

На правах рукописи

Смахтин Виталий Константинович

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК
ЗАБАЙКАЛЬЯ

Специальность 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет» и Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

Научный руководитель:

Обязов Виктор Афанасьевич

доктор географических наук, доцент,
заведующий лабораторией региональной
климатологии ИПРЭК СО РАН

Официальные оппоненты:

Вуглинский Валерий Сергеевич

доктор географических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе
ФГБУ «ГГИ»

Измайлова Анна Владиленовна

кандидат географических наук, старший
научный сотрудник лаборатории
географии и природопользования ИНОЗ
РАН

Ведущая организация:

ФГБУН Байкальский институт
природопользования СО РАН

Защита состоится «8» октября 2015 года в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.02 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета или по адресу www.rshu.ru/university/dissertations/

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2015 года.

Ученый секретарь диссертационного совета



В.Н. Воробьев

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В последние десятилетия отмечается потепление климата, которое проявляется как в глобальном масштабе (Climate change, 2013), так и на всей территории России (Оценочный..., 2008; Методы оценки..., 2012). Повышение приземной температуры воздуха происходит также и в Забайкалье. Наибольшее ее увеличение, превышающее 3,5–4,0 °С за полувековой период, приходится на февраль и март (Обязов, 2008). Такие изменения климата оказывают влияние на многие природные процессы, в том числе на гидрологический режим рек Забайкалья.

Изменения режима проявляются через изменение дат начала и окончания ледостава, толщины льда, стока рек в теплый и холодный периоды года. Поэтому важно выявить эти изменения и оценить, насколько они обусловлены такими характеристиками климата как температура воздуха, атмосферные осадки и испарение.

Большое простираение территории Забайкалья с севера на юг обусловило наличие на ней трех природных зон – таежной, степной и лесостепной. Забайкалье преимущественно среднегорная страна, рельеф определяют горы, нагорья и плоскогорья, равнинные пространства здесь не значительны. В виду различных условий, температура воздуха, атмосферные осадки, сток и характеристики ледового режима по территории меняются в широких пределах.

Целью работы является оценка влияния современного изменения климата на гидрологический режим рек Забайкалья.

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

- выполнить анализ ледового режима рек Забайкалья и его зависимости от многолетних изменений средней годовой температуры воздуха;
- оценить влияние атмосферных осадков и испаряемости на территории Забайкалья на характер многолетних изменений стока рек в теплый период года;
- выявить особенности влияния климата на многолетние изменения стока рек в холодный период года на территории Забайкалья.

Объектом исследования являются реки Забайкалья. **Предмет исследования** - гидрологический режим рек Забайкалья.

Теоретическая основа диссертации базируется на работах А.Н. Афанасьева, И.П. Дружинина, В.С. Вуглинского, В.И. Бабкина, исследовавших многолетние колебания речного стока, ледового режима рек и их зависимость от изменений климата.

Материалы исследований: В работе использованы материалы наблюдений на государственной наблюдательной сети Федерального государственного бюджетного учреждения «Забайкальское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» о температуре воздуха, атмосферных осадках, величине стока рек, продолжительности ледостава, датах начала и окончания ледостава, толщине льда. Исследование гидрологического режима выполнялось по данным 81 гидрологического поста, климатические характеристики определялись по данным 48 метеорологических станций.

Методы исследований. С целью выявления параметров линейных трендов многолетних изменений применялся метод наименьших квадратов. Для анализа достоверности трендов использовалась t – статистика Стьюдента при 5% уровне значимости. Согласованность изменений исследуемых характеристик оценивалась с помощью корреляционного анализа. Для выявления циклов использовались интегрально-разностные кривые, спектральный и вейвлет – анализ. Для оценки значимости спектральной плотности, рассчитанной по выборочным данным, использован критерий χ -квадрат. Спектральный анализ в настоящей работе выполнялся с помощью программного пакета «Statistica». Для непрерывного вейвлет-преобразования использовался вейвлет Морле. Анализ осуществлялся с помощью программного пакета «Matlab». Анализ пространственных изменений различных гидрометеорологических характеристик и исследуемых величин, а также их визуализация выполнялась с помощью программного пакета «ArcGIS».

Основные защищаемые положения:

- закономерности ледового режима рек Забайкалья в условиях современных изменений средней годовой температуры воздуха;

- оценка роли атмосферных осадков и испаряемости в формировании стока рек Забайкалья в теплый период года;

- оценка роли предшествующего увлажнения и изменения средней годовой температуры воздуха в формировании стока рек Забайкалья в холодный период года.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- впервые посредством корреляционного анализа выявлено существенное влияние современных изменений температуры воздуха на даты начала и окончания ледостава ($R = 0,80$ и $-0,89$ соответственно) и толщину льда на реках Забайкалья ($R = -0,76$), а также несколько меньшее воздействие на них расхода воды, выражающееся коэффициентами корреляции, не превышающими по модулю значение $0,70$;

- методами вейвлет и корреляционного анализа определена зависимость стока рек в теплый период года в Забайкалье от многолетних изменений атмосферных осадков и испаряемости, которая характеризуется коэффициентами множественной корреляции, равными в Амурском, Ленском и Енисейском бассейнах соответственно $0,73$, $0,70$ и $0,66$;

- оценена степень воздействия предшествующего увлажнения на сток рек Забайкалья в холодный период года, показавшая его определяющее влияние (в 76 % створов коэффициент корреляции этой связи имеет значения $0,7$ и более), в то время как роль многолетнего повышения температуры воздуха проявилась через увеличение доли зимнего стока в его годовом объеме.

Теоретическая значимость диссертационного исследования. Получены новые фундаментальные знания:

- о многолетних изменениях продолжительности ледостава и максимальной толщины льда на реках Забайкалья и факторах на них влияющих в условиях потепления;

- о современных изменениях атмосферных осадков и испаряемости и влиянии их на сток рек в теплый период года;

- о зависимости стока рек Забайкалья в холодный период года от предшествующего увлажнения и температуры воздуха.

