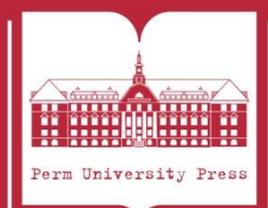


**ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ВОПРОСЫ
ГИДРОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**HYDROLOGY, GEOECOLOGY
AND PROTECTION OF WATER BODIES**

**Материалы межрегиональной
научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых
ученых**



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**HYDROLOGY, GEOECOLOGY
AND PROTECTION OF WATER BODIES**

Материалы
межрегиональной научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых

(13 декабря 2023 г.)



Пермь 2023

УДК 556.552: 556.113

ББК 26.222

В745

Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов =
В745 Hydrology, Geocology and Protection of Water Bodies: материалы меж-
региональной научно-практической конференции студентов, аспиран-
тов и молодых ученых (13 декабря 2023 г.) ; Пермский государствен-
ный национальный исследовательский университет. – Электронные
данные – Пермь, 2023. – 2,39 Мб; 49 с. Режим доступа:
[http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/Voprosy_gidrologii_
_geoecologii_ohrany_vodnyh_obektov-2023.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/Voprosy_gidrologii_geoecologii_ohrany_vodnyh_obektov-2023.pdf). – Заглавие с экрана.
ISBN 978-5-7944-4077-5

Представлены материалы научно-практической конференции, на которой были рас-
смотрены вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов Пермского края и со-
предельных территорий.

Издание предназначено для студентов и магистрантов направлений «Гидрология» и
«Гидрометеорология», а также аспирантов направления «Науки о Земле».

The conference proceedings cover some issues of hydrology, geocology and protection of
water bodies of the Perm region (Perm Krai) and adjacent territories.

The publication is intended for students and holders of master's degree in Hydrology and
Hydrometeorology as well as postgraduate students of the Earth Science program.

УДК 556.552: 556.113

ББК 26.222

Издается по решению оргкомитета конференции

*Ответственный за выпуск **О. А. Березина***

Рецензенты: канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории ПГС Горного института
УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН **Ю. С. Ляхин**;

д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии
горного производства Института горного дела УрО РАН **Л. С. Рыбникова**

ISBN 978-5-7944-4077-5

© ПГНИУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Забайдулин А.Н. Анализ темпов берегообрушения на участке Камского водохранилища	4
Имшинецкая Е.П. Об изменениях годового стока реки Чусовой	8
Козлова М.М. Особенности весеннего половодья рек Обвы и Иньвы за 2010–2020 гг.	12
Механошина Е.В., Никитина Т.С. Многолетние колебания продолжительности весеннего половодья на реках водосбора Воткинского водохранилища	16
Механошина Е.В., Бабичева Л.А. О формировании стока в летне-осенний период на реках водосбора Воткинского водохранилища	22
Саликов Д.А. Характеристика осенних ледовых явлений в верхнем течении реки Волги	27
Скорород А.С. Верификация процесса снеготаяния с данными космического мониторинга на водосборе р. Вишеры за 2015 г.	30
Соснина Д.А. Анализ факторов влияющих на величину стока рек в период зимней межени	35
Тимачёва Т.Е. Проверка многолетних рядов сроков ледообразования на однородность с помощью критериев Диксона и Смирнова-Граббса	40
Фотина А.С. Анализ планового смещения участка русла реки Вишеры в районе с. Редикор	45

АНАЛИЗ ТЕМПОВ БЕРЕГООБРУШЕНИЯ НА УЧАСТКЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Забайдулин Артур Наилевич
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь
E-mail: artur-zn2013@yandex.ru
Научный руководитель
Виталий Германович Калинин
зав. кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов, д.г.н.,
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

ANALYSIS OF THE RATES OF BANK COLLAPSE AT THE SITE OF THE KAMA RESERVOIR

Artur N. Zabaidulin
Perm State University, Perm
Supervisor: Vitaliy G. Kalinin
Head of the Department of Hydrology
and Water Resources Protection
Doctor of Geographical Sciences
Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнено исследование интенсивности процесса переформирования берегов на Камском водохранилище. С использованием геоинформационных технологий проведены расчеты отступления бровки берега за период 1999–2007 гг. на стационаре Слудка, которое составило 4,63 м. Анализ причинно-следственных связей величины отступления береговой линии от обуславливающих факторов показал, что основной причиной разрушения берегового уступа явилась абразия.

Ключевые слова: водохранилище; переформирование берегов; абразия.

Annotation

A study of the intensity of the process of re-forming of the banks at the Kama reservoir was carried out. With the use of geoinformation technologies, calculations of the retreat of the shore edge for the period 1999-2007 at the Sludka hospital were carried out, which amounted to 4.63 m. The analysis of the causal relationships of the magnitude of the deviation of the coastline from the conditioning factors showed that the main cause of the destruction of the coastal ledge was abrasion.

Keywords: reservoir; reshaping of the banks; abrasion.

Введение

С созданием водохранилищ, как новых водных объектов суши, возникла проблема переработки и разрушения их берегов. Под переработкой берегов понимается совокупность экзогенных геологических процессов (эрозия, абразия, аккумуляция, оползни, карст, суффозия и др.), обусловленных изменившимися в результате создания водохранилища природными

условиями и приводящих к деформациям прибрежных территорий [4]. Интенсивность разрушения берегов под действием абразии связана с мощностью волнения, с размываемостью горных пород, уровнем режимом и высотой берега [2]. Поэтому изучение интенсивности переформирования берегов является важной и актуальной задачей.

Целью настоящей работы является анализ темпов берегообрушения участка Камского водохранилища на основе результатов топографических съемок.

Исходные данные и методы исследований

В качестве исходных данных использованы материалы многолетних экспедиционных наблюдений за переформированием берегов на стационаре Слудка Камского водохранилища, которые проводились сотрудниками кафедры физической географии и ландшафтной экологии с 1998 по 2007 гг. [3]. Во время экспедиций выполнялись теодолитная съемка бровки берега и промеры глубин по створам.

Анализ хода уровня воды проведен на основе данных наблюдений по гидрологическому посту (г/п) Чермоз, расположенном в центральной части Камского водохранилища. По метеостанции Чермоз использовались материалы наблюдений за скоростью и направлением ветра. Расчет берегоотступления выполнен в среде ГИС MapInfo Pro 16.

Анализ результатов

Съемки береговой линии осуществлялись в летне-осенний период. Участок наблюдений располагался на правом берегу Камского водохранилища около с. Слудка. Высокий (до 20 м) и отвесный берег сложен аллювиальными песками, перекрытыми аллювиально-делювиальными суглинками, относится к абразионно-обвальному типу переформирования [3].

На основе данных многолетних съемок выполнены расчеты ежегодного отступления бровки берега. При этом рассчитывались средняя и максимальная величины отступления бровки за каждый год (рис. 1).

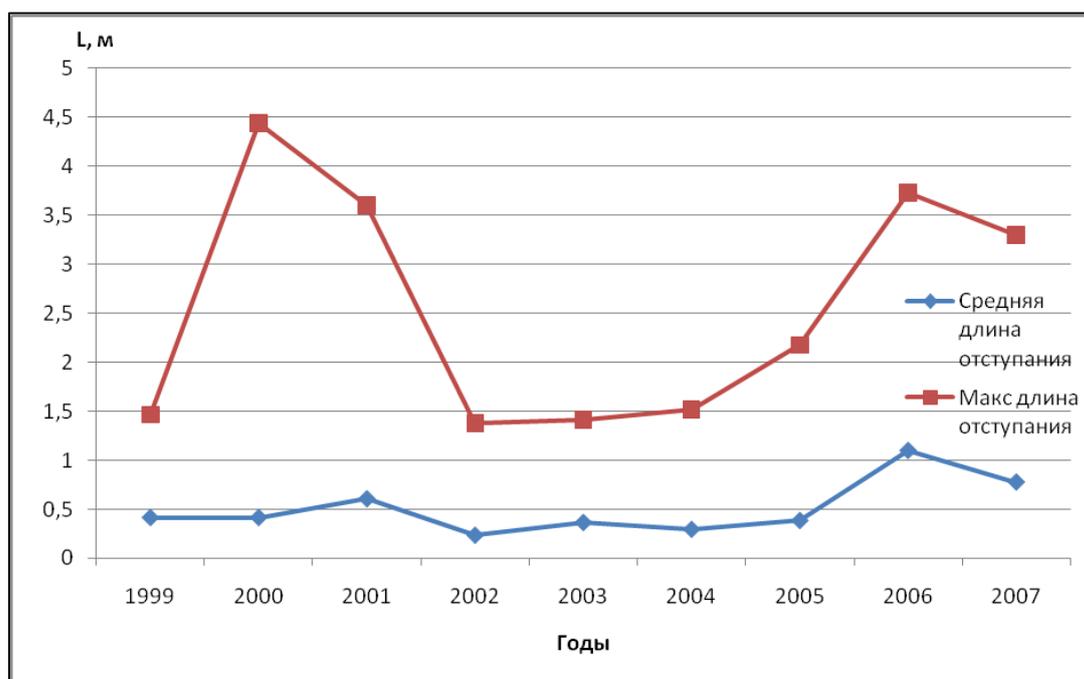


Рис. 1. Динамика отступления бровки берега на стационаре Слудка

Как видно из рис. 1, ежегодное отступление бровки берега составляет в среднем 0,5 м с увеличением до 1,1 м в последние годы наблюдений. Такие небольшие значения обусловлены значительной высотой берегового уступа. В тоже время, если рассматривать максимальные значения отступления, то они в отдельные годы достигали 4,44 м. На рис. 1 видно, что отступление бровки берега происходит циклично. Это может говорить о неравномерности перестроения берега, когда несколько лет обвалов берега не происходит.

Одной из основных причин разрушения берега на этом стационаре является процесс абразии. Волны свободно достигают плоскости абразионного уступа, т.к. прибрежная отмель незначительна по ширине. Длина разгона волн составляет 8-25 км (рис. 2). На акватории средняя высота волн достигает 1,0-2,4 м [1].

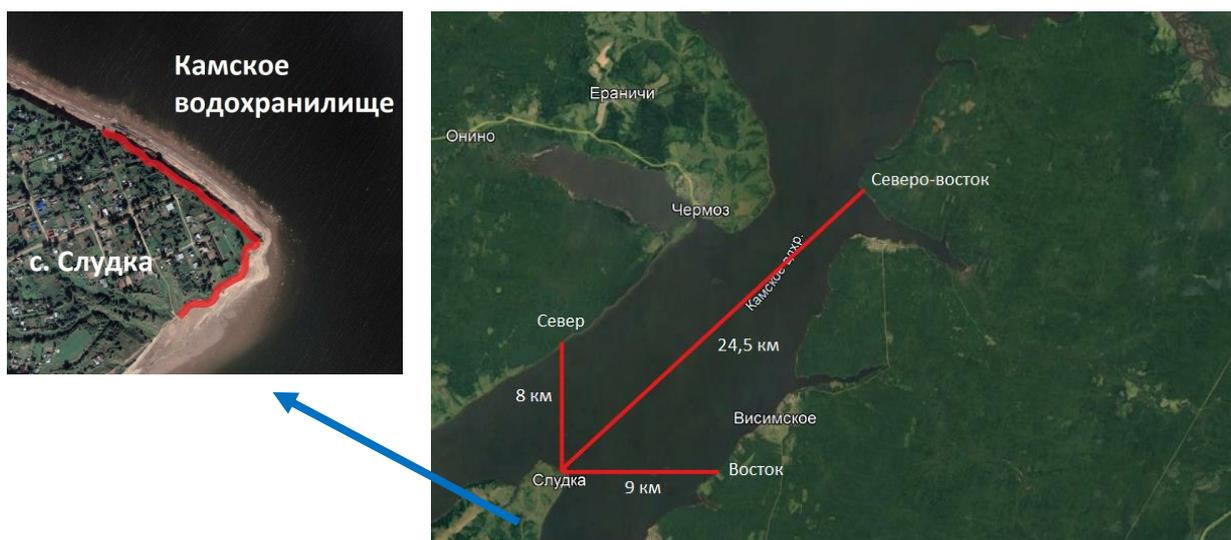


Рис. 2. Длины разгона волн через водохранилище по основным сторонам света

Причиной формирования волн являются штормы со скоростью ветра более 9 м/с и продолжительностью до нескольких дней. Большая глубина и длина разгона способствуют образованию достаточно высоких волн. Ежегодное количество штормов показано на рис. 3.

