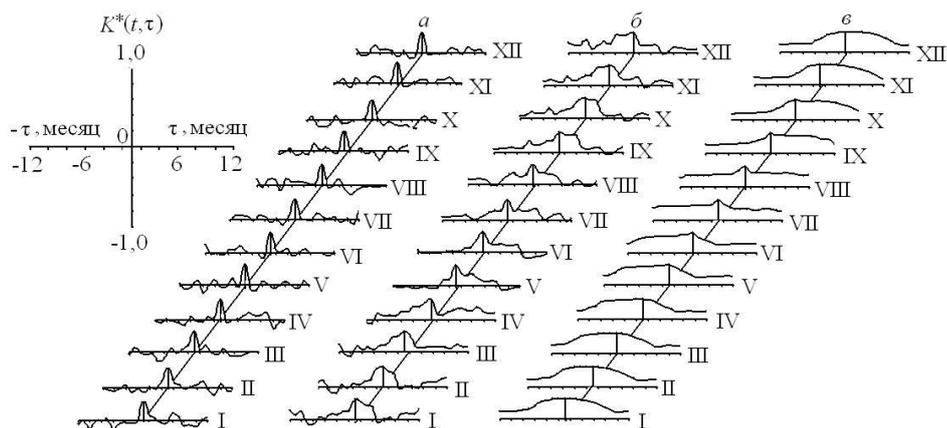


Рисунок 9 – Графики оценок корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости анализируемых процессов в бассейне озера Наньси:  
*a* – суммарные месячные осадки; *б* – ненарушенный суммарный месячный приток воды в озеро Наньси; *в* – объем воды озера Наньси

Оценки параметров  $\varphi_{i,1}^*$  и  $\varphi_{i,2}^*$ , описывающих коррелированность осадков, ниже уровня значимости (0,6) для всех месяцев года. Параметры  $\varphi_{i,2}^*$ , аппроксимирующие внутригодовые связи речного притока в озеро, превышают уровень значимости с января по март и с сентября по ноябрь, т.е. в периоды, когда реки находятся на грунтовой питании. Параметры  $\varphi_{i,1}^*$ , характеризующие межгодовые зависимости речного притока, остаются ниже уровня значимости. Таким образом, регулирующая способность водосбора сказывается преимущественно в диапазоне внутригодовой изменчивости в период межени. Параметры  $\varphi_{i,2}^*$ , описывающие внутригодовую коррелированность объемов воды в озере существенно превышают уровень значимости для всех месяцев года, приближаясь к 1,0 в ноябре – апреле. Параметры  $\varphi_{i,1}^*$ , аппроксимирующие межгодовую коррелированность процесса превышают уровень значимости только в июле. Таким образом, регулирующая роль озера прослеживается круглый год.

Выполненный анализ оценок  $K^*(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  мес. и  $K^*(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  год показал, что только для изменчивости объема воды в озере характерна существенная коррелированность значений внутри года. Отмеченные особенности связаны с наличием во временной структуре процесса долгопериодного (низкочастотного) колебания уровня наполнения озера, на фоне которого проявляется ритмика годовой цикличности.

Учитывая сказанное, колебания объема озера Наньси целесообразно рассматривать как случайный процесс, представляющий собой сумму двух составляющих – инерционной и сезонной, и в качестве математической модели принять выражение:

$$\zeta(t) = \eta(t) + \xi(t), \quad (8)$$

где  $\eta(t)$  – низкочастотная составляющая;  $\xi(t)$  – составляющая сезонной изменчивости.

## Оценка водных ресурсов в условиях изменяющегося климата.

Поскольку естественный сток является важным элементом обеспечения региона водой, то рассмотрим более подробно особенности его формирования под воздействием режимобразующих факторов – температуры воздуха и осадков.