Практическая значимость. Результаты исследования нашли применение в работе Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Полученные данные используются в учебном процессе Забайкальского государственного университета. Работа может представлять интерес для органов Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Забайкальскому краю и Республике Бурятия.

Научная обоснованность и достоверность результатов работы основывается на использовании в качестве теоретической и методологической базы исследования научных трудов отечественных и зарубежных ученых, учете большого массива гидрометеорологических данных по территории Забайкалья и использовании современных, объективных методов статистического анализа и параметрических критериев статистической оценки достоверности получаемых результатов.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном выборе методов исследования, обработке исходных данных для выявления закономерностей влияния различных климатических факторов на гидрологический режим рек. Автор лично выполнил статистическую обработку исходных данных, их пространственно-временной анализ и обобщение полученных результатов.

В диссертации используются результаты работ, выполненных в соавторстве с В.А. Обязовым.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на международных и отечественных конференциях: симпозиум «Геоэкологические, экономические и социальные проблемы природопользования» (Чита, 2011); Научная сессия молодых сотрудников ИПРЭК СО РАН (Чита, 2012); Международная научная конференция «Региональный отклик окружающей

среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии» (Иркутск, 2012); научно-практическая конференция студентов, магистрантов и аспирантов Забайкальского государственного университета в рамках «Молодежной научной весны ЗабГУ-2013» (Чита, 2013); XIII международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (Чита, 2013); Всероссийский научный семинар «Гео- и экосистемы трансграничных речных бассейнов на востоке России: проблемы и перспективы устойчивого развития» (Стационар Денисова пещера, Алтайский край, 2013); II Всероссийская научная конференция с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2014). Основные результаты диссертации докладывались также на научных семинарах кафедры водного хозяйства и инженерной экологии ЗабГУ (2012, 2013, 2014), ученом совете ИПРЭК СО РАН (2014) научных семинарах кафедры гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ (2015).

Публикации. По теме исследования опубликовано 8 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы 131 л., 29 рисунков, 8 таблиц, 16 приложений. Список цитируемой литературы насчитывает 137 источников.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризована ее научная новизна и практическая значимость, определены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен анализ литературы, посвященной теме влияния изменений климата на гидрологический режим рек. Рассмотрены современные публикации по теме исследования, в том числе и статьи, в которых затрагиваются исследования на территории Забайкалья. Представлены

материалы и методы исследований, используемые в работе. Рассмотрены: общая характеристика района исследования, бассейны рек Амур, Енисей и Лена на территории Забайкалья.

Во **второй главе** рассмотрено изменение климата на территории Забайкалья. Описаны такие его характеристики как температура воздуха и почвы, атмосферные осадки и испаряемость.

Средняя температура воздуха по территории Забайкалья изменяется в пределах от 0°C до –10°C. Наиболее теплыми являются южный и юго–западный районы. Наибольшая средняя годовая температура воздуха зафиксирована в Кяхте. Здесь за период с 1951 по 2010 годы она составила 0,3°C. Северные и северо-восточные территории Забайкалья характеризуются низкими средними годовыми температурами воздуха.

Многолетние изменения температуры воздуха в различных районах исследуемого региона хорошо согласованы между собой. Во всех рядах данных ее средних годовых значений просматриваются положительные, значимые тренды (рис.1). Наибольшее увеличение средних месячных температур за последние 60 лет отмечается в феврале (4,3°C). Определено, что с 1951 по 2010 гг. средняя температура воздуха за холодный период (октябрь – апрель) увеличилась на 2,1 °C. Средняя температура воздуха теплого периода (май–сентябрь) за последние 60 лет увеличилась на 1,4°C. В среднем по Забайкалью за период с 1951 по 2010 годы средняя годовая температура воздуха увеличилась на 1,8°C. Данные тренды являются достоверными.

При анализе рядов изменения средней годовой температуры почвы на глубинах от 80 до 320 см было определено, что на метеостанции Чита за период с 1975 по 2010 гг. она увеличилась на 0,5 - 0,9°C. На метеостанции Кабанск за период с 1977 по 2010 гг. увеличение составило 1,6 - 1,7°C. На метеостанции Нижнеангарск за 34 года средняя годовая температура почвы увеличилась на 0,8 - 1,3°C. В среднем по метеорологическим станциям Чита, Борзя, Кабанск, Нижнеангарск, Чара за период с 1977 по 2010 гг. на глубине 160 см средняя

годовая температура почвы увеличилась на 1,3°C. Данный тренд является достоверным.

