

На правах рукописи



Задоя Дарья Сергеевна

ВНУТРЕННЯЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОДОВОГО
СТОКА РЕК АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Специальность 25.00.27 – Гидрология суши,

водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Барнаул – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет»

Научный руководитель:

Лобанов Станислав Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Седых Виталий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта», заведующий кафедрой водных изысканий и экологии (г. Новосибирск)

Галахов Владимир Прокопьевич, кандидат географических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный университет», доцент кафедры физической географии и геоинформационных систем (г. Барнаул)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (г. Новосибирск).

Защита состоится 28 апреля 2016 года в 13-00 час. на заседании диссертационного совета Д 003.008.01 при ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН и на сайте www.iwep.ru

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, Диссертационный совет. Тел./факс: +7(3852) 24-03-96, электронный адрес института: iwep@iwep.ru

Автореферат разослан «___» февраля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



Рыбкина И.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Здания, промышленные и гражданские сооружения, объекты инфраструктуры населенных пунктов эксплуатируются в сильно изменяющихся во времени природных условиях. Поэтому при проектировании их параметры рассчитываются на экстремальные природные величины редкой повторяемости. Основу расчетов составляют одномодальные законы распределения (ЗР), закрепленные в нормативном документе СП 33-101-2003. Точность таких расчетов зависит не только от точности оценок статистических параметров законов распределения гидрометеорологических величин, но и от вида самих законов.

В практике гидрологических расчетов локальные расхождения между эмпирическими и аналитическими кривыми обеспеченности законов распределения годового стока объясняются, как правило, недостаточностью данных наблюдений. Однако исследования последних лет показывают, что несоответствие является следствием их внутренней неоднородности, проявляющейся как полимодальность, которая не так редко встречается в природе. В данной работе исследуется такое проявление внутренней неоднородности ЗР, как чередование интервалов повышенной и пониженной плотности точек, что может интерпретироваться как полимодальность.

Цель данного диссертационного исследования: на основе критерия согласия Пирсона и критерия Лобанова оценить степень внутренней неоднородности эмпирических законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока, выявить пространственное распространение характеристик степени выделенной полимодальности и дать физическую интерпретацию двумодальности на основе региональных типов атмосферной циркуляции.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Разработка автоматизированной системы исследования:
 - разработка приложений для автоматизированной статистической обработки базы данных годового стока рек арктического бассейна и оценки степени полимодальности;
 - проверка мощности критериев согласия Пирсона и критерия полимодальности, предложенного С.А. Лобановым.
2. Построение карт распределения степени полимодальности годового стока рек по территории Сибири и Дальнего Востока при помощи геоинформационных систем. Анализ зависимостей характеристик степени полимодальности от различных физико-географических характеристик и статистических параметров стока.

3. Анализ зависимостей степени неоднородности законов распределения годового стока рек от повторяемости различных типов атмосферной циркуляции на примере бассейнов рек Анадырь и Колыма.

Объектом исследования являются реки арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока.

Предметом исследования является внутренняя неоднородность эмпирических законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока.

Исходные данные

В работе использованы данные о ежемесячных расходах воды, взятые с электронного ресурса Общества по изучению водных ресурсов, организованного Институтом изучения Земли, океанов и космоса, университет Нью-Гемпшир, США. В базе RArcticNet содержатся открытые данные о среднемесячных расходах воды по всем гидрологическим постам на реках арктического бассейна, а также атрибутивные данные. Для выявления связи степени полимодальности закона распределения годового стока рек от средней высоты водосбора использовались данные о высотах, полученные с использованием цифровой модели рельефа eToro2, созданной на основе нескольких источников.

Для исследования формирования возможной двумодальности законов распределения годового стока рек бассейнов рр. Анадырь и Колыма был использован «Календарь типов атмосферной циркуляции с учетом нестационарности над северной частью Тихого океана и их краткая характеристика», составленный по материалам А.М. Поляковой и опубликованный на сайте Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН им. В.И. Ильичева.

Методика исследования

Для исследования степени полимодальности эмпирических законов распределения годового стока рек были разработаны программы Ordinati и Polimod в среде программирования Borland Delphi 7.

Программа Ordinati предназначена для первичного анализа данных, а также расчета и построения кривых обеспеченности годового стока рек. Исходным материалом для работы программы является файл, напрямую доступный с сайта базы данных RArcticNet. Все статистические параметры рассчитывались по методикам, рекомендованным СП 33-101-2003. Коэффициенты вариации и асимметрии определялись методом моментов, для сглаживания эмпирических кривых обеспеченности использовалась таблица нормированных ординат кривой обеспеченности Пирсона III типа.

Программа Polimod предназначена для расчета критериев степени полимодальности закона распределения годового стока рек для каждого ряда данных; осредненных статистических параметров гидрологических рядов и физико-географических параметров водосборов для рядов данных, удовлетворяющих заданным ограничениям; подготовки данных для добавления их в ГИС-проект с целью последующего пространственного анализа.

Для определения степени полимодальности закона распределения использовались следующие критерии:

1. Критерий Пирсона (χ^2), характеризующий степени расхождения между эмпирическими данными и аналитической функцией;
2. Критерий полимодальности, предложенный С.А. Лобановым (Pl), характеризующий вероятность случайного появления эмпирической полимодальности.