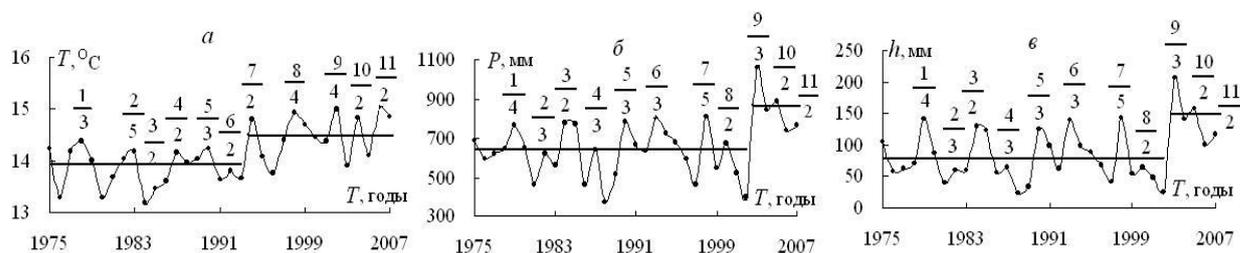


Рисунок 10 – Межгодовая изменчивость и циклы естественного стока бассейна озера Наньси и факторов, формирующих сток:  
*a* – температура воздуха; *б* – осадки; *в* – слой стока

На рисунке 10 выделены регрессивные и трансгрессивные фазы и отмечены характерные циклы межгодовой изменчивости рассматриваемых элементов. Числитель над вершиной означает номер цикла, а знаменатель – его продолжительность. Видно, что временной ход  $h_e$  практически повторяет все особенности временного ряда  $P$  и по долгопериодной изменчивости и по чередованию выделенных циклов. Для температуры воздуха границей раздела регрессивной и трансгрессивной фаз является 1994 г., для осадков и стока – 2003 г. Преобладающий вклад в межгодовую изменчивость вносят двух и трехлетние циклы, циклы больших периодов можно создать комбинацией из них. Несмотря на некоторое временное запаздывание циклов температуры от циклов  $P$  и  $h_e$  их общее число и форма практически идентичны.

На рисунке 11 приведены аппроксимации стока  $h_e$  от осадков для 3-х районов водосбора озера Наньси.

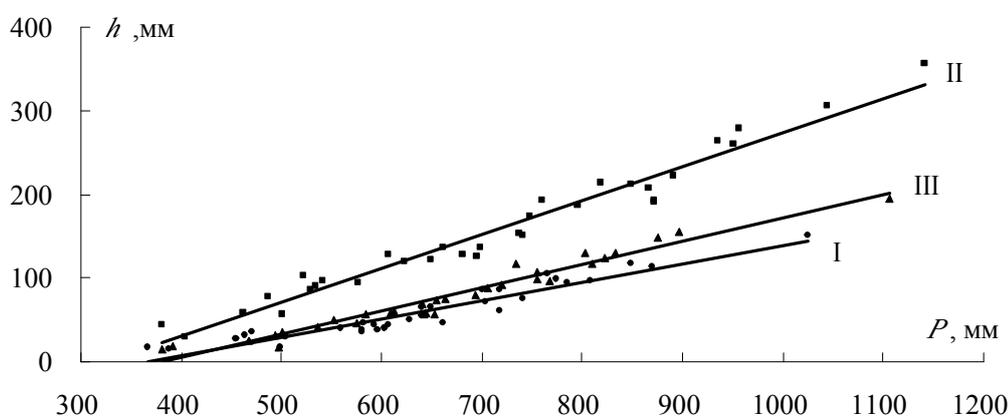


Рисунок 11 – Связь слоя стока с осадками для районов I, II и III

Эти аппроксимации имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} h &= 0,22 P - 80, \text{ для района I,} \\ h &= 0,41 P - 113, \text{ для района II,} \\ h &= 0,28 P - 106, \text{ для района III.} \end{aligned} \quad (9)$$

Минимальные наблюдаемые значения стока соответствуют слою осадков в 368 мм для района I, 382 мм для района III, 392 мм для района II. Их сравнение с расчетными оценками по зависимостям (9) свидетельствует о следующем. При сохранении современного режима температуры и осадков вполне возможно регулярное прекращение стока с водосборов районов I и III. Для района II регулярное прерывание стока возможно при уменьшении осадков на 9,6 %.