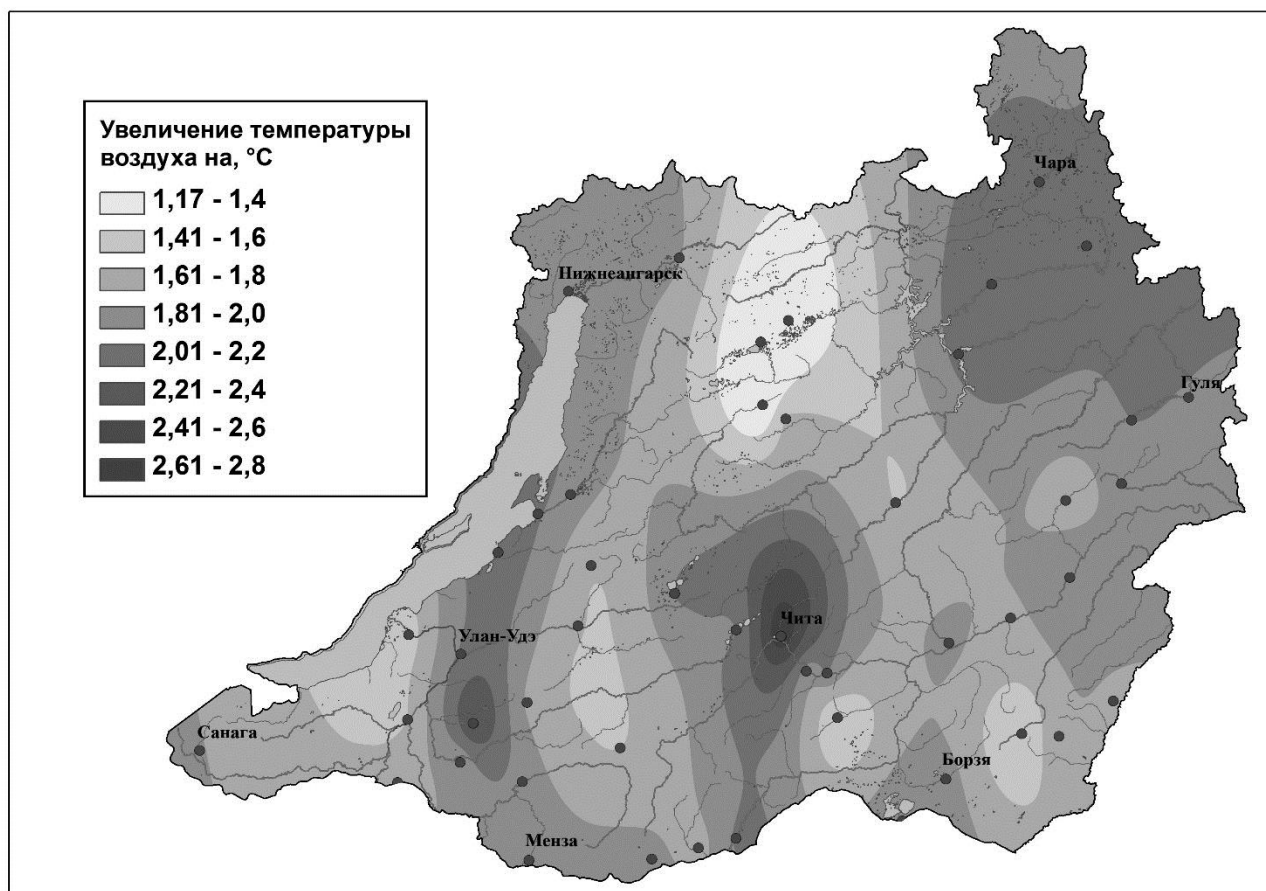


Рис.1. Распределение величины линейного тренда изменений средней годовой температуры воздуха на территории Забайкалья за 1951-2010 гг.

Количество атмосферных осадков в Забайкалье распределено неравномерно. Их годовая сумма меняется по исследуемой территории от 270 до 670 мм. Многолетние изменения годовых сумм атмосферных осадков не имеют выраженной согласованности в своих многолетних колебаниях. Средний коэффициент корреляции между рядами изменения годовых сумм атмосферных осадков составил по метеостанциям Амурского бассейна - 0,46, Енисейского – 0,33, Ленского – 0,31.

Анализ внутригодового распределения атмосферных осадков показал, что большая их часть выпадает летом: на июль приходится 27%, на август 23%, на июнь 16% (рис. 2). В сентябре выпадает 12% атмосферных осадков, в мае и

апреле 7% и 4% соответственно. В зимний сезон выпадает менее 4% атмосферных осадков.

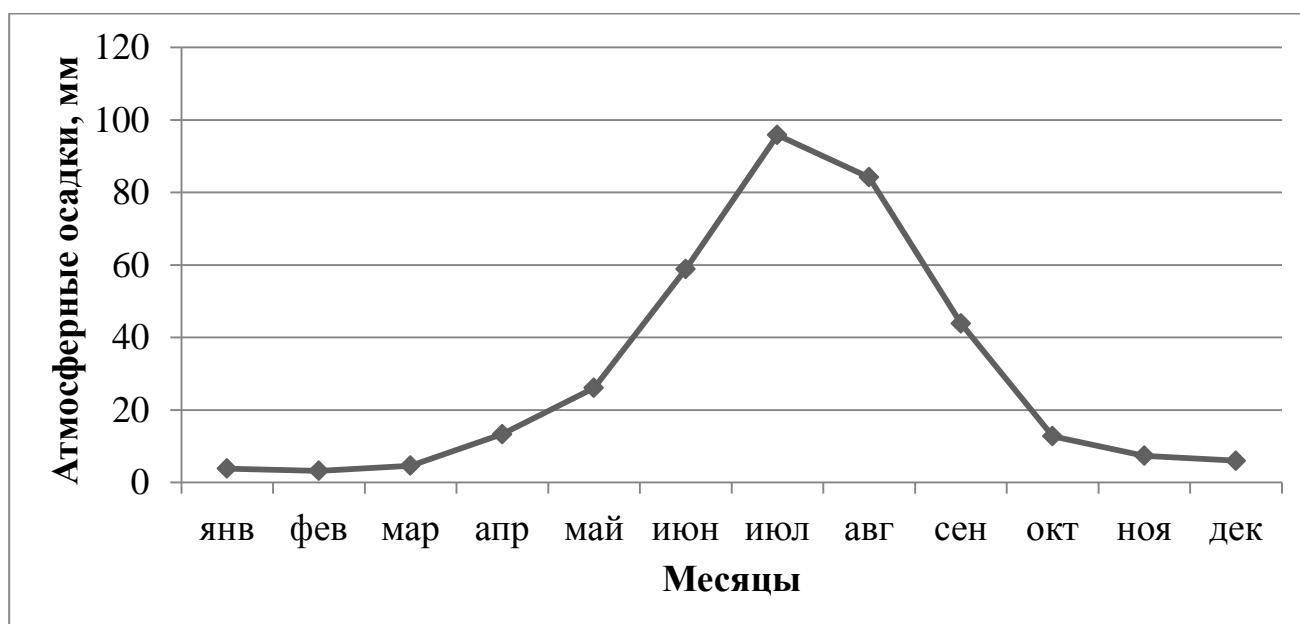


Рис. 2. Внутригодовое распределение атмосферных осадков по территории Забайкалья.