Для исследования мощности этих критериев была разработана программа в среде Borland Delphi 7, основанная на использовании метода Монте-Карло и выполняющая моделирование рядов данных с заданным полимодальным законом распределения.

На основе расчетов, выполненных в программе Polimod, были разработаны карты распределения характеристик полимодальности по территории Сибири и Дальнего Востока. Разработка карт осуществлялась в геоинформационных системах ArcGIS 10.2 и QuantumGIS 2.4.0.

Научная новизна работы:

1. При помощи численных экспериментов методом Монте-Карло показана высокая эффективность критериев Пирсона и Лобанова для оценки степени полимодальности законов распределения смоделированных случайных рядов с полимодальными законами распределения.

2. На основе обширного эмпирического материала (563 пункта с периодом наблюдений 20-97 лет) с надежностью не менее 99,9% показано широкое распространение полимодальности законов распределения годового стока рек Сибири и Дальнего Востока.

3. Впервые разработаны карты распределения характеристик степени полимодальности по территории Сибири и Дальнего Востока.

4. Предложен критерий для объяснения причин существования двумодальности для рек бассейнов р. Колыма и р. Анадырь.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждена непротиворечивостью полученных результатов данным в литературных источниках, корректным применением современных методов математико-статистической обработки данных, согласием с экспертными оценками.

Практическая значимость результатов работы:

1. Разработана автоматизированная система для статистической обработки данных гидрологического стока, которая может быть использована для работы с базой данных RArcticNet, построения эмпирических и сглаживающих их аналитических кривых обеспеченностей, расчета критериев полимодальности закона распределения.

2. Разработанный ГИС проект «Распространение характеристик полимодальности законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока» позволяет количественно оценивать значения критериев полимодальности, выполнять различные виды пространственного анализа. Разработанная модель автоматизирует процесс построения карт и позволяет быстро корректировать карты распространения характеристик степени полимодальности при пополнении базы данных.

Личный вклад автора

В ходе исследования было разработано программное обеспечение для автоматизации статистической обработки массива данных и проведения численного эксперимента, разработан ГИС-проект в среде программного обеспечения ESRI ArcGIS 10.2, выполнен анализ зависимостей характеристик степени полимодальности от различных физико-географических факторов и статистических параметров стока. Все основные результаты исследования, а также их интерпретация получены лично автором.

Апробация работы

Основные положения работы были обсуждены на VIII научном совещании географов Сибири и Дальнего Востока в Институте географии им. В.В. Сочавы СО РАН (Иркутск, 2007), молодежных научно-практических конференциях «Молодежь – Наука – Инновации» Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского (Владивосток, 2008, 2009), научной конференции Дальневосточного государственного университета (Владивосток, 2009), IX всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 2011). Всего по данной теме опубликовано 6 работ, в том числе 2 в журнале «Экологические системы и приборы», входящем в перечень ВАК. На две программы, разработанные для решения задач данного диссертационного исследования, получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (87 наименований). Её содержание изложено на 140 страницах машинописного текста, включая 15 таблиц, 58 рисунка и 1 приложение. Общий объем работы составляет 150 страниц.

На защиту выносятся:

1. Технология автоматизированной статистической обработки базы данных речного стока RArcticNet, определения степени полимодальности законов распределения и результаты её использования;
2. Полимодальная структура законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока является статистически значимой;
3. Карты пространственного распространения характеристик степени полимодальности законов распределения годового стока рек для территории Сибири и Дальнего Востока, зависимости степени выделенной полимодальности от физико-географических характеристик и статистических параметров стока.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность исследуемой проблемы, формулируются цели и задачи, обозначаются предмет и объект исследования, характеризуется практическая значимость и научная новизна работы.

Первая глава содержит краткий физико-географический очерк исследуемой территории и обзор исследований причин рассогласованности эмпирических и аналитических кривых распределения годового стока.

Исследования последних лет показывают, что случаи резкого несоответствия аналитических и эмпирических законов распределения гидрометеорологических величин вообще и речного стока в частности встречаются повсеместно и не могут быть объяснены только недостаточностью данных наблюдений.

Например, Л.М. Конаржевский, исследуя эмпирические кривые распределения слоя весеннего стока рек степной зоны в своей работе [Конаржевский, 1959] показал, что 68% случаев «...характеризуется меньшей по сравнению с кривой Пирсона III-го типа крутизной правой и особенно левой ветвей и увеличенной крутизной средней части в зоне 20-70%».

В области метеорологических исследований также опубликован ряд работ, показывающих полимодальность и неоднородность законов распределения таких метеорологических величин, как высота облаков и интенсивность осадков [Кобышева, Наровлянский, 1978], облачность [Брукс, Карузертс, 1963], периоды гироскопических волн [Голицын, Дикий, 1967], индекс зональной циркуляции атмосферы [Дмитриев, Малинников, 1973] и др.

Существует также ряд исследований, направленных на совершенствование методик гидрологических расчетов, в которых авторы показывают, что законы распределения

гидрологических величин не являются однородными [Коваленко, 1998, 2010; Соловьев, 2009; Найденов, 2000, 2001, 2003; Швейкина, Кожевникова, 2008].