Проиллюстрируем зависимость стока от температурного фактора на примере района II для 3-х месяцев, для которых от месяца к месяцу происходит повышение температуры и осадков (май, июнь, июль). Регрессионные зависимости стока от температуры для этих месяцев показаны на рисунке 12.

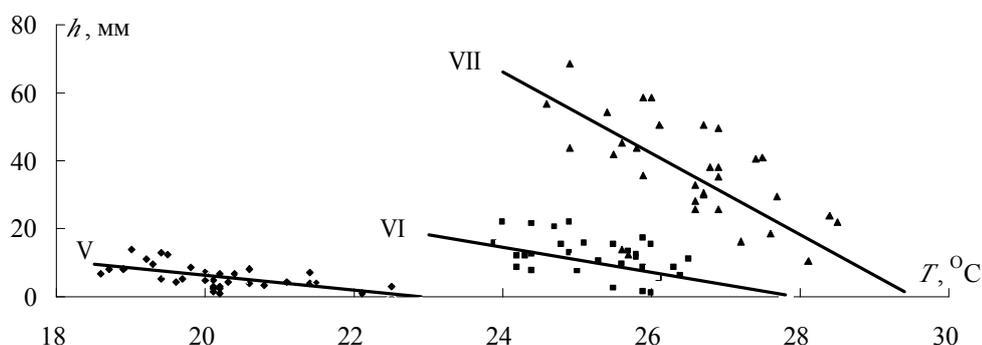


Рисунок 12 – Зависимость слоя стока района II от температуры и от месяца года

С повышением температуры увеличивается зависимость стока от неё: с переходом к более теплому месяцу наклон регрессионной прямой увеличивается. Их функциональный вид следующий:

$$\begin{aligned} h &= 47,8 - 2,08 T, \text{ для мая,} \\ h &= 103 - 3,67 T, \text{ для июня,} \\ h &= 354 - 12,0 T, \text{ для июля.} \end{aligned} \quad (10)$$

Используем полученные зависимости для оценки температурных условий, при которых произойдет значительное уменьшение стока. Расчеты по соотношениям (10) показывают, что прекращение стока в мае произойдет при среднемесячной температуре 23 °С, в июне – при 28 °С, в июле – при 29,5 °С.

Анализ данных и регрессионной зависимости на рисунке 12 показывает, что в современном климате для мая месяца вполне возможно прекращение стока из района II по температурному фактору. Расчеты по соотношениям (10) показывают, что повышение (понижение) температуры воздуха на 1 °С будет сопровождаться уменьшением (увеличением) слоя стока в июне на 3,6 мм, а в июле – на 12 мм.

**Доступные ресурсы поверхностных вод территории.** Расчет доступных поверхностных водных ресурсов основан на следующих принципах: обеспечение устойчивого использования водных ресурсов; учет физико-географических и социально-экономических условий, влияющих на их формирование; обеспечение экологического стока.

Формула расчета доступных ресурсов поверхностных вод имеет вид:

$$Q_d = Q_p - Q_э - Q_{ни}, \quad (11)$$

где  $Q_d$  – доступные поверхностные расходы воды, м<sup>3</sup>/с;  $Q_p$  – поверхностные расходы воды, м<sup>3</sup>/с;  $Q_э$  – экологический сток, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{ни}$  – не используемый сток за нелимитирующий период, м<sup>3</sup>/с.

В настоящее время существуют разные способы определения величины экологического стока. За экологический сток принимается расход воды, составляющий 10% – 15% от среднемесячного расхода воды. Второй способ оценки экологического стока заключается в использовании  $Q_{мин.мес.}$  – минимального месячного расхода воды за период наблюдений с расчетной обеспеченностью 80% м<sup>3</sup>/с, т.е.  $Q_э = Q_{мин.мес.}$

В работе расчет среднеегоголетнего не используемого стока  $\bar{Q}_{ни}$ , м<sup>3</sup>/с производится по упрощенной формуле:

$$\bar{Q}_{ни} = \Sigma(Q_{ei} - \bar{Q}_{и})/n, \quad (12)$$

где  $Q_{ei}$  – естественный сток за нелимитирующий период в  $i$ -й год периода наблюдений, м<sup>3</sup>/с;  $\bar{Q}_{и}$  – среднеегоголетний используемый сток за нелимитирующий период, м<sup>3</sup>/с; если  $Q_{ни} = (Q_{ei} - \bar{Q}_{и}) < 0$ , то  $Q_{ни} = 0$ .