Колебания годовых сумм атмосферных осадков характеризуются цикличностью. С 1951 до 1955 отмечается фаза низких значений годовых сумм атмосферных осадков. С 1956 по 1970 годы отмечается фаза увеличения выпадения осадков. С 1971 по 1981 годы – фаза низких значений. За период 1982 – 1998 гг. прослеживается фаза высоких значений годовых сумм атмосферных осадков. С 1999 года началась фаза низких значений. При построении вейвлет спектра по осредненным по территории аномалиям годовых сумм атмосферных осадков также отмечается наличие цикличности (рис. 3). Здесь четко прослеживаются 30–летние колебания. Присутствуют 8-9 летние колебания с 1947 по 1980 гг. и 14-15–летние колебания в период с 1960 по 2000 гг. Так же на графике имеются 5–летние и более мелкие колебания годовых сумм атмосферных осадков. Спектральный анализ выявил 13-14–летние колебания, достоверные с вероятностью 90%.

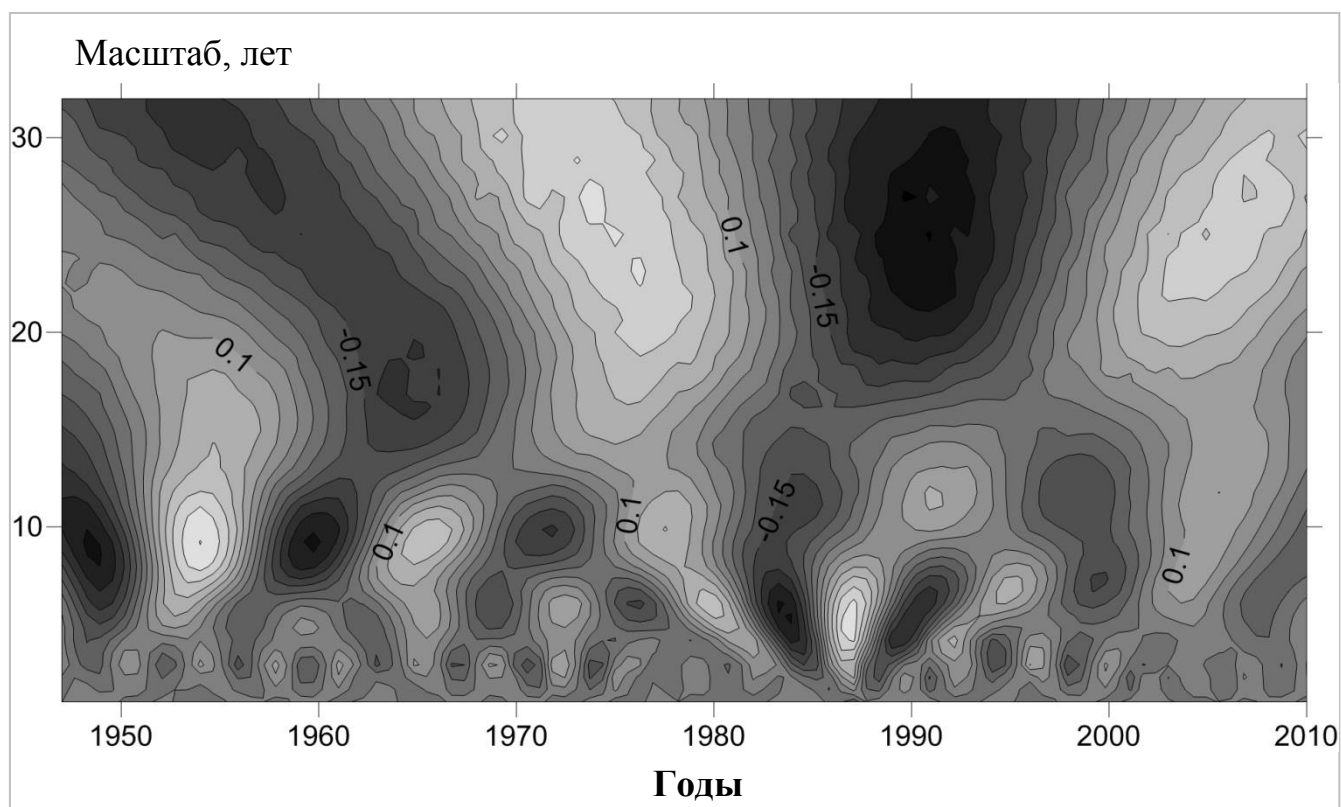


Рис. 3. Вейвлет спектр многолетних изменений осредненных по территории Забайкалья аномалий годовых сумм атмосферных осадков.

За период с 1947 по 2010 годы средняя по бассейну Амура годовая сумма атмосферных осадков сократилась на 43 мм. Данный тренд является достоверным. По бассейнам Енисея и Лены годовая сумма атмосферных осадков за этот же период сократилась на 28 мм и 11 мм, соответственно. Данные тренды не достоверны.

При оценке испаряемости было определено, что в рядах ее изменения за многолетний период согласованность проявляется слабо. Из 38 рядов изменения испаряемости 32 имеют положительный тренд. Ряды с отрицательным трендом не являются достоверными при 5% уровне значимости. Всего достоверными являются 70% трендов. За период с 1951 по 2010 гг. испаряемость увеличилась в среднем по бассейну Амура на 78 мм, Енисея 37 мм, Лены 42 мм. Данные тренды являются достоверными.

В **третьей** главе рассмотрен ледовый режим рек. Дано описание таких характеристик как даты начала и окончания ледостава, продолжительность ледостава, толщина льда и оценена их зависимость от температуры воздуха и

величины стока. Различные объемы воды по-разному реагируют на изменения теплового баланса. Чем больше объемы речного стока, тем больше тепловая инерция, и наоборот. Соответственно, изменения стока будут влиять на сроки установления и разрушения ледостава, на его продолжительность и толщину льда.