Однако среди указанных работ нет таких, в которых бы полимодальность законов распределения оценивалась на богатом эмпирическом материале и был бы предложен критерий для ее оценки.

Во **второй главе** дается описание использованных исходных данных и технологии исследования.

В работе использованы данные о ежемесячных расходах воды, взятые с электронного ресурса Общества по изучению водных ресурсов, организованного Институтом изучения Земли, океанов и космоса, университет Нью-Гемпшир. Всего в базе данных содержится информация о среднемесечном стоке для более чем 9000 гидрологических постов по всему арктическому бассейну.

Для решения задач данной работы были использованы данные по бассейнам рек Анадырь и Колыма, Лена, Енисей, Обь с длиной выборки 20-97 лет. Таким образом, было отобрано и обработано более 550 рядов наблюдений (рис.1).

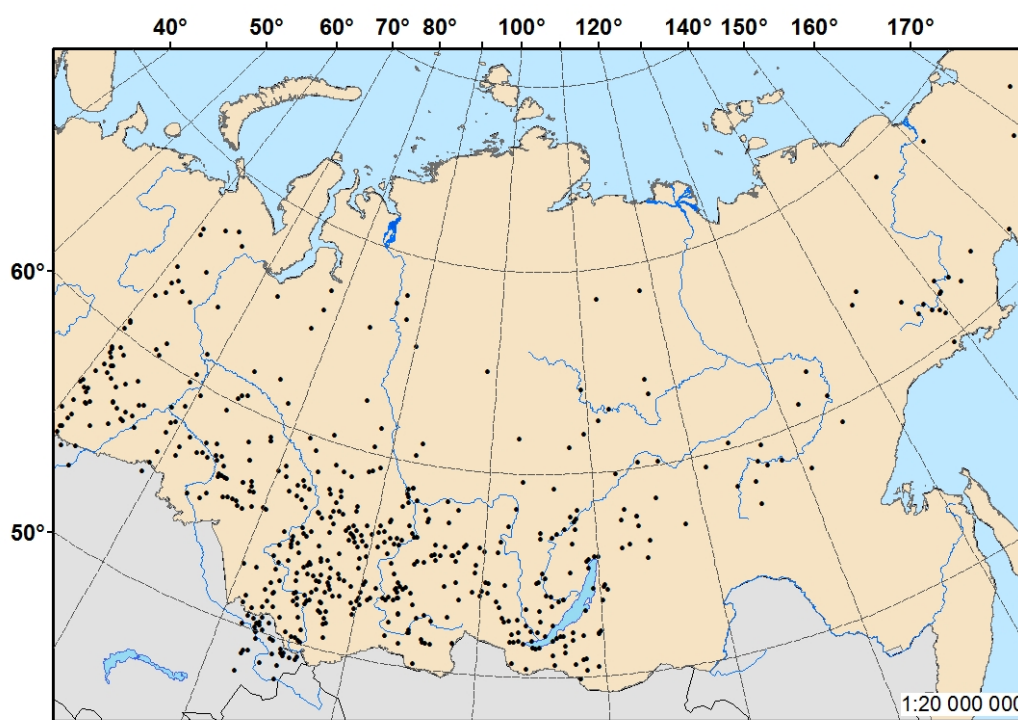


Рисунок 1. Схема расположения гидрологических постов

Для получения данных о высоте водосбора была использована цифровая модель рельефа eToro2, созданная на основе нескольких источников. Для исследования зависимости характеристик полимодальности от климатических характеристик таких, как

температура и среднеквадратическое отклонение количества осадков, был использован интернет-ресурс АгроАтлас.

В диссертационном исследовании распространение полимодальности закона распределения годового стока рек было показано на основе автоматизированной статистической обработки богатого эмпирического материала. Ряды наблюдений обрабатывались при помощи программ Ordinati и Polimod, разработанных для целей настоящего исследования.

При помощи программы Ordinati были рассчитаны и построены кривые обеспеченности для всех анализируемых рядов наблюдений. В данной работе предлагается выделять интервалы случайных величин, тяготеющих к модам таким образом, чтобы они были разделены интервалами с минимальной плотностью точек в них, равной нулю (интервалы эмпирических «разрывов» случайных величин).

Для определения степени полимодальности был использован критерий полимодальности, предложенный С.А. Лобановым, представляющий собой вероятность случайного появления выделенной эмпирической полимодальности:

$$P = \frac{n! \cdot K_1! \cdot K_2!}{\prod_{i=1}^K m_i!} \prod_{i=1}^K P_i^{m_i}$$

где n – длина выборки (соответствует длине массива);

K_1 и K_2 – число интервалов с пониженной и соответственно повышенной плотностью точек в них. Изначально $K_1=1$, $K_2=2$;

K – общее число интервалов, $K = K_1 + K_2$;

P_i – теоретическая вероятность попадания равномерно распределенной случайной величины в выделенный интервал с числом m_i случайных точек в нем. Она принимается равной максимальному приращению. Количество точек m_2 в нем равно 0.

Также для каждого ряда наблюдений мера расхождения между аналитической и эмпирической кривыми обеспеченности оценивалась при помощи критерия Пирсона.