Определение  $\bar{Q}_{и}$  осуществляется по формуле:

$$\bar{Q}_{и} = \bar{Q}_e - \bar{Q}_н, \quad (13)$$

где  $\bar{Q}_e$  – среднеегоголетний естественный сток за нелимитирующий период, м<sup>3</sup>/с;  $\bar{Q}_н$  – среднеегоголетний наблюдаемый сток за нелимитирующий период, м<sup>3</sup>/с; Если  $(\bar{Q}_e - \bar{Q}_н) < 0$ , то  $\bar{Q}_{и} = 0$ , т.е. расчет среднеегоголетнего используемого стока не производится.

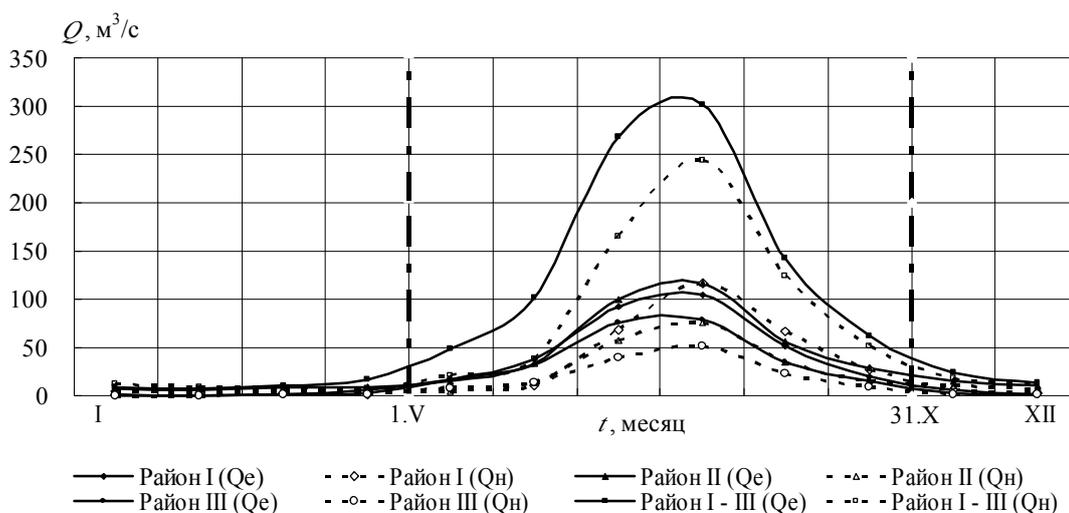


Рисунок 13 – Средний гидрограф естественного и наблюдаемого стока районов за период 1975 – 2007 гг.

Анализ рисунка 13 показал, что сток воды за нелимитирующий период составляет около 90% годового стока. Таким образом, при расчете используемого стока по гидрографу стока для года заданной обеспеченности определяется допустимая для водопотребления и регулирования часть природного объема речного стока летом. При изучении экологического стока учитывалось, что уровень меженного стока в районе II наблюдается каждый год, но в районах I и III в засушливые годы сток отсутствует. Поэтому расчет экологического стока выполнен только для района II. В этом районе февраль – месяц среднемноголетнего минимального естественного стока.

Полученная величина экологического стока  $Q_{э1}$  равна  $Q_{э1} = 3,39 \text{ м}^3/\text{с}$  (при  $K=10\%$ ). Выражение  $Q_э = Q_{\text{мин.мес.}}$  – второй способ оценки экологического стока – дает  $Q_{э2} = 2,95 \text{ м}^3/\text{с}$ . Таким образом, экологический сток составляет 8,7 % от расхода воды района в целом. Обеспеченные величины низкого стока устанавливаются по переходным коэффициентам от величины стока фиксированной обеспеченности.