Даты начала и окончания ледостава на реках Забайкалья, а также его продолжительность за исследуемый период изменились. В среднем по территории за 50-летний период даты начала ледостава сдвинулись на 5 дней в сторону более позднего замерзания. Изменение температуры воздуха в большей степени повлияло на изменение дат установления ледостава при значимом влиянии на них изменений величины стока. Даты окончания ледостава в среднем по Забайкалью сдвинулись на 3 дня в сторону более раннего вскрытия. Изменение дат окончания ледостава в большей степени зависит от температуры воздуха, чем от величины стока.

Изменение дат начала и окончания ледостава, соответственно, привели к изменениям его продолжительности. В подавляющем количестве створов (85 %) она уменьшилась. По Бассейну Енисея за 50 лет продолжительность ледостава сократилась на 11 дней, по бассейну Лены на 6 дней, по бассейну Амура на 5 дней. В среднем по территории Забайкалья за период с 1958-1959 по 2007-2008 годы продолжительность ледостава сократилась на 7,5 дней. Данный тренд достоверен.

Изменение толщины льда на большинстве рек согласуется с изменениями температуры воздуха (рис. 4). Наибольшая согласованность характерна для изменений максимальной толщины льда и средней температуры за период октябрь-март. При этом в 78 % створов коэффициенты корреляции достоверны при 5%-ном уровне значимости. Из средних месячных температур наибольшее влияние на максимальную толщину льда оказывает температура февраля. В 56 % створов коэффициент корреляции, оценивающий эту связь, больше чем в другие месяцы. Меньше, чем в другие месяцы, коэффициент корреляции, характеризующий зависимость толщины льда от температуры марта.

Согласованность пространственно осредненных межгодовых изменений температуры воздуха и максимальной толщины льда характеризуется коэффициентом корреляции равным $-0,76$.

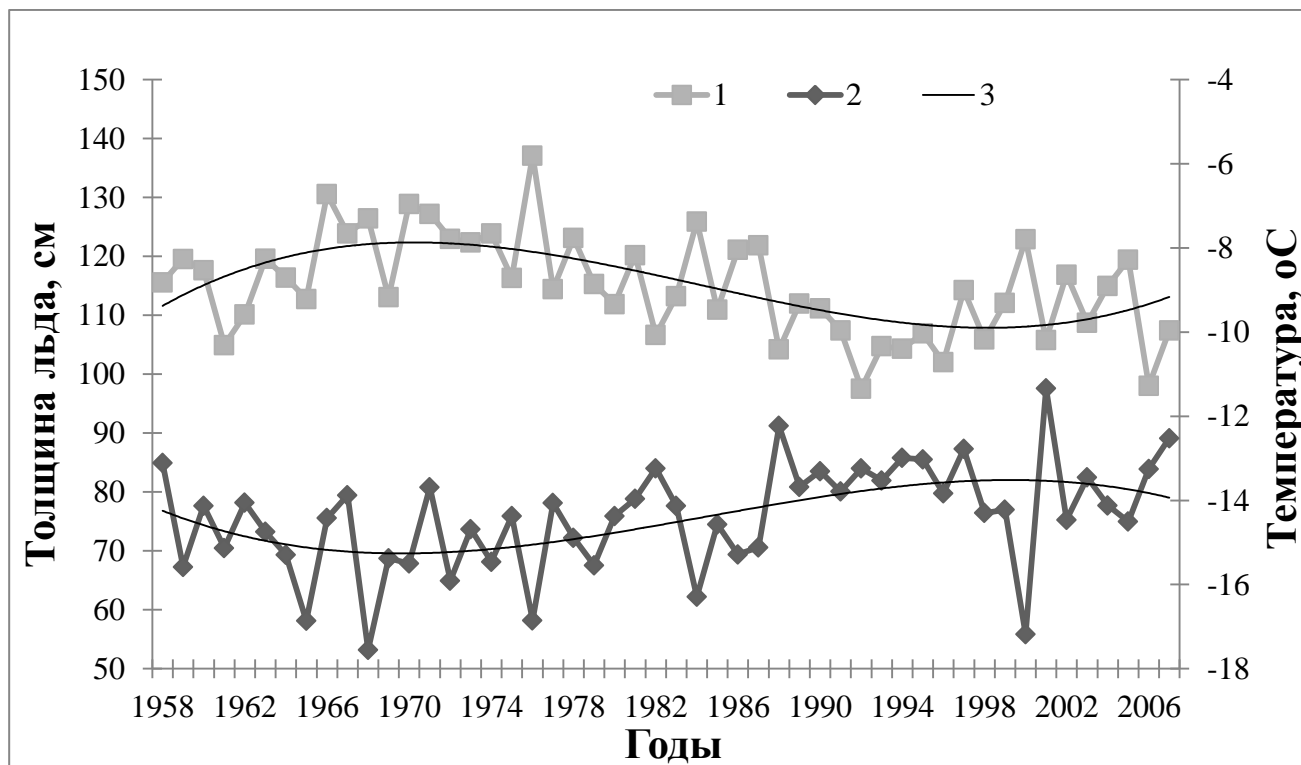


Рис. 4. Многолетние изменения осредненных по территории Забайкалья толщины ледяного покрова (1), температуры воздуха за октябрь-апрель (2) и их полиномиальные тренды (3).

Оценка влияния величины стока на максимальную толщину льда показала, что это влияние существенно меньше, чем температуры воздуха. Наибольшая зависимость максимальной толщины от величины речного стока отмечается в марте. В 50 % створов значения коэффициентов корреляции, характеризующих эту связь, статистически достоверны при 5%-ном уровне значимости. Коэффициент корреляции между рядами пространственно осредненных их значений составил $-0,68$.

Анализ декадных значений толщины льда за два периода, отличающихся по температуре воздуха (рис. 5), показал, что практически во всех исследованных створах толщина льда стала меньше в течение всего ледостава.