Третья глава посвящена оценке степени полимодальности законов распределения годового стока рек, анализу и интерпретации полученных результатов.

Для решения задач диссертационного исследования было проведено тестирование критериев согласия на предмет их мощности при оценке полимодальности. Исследование эффективности критерия согласия выполнено для случайных величин с четырехмодальным ЗР, асимметричный вид которого характерен для природных процессов. Моделирование рядов случайных чисел, имеющих заданный полимодальный

закон распределения, осуществлялось в среде программирования Borland Delphi 7. Каждая частная кривая моделировалась как нормальный усеченный ЗР случайной величины y с четырьмя локальными математическими ожиданиями y_i (локальными модами).

Результаты численных экспериментов по оценке мощности критерия полимодальности представлены зависимостью средневзвешенной величины мощности критерия от длины выборки n и расстояния a между интервалами, на которых определена функция полимодального ЗР. С увеличением расстояния a между интервалами при всех длинах выборки среднее число выявленных критерием мод резко возрастает. При фиксированном значении расстояния a функция числа мод асимптотически стремится к константе при увеличении длины выборки. Результат оценки мощности критерия, выполненной для смоделированного полимодального ЗР, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Зависимость мощности β критерия полимодальности от длины выборки n при различных значениях a разрыва случайной величины

a	Длина выборки n						
	20	30	40	50	60	70	80
0,1	0,687	0,847	0,878	0,928	0,942	0,944	0,944
0,2	0,781	0,932	0,960	0,986	0,994	0,996	0,996
0,3	0,865	0,980	0,994	1	1	1	1
0,4	0,925	0,997	1	1	1	1	1
0,5	0,963	0,999	1	1	1	1	1
0,6	0,981	1	1	1	1	1	1

Данные таблицы показывают, что даже при длине выборки 20 членов заданная четырехмодальность может быть оценена с надежностью практически достоверного события при величине разрыва 0,5 и более, составляющего 20% от диапазона случайной величины, тяготеющего к моде, на котором определена функция полимодального ЗР. При разрывах, составляющих более 8% от диапазона вариации случайной величины вокруг каждой моды, надежность оценки рассматриваемой полимодальности составляет более 98%.

Также в третьей главе приведен пример расчета степени выделенной полимодальности на конкретном ряде данных, в пункте №6156 – река Кута – п. Максимово (рис. 2).

Для этого пункта были получены следующие значения критериев полимодальности:

Критерий Пирсона (χ^2)	12,1
Вероятность появления выделенного значения критерия Пирсона	$3,46 \cdot 10^{-2}$
Критерий, предложенный С.А. Лобановым (PI)	6,03
Вероятность случайного появления выделенной полимодальности	$9,58 \cdot 10^{-7}$
Кол-во выделенных ненулевых интервалов (m)	4

Все критерии, используемые в исследовании, а также некоторые другие ключевые параметры рассматриваемых рядов представлены в тексте работы. В табл. 2 показан фрагмент таблицы (20 элементов из 563). Произведенные расчеты показали, что при уровне значимости 0,01 неоднородность ЗР величины годового стока, выраженная в чередовании интервалов повышенной и пониженной плотности точек наблюдается в 71% случаев, при уровне значимости 0,0001 – в 41% случаев.

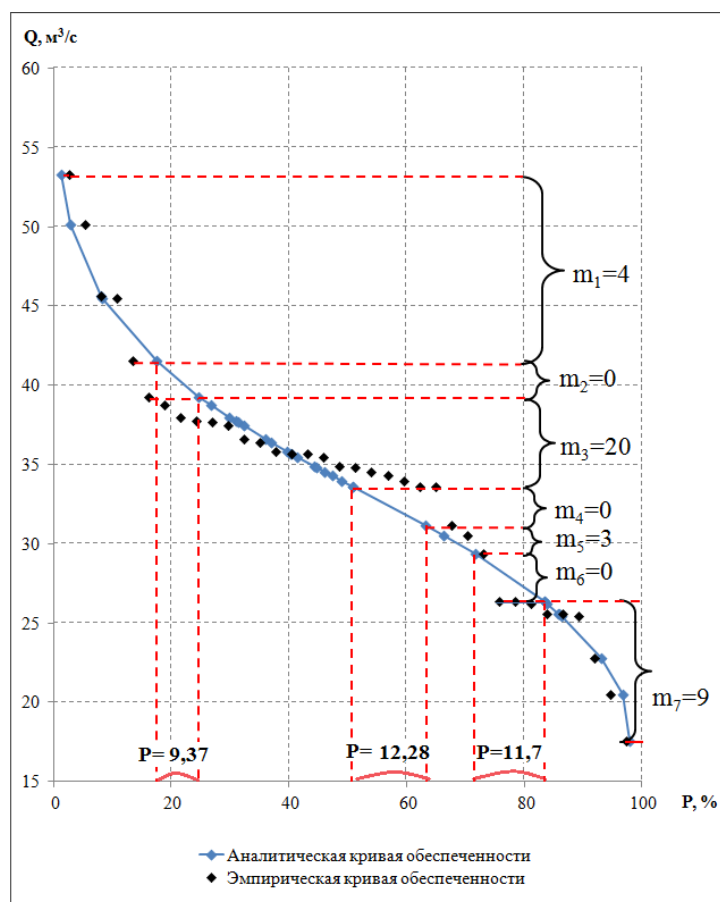


Рисунок 0.2. Разделение на интервалы повышенной и пониженной плотности точек кривой обеспеченности р. Кута – п. Максимово

Построенный график зависимости степени полимодальности от длины выборки (рис. 3) позволяет убедиться в том, что выделенная полимодальность не является следствием коротких рядов наблюдений.