Таблица 4 Переходные коэффициенты  $\lambda$  для определения минимальных месячных расходов воды расчетной обеспеченности

Район	Обеспеченность, %					
	75	80	85	90	95	97
II	1,16	1,00	0,82	0,64	0,44	0,33

Анализ таблицы 4 показал, что для района II  $(Q_{\text{мин.мес.}})_{P=75\%}$  составляет  $3,42 \text{ м}^3/\text{с}$  (10,1 % от расхода в целом). Поэтому в работе показано, что расчет экологического стока для района II необходимо производить по формуле  $Q_э = (Q_{\text{мин.мес.}})_{P=75\%}$ .

Расчет переброски вод р. Хуанхэ  $\bar{Q}_x$  производился на основе данных шести шлюзов района I. Среднемноголетний сток воды из р. Хуанхэ  $\bar{Q}_x$  составляет  $38,1 \text{ м}^3/\text{с}$ , в озеро Наньси попадает  $10,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . За нелимитирующий период приток вода  $\bar{Q}_x$  в озеро Наньси –  $8,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , а за лимитирующий период  $Q_x$  –  $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ . Оценка доступных ресурсов поверхностных вод территории приведены в таблице 5.

Таблица 5 Результаты расчета доступных поверхностных водных ресурсов бассейна озера Наньси (1975 – 2007 гг.)

Район	$Q_{п.}$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_э,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_{и.}$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_{ни.}$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_{д.}$ $\text{м}^3/\text{с}$	$K = Q_{д.} / Q_{п.}$ %
I	27,8	–	10,5	15,3	12,5	45
II	33,9	3,4	12,4	17,6	12,9	38
III	22,2	–	8,9	12,7	9,5	43
I – III	83,9	3,4	31,8	45,6	34,9	42
Приток из Р. Хуанхэ	38,1	–	–	10,2	27,9	73
Суммарный сток воды	122	3,4	–	55,8	62,8	51

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы диссертационной работы сводятся к следующим.

1. По ландшафтным характеристикам и в отношении формирования речного стока бассейн делится на 3 района.

I район занимает низменную северо-западную часть бассейна. Основной источник поступления воды – это их забор из р. Хуанхэ через систему из 6 шлюзов и каналов. Каналы, как правило, подсоединены к естественным руслам рек. Объем забора вод из р. Хуанхэ – 1,20 км<sup>3</sup>, объем естественного стока – 0,87 км<sup>3</sup>, объем забора вод на хозяйственные нужды – 1,23 км<sup>3</sup>, объем стока в озеро Наньси – 0,84 км<sup>3</sup>. Качество воды низкое, и она в основном используется для технических и сельскохозяйственных нужд.

II район занимает возвышенную часть на юго-востоке бассейна. Он представлен реками, в верховьях которых находятся водохранилища. Объем естественного стока – 1,07 км<sup>3</sup>, объем забора вод на хозяйственные нужды – 0,44 км<sup>3</sup>, объем стока в озеро Наньси – 0,63 км<sup>3</sup>. Качество воды достаточно высокое, её можно использовать как питьевую и условно-питьевую.

III район включает равнинные реки естественного типа питания. Эти реки расположены в юго-западной, юго-восточной, северо-восточной частях водосборного бассейна. Реки проходят по густонаселенным местам, поэтому качество вод низкое. Расходятся они в основном на хозяйственные нужды. Объем естественного стока – 0,69 км<sup>3</sup>, объем забора вод на хозяйственные нужды – 0,27 км<sup>3</sup>, объем стока в озеро Наньси – 0,41 км<sup>3</sup>.