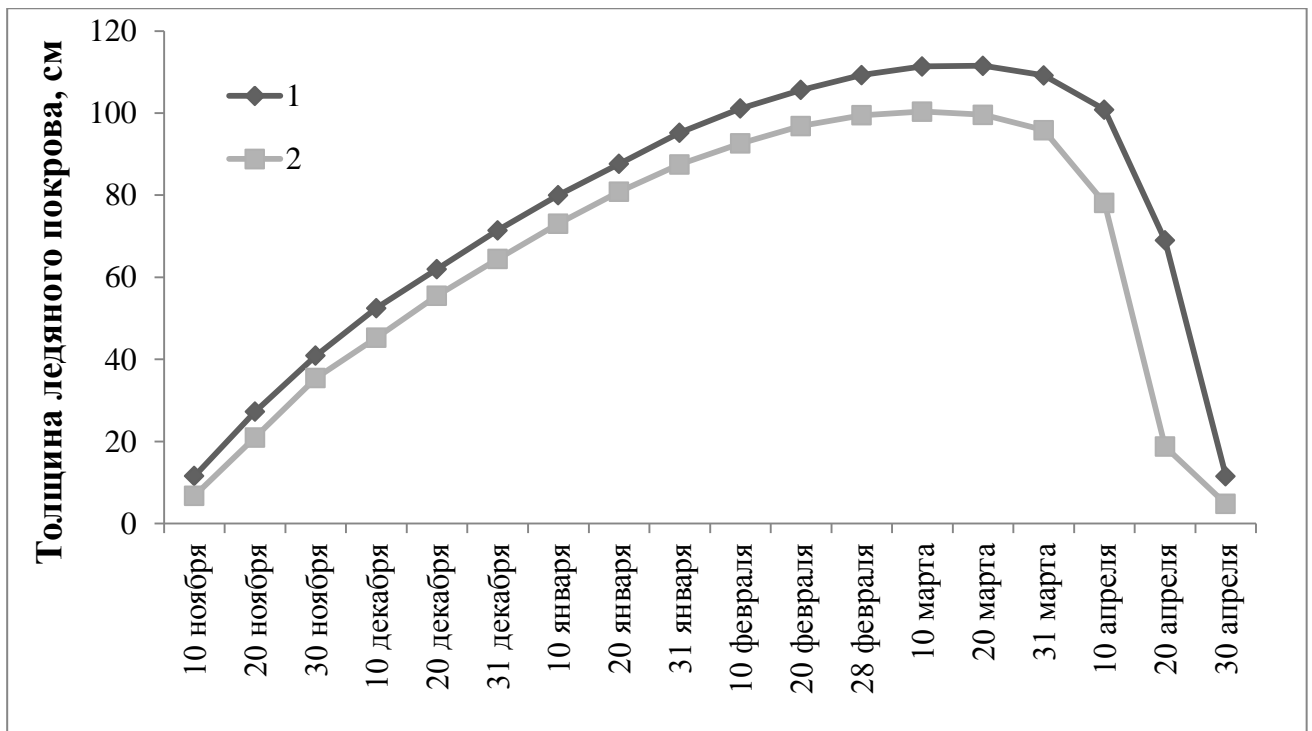


Рис. 5. Декадные изменения толщины ледяного покрова, осредненные по территории Забайкалья за периоды 1958/1959 – 1987/1988 гг. (1) и 1988/1989 – 2006/2007 гг. (2).

По бассейну Енисея за 50 лет максимальная толщина льда уменьшилась на 12 см по 21 посту, по бассейну Амура на 9 см по 7 постам. Бассейн Лены характеризуется одной не промерзающей рекой – Чара. Здесь максимальная толщина льда за 50 лет уменьшилась на 67 см. В среднем по территории Забайкалья за период с 1958-1959 по 2007-2008 годы максимальная толщина льда уменьшилась на 13 см. Тренд является достоверным.

В **четвертой главе** освещены колебания стока и их зависимость от изменения климата. В главе имеется два раздела. В первом разделе рассмотрен годовой сток и сток рек теплого периода.

Для выявления согласованности колебаний стока были вычислены коэффициенты корреляции между рядами средних годовых расходов воды по рекам трех исследуемых бассейнов. В результате полученных данных можно отметить, что колебания внутри Амурского и Ленского бассейнов происходят достаточно согласованно. Количество коэффициентов корреляции превышающих значение 0,5 составило: по Амурскому бассейну – 72%, по

Ленскому бассейну – 64%. По рекам бассейна реки Енисей данное значение составило 37%. Сток большинства рек, впадающих в озеро Байкал, имеет слабую корреляционную связь.

Характерной чертой многолетнего режима стока рек Забайкалья является цикличность. Данное утверждение подтверждается при построении интегрально-разностных кривых, вейвлет и спектральном анализе. Средний годовой модуль стока по Амурскому бассейну уменьшился на 0,14 л/(с*км²), по бассейну Енисея увеличился на 0,36 л/(с*км²), по Ленскому бассейну увеличился на 0,80 л/(с*км²). В среднем по Забайкалью средний годовой модуль стока увеличился на 0,15 л/(с*км²). Однако, тренды изменения среднего годового модуля стока как в среднем по трем бассейнам, так и по каждому бассейну в отдельности не являются достоверными. В таблице 1 приведено количество положительных и отрицательных трендов изменения годового стока и их достоверность.

Таблица 1

Тренды изменения годового стока

Бассейн	Значения	Количество (из них достоверны)
Амурский	положительные	13(2)
	отрицательные	27(3)
Енисейский	положительные	17(6)
	отрицательные	12(4)
Ленский	положительные	6(1)
	отрицательные	3(0)

Годовой сток рек Забайкалья практически полностью формируется за счет стока в теплый период года. Коэффициент корреляции между осредненными значениями изменения годового стока и стока рек теплого периода составил по бассейну: Амура 0,96, Енисея 0,84, Лены 0,97.