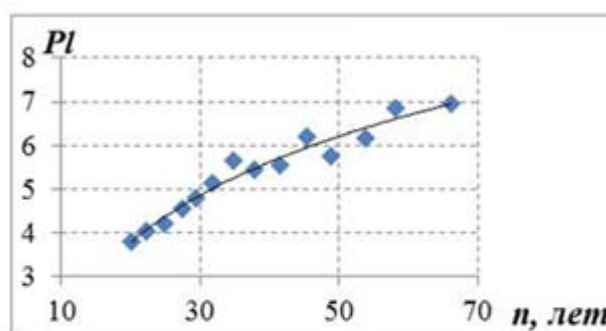


Рисунок 3. Зависимость критерия Лобанова (Pl) от длины выборки (n)

Таблица 2. Характеристики степени полимодалности для исследуемых рек

Код поста	Река, пункт	n	M, л/с км ²	Cv	Cs	r	$P = \frac{n! \cdot K_1! \cdot K_2! \cdot \prod_{i=1}^K P_i^{m_i}}{\prod_{i=1}^K m_i!}$	PI	χ^2	Вероятность превышения χ^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бассейн р. Лена										
6136	р. Лена – п. Чанчур	36	10,26	0,19	0,86	0	$5,82 \cdot 10^{-02}$	1,24	6	$3,26 \cdot 10^{-01}$
6137	р. Лена – п. Качуг	54	5,2	0,25	0,7	0,17	$6,24 \cdot 10^{-03}$	2,21	5,06	$1,71 \cdot 10^{-01}$
6139	р. Лена – п. Крыжовка	69	4,54	0,27	0,8	0,21	$1,20 \cdot 10^{-03}$	2,92	14,1	$1,22 \cdot 10^{-01}$
6144	р. Лена – п. Змеиново	55	8,03	0,16	0,18	0	$2,45 \cdot 10^{-04}$	3,61	6,98	$7,85 \cdot 10^{-02}$
6148	р. Чанчур – п. Чанчур	27	7,44	0,24	0,57	0,15	$4,96 \cdot 10^{-05}$	4,31	12,79	$5,83 \cdot 10^{-03}$
6149	р. Прав. Иликта – п. Бол. Тарель	31	5,81	0,3	0,47	0,15	$2,58 \cdot 10^{-02}$	1,59	4,14	$1,72 \cdot 10^{-01}$
6151	р. Манчжурка – п. Зуева	38	2,87	0,31	0,49	0,6	$6,36 \cdot 10^{-06}$	5,2	17,71	$1,44 \cdot 10^{-02}$
6152	р. Куленга – п. Белоусово	31	3,67	0,41	0,32	0,43	$1,01 \cdot 10^{-04}$	4	14,33	$1,56 \cdot 10^{-02}$
6153	р. Тутура – п. Грехова	55	4,89	0,27	0,56	0,04	$1,02 \cdot 10^{-04}$	4	14,64	$4,28 \cdot 10^{-02}$
6154	р. Илга – п. Знаменка	25	3,73	0,28	0,53	0,04	$3,54 \cdot 10^{-02}$	1,45	3,48	$1,72 \cdot 10^{-01}$
6155	р. Тупта – п. Дальняя Загора	27	3,07	0,29	0,13	0,06	$5,22 \cdot 10^{-04}$	3,29	8,21	$4,20 \cdot 10^{-02}$
6156	р. Кута – п. Максимова	36	5,26	0,23	0,26	0,36	$1,21 \cdot 10^{-04}$	3,92	12,13	$3,46 \cdot 10^{-02}$
6157	р. Кута – п. Ручей	46	5,49	0,18	-0,12	0,25	$7,71 \cdot 10^{-02}$	1,11	3,4	$4,16 \cdot 10^{-01}$
6159	р. Половинная	34	6,4	0,2	0,7	0,32	$7,79 \cdot 10^{-02}$	1,11	5,06	$4,15 \cdot 10^{-01}$
6160	р. Таяра – п. Таяра	35	7,68	0,2	0,2	0,1	$6,90 \cdot 10^{-04}$	3,16	11,52	$2,42 \cdot 10^{-01}$
6162	р. Большая Тира – п. Тира	32	4,68	0,27	0,06	0,34	$1,79 \cdot 10^{-04}$	3,75	13,03	$7,17 \cdot 10^{-02}$
6163	р. Киренга – п. Карам	24	6,91	0,24	1,58	0,15	$5,41 \cdot 10^{-01}$	0,27	1,47	$1,72 \cdot 10^{-01}$
6165	р. Киренга – п. Шорохово	64	13,97	0,15	0,13	0	$4,04 \cdot 10^{-06}$	5,4	17,9	$4,14 \cdot 10^{-02}$
6167	р. Миня – п. Миня	33	23,56	0,16	0,65	0,03	$1,42 \cdot 10^{-05}$	4,85	17,08	$4,85 \cdot 10^{-02}$

*Жирным шрифтом обозначены вероятности появления выделенных значений критериев согласия Пирсона и Лобанова, величина которых меньше уровня значимости (0,01).