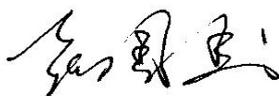
2. Анализ основных показателей климата и увлажненности территории показал следующее. Для температуры воздуха границей раздела регрессивных и трансгрессивных фаз является 1994 г., для осадков – 2003 г. Потепление региона в 1994 – 2007 гг. связано с увеличением температуры воздуха в зимние месяцы. Увеличение количества осадков в 2003 – 2007 гг. обусловлено их ростом в теплый период года. С 2003 г. в бассейне озера Наньси произошло увеличение гумидности климата и увлажненности территории.
3. Осадки являются основным режимоформирующим фактором естественного стока рек бассейна озера Наньси. Полное прекращение стока наступает при годовых осадках меньше 364 мм для района I, меньше 324 мм для района II, меньше 378 мм для района III. Сравнение этих оценок со среднемноголетними нормами осадков свидетельствует о том, что уменьшение осадков над районами I и III на 43 % приведёт к полному прекращению стока с водосборов этих районов. Сток с водосбора района II прекратится при сокращении осадков на 55 %. При сохранения современного режима температуры и осадков вполне возможно регулярное прекращение стока с водосборов районов I и III. Для района II регулярное прерывание стока возможно при уменьшении осадков на 9,6 %. Повышение (понижение) температуры воздуха на 1 °С будет сопровождаться уменьшением (увеличением) слоя стока в июне на 3,6 мм, а в июле – на 12 мм.

4. Влияние возвышенностей на сток рек проявляется также существенно, как и на осадки. Исследование связи годового стока с площадью водосбора показывает наличие достаточно четкой зависимости стока от размеров площади водосбора. Связь является весьма тесной с коэффициентами корреляции  $r = 0,80$ .
5. Приходная часть водного баланса бассейна озера Наньси формируется за счет естественного стока и переброски вод р. Хуанхэ, расходная часть – определяется изъятием стока на хозяйственные нужды и стоком из озера Наньси. Внутри года водный баланс бассейна неоднороден из-за разнонаправленности режимов формирования стока и водопотребления. Внутригодовой ход температуры имеет минимум в январе, а температурный максимум приходится на июль; минимум осадков выпадает в январе, а их наибольшее количество приходится на 3 летних месяца с абсолютным максимумом осадков в июле. Минимум естественного стока приходится на февраль, т.е. с запаздыванием на 1 месяц относительно минимума осадков, а максимальный сток (в августе) запаздывает по отношению к максимальным осадкам на 1 месяц. Объем озера Наньси полностью определяется режимом накопления и сброса вод через шлюзы в сочетании с забором вод на орошение в вегетационный период. Поэтому его уменьшение с апреля по июль, когда количество осадков увеличивается, а сток устойчиво возрастает, объясняется интенсивным забором вод на хозяйственные нужды.
6. Регулирующая роль водосбора озера Наньси проявляется преимущественно в период межени, когда реки находятся на подземном питании. Регулирующая роль озера прослеживается круглый год. Колебания объема озера Наньси целесообразно рассматривать как случайный процесс, представляющий собой сумму двух составляющих инерционной и сезонной.
7. Расчет экологического стока производился только для района II по формуле  $Q_3 = (Q_{\text{мин.мес.}})_{P = 75\%}$ . Количество доступных водных ресурсов бассейна озера Наньси с учетом переброски вод из р. Хуанхэ составляет 51 % от общих ресурсов воды, без учета переброски вод – 42 % от общих ресурсов. Общие и доступные ресурсы поверхностных вод бассейна озера Наньси (1975 – 2007 гг.) составляют 5,13 км<sup>3</sup> и 3,01 км<sup>3</sup>.

### Список публикаций по теме диссертации

1. Владимиров А.М., Чжан Гоюй. Оценка стока воды речных бассейнов с интенсивным развитием хозяйственной деятельности // Ученые записки. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2010.– Вып.13, с. 5 – 12.
2. Мякишева Н.В., Чжан Гоюй. Регулирующая способность озер с интенсивной хозяйственной деятельностью на его водосборе //Естественные и технические науки, 2010, №1, с. 142 – 148.
3. Мякишева Н.В., Чжан Гоюй. Ритмика годовой цикличности гидрологических процессов в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью //Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер.7, вып. 4, 2010. (в печати, справка прилагается).
4. Трапезников Ю.А., Чжан Гоюй. Оценка запасов водных ресурсов в условиях изменяющегося климата для районов с дефицитом пресной воды //Естественные и технические науки, 2010, №3. (в печати, справка прилагается).
5. Чжан Гоюй. Изучение доступных ресурсов поверхностных вод региона Цзинин (КНР) // Материалы Международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон ». 7-9 июля 2009 г. – СПб: РГГМУ, 2009, с. 137 – 138.

Соискатель



Чжан Гоюй