Средний коэффициент корреляции между рядами средней испаряемости и рядами стока теплого периода года (май-сентябрь) по бассейну Енисея равен -

0,51 за период с 1961 по 2008 гг. За период с 1961 по 2009 гг. средний коэффициент корреляции составил по Амурскому -0,56, по Ленскому -0,44. Следовательно, испаряемость оказывает влияние на сток теплого периода года и эта зависимость обратно пропорциональна. Коэффициенты корреляции между рядами средних расходов воды за период май – сентябрь и рядами сумм атмосферных осадков за этот же период являются значимыми и указывают на значительное влияние атмосферных осадков на формирование летнего стока (табл. 2).

Коэффициент множественной корреляции зависимости изменений стока в теплый период года от изменений атмосферных осадков и испаряемости составил по Амурскому 0,73, Енисейскому 0,66, Ленскому 0,70. В среднем по Забайкалью коэффициент множественной корреляции равен 0,70.

Таблица 2

Средний коэффициент корреляции между рядами стока и атмосферных осадков

Длина Рядов	59	58	57	56	55	54	53	52	50
Количество пунктов	17	15	7	6	7	6	3	3	1
Средний R	0,63	0,59	0,71	0,63	0,70	0,56	0,54	0,60	0,65

При построении интегрально – разностных кривых выявляется цикличность в многолетнем изменении стока рек и атмосферных осадков. Согласованность многолетних изменений более четко просматривается на совмещенных графиках вейвлет спектра изменения аномалий средней испаряемости, изменения аномалий годовых сумм атмосферных осадков и изменения аномалий годового расхода воды (рис. 6).

За период с 1958 по 2008 годы средний модуль стока по Амурскому бассейну уменьшился на $0,42 \text{ л/с*км}^2$, по бассейнам рек Енисея и Лены увеличился на $0,42 \text{ л/с*км}^2$ и $1,75 \text{ л/с*км}^2$ соответственно, однако эти тренды не являются достоверными.

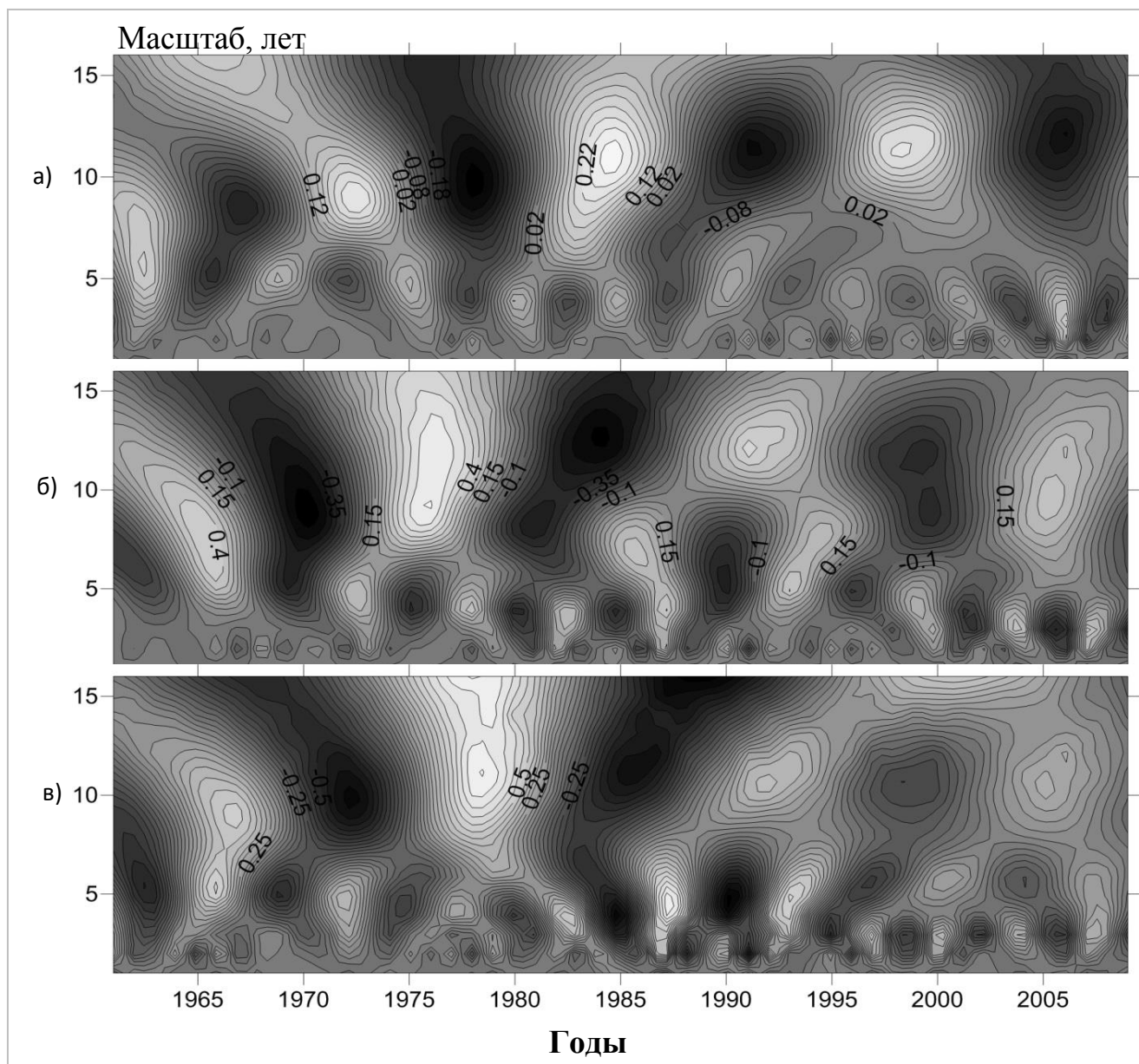


Рис 6. Вейвлет спектры аномалий средней испаряемости на метеостанции Чита (а); аномалий годовых сумм атмосферных осадков на метеостанции Чита (б); аномалий среднего годового расхода воды на гидрологическом посту р. Ингода – с. Атамановка (в).