Исследование зависимости характеристик степени полимодальности от различных физико-географических факторов и статистических параметров стока проводилось отдельно для рек бассейнов Оби, Енисея, Лены и рек севера Дальнего Востока. Внутри каждого бассейна гидрологические посты ранжировались по широте и разделялись на 10 интервалов, внутри которых исследуемые характеристики усреднялись и далее по средним значениям строились зависимости.

Были выявлены следующие зависимости: для пунктов наблюдений в бассейне р. Енисей отмечается значимая обратная связь числа выделенных интервалов повышенной плотности точек с высотой в замыкающем створе ($r=-0,84$) и модулем стока ($r=-0,85$), и прямая – с температурой июля ($r=0,87$); для бассейна р. Обь наблюдается значимая обратная связь (рис. 4) с высотой в замыкающем створе (корреляционное отношение $\eta=-0,94$).

Также в третьей главе рассмотрена возможность физической интерпретации выделенной эмпирической полимодальности на примере рек севера Дальнего Востока: бассейнов рек Колыма и Анадырь. При этом ставилась задача выявить физический механизм формирования наиболее простых двухмодальных законов распределения.

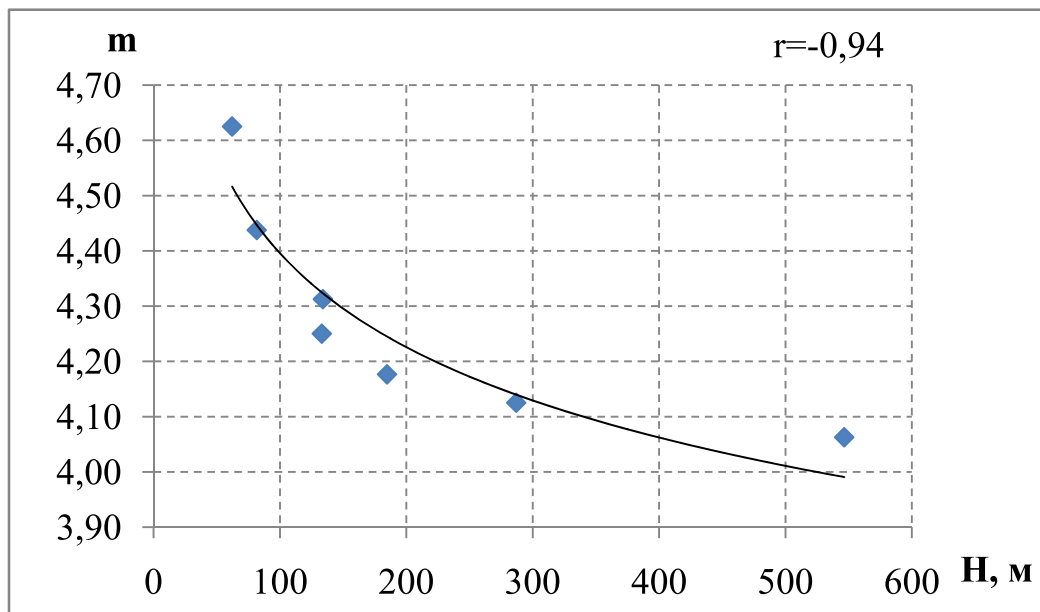


Рисунок 4. Зависимость числа выделенных интервалов повышенной плотности точек эмпирического закона распределения от высоты в замыкающем створе для бассейна р.

Обь

Для получения данных об особенностях атмосферной циркуляции был использован «Календарь типов атмосферной циркуляции», разработанный А.М. Поляковой [Полякова, 1999]. Всего в календаре выявлено 6 типовых атмосферных процессов: северо–западный (СЗ), охотско–алеутский (ОА), широтный алеутский (ША), южный широтный (ЮШ),

охотско–гавайский (ОГ), циклоны над океаном (Цн). При этом циклональная погода, дающая высокую сумму годовых осадков, характерна для атмосферной циркуляции «циклоны над океаном», а пониженная сумма осадков – для остальных типов атмосферной циркуляции.

Поэтому естественно в качестве критерия, который бы показывал влияние таких переносов на количество выпадающих осадков, использовать отношение числа дней с типом циркуляции «циклоны над океаном» и северо-западным, охотско-алеутским, охотско-гавайским и широтно-алеутским. Таким образом, критерий количества годовых осадков (K), выраженных через типы атмосферной циркуляции А.М. Поляковой, может быть выражен отношением:

$$K = Z_n / (NW + OA + LA + OH)$$

Значения повторяемости различных типов циркуляции были рассчитаны с использованием сводной таблицы в MS Excel и занесены в таблицы для каждого рассмотренного ряда данных. Например, в таблице 3 показано процентное соотношение повторяемостей различных типов циркуляции для п. 5855 р. Колыма – п. Оротук. Рисунок 5 иллюстрирует таблицу.