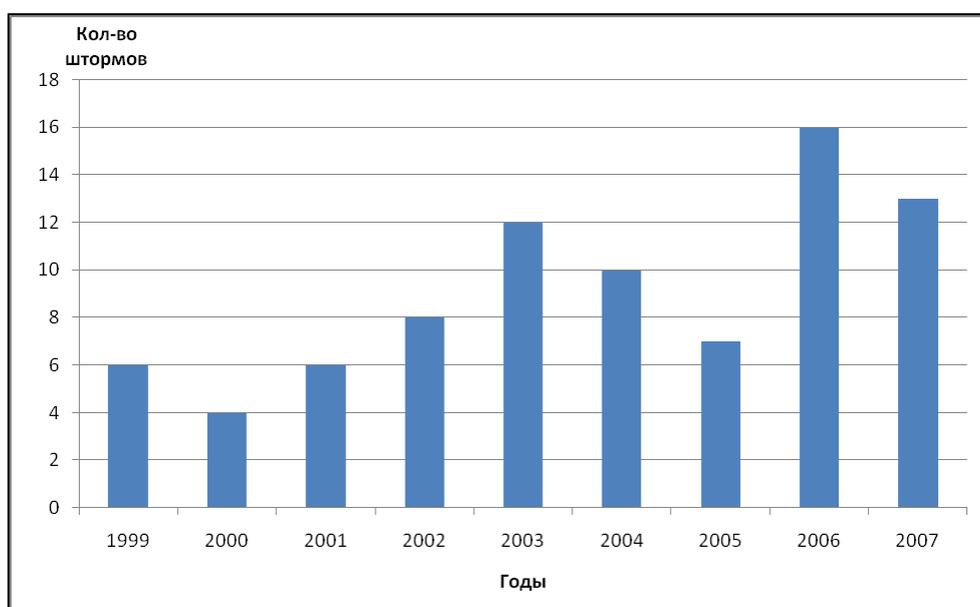


Рис. 3. Количество штормов ($V > 9$ м/с), зафиксированных в безледоставный период за 1999–2007 гг.

В 2006 г. наблюдалось 16 штормов продолжительностью несколько сут, когда скорость ветра составила 10-16 м/с. В этот же год зафиксировано наибольшее среднее отступление бровки берега. Поэтому величина отступления бровки зависит от количества штормов.

Режим уровней воды на водохранилище, показанный на рис. 4, влияет на силу воздействия волн на береговой уступ, а значит на темпы отступления бровки берега.

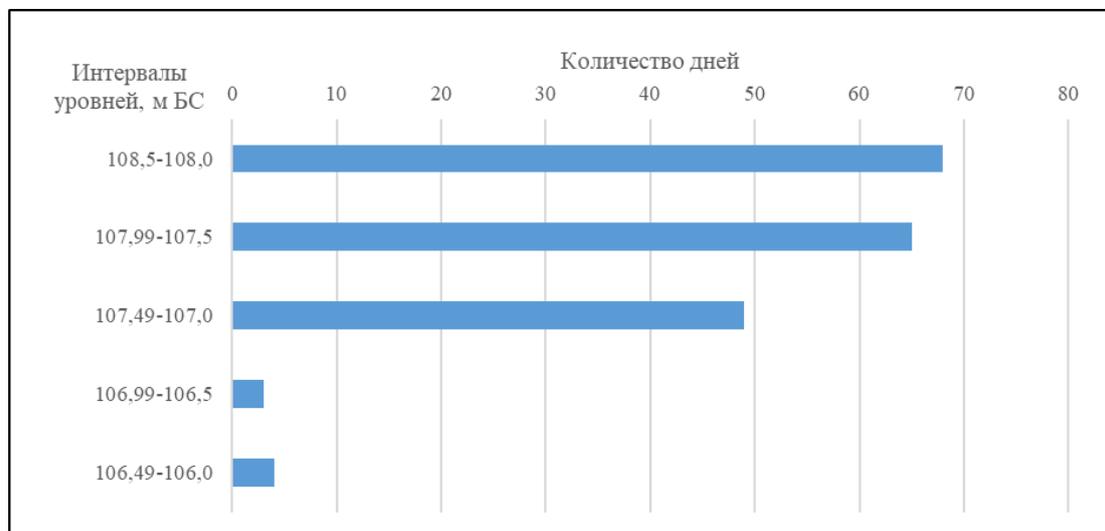


Рис. 4. Количество дней стояния уровней воды в интервалах, зафиксированное в безледоставный период 2006 г.

Как видно из рис. 4, большинство дней уровень воды составляет 108,0-108,5 м БС, что близко к НПУ. При высоких отметках уровня воды осуществляется непосредственное воздействие волнами берегового склона. При более низких уровнях воды волнами разрушается подножие уступа и обрушенный в предыдущий период материал под воздействием вдольбереговых течений выносится в акваторию водохранилища.

Увеличение количества штормов за последние 3 года наблюдений и учащение волнения, создающего высокие и энергообеспеченные волны, привело к ускорению переформирования берега.

Заключение

Таким образом, за 9 лет бровка берега сместилась на 4,63 м. Средняя скорость отступления составила 0,51 м/год. Факторами переформирования берега являются подходящие метеорологические и гидрологические условия, местоположение и геологическое строение берегов.

Список литературы

1. Двинских С.А. Ветровое волнение в условиях водохранилища (на примере Камского водохранилища): дис... канд. геогр. наук. Пермь, 1975.
2. Качугин Е.Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М.: Наука, 1975.
3. Назаров Н.Н. Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. Пермь: Изд-во ЗАО «Полиграфкомплект», 2008. 152 с.
4. Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Пермь, 1966. Ч.1. 198 с.

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ЧУСОВОЙ

Имшинецкая Евгения Павловна

Студентка 3 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: jane.imshinetskaa@gmail.com

Научный руководитель

Гырдымов Дмитрий Андреевич

ассистент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail:gyrdymov_vk.com

CHANGES IN THE ANNUAL FLOW OF THE CHUSOVAYA RIVER

Eugenia P. Imshinetskaya

3th year student

Perm State University, Perm

Supervisor: Dmitry A. Gyrdymov

Assistant of the Department of Hydrology

and Water Resources Protection

Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнен анализ годового стока реки Чусовой по данным наблюдений на четырех гидрологических постах. На основе полученных результатов выявлены положительные и отрицательные линейные тренды для двух из них. Выполнено построение разностно-интегральных кривых. Выделенные периоды после смены наиболее продолжительных фаз водности характеризуются увеличением среднегодового расхода воды для большинства гидрологических постов.

Ключевые слова: речной сток; среднегодовые расходы воды; климатические изменения.

Annotation

The analysis of the annual flow of the Chusovaya River was carried out according to observations at four hydrological posts. Based on the results obtained, statistically significant linear trends were identified for two of them. The construction of difference-integral curves is performed. The selected periods after the change of the longest phases of water content are characterized by an increase in the average annual water consumption for most hydrological posts.

Keywords: river runoff; average annual water consumption; climatic changes.

Многолетняя изменчивость годового стока рек обусловлена, главным образом, климатическими изменениями [1, 2, 7]. Согласно данным об изменении климата, представленным в [6], с середины 1970-х годов в России наблюдается увеличение средней температуры воздуха и годовых сумм осадков. Цель данного исследования – анализ изменения годового стока в условиях глобальных изменений стокоформирующих факторов на примере р. Чусовая.

В качестве исходных данных использованы среднегодовые расходы воды по четырем действующим гидрологическим постам (г/п) на р. Чусовая: г/п Чусовая-Косой-Брод, г/п Чусовая-Староуткинск, г/п Чусовая-Кын и г/п Чусовая-Лямино. Все ряды наблюдений приведены к единому периоду 1939-2020 гг., пропущенные значения восстановлены методом аналогии в соответствии с [5].

Река Чусовая является самым длинным притоком р. Камы в Пермском крае (592 км). Водосбор р. Чусовая расположен на юго-востоке на западном склоне Уральских гор. Главными притоками р. Чусовой являются Койва, Усьва и Сылва [3].

В верхнем течении (выше г/п Чусовая-Староуткинск) р. Чусовая и ее притоки зарегулированы, на реке Чусовая расположены Волчихинское водохранилище и Староуткинский пруд; на притоках сооружены пруды: Мариинский, Ревдинский, Новоуткинский и др. В связи с этим, влияние климатических факторов может быть искажено.

Для оценки многолетних колебаний выполнено построение линейных трендов среднегодовых расходов воды вида:

$$Q_t = aT_i + b, \quad (1)$$

где Q_t – среднегодовой расход воды в t -й год, m^3/c ; T_i – год; a и b – параметры регрессионной зависимости.

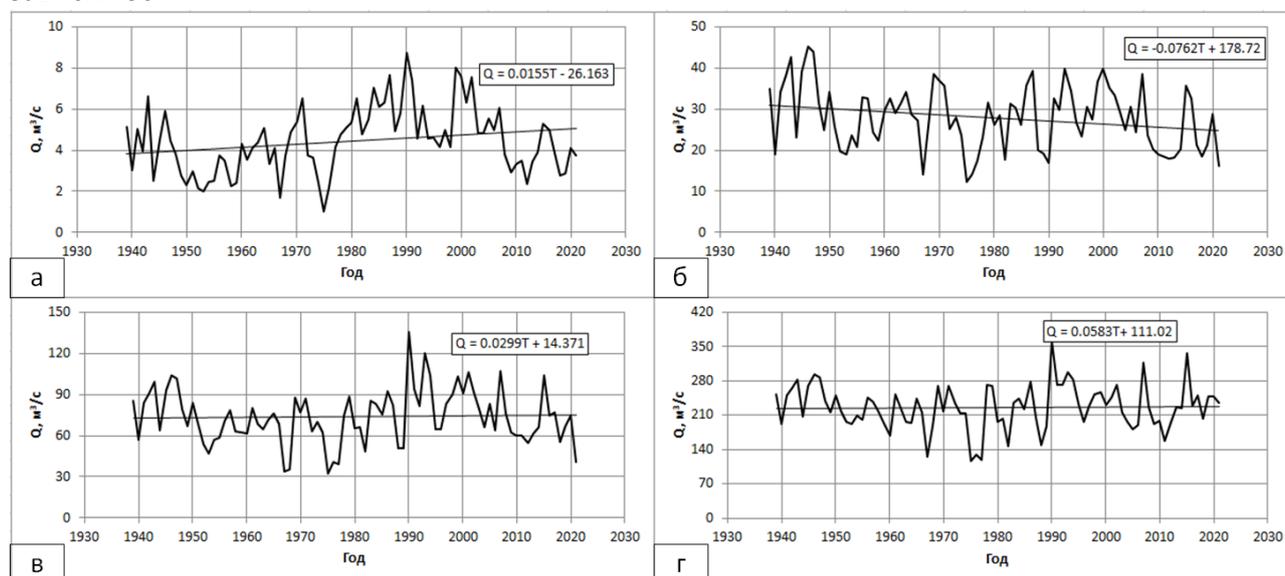


Рис. 1. Линейные тренды среднегодовых расходов воды по г/п: а) Чусовая-Косой-Брод; б) Чусовая-Староуткинск; в) Чусовая-Кын и г) Чусовая-Лямино

Положительные линейные тренды среднегодовых расходов воды за весь период наблюдений (1939–2021 гг.) характерны для всех г/п, за исключением г/п Чусовая-Косой-Брод, для которого наблюдается отрицательный тренд (рис. 1).