Во втором разделе рассмотрены факторы, влияющие на сток рек в холодный период года.

Величина стока в зимний период (ноябрь-март) большинства рек Забайкалья составляет незначительную часть годового объема. Это связано в первую очередь с их промерзанием до дна. В многолетних изменениях речного стока в зимний период на территории Забайкалья отмечаются различные по

величине и знаку тенденции. На трети створов они отрицательны, но только в 5 из них линейные тренды статистически достоверны при 5 %-ном уровне значимости. Достоверных трендов, имеющих положительный знак, значительно больше – 23. Высокая степень согласованности годового и зимнего стока подтверждается при корреляционном анализе, при построении интегрально-разностных кривых, при спектральном и вейвлет анализе. В связи с тем, что в конце октября – начале ноября обычно устанавливается ледостав, величину стока в октябре можно принять в качестве меры запасов подземных вод на водосборе к началу зимнего режима на реках, т.е. предшествующего увлажнения водосборов. Анализ показал существенную зависимость стока в ноябре-марте от стока в октябре. В 76 % створов коэффициент корреляции этой связи имеет значения 0,7 и более, и в 98 % створов – 0,5 и более.

Доля зимнего стока, осредненная по территории Забайкалья, за 50-летний период увеличилась. Ее увеличение составило около 1 % годового объема стока или 20 % объема зимнего стока. Анализ многолетних тенденций доли зимнего стока в отдельных створах показал, что в большинстве из них (в 55 из 79) она возросла. Однако только в 30-ти временных рядах положительные линейные тренды достоверны при 5%-ном уровне значимости. В 22-х рядах выявлен отрицательный тренд, в 6-ти из которых тренды статистически достоверны. В многолетних изменениях территориально осредненных значений доли стока и температуры воздуха в зимний период выявлены общие черты. Повышенным температурам в 1990-х – 2000-х годах соответствуют бóльшие по сравнению с предыдущим периодом доли зимнего стока. Несмотря на то, что коэффициент корреляции между температурой и долей стока не достоверен при 5%-ном уровне значимости ($r = 0.21$), согласованность между их полиномиальными трендами практически функциональна ($r = 0.999$). Величина доли зимнего стока имеет обратную зависимость от толщины льда, которая для средних по территории Забайкалья значений характеризуется коэффициентом корреляции равным $-0,55$, а тренды временных рядов имеют противоположный ход.

Заключение

1. С середины XX века в Забайкалье происходит повышение температуры воздуха. В результате ее изменения даты начала ледостава на реках Забайкалья за 50-летний период сместились в сторону более позднего замерзания в среднем на 5 дней ($R = 0,80$), а даты окончания ледостава – в сторону более раннего вскрытия в среднем на 3 дня ($R = -0,89$). Меньшее влияние на даты установления ледостава оказывает расход воды ($R = 0,69$). Смещение этих дат привело к сокращению продолжительности ледостава. Уменьшение толщины льда также обусловлено в основном современным потеплением ($R = -0,76$), в то время как изменение речного стока влияет на его величину в меньшей степени ($R = -0,68$).

2. Межгодовые колебания атмосферных осадков и испаряемости на территории Забайкалья характеризуются цикличностью. В изменениях годовых сумм атмосферных осадков преобладают отрицательные тренды, но только на 15% пунктов наблюдений они являются достоверными, в то время как испаряемость имеет статистически значимую тенденцию увеличения. Сток рек Забайкалья в теплый период года за счет его преобладания в годовом объеме определяет многолетние изменения годового стока и зависит от атмосферных осадков и испаряемости, что подтверждает вейвлет, спектральный и корреляционный анализы. Множественный коэффициент корреляции этой зависимости равен в бассейне Амура 0,73, Лены 0,70, Енисея 0,66. В многолетних изменениях стока хорошо выражена цикличность, линейные тренды по рекам трех бассейнов статистически не достоверны.

3. Сток рек Забайкалья в холодный период года зависит от предшествующего увлажнения (в 76 % створов коэффициент корреляции этой связи имеет значения 0,7 и более), имеет хорошую согласованность с годовым стоком. В многолетнем изменении характеризуется, как положительными, так и отрицательными трендами, которые в большинстве случаев статистически не достоверны. Доля зимнего стока в его годовом объеме на большинстве рек имеет положительный тренд. Это обусловлено главным образом повышением температуры воздуха и в меньшей степени уменьшением толщины льда.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендуемых перечнем ВАК РФ:

1. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России. 2012. № 1. С. 63 – 72. (соавтор Обязов В.А.)
2. Влияние изменений климата на речной сток в зимний период в Забайкалье // Метеорология и гидрология. 2013. № 7. С. 95-102. (соавтор Обязов В.А.)
3. Ледовый режим рек Забайкалья в условиях изменяющегося климата // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 227-234. (соавтор Обязов В.А.)

Другие публикации:

4. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек бассейна реки Онон // Материалы научной конференции «Эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования» и симпозиума «Геоэкологические, экономические, и социальные проблемы природопользования». – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2011. С. 195-197. (соавтор Обязов В.А.)
5. Многолетние изменения характеристик ледового режима рек Амурского бассейна в Забайкальском крае // Материалы научной конференции «Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии». – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Том 2. 2012. С. 142 – 145.
6. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек Забайкалья в теплый период года // Материалы XIII Международной научно-практической конференции "Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов". – Чита: ЗабГУ. 2013. С. 132-133.
7. Годовой сток рек Забайкалья // Водные ресурсы и водопользование. - Чита: ЗабГУ, 2013. Вып. 6. С. 64-68.
8. Гидрологический режим рек бассейна реки Аргунь // Труды II Всероссийской научной конференции с международным участием "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". - Барнаул, Т.1. 2014. С. 210-216. (соавтор Обязов В.А.).