Исходя из физического смысла критерия, который заключается в соотношении между количеством дней с типом циркуляции «циклоны над океаном» и числом дней с другими типами циркуляции, можно сделать следующее предположение: для первой моды, с большими расходами воды, такое отношение должно быть больше, чем для второй, так как тип атмосферной циркуляции «циклоны над океаном» приносит большее количество осадков. Это предположение подтверждается для всех рассматриваемых рядов наблюдений, что позволяет объяснить выделенную двумодальность рассмотренных рядов соотношением повторяемости различных типов атмосферной циркуляции. Предложенный критерий соотношения типов атмосферной циркуляции K в 100% случаев для групп лет повышенной влажности больше, чем для групп лет пониженной влажности.

Таблица 3 – Процентное соотношение повторяемостей различных типов циркуляции для п. 5855 р. Колыма – п. Оротук

Группы лет	LA	NW	OA	OH	SL	Zn	К
1	13,83	28,19	26,32	1,99	3,28	26,39	0,38
2	14,46	39,92	26,32	3,24	2,24	13,82	0,16

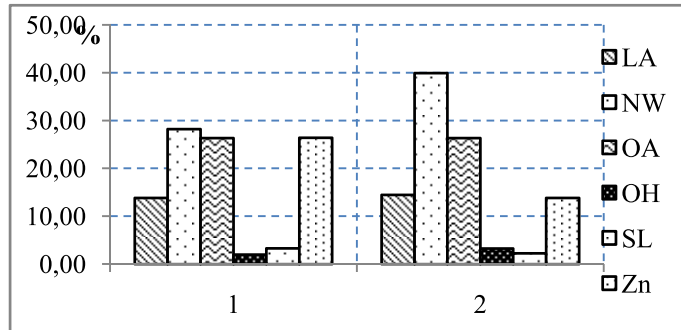


Рисунок 5. Гистограммы распределения количества дней с различными типами циркуляции для п. 5855 р. Колыма – п. Оротук

В **четвертой** главе описывается процесс разработки ГИС-проекта «Полимодальность», а также приводятся полученные с его помощью карты распространения значений характеристик полимодальности по территории Сибири и Дальнего Востока.

Разработка проводилась в программной среде ESRI ArcGIS Desktop 10.2 (лицензия ArcView) и QuantimGIS (QGIS) 2.4.0 с дополнительными модулями интерполяции и анализа растров.

Для оценки характера распространения характеристик степени полимодальности по территории были разработаны несколько карт, использующих разные системы показателей. Например, на рисунке 6 показана карта, для построения которой использовалась интегральная характеристика, что позволило обозначить на карте участки, на которых число выделенных интервалов повышенной плотности точек составляет 3 и более, 5 и более, 7 и более. Полученная таким образом карта позволяет определить районы, обладающие более или менее высокой степенью выделенной полимодальности законов распределения годового стока рек.

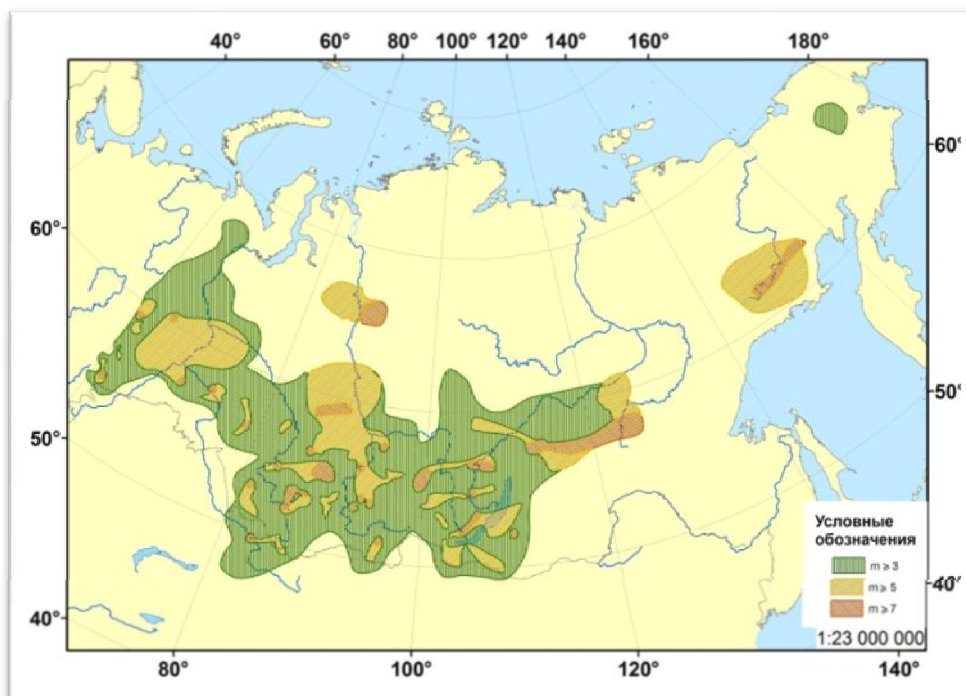


Рисунок 6. Распределения числа выделенных интервалов повышенной плотности точек по территории Сибири и Дальнего Востока

Основные результаты и выводы

Настоящая диссертационная работа посвящена исследованию степени внутренней неоднородности законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока, проявляющейся как чередование интервалов повышенной и пониженной плотности точек, что может интерпретироваться как полимодальность. Учет полимодальности необходим при гидротехническом проектировании с целью уменьшения рассогласованности между эмпирическими и сглаживающими их аналитическими кривыми обеспеченностями.