На основе разностно-интегральных кривых (РИК) выявлены моменты смены фаз водности наиболее продолжительного внутривекового цикла. Для г/п Чусовая-Косой-Брод и Чусовая-Староуткинск смена маловодной фазы на многоводную приходится на 1974 г. и 1990 г. соответственно. В среднем многолетние колебания годового стока синхронны лишь для г/п Чусовая-Кын и Чусовая-Лямино, при смене фаз водности в 1989 г. Общая продолжительность цикла изменяется от 58 до 62 лет (рис. 2).

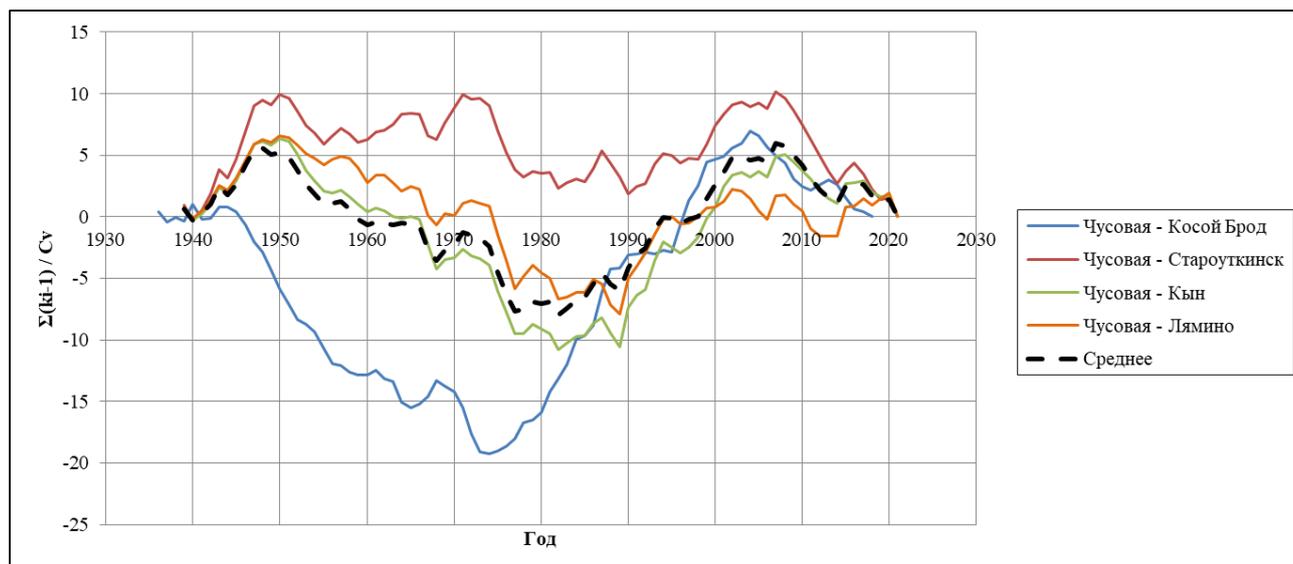


Рис. 2. Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды

В табл. 1 представлены результаты оценки однородности (принадлежности рядов наблюдений к единой статистической совокупности) на основе параметрических (Стьюдента и Фишера) и непараметрического критериев (Вилькоксона).

Таблица 1

Результаты проверки гипотезы об однородности годового стока

Река-пост	Стьюдента		Фишера		Вилькоксона		
	t	ta	F	Fa	U	U1	U2
Чусовая – Косой Брод	4.414	1.994	1.373	1.944	1307	662	1101
Чусовая – Староуткинск	0.804	1.994	1.262	1.944	966	662	1101
Чусовая – Кын	1.977	1.994	1.299	1.944	1049	662	1101
Чусовая – Лямино	1.994	1.994	1.178	1.944	950	662	1101

Ряды среднегодовых расходов воды для г/п Чусовая-Косой-Брод однородны по критерию Фишера, но не однородны по критериям Стьюдента и Вилькоксона, т.е. части ряда принадлежат к разным статистическим совокупностям и имеют разные параметры нормы, вариации и асимметрии. Ряды годового стока по г/п Чусовая-Староуткинск, г/п Чусовая-Кын и г/п Чусовая-Лямино однородны.

Для определения величины наблюдающихся изменений годового стока выполнено сравнение среднегодовых расходов воды для двух периодов (табл. 2), до момента смены фаз водности и после него, определенного на основе РИК. В соответствии с табл. 2., второй период для большинства г/п, за исключением г/п Чусовая-Староуткинск, характеризуется увеличением среднегодовых расходов воды. При этом наиболее значимое увеличение наблюдается по г/п Чусовая-Косой-Брод, расположенному в верхнем течении.

Среднегодовые расходы воды для разновременных периодов и их сравнение

Река-пост	Период, гг	Средний годовой расход воды, м ³ /с	Период, гг	Средний годовой рас- ход воды, м ³ /с	Разница между перио- дами, %
Чусовая – Косой Брод	1939-1974	3,75	1975-2021	4,96	24,5
Чусовая – Староуткинск	1939-1990	28,1	1991-2021	27,4	-2,62
Чусовая – Кын	1939-1989	69,6	1990-2021	80,1	13,1
Чусовая – Лямино	1939-1989	218	1990-2021	237	7,86

На основании выполненной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Для рядов годового стока р. Чусовой по трем г/п выявлены положительные линейные тренды, за исключением г/п Чусовая-Староуткинск, для которого характерен отрицательный тренд;
2. Наиболее длительные внутривековые циклы водности по г/п на р. Чусовая имеют продолжительность от 58 до 62 лет. Смена фаз водности для г/п Чусовая-Косой-брод приходится на 1974 г., для других г/п в среднем на 1989г;
3. Гипотеза об однородности годового стока за весь период наблюдений принимается для трех г/п, за исключением г/п Чусовая-Косой-Брод, что свидетельствует о значимых внутривековых изменениях;
4. Среднегодовые расходы воды после смены фаз водности характеризуются увеличением годового стока р. Чусовая по трем г/п в среднем на 15,2 %, за исключением г/п Чусовая-Староуткинск, для которого характерно снижение величины годового стока для второго периода на 2,62 %.

Список литературы

1. Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз. // Фундаментальная и прикладная климатология. М.: 2022. Т. 7. № 1. С. 36-79.
2. Георгиевский М. В., Голованов О.Ф. Прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших рек Российской Федерации на основе данных по речному стоку проекта CMIP5 // Вестн. СПбГУ. Науки о Земле. 2019. Т 64. № 2. С. 206-218.
3. Комлев А.М. Реки Пермского края: монография. – Пермь: ООО «Алекс-Пресс», 2011. – 144 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 11 Средний Урал и Приуралье. Л.,1973. 848 с.
5. СП 529.1325800.2023 "Определение основных расчетных гидрологических характеристик".
6. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.
7. Шикломанов И.А. и др. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России // Гидрологические последствия изменения климата. Новосибирск, 2007. С. 143-151.

ОСОБЕННОСТИ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК ОБВЫ И ИНЬВЫ ЗА 2010–2020 ГГ.

Козлова Мария Михайловна

студент 4 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

kozlovamariaria@mail.ru

Научный руководитель

Шайдулина Аделия Александровна

старший преподаватель кафедры гидрологии и ОВР

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

FEATURES OF THE SPRING FLOOD OF THE OBVA AND INVA RIVERS FOR 2010–2020

Maria M. Kozlova

4th year student

Perm State University, Perm

Supervisor: Adelia A. Shaydulina

Senior Lecturer of the Department of

Hydrology and Protection of Water Resources

Perm State University, Perm

Аннотация

Проведён анализ весеннего половодья на водосборах рек Иньвы и Обвы за 2010–2020 гг. с учётом климатических условий данного периода. Выполнен расчет суммарного количества выпавших осадков и средней температуры воздуха за весну на метеорологической станции Кудымкар. Построены графики расхода воды за исследуемый период. Установлена зависимость расхода воды от климатических характеристик.

Ключевые слова: водный режим; весеннее половодье; климатические условия; водосбор Камского водохранилища.

Annotation

The analysis of the spring flood in the catchments of the rivers Inva and Obva for 2010-2020 was carried out, taking into account the climatic conditions of this period. The calculation of the total amount of precipitation and the average air temperature for spring at the Kudymkar meteorological station was performed. Graphs of water consumption for the study period are constructed. The dependence of water consumption on climatic characteristics is established.

Keywords: water regime; spring flood; climatic conditions; catchment area of the Kama reservoir.

Первые наблюдения за водным режимом рек в России начались в XV в. С каждым годом материалов наблюдений становилось всё больше, изучению водных объектов отдавалось больше ресурсов. Заметный вклад в изучение рек внесли русские землепроходцы и географы XVIII в. Широкое развитие наблюдений за водными объектами началось в XX в., с целью ис-

пользования водных ресурсов не только для судоходства, но и для орошения, гидроэнергетики и др. В 1931 г. началось составление «Водного кадастра СССР», куда входили систематизированные сведения о режиме водных объектов.

Водный режим – изменение во времени уровней и объёмов воды в реках, озёрах и болотах [6]. На территории России выделяют три фазы водного режима: половодье, паводки, межень. Половодье представляет собой высокий и длительный подъём уровня воды, и по сравнению с другими фазами водного режима характеризуется наибольшей водностью. Дата наступления половодья зависит от среднесуточной температуры воздуха. Когда среднесуточная температура воздуха переходит через 0 °С, начинается таяние снежного покрова, с последующей водоотдачей, что приводит к повышению уровня воды в водных объектах. Как правило, на равнинных реках европейской территории России половодье наступает в апреле-мае.

Целью данной работы является анализ динамики весеннего половодья на водосборах рек Обвы и Иньвы за период 2010-2020 гг.

Исследуемые водосборы расположены на восточной окраине Русской равнины (рис. 1), их общая площадь составляет 10872 км² (вместе с водосбором г/п Кондас-Ощепково), средняя высота – 191 м БС, залесённость – 65%. Преобладают склоны восточной экспозиции (30%), на северные склоны приходится 24%, на южные 23%, на западные – 22% территории [8].