Результаты проведенного исследования заключаются в следующем:

1. Разработана технология автоматизированной оценки (ТАО) полимодальности ЗР годового стока рек, опирающаяся на нормативный документ СП 33-101-2003 по определению основных расчетных гидрологических характеристик, критерий согласия Пирсона и критерий полимодальности Лобанова.

2. Выполнено тестирование ТАО методом Монте-Карло на основе моделирования искусственных выборок с заведомо полимодальными ЗР. Численные эксперименты показали высокую мощность используемых критериев: при длинах выборки 40-60 членов надежность не сделать ошибку 2-го рода составляет 96-99%. Высокая мощность критериев гарантирует высокую надежность статистических выводов при исследовании полимодальных ЗР в природе.

3. На основе богатого эмпирического материала (563 пункта наблюдений) показано широкое распространение (79% при уровне значимости 0,01) полимодальности ЗР годового стока рек Сибири и Дальнего Востока.

4. Впервые разработаны карты распределения характеристик степени полимодальности ЗР для территории Сибири и Дальнего Востока.

5. Показана связь внутренней неоднородности ЗР годового стока и повторяемости типов атмосферной циркуляции для рек бассейнов р. Колыма и р. Анадырь. Предложен критерий для объяснения причин существования двумодальности ЗР этих рек.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Критерии согласия Пирсона и Лобанова могут быть использованы для надежной оценки полимодальности ЗР годового стока рек и для обоснованного применения составных кривых обеспеченности, рекомендуемых СП 33-101-2003.

2. Опыт выделения двумодальности ЗР годового стока рек северо-востока России на основе типов атмосферной циркуляции, представленный в работе, может быть распространен на другие регионы.

3. Выявленное широкое распространение полимодальности ЗР годового стока рек по территории Сибири и Дальнего Востока показывает необходимость дальнейшего глубокого изучения явления полимодальности и разработки физической модели ее формирования.

Практические результаты работы состоят в следующем:

- разработана автоматизированная система для статистической обработки данных гидрологического стока, которая может быть использована для автоматизированной статистической обработки базы данных RArcticNet, построения эмпирических и сглаживающих их аналитических кривых обеспеченностей, расчета критериев полимодальности закона распределения;

- разработанный ГИС-проект «Распространение характеристик полимодальности законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока» позволяет количественно оценивать значения критериев полимодальности, выполнять различные виды пространственного анализа, разработанная модель автоматизирует процесс построения карт и позволяет быстро корректировать карты распространения характеристик степени полимодальности при пополнении базы данных.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Лобанов С.А., **Монинец (Задоя) Д.С.** Особенности территориального распространения полимодальности законов распределения годового стока рек арктического бассейна Сибири и Дальнего Востока // Материалы VIII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2007. – С. 160-161.
2. **Монинец (Задоя) Д.С.** Полимодальность годового стока рек как проявление нелинейности геосфер // Сборник докладов 57-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь – наука – инновации». – Владивосток: Изд-во МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2009. – С. 251-253.
3. Лобанов С.А., **Монинец (Задоя) Д.С.** Зависимость полимодальности законов распределения годового стока рек от некоторых физико-географических характеристик их водосборов // Материалы V Общероссийской научно-практической конференции с международным участием. Вып. 2. / Под общей редакцией Максимова Я.А. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2010. – С. 236-238.
4. **Монинец (Задоя) Д.С.** Разработка программного обеспечения для автоматизации статистического анализа гидрологических данных на примере базы данных RArcticNet // Сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (г. Томск, 11–13 мая 2011 г.). Ч. 2. – Томск: Изд-во СПб Графика, 2011. – С.188-189.

В том числе в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Лобанов С.А., **Задоя Д.С.** Оценка мощности критерия полимодальности законов распределения случайных величин методом Монте-Карло // Экологические системы и приборы. – 2012. – №11. – С. 65-68.
2. Лобанов С.А., **Задоя Д.С.** Картографирование характеристик полимодальности законов распределения годового стока рек Сибири и Дальнего Востока Арктического бассейна // Экологические системы и приборы. –2013. – №3. – С. 17-20.

На программы Polimod и Ordinati, разработанные для решения задач данного диссертационного исследования, получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. **Задоя Д.С.**, Лобанов С.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Polymod» №2012660540 от 23 ноября 2012 г.
2. **Задоя Д.С.**, Лобанов С.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Ordinati» №2012618356 от 23 ноября 2012 г.

ЗАДОЯ Дарья Сергеевна

ВНУТРЕННЯЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ГОДОВОГО СТОКА РЕК АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

25.00.27 – Гидрология суши,
водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.02.2016. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Уч. изд. л. 1,2. Тираж 80 экз.
Отпечатано в типографии ООО “Рея”
690062, г. Владивосток, ул. Днеправская 42 б.