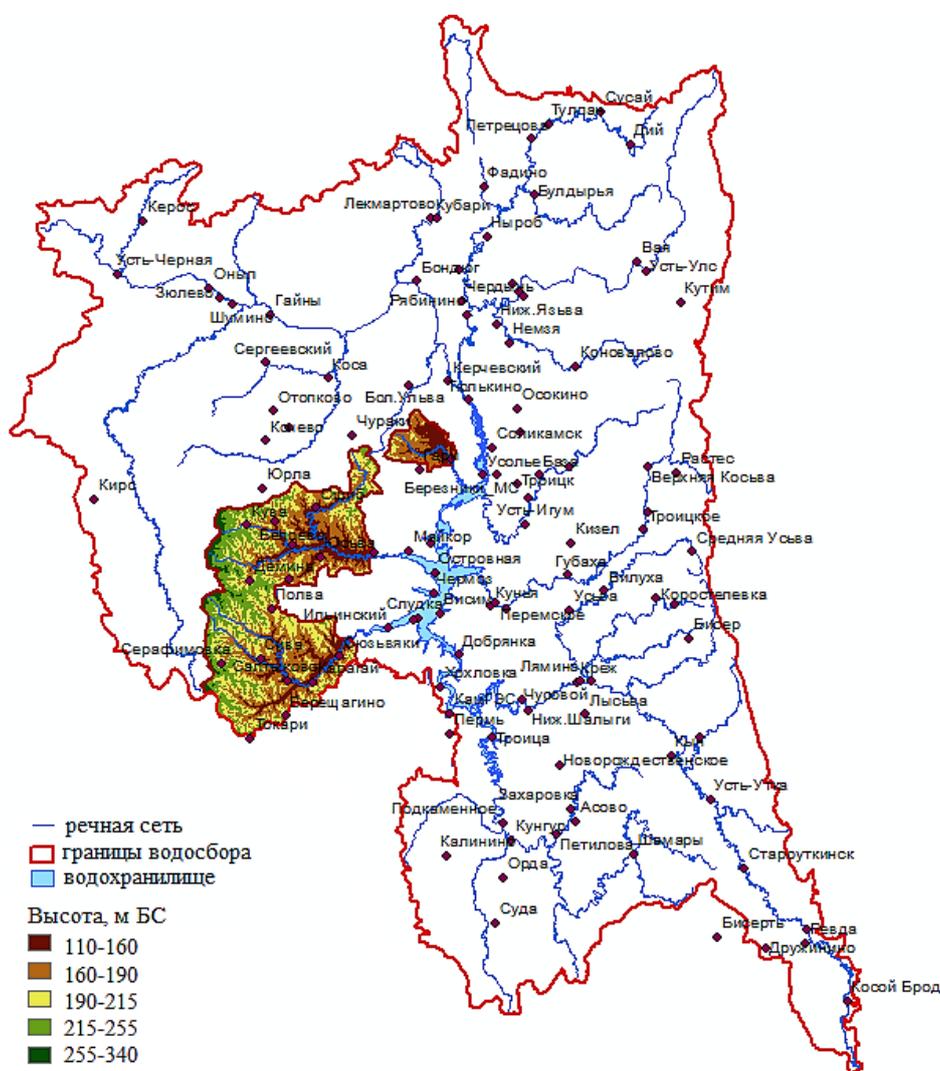


Рис. 1. Водосборы рек г/п Иньва-Кудымкар, Обва-Карагай и г/п Кондас-Ощепково на территории бассейна Камского водохранилища [2]

На характер весеннего половодья влияют гидрометеорологические условия, такие как: запасы воды в снеге к моменту таяния и характер их распределения по площади водосбора, метеорологические условия, осадки в жидком виде, степень влажности и промерзания почвогрунтов водосборов [7].

Исходными данными послужили ежедневные расходы воды по г/п Иньва-Кудымкар и Обва-Карагай [1], данные по осадкам и температуре воздуха на метеостанции (МС) Кудымкар [4].

Анализ средней температуры воздуха на МС Кудымкар за март-май 2010-2020 гг. показал, что она составляла 3,66 °С. Сравнение с нормой (4 °С) весенней температуры воздуха для каждого года показало, что выше нормы оказалась температура в 2010 и 2019 гг., а ниже нормы – в 2013, 2015, 2017, 2018 гг., остальные в пределах нормы. Наиболее тёплая весна была в 2010 г., средняя температура воздуха составляла 5,4 °С, а наиболее холодная – весна 2018 г., со средней температурой воздуха, равной 1,4 °С (рис. 2).



Рис. 2. Температура воздуха и сумма атмосферных осадков по МС Кудымкар за весну 2010–2020 гг.

Сумма выпавших осадков за 2010-2020 гг. составляла 110,4 мм (рис. 2). Проведя аналогичное сравнение с нормой для данного периода, заметно, что выше нормы оказались 2012 и 2013 гг. Ниже нормы – 2015, 2019, 2020 гг., остальные в пределах нормы. Анализируя количество всех осадков за весну для каждого отдельного года можно отметить, что минимальное количество выпавших осадков составляло 75,8 мм (в 2015 г.), а максимальное – 166,3 мм (в 2012 г.)

По данным с г/п Иньва-Кудымкар и г/п Обва-Карагай были построены осреднённые графики изменения расхода воды за весенний период (с 10 марта по 31 мая) для 2010-2020 гг. (рис. 3).

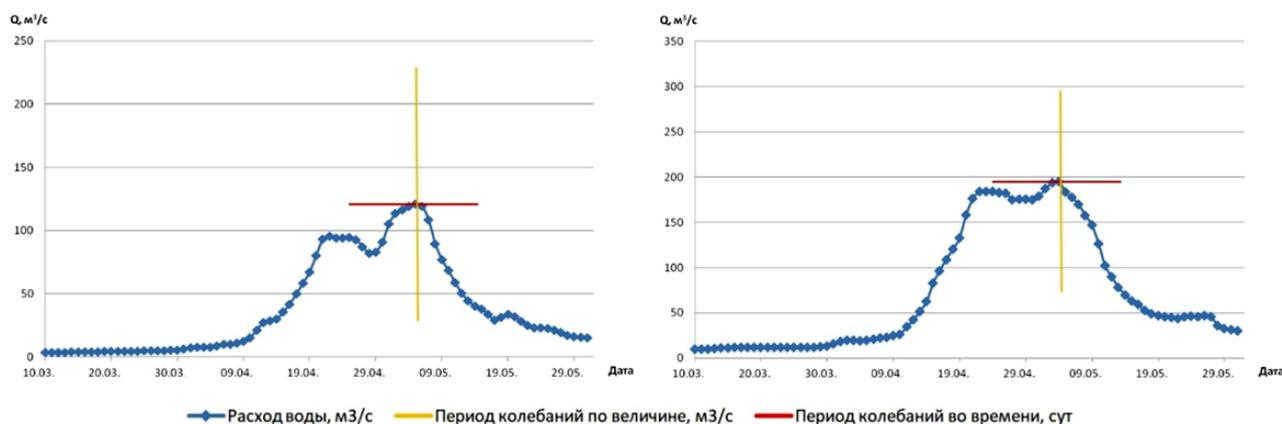


Рис. 3. Графики расхода воды и пределов колебания (по величине и во времени) для г/п Иньва-Кудымкар и г/п Обва-Карагай осреднённые за весну 2010-2020 гг.

Как видно из рис. 3, на г/п Иньва-Кудымкар половодье в среднем начинается во второй декаде апреля, а пик половодья приходится на 1 мая. Самое раннее начало половодья зафиксировано в конце марта, а позднее наступление половодья – в 2018 г. в середине третьей декады апреля. Пик с максимальным и минимальным расходами наблюдался в 2014 и 2018 гг., с соответствующими расходами воды 234 и 123 м³/с. В среднем продолжительность половодья составляет 35 дней.

На г/п Обва-Карагай наблюдается аналогичная ситуация, однако объём половодья больше, чем на г/п Иньва-Кудымкар, почти на 30 %. В среднем, пик половодья наступает на несколько дней раньше, а конкретнее 28 апреля. При этом пик с максимальным и минимальным расходами наблюдался в 2013 и 2019 гг. с расходами воды 322 и 186 м³/с соответственно.

Таким образом, осадки и температура воздуха в значительной степени влияли на весеннее половодье. Так, в 2014 г. на г/п Иньва-Кудымкар наблюдался максимальный пик расхода воды за 2010-2020 гг. который составил 234 м³/с. Этот пик весеннего половодья подтверждается высокой средней температурой воздуха для всей весны: 4,75 °С (при норме равной 4 °С), а также большим количеством выпавших осадков – 123 мм (при норме 102 мм). В 2018 г пик расхода воды был почти на 100 м³/с меньше, чем в 2014 г, а именно 123 м³/с. Средняя температура воздуха за весну составляет 1,4 °С, что делает весну 2018 г самой холодной за 2010-2020 гг. Количество выпавших осадков за весну 2018 г достигает 111 мм, что превышает норму на 9 мм.

Список литературы

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [электронный ресурс] Режим доступа. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505> (дата обращения: 12.09.2023)
2. Козлова М.М., Шайдулина А.А. Анализ весеннего половодья водосборов центральной части бассейна Камского водохранилища в средний по водности год // Проблемы экологии волжского бассейна. Нижний Новгород, 2023. С. 1–5.
3. Коротаев Н.Я. Природа Пермской области // Почвы. Пермское книжное издательство. 1962. С. 12–35.
4. Метеорологический ежемесячник. Уральское УГМС, Росгидромет, 2010-2020 гг.
5. Назаров Н.Н. География Пермского края. Л.: Пермь, 2006. С. 9–49.
6. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометиздат, 1964. 308 с.
7. Чеботарев А.И. Общая гидрология. Л.: Гидрометиздат, 1975. 543 с.
8. Шайдулина А.А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на водосборе Камского водохранилища: дис. ... канд. геогр. наук: 1.6.16 / Аделия Александровна Шайдулина; Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2023. 178 с.

**МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ
ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Механошина Екатерина Владимировна

Аспирант 3 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: katya_mehanoshina@mail.ru

Никитина Татьяна Сергеевна

Магистрант 1 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: tatsn2001@yandex.ru

Научный руководитель

Калинин Виталий Германович

зав. кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов, д.г.н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: vgkalinin@gmail.com

**THE LONG-TERM FLUCTUATIONS IN THE DURATION OF THE SPRING FLOOD ON THE RIVERS
OF THE WATERSHED OF THE VOTKINSK RESERVOIR**

Ekaterina V. Mekhanoshina

3rd year postgraduate student

Perm State University, Perm

Tatyana S. Nikitina

1st year master degree student

Perm State University, Perm

Supervisor: Vitaly G. Kalinin

Doctor of Geography Sciences,

Head of the Hydrology and Water

Resources Protection Department

Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнен анализ продолжительности весеннего половодья на реках водосбора Воткинского водохранилища за многолетний период на основании комплексных графиков ежедневных расходов воды, атмосферных осадков и температуры воздуха по 26 действующим гидрологическим постам. В результате исследования выявлены значительные колебания характерных сроков весеннего половодья и изменения продолжительности половодья в зависимости от этих сроков на разных гидрологических постах.

Ключевые слова: река; речной сток; весеннее половодье.

Annotation

The analysis of the duration of the spring flood on the rivers of the watershed of the Votkinsk reservoir for a long-term period on the basis based on comprehensive graphs of daily water flow, precipitation and air temperature for 26 hydrological posts was carried out. As a result of the study, significant fluctuations in the characteristic timing of the spring flood and changes in the duration of the flood depending on these terms at different hydrological posts were revealed.

Keywords: river; rivers runoff; spring flood.

Анализ формирования весеннего половодья и определение его основных характеристик является важной научной задачей в области гидрологии для предотвращения неблагоприятных последствий опасных гидрологических явлений (ОГЯ) [6].

Как отмечал А.М. Комлев [3], атмосферные осадки и температура воздуха, не только в весенний, но и в весьма длительный предшествующий период, являются главными факторами, участвующими в формировании фазы весеннего половодья. Величина и режим выпадения атмосферных осадков определяют степень осеннего увлажнения, запасы воды в снежном покрове к моменту начала снеготаяния, пополнение запасов влаги в бассейне во время снеготаяния (выпадение жидких или твердых осадков).

Целью настоящего исследования является анализ продолжительности весеннего половодья на реках водосбора Воткинского водохранилища за многолетний период.

Территория водосбора общей площадью 184240 км² охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположена на северо-востоке Европейской части России. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор. Реки исследуемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними паводками и длительной устойчивой зимней меженью. Снеговые воды являются главным источником в питании рек, доля которых в суммарном стоке достигает 85-90% в южных лесостепных районах и 60-65% – в горных частях территории, при этом роль дождевого стока составляет до 40%. Около 25-35% годового стока формируются подземным путём [4].

Методы исследования

Для анализа продолжительности весеннего половодья были собраны данные ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды по всем действующим 26 гидрологическим постам (г/п) на реках водосбора Воткинского водохранилища за многолетний период с 1956 по 2020 г. Следует отметить, что ряды наблюдений на реках имеют разную продолжительность и отмечается несовпадение их начал, при этом на нескольких г/п (р. Лолог – г/п Сергеевский, р. Яйва – г/п База и др.) в исходных данных имелись пропуски, которые были восстановлены по рекам-аналогам в соответствии с СП [5]. Анализ весеннего половодья выполнен для двух периодов наблюдений: репрезентативного (1956–1995 гг.) [2] и современного (1996–2020 гг.). В качестве исследуемых характеристик использованы сроки и продолжительность весеннего половодья (табл. 1).

Основные характеристики весеннего половодья

№ п/п	Название бассейна	Дата начала ($D_{нач}$)			Дата окончания ($D_{кон}$)			Продолжительность ($T, сут$)
		Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	
1	Кама – Гайны	30.03	15.04	05.05	14.05	14.06	20.07	60
2	Кама – Бондюг	30.03	15.04	04.05	26.05	18.06	25.07	64
3	Коса – Коса	31.03	17.04	02.05	12.05	14.06	12.07	50
4	Лолог – Сергеевский	30.03	16.04	05.05	11.05	06.06	01.07	41
5	Иньва – Кудымкар	29.03	12.04	30.04	29.04	23.05	22.06	45
6	Иньва – Слудка	26.03	11.04	30.04	01.05	26.05	29.06	35
7	Кува – Кува	30.03	15.04	06.05	28.04	20.05	14.06	42
8	Велва – Ошиб	30.03	15.04	06.05	09.05	27.05	23.06	41
9	Обва – Карагай	28.03	10.04	29.04	24.04	21.05	07.06	57
10	Сылва – Подкаменное	21.03	09.04	28.04	14.05	05.06	06.07	57
11	Гайва – Плотинка	30.03	12.04	30.04	16.05	30.05	20.06	37
12	Мулянка – Субботино	12.03	03.04	26.04	21.04	19.05	28.06	43
13	Очер – Казымово	16.03	06.04	27.04	24.04	18.05	28.06	42
14	Тулва – Барда	25.03	06.04	29.04	24.04	21.05	16.06	45
15	Вишера – Рябинино	03.04	19.04	16.05	13.05	20.06	16.07	62
16	Язьва – Нижняя Язьва	01.04	19.04	11.05	28.05	24.06	25.07	60
17	Колва – Петрецово	04.04	23.04	12.05	25.05	15.06	07.07	53
18	Яйва – База	30.03	15.04	07.05	16.05	09.06	01.07	55
19	Яйва – Усть-Игум	02.04	17.04	14.05	20.05	11.06	05.07	55
20	Косьва – Останино (Перемское)	30.03	15.04	05.05	17.05	11.06	06.07	57
21	Чусовая – Кын	24.03	11.04	02.05	06.05	01.06	24.06	51
22	Чусовая – Лямино	24.03	12.04	04.05	30.04	07.06	04.07	56
23	Серебряная – Серебрянка	30.03	16.04	06.05	23.04	27.05	28.06	41
24	Усьва – Усьва	25.03	17.04	15.05	10.05	09.06	14.07	53
25	Сылва – Шамары	27.03	12.04	05.05	29.04	26.05	28.06	44
26	Возулка – Шамары	25.03	12.04	30.04	27.04	19.05	21.06	37

Примечание: **жирным курсивом** выделены водосборы, находящиеся в горной части территории водосбора Воткинского водохранилища

По ближайшей к г/п метеорологической станции собраны данные о среднесуточной температуре воздуха и осадках, также установлены: дата начала и окончания весеннего половодья. Анализ проводился по комплексным графикам, построенным для каждого поста за каждый год (рис. 1).

Анализ полученных результатов

По среднемноголетним данным за период с 1956 по 2020 гг. выявлено, что на реках исследуемой территории начало весеннего половодья ($D_{нач}$) наблюдается в период с 3 по 23 апреля (табл. 1), которое главным образом зависит от широтной и высотной зональности. Поэтому, например, на реках Иньва и Обва (центральный равнинный район) дата начала весеннего половодья приходится на 10 апреля, а на реках горной северо-восточной части территории (рр. Колва, Вишера) половодье начинается лишь с 19-23 апреля. Отклонения от средних сроков в отдельные годы могут достигать от 4 до 10 дней.

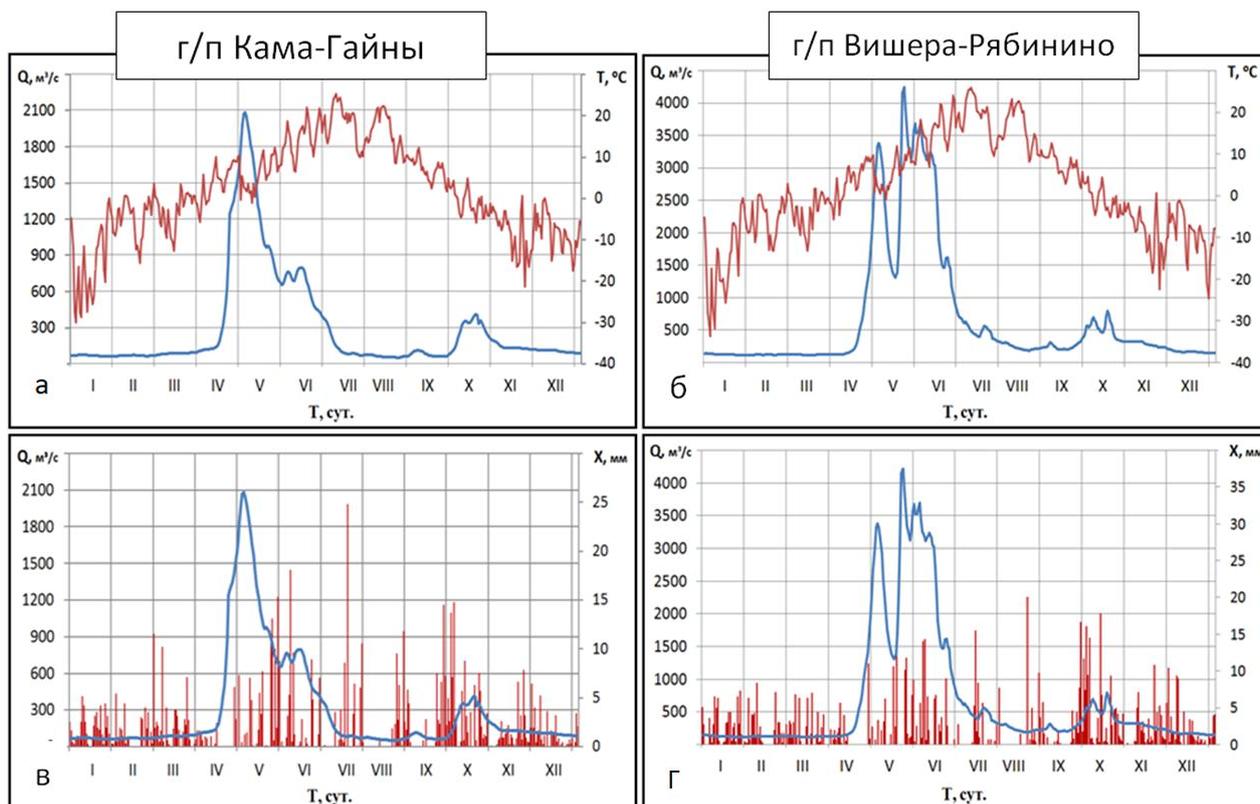


Рис. 1. Внутригодовое распределение ежедневных расходов воды и:
а, б – температуры воздуха; в, г – атмосферных осадков

В горных районах в весенний период часто наблюдаются возвраты холодов, что способствует более позднему началу весеннего половодья. Аналогичные условия зачастую могут встречаться в период нарастания волны половодья, что влияет на его продолжительность и многопиковость (рис. 1б).

Анализ комплексных гидрографов на разных реках показал, что в годы с более ранней весной и дружным снеготаянием начало весеннего половодья может наблюдаться уже со второй декады марта, а в затяжные холодные годы – в последних числах апреля.

Окончание весеннего половодья ($D_{кон}$) на равнинных реках наблюдается в период со второй половины мая по вторую декаду июня (17 мая – 18 июня). На реках горных районов оно смещается в позднюю сторону на 2-5 дней. Выявлено, что сроки окончания половодья на разных реках варьируют сильнее, чем сроки начала. Отклонения в позднюю сторону могут составлять до 37 дней, что объясняется климатическими условиями года и наложения жидких атмосферных осадков на спад волны половодья (рис. 1в).

Раннее окончание весеннего половодья, как для равнинных, так и для горных рек характерно с третьей декады апреля по конец мая (с 21 апреля по 28 мая).

Анализ характерных дат весеннего половодья показал, что на реках водосбора Воткинского водохранилища продолжительность весеннего половодья ($T_{сум}$) изменяется от 35 до 65 дней и зависит в первую очередь от размеров водосборов рек и их высотного положения.

Для оценки влияние площади водосбора на продолжительность весеннего половодья за каждый год с 1956 по 2020 гг. были построены зависимости $T = f(A)$ как в целом для исследуемой территории (рис. 2а), так и для разных по размеру водосборов: малые ($A \leq 2000$ км²), средние ($2000 < A \leq 9500$ км²) и большие ($9500 < A \leq 50000$ км²) (рис. 2б, в, г).

Выявлено, что чем больше площадь и высота водосбора, тем больше продолжительность весеннего половодья и наоборот. Например, для малых по площади водосборов продолжительность весеннего половодья в среднем составляет 41 день, для средних – 50 дней,

а для больших – 58 дней. Это можно объяснить тем, что с увеличением площади водосбора увеличивается время добега воды до замыкающего створа, что приводит к более вытянутой и плавной форме гидрографа. Кроме того, в горных районах период весеннего половодья больше, чем на равнинных, что особенно заметно для средних по площади водосборов. Это связано с затяжным характером снеготаяния из-за неравномерного перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям в разных высотных зонах (рис. 2в).

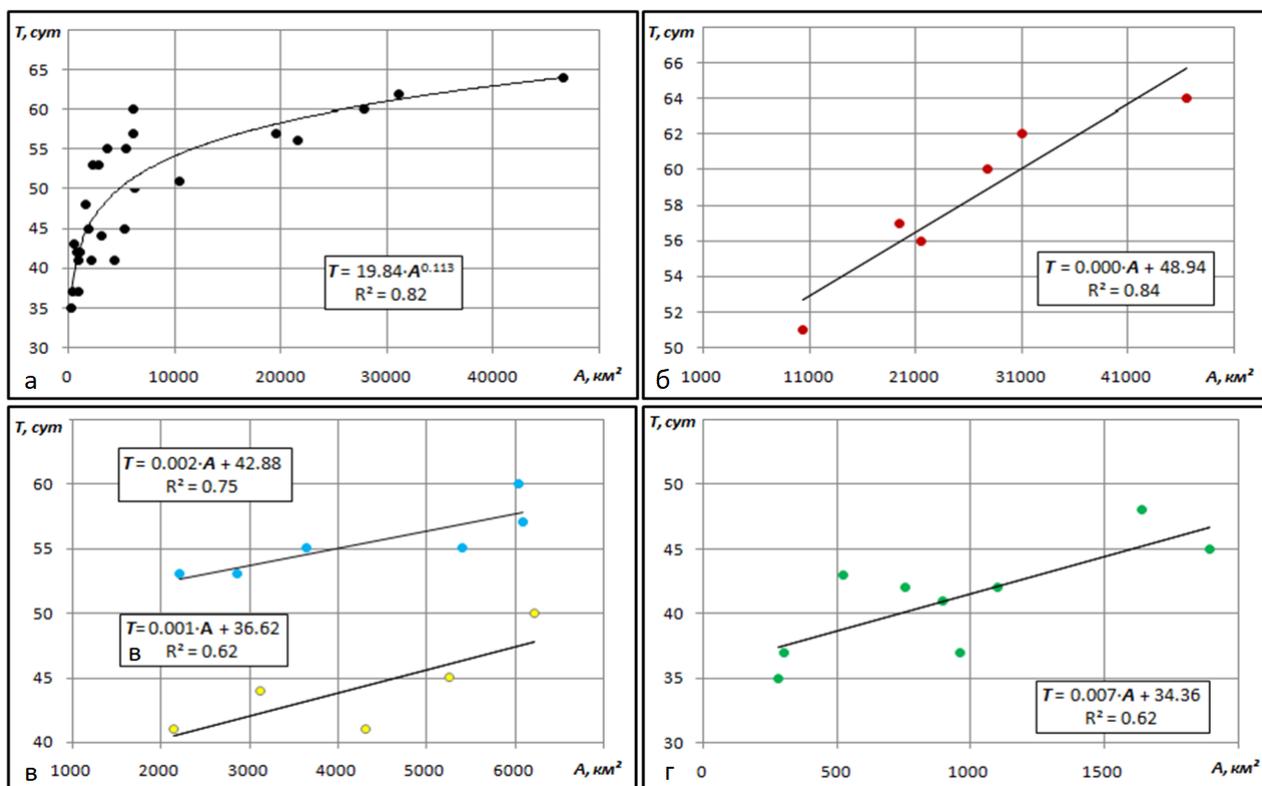


Рис. 2. Зависимость продолжительности весеннего половодья (T) от площади водосбора реки (A) за 1990 год: а – для всех рек водосбора Воткинского водохранилища; б – для водосборов крупных рек; в – для водосборов средних рек (● – горные, ○ – равнинные); г – для водосборов малых рек

Выводы

1. Начало весеннего половодья на реках исследуемой территории наблюдается преимущественно в апреле. На равнинных реках оно наступает в первой половине месяца, а на горных реках – во второй половине. Отклонения от этих сроков в отдельные годы могут достигать от 4 до 10 дней.

2. Окончание весеннего половодья на равнинных реках наблюдается в период со второй половины мая по вторую декаду июня, на реках горных районов оно смещается в позднюю сторону на 2-5 дней. Выявлено, что сроки окончания половодья на разных реках варьируют сильнее, чем сроки начала. Отклонения в позднюю сторону могут составлять до 37 дней, что объясняется климатическими условиями года и наложения жидких атмосферных осадков на спад волны половодья.

3. Средняя продолжительность весеннего половодья на реках водосбора Воткинского водохранилища изменяется от 35 до 65 дней. Чем больше площадь и высота водосбора, тем больше продолжительность весеннего половодья и наоборот. Например, для малых по площади водосборов продолжительность весеннего половодья в среднем составляет 41 день, для средних – 50 дней, а для больших – 58 дней.

Список литературы

1. Владимиров А.М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического ун-та. – 2009. – № 9. – С. 22–39.
2. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон // монография. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2014. 184 с.
3. Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока // Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. С. 5-24.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье // Под редакцией канд. геогр. наук Н.М. Алюшинской. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 849 с.
5. СП 33–101–2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик – Москва, 2003. 73 с.
6. Zemtsov V.A., Paromov V.V., Kopysov S.G., Kouraev A.V., Negrul S.V. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions // The international journal of environmental studies. Iss. 5: Western Siberia in a changing climate. – 2014. – V. 71. – P. 611–617

**О ФОРМИРОВАНИИ СТОКА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД НА РЕКАХ ВОДОСБОРА
ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Механошина Екатерина Владимировна

Аспирант 3 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: katya_mehanoshina@mail.ru

Бабичева Лолита Андреевна

Студент 4 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Научный руководитель:

Калинин Виталий Германович

зав. кафедрой гидрологии и охраны водных объектов, д.г.н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: vgkalinin@gmail.com

**ABOUT FORMATION OF RIVER FLOW IN THE SUMMER-AUTUMN PERIOD
ON RIVERS OF THE VOTKINSK RESERVOIR CATCHMENT**

Ekaterina V. Mekhanoshina

3rd year postgraduate student

Perm State University, Perm

Lolita A. Babicheva

4th year student

Perm State University, Perm

Supervisor: Vitaly G. Kalinin

Doctor of Geography Sciences,

*Head of the Hydrology and Water
Resources Protection Department*

Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнена оценка многолетней изменчивости водности рек за летне-осенний период на водосборе Воткинского водохранилища, для гидрологических постов (г/п) имеющих наибольшую продолжительность рядов наблюдений (1936–2018 гг.). За рассматриваемый период были выявлены значительные колебания слоя стока за период летне-осенних паводков от года к году (особенно с 1975 г.), синхронность колебаний на соседних постах и тенденцию к увеличению стока в большую сторону в последние десятилетия. По разностно-интегральным кривым выявлено нарушение стационарности многолетних рядов наблюдений с переломной точкой в 1978 году.

Ключевые слова: река; речной сток; летне-осенние паводки.

Annotation

The assessment of the long-term variability of the rivers water content for the summer-autumn period in the catchment area of the Votkinsk Reservoir for gauge stations (g/s) with the longest observation series (1936–2018) has been carried out. During the period under review, significant fluctuations in the runoff layer during the period of summer-autumn floods from year to year (especially since 1975), synchronicity of fluctuations at neighboring posts and a tendency for the runoff to increase upward in recent decades were revealed. The difference-integral curves revealed a violation of the stationarity of long-term observation series with a turning point in 1978.

Keywords: river; river flow; summer-autumn floods.

Введение

Процесс формирования максимального стока дождевых паводков является одним из наиболее сложных гидрологических явлений, зависящий от большого числа статистических и динамических факторов, при этом главным из них, определяющим тип водного режима рек и особенности распределения стока внутри года, является климат [1]. Наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения оказывают существенное влияние на сезонный сток. Изучение гидрологических последствий климатических изменений является одной из главных задач для выработки решений по управлению рисками ОПЯ, а также определения возможностей их оперативного прогнозирования.

Многочисленные исследования климатических изменений подтверждают их существенное влияние на речной сток [2-4]. Положительные тренды среднегодовых расходов воды обуславливаются наблюдаемыми тенденциями изменения климатических характеристик. Так, на территории Европейской части РФ выделяют два периода: до 1977 г., в течение которого не отмечалось направленных изменений водности, и с 1978 г., в течение которого наблюдается значительное изменение водности рек [7; 8]. Кроме того, середина 1970-х годов неоднократно рассматривалась как годы «климатического сдвига» [5-7].

Как показывают исследования [5-7] в последние два десятилетия в России к традиционным весенним половодьям, приносящим практически ежегодно большой ущерб человеческой деятельности, добавились учащённые опасные дождевые паводки.

Рассмотрим особенности произошедших изменений на примере максимального стока дождевых паводков рек водосбора Воткинского водохранилища. Для исследуемой территории, границы сезонов установлены в работе [8]: весна IV-VI, лето-осень VII-X, зима XI-III.

Территория водосбора общей площадью 184240 км² охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположена на северо-востоке Европейской части России. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор. Протяженность с севера на юг составляет 640 км – от 61°57'с.ш. до 56°05'с.ш., а с запада на восток около 530 км от 51°35'в.д. до 60°27' в.д. [9]. Исследуемый водосбор представляет собой всхолмленную равнину (70%), повышающуюся с запада на восток, где характерной особенностью рельефа являются западные хребты Уральской горной страны (30% общей площади).

Для исследуемой территории характерна выраженная широтная зональность в изменении климата на равнине и вертикальная поясность в горах Урала [8]. Территория сложена в основном осадочными породами, с присутствием магматических пород в восточной части водосбора. Наибольшую площадь занимают породы палеозоя, особенно пермской системы [9-10]. Преобладают подзолистые почвы (около 78% водосбора), а по механическому составу они делятся на тяжелые (глинистые, суглинистые) и легкие (песчаные) [11]. Основным типом растительности являются леса (темнохвойные, мелколиственные и широколиственные), занимающие около 85% водосбора [12].

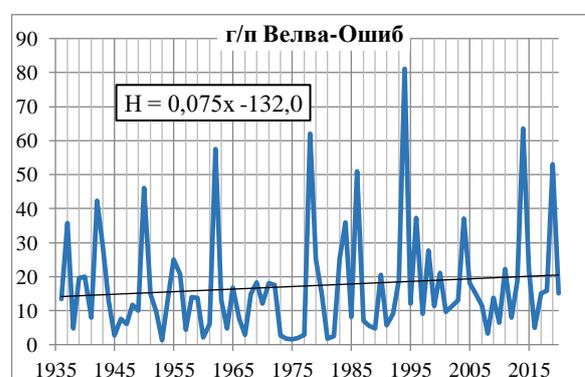
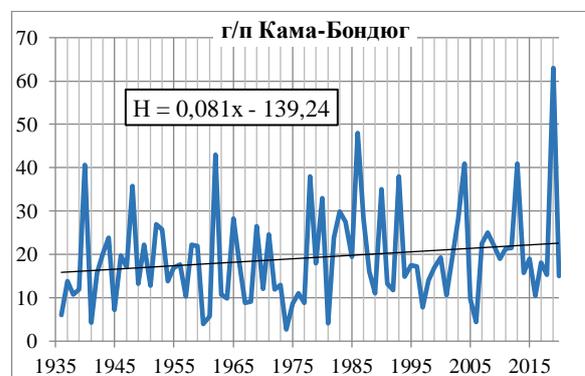
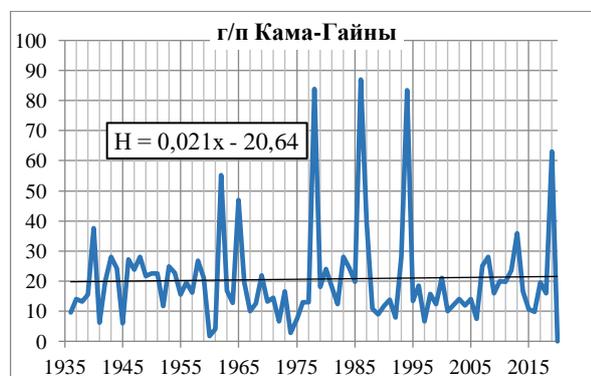
Материалы и методы исследования

Для выбора исходных данных были проанализированы среднегодовые расходы воды по 26 действующим гидрологическим постам (г/п) на реках водосбора Воткинского водохранилища за многолетний период наблюдений. Следует отметить, что ряды наблюдений на реках имеют разную продолжительность и имеет место несовпадение их начал. Анализ этих данных показал, что на 6 г/п наблюдения велись только 42-59 лет, на остальных 20 – более 60 лет, из них на 9 г/п более 80 лет.

Для оценки многолетней изменчивости максимального стока в летне-осенний период особый интерес представляют ряды, имеющие наибольшую продолжительность наблюдений, преимущественно без пропусков. К таковым относятся следующие семь г/п с продолжительностью наблюдений от 71 до 90 лет: Кама-Гайны (1931–2020), Кама-Бондюг (1936–2020), Иньва-Кудымкар (1936–2020), Велва-Ошиб (1934–2020), Обва-Карагай (1931–2020), Усьва-Усьва (1932–2020), Сылва-Подкаменное (1936–2020). Восстановление единичных (1-5 лет) пропусков среднегодовых расходов воды для г/п: Кама-Бондюг, Иньва-Кудымкар проведено по пунктам-аналогам в соответствии с СП 33–101–2003 [13]. Дополнительно за каждый год был вычислен слой стока за период максимальных дождевых паводков (рис. 1).

Материалы наблюдений по всем выбранным гидрологическим постам с 1936 по 2020 гг. проверены на соответствие по количественным и качественным параметрам. Длина проверяемых рядов наблюдений соответствует положениям СП 33-101-2003 и СП 47.13330.2016. Коэффициент автокорреляции для исследуемых рядов составляет от 0,02 до 0,07 (уровень значимости 5%). Погрешность среднего значения составляет менее 5%, что меньше устанавливаемой для максимального стока допустимой погрешности в 20%.

Обработка и анализ данных стока максимальных паводков для определения внутрирядных изменений выполнены статистическими методами: корреляционный и регрессионный анализ, а также построение разностно-интегральных кривых.



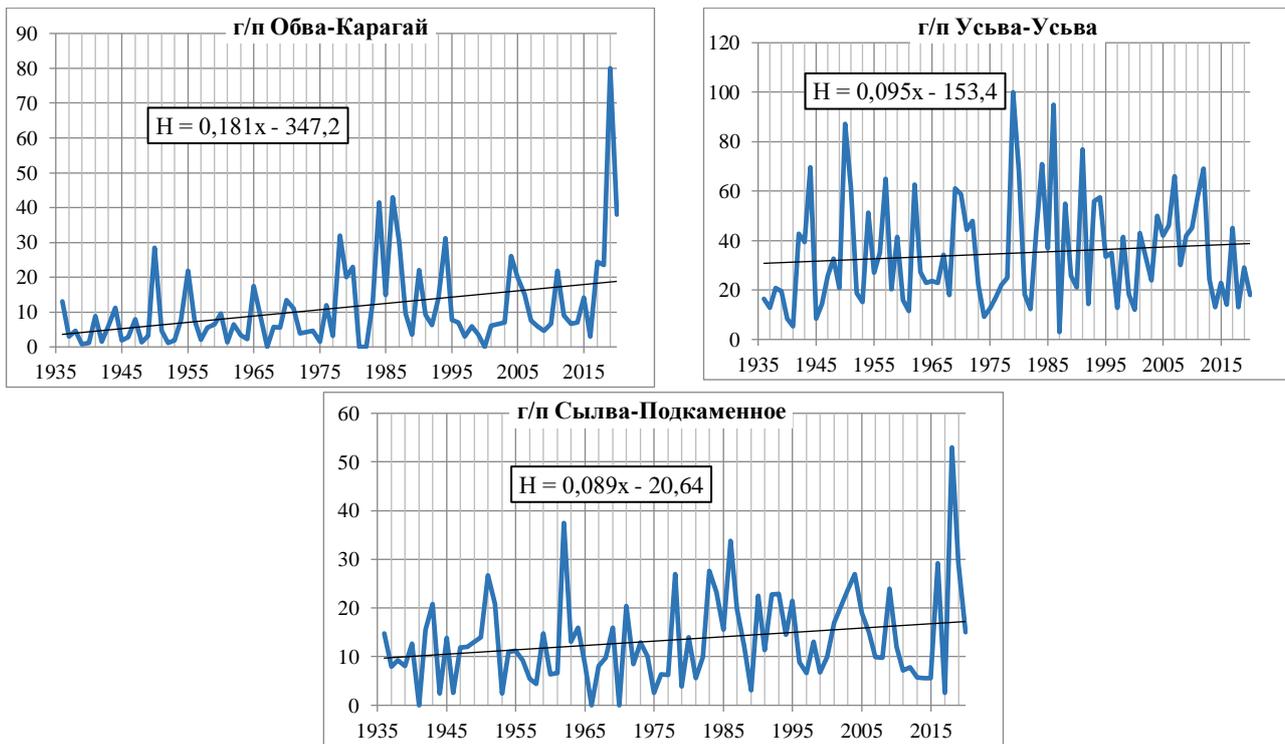


Рис. 1. Многолетние колебания слоя стока воды за период максимальных дождевых паводков

Обсуждения и результаты

Оценка внутрирядной однородности исходных данных была выполнена с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Анализ данных показал, что для г/п Кама – Гайны, Велва – Ошиб, Обва – Карагай: $F_{эмпл} > F_{крит}$, т.е. выявлены различия в степени однородности слоя стока двух выборок для этих постов, которые статистически значимы.

Для г/п Кама – Бондюг, Иньва – Кудымкар, Обва – Карагай, Сылта – Подкаменное было выявлено $T_{эмпл} > T_{крит}$, т.е. во второй выборке (1978-2020) присутствуют аномальные значения слоя стока, которые оказывают значительное влияние на стационарность рядов (рис.1).

При анализе построенных хронологических графиков, были выявлены значительные колебания слоя стока за период летне-осенних паводков от года к году (особенно с 1975 г.), синхронность колебаний на соседних постах и тенденцию к увеличению стока в большую сторону в последние десятилетия.

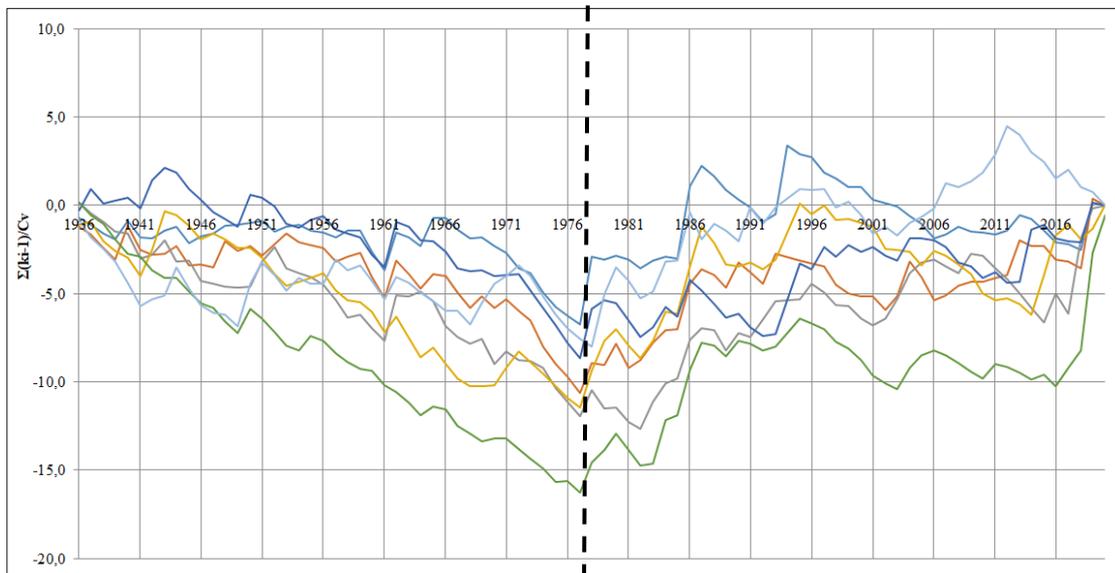


Рис. 2. Разностно-интегральные кривые слоя стока за максимальные паводки в летне-осенний период за единый период (1936–2020)

Для анализа многолетней изменчивости водности за летне-осенний период на рассматриваемых г/п построены разностно-интегральные кривые (РИК) слоя стока (рис. 2).

На основе анализа РИК можно сделать вывод о том, что рассматриваемые ряды можно разбить на две совокупности с переломной точкой в 1978 году, когда произошла смена маловодной и многоводной фаз водности.

Выводы

Анализ хронологических графиков, выявил значительные колебания слоя стока за период летне-осенних паводков от года к году (особенно с 1975 г.), синхронность колебаний на соседних постах и тенденцию к увеличению стока в большую сторону в последние десятилетия. Наибольшее увеличение слоя стока максимальных дождевых паводков характерно для г/п Иньва-Кудымкар, г/п Обва-Карагай, г/п Сылва-Подкаменное, наименьшее для г/п Кама-Гайны.

Анализ многолетней изменчивости водности за летне-осенний период по разностно-интегральным кривым слоя стока за период максимальных дождевых паводков показал, что в рядах наблюдений выделяются две совокупности с переломной точкой в 1977 г., когда произошла смена маловодной и многоводной фаз водности.

Список литературы

1. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: МГУ, 1990. 210 с.
2. Обзор состояния и тенденций изменения климата России / ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии». М. 2020. 44 с
3. Фролов А.В. Вклад гидрометеорологической науки в развитие водохозяйственного комплекса страны // VII Гидрологический съезд: тез. пленарных докл. (19-21 ноября 2013 г., Санкт-Петербург). 2013, Санкт-Петербург. С. 1–5.
4. Фролова Н.Л., Григорьев В.Ю. Изменение составляющих водного баланса европейской части России // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. М., ИВПРАН. 2017, С. 80–82.
5. Nitta T., Yamada S. Recent Warming of Tropical Sea Surface Temperature and Its Relationship to the Northern Hemisphere Circulation // J. Meteorol. Soc. Japan. 1989. Vol. 67. P. 375–383.
6. Trenberth K.E. Recent observed interdecadal climate changes in the northern hemisphere // Bulletin of the American Meteorology Soc. 1990. Vol. 71. P. 988–993.
7. Полонский А.Б., Башарин Д.В. Влияние климатического сдвига 1976–1977 гг. на крупномасштабную структуру приземных метеорологических полей Евразии // Метеорология и гидрология. 2008. № 5. С. 16–30.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама. Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 420 с.
9. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон: монография. Пермь, 2014. 184 с.
10. Наливкин В.Д. Стратиграфия и тектоника Уфимского плато и Юрюзано-Сылвенской депрессии / Л.: Гостоптехиздат, 1949. 128 с.
11. Софроницкий П.А. Геологическое строение / П.А. Софроницкий // Пермская область. Пермь, 1959. С. 19-29.
12. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области / Пермь, 1962. 278 с.
13. Николаев С.Ф. Растительность / Пермская область. Пермь: Перм. кН. изд-во, 1959. С. 103-127.
14. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М., 2003; 73 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСЕННИХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ВОЛГИ

Саликов Дмитрий Алексеевич

Студент 4 курса

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Научный руководитель:

Микова Ксения Дмитриевна

доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, к.г.н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

CHARACTERISTICS OF AUTUMN ICE PHENOMENA IN THE UPPER PART OF THE VOLGA RIVER

Dmitry A. Salikov

4th year student

Perm State University, Perm

Supervisor: Ksenia D. Mikova

Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, PhD

Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнен анализ сроков появления льда и установления ледостава в верхнем течении реки Волги за период 1940–2020 гг. Выявлены закономерности в сроках перехода температуры воздуха через 0°C к отрицательным значениям и сроков появления льда и установления ледостава. Первые ледовые явления появляются в среднем до середины ноября, ледостав устанавливается в конце ноября – начале декабря.

Ключевые слова: ледовый режим; Верхняя Волга; сроки замерзания; сроки установления ледостава.

Annotation

An analysis of the ice formation dates and the freeze-up dates in the upper reaches of the Volga River for the period 1940–2020 was carried out. Features have been identified in the zero isotherm dates and the ice formation dates and the freeze-up dates. The first ice phenomena appear on average until mid-November; freeze-up occurs in late November – early December.

Keywords: ice regime; Upper Volga; ice formation dates; freeze-up dates.

Введение

В климатических условиях России безопасность населения и хозяйства нередко лимитирована опасными ледовыми явлениями. Со сроками и продолжительностью ледовых явлений связаны многие виды хозяйственной деятельности [1]. Ледовые явления в период замерзания приводят к нарушению условий эксплуатации различных объектов (водозаборов, дорог, мостовых переходов и пр.), ограничивают сроки судоходства на реках. Во многих случаях ледовыми явлениями обусловлены опасные гидрологические процессы, в том числе наводнения [2]. Поэтому изучение особенностей замерзания рек, непосредственно влияющих на режим использования водного объекта, является важной научной задачей. Анализ литературных источников показал недостаточную степень изученности осенних ледовых явлений. Все

это объясняет актуальность данного исследования и практическую значимость изучения данного вопроса. Цель работы – характеристика замерзания реки Волги в верхнем течении.

Исходные данные и методы исследования

В качестве исходной информацией для анализа ледового режима использована ледовая обстановка из таблиц ежедневных уровней воды по 9 гидрологическим постам (г/п) Верхней Волги до впадения реки Оки и трем метеорологическим станциям (МС) за период с 1940–1992 гг. и 2008–2020 гг.

Результаты

Анализ средних характеристик замерзания рек выполнен за период 1940–2020 гг. Результаты показали, что переход температуры воздуха через 0°C градусов происходит в направлении с северо-востока на юго-запад, что связано с перемещением холодных воздушных масс.

Таблица 1

Средние многолетние характеристики замерзания за период 1940–2020 гг.

Гидрологический пост	$D_{0^{\circ}C}$	$D_{ля}$	$D_{лдст}$	T_1 , сут	T_2 , сут
р. Дубна–Вербилки	13.ноя	16.ноя	02.дек	3	16
р. Волга–Ельцы	10.ноя	19.ноя	27.дек	9	38
р. Волга–Старица	13.ноя	17.ноя	05.дек	4	16
р. Молога–Устюжна	09.ноя	10.ноя	26.ноя	1	16
р. Суда–Куракино	08.ноя	02.ноя	20.ноя	-	18
р. Кострома–Гнёздиково	04.ноя	04.ноя	23.ноя	0	19
р. Кострома–Исады	04.ноя	06.ноя	17.ноя	2	11
р. Унжа–Кологрив	04.ноя	04.ноя	24.ноя	0	20
р. Унжа–Макарьев	04.ноя	06.ноя	22.ноя	2	16

Примечание: $D_{0^{\circ}C}$ – дата перехода температуры воздуха через 0 °С; $D_{ля}$ – дата появления устойчивых ледовых явлений; $D_{лдст}$ – дата установления ледостава; T_1 , сут – продолжительность периода от даты перехода температуры через 0 °С до даты появления первых ледовых явлений; T_2 , сут – продолжительность периода с ледовыми явлениями.

Поскольку, переход температуры воздуха через 0°C градусов происходит в направлении с востока на запад, то и появление первых ледовых явлений происходит в этом же направлении. Из таблицы видно, что самые ранние ледовые явления появляются на г/п Куракино на реке Суда. Потому что этот г/п расположен севернее других г/п. Пост Ельцы расположен западнее других и соответственно благодаря тёплым воздушным массам ледовые явления там наступают в среднем позднее, чем на остальных постах. Посты на реках Унжа (г/п Кологрив, Макарьев) и Кострома (г/п Гнёздиково, Исады) имеют даты наступления ледовых явлений примерно одинаковые (разница составляет 2 дня). На г/п Гнёздиково и Кологрив первые ледовые явления появляются уже 4 ноября, это объясняется тем, что данные пункты расположены примерно на одной широте (разница в широтах составляет примерно 14'). То же самое происходит и с г/п Макарьев и Исады, ледовые явления на которых наступают 6 ноября, хоть разница в широте чуть больше, чем на предыдущих рассматриваемых постах (3° -29' -21'). На самых западных г/п (Ельцы и Старица) ледовые явления наступили позднее, чем на всех остальных г/п (19 и 17 ноября соответственно).

Самое раннее наступление ледостава наблюдалось на р. Исады – г/п Исады. В Исадах за исследуемый период ледовые явления появлялись поздно. На остальных постах наступление ледостава наиболее схоже с причинами наступления ледовых явлений и перехода температуры через 0°C. Особенно это касается постов Вербилки и Старица (наступление ледостава 2 и

5 декабря соответственно). Далее ледостав устанавливался на р. Суда – Куракино. На г/п р. Кострома–Гнёздиково, р. Унжа–Кологрив, р. Унжа–Макарьев ледостав устанавливается одновременно. Позднее наступление ледостава отмечалось на г/п Ельцы, где ледостав устанавливался только в конце декабря. До этого времени на данном участке р. Волги наблюдались разные ледовые явления, такие как забереги, шугоход, сало и др. Причиной более позднего установления ледостава являются более теплые климатические условия.

Максимальная разница между наступлением ледовых явлений и переходом температуры воздуха через 0°С составляла 9 дней на самом западном из постов (г/п Ельцы). На северо-востоке на р. Кострома–Гнёздиково и р. Унжа–Кологрив ледовые явления образовались сразу вместе с наступлением отрицательной температуры воздуха. На северном г/п р.Суда–Куракино происходит следующая ситуация, ледовые явления на реке появлялись раньше, чем температура воздуха переходила через 0°С. Вероятно, для описания процессов замерзания на данном г/п, следует брать ближе расположенные метеостанции.

Разница между появлением ледовых явлений и ледоставом составляла 11–20 дней. Минимальная разница на посту р.Кострома–Исады в связи с ранним наступлением ледостава в данной местности. На постах Гнёздиково и Кологрив продолжительность оказалась наибольшей, 19 и 20 дней соответственно. При том, что отрицательная температура и ледовые явления возникли примерно в один день.

Выводы

В результате выполненной работы получены следующие результаты:

1. Переход температуры воздуха через 0°С происходит в направлении с северо-востока на юго-запад в среднем с 04–13 ноября, что связано с перемещением холодных воздушных масс.

2. Появление ледовых явлений происходит в среднем через 3 дня после устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°С. Средние сроки появления льда 02–19 ноября. Раньше всего (02–04 ноября) ледовые явления и ледостав появляются на северных г/п (р. Суда–Куракино, р. Кострома–Гнёздиково, р. Унжа–Кологрив). На западных г/п лед появляется позже (р. Дубна–Вербилки, р. Волга–Ельцы, р. Волга–Старица), чем на северных и восточных г/п. Наиболее распространённые ледовые явления это забереги, сало, шуга и зажоры.

3. Ледостав в среднем устанавливается через 19 дней после появления устойчивых ледовых явлений. Средние сроки установления ледостава 17 ноября–27 декабря. Ранее всего (17–20 ноября) ледостав устанавливается на небольших притоках р. Волги (р. Кострома–Исады, р. Суда–Куракино). Позднее всего (02–27 декабря) замерзают восточные г/п (р. Дубна–Вербилки, р. Волга–Ельцы, р. Волга–Старица).

Список литературы

1. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. – Гидрометеиздат, 1987. – С. 247.
2. Бuzин В. А. Опасные гидрологические явления. – 2013. – С. 227.

**ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СНЕГОТАЯНИЯ С ДАННЫМИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
НА ВОДОСБОРЕ Р. ВИШЕРЫ ЗА 2015 Г.**

*Скорород Анастасия Сергеевна
Магистр*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь
E-mail: anastasiaskorokhod16@gmail.com*

*Научный руководитель:
Шайдулина Аделия Александровна
старший преподаватель*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

**VERIFICATION OF THE SNOWMELT PROCESS WITH SPACE MONITORING DATA
IN THE VISHERA RIVER CATCHMENT AREA FOR 2015**

*Anastasia S. Skorokhod
Master's degree*

*Perm State National Research University, Perm
Supervisor: Adeliya A. Shaydulina*

*Senior Lecturer
Perm State University, Perm*

Аннотация

Выполнены расчеты снеготаяния на водосборе р. Вишеры по геоинформационной модели, основанной на методе температурных коэффициентов. Проверка результатов моделирования проведена с применением дешифрованных космических снимков. Сравнение площадей, занятых снежным покровом на расчетных модельных картах с данными дистанционного зондирования Земли показало, что их расхождение в течение периода снеготаяния 2015 г. составило в среднем 11% (по модулю).

Ключевые слова: снеготаяние, космические снимки, верификация процесса, дешифрирование

Annotation

Calculations of snowmelt in the catchment area of the Vishera River were performed using a geoinformation model based on the method of temperature coefficients. Verification of the simulation results was carried out using decrypted satellite images. Comparison of the areas occupied by snow cover on the calculated model maps with the data of remote sensing of the Earth showed that their discrepancy during the period of snowmelt in 2015 averaged 11% by absolute value.

Keywords: snowmelt, satellite images, process verification, decryption.

Важной задачей для прогноза стока и продолжительности весеннего половодья является достоверная оценка пространственного распределения снежного покрова на территории и последовательность его таяния в весенний период.

Для территории бассейна Камского водохранилища в 1959 г. Н.Д. Лебедевой предложена адаптация метода температурных коэффициентов (Комаров, 1947), которая легла в основу геоинформационной модели снеготаяния (Калинин и др. 2019, 2021, 2022) и использовалась в расчетах весеннего снеготаяния для водосбора р. Вишеры в 2015 г.

Выполнить проверку точности расчетов весеннего снеготаяния возможно с помощью дешифрованных космических снимков. Термин «дешифрирование», согласно простой формулировке, означает «процесс распознавания объектов, их свойств и взаимосвязей по их изображениям на снимке» (Лабутина, 2004). Полное определение термина «дешифрирование» звучит следующим образом – это процесс изучения по аэро- и космическим изображениям территорий, акваторий и атмосферы, основанный на зависимости между свойствами дешифрируемых объектов и характером их воспроизведений на снимках (Шихов и др., 2020).

Важнейшим дешифровочным признаком всех видов снежных поверхностей является высокая отражательная способность в видимом и ближнем инфракрасных (ИК) диапазонах спектра, и ее резкое снижение в среднем ИК диапазоне. Именно это позволяет отличить снег от облачности и других ярких объектов (например, асфальта, бетона). Для визуального распознавания снежного покрова обычно используют синтез каналов SWIR-NIR-RED, в котором снег имеет голубой цвет, а облачность – белый (Шихов и др., 2020), что прослеживается на космическом снимке (Worldview Snapshots, 2023) исследуемого водосбора (рис. 1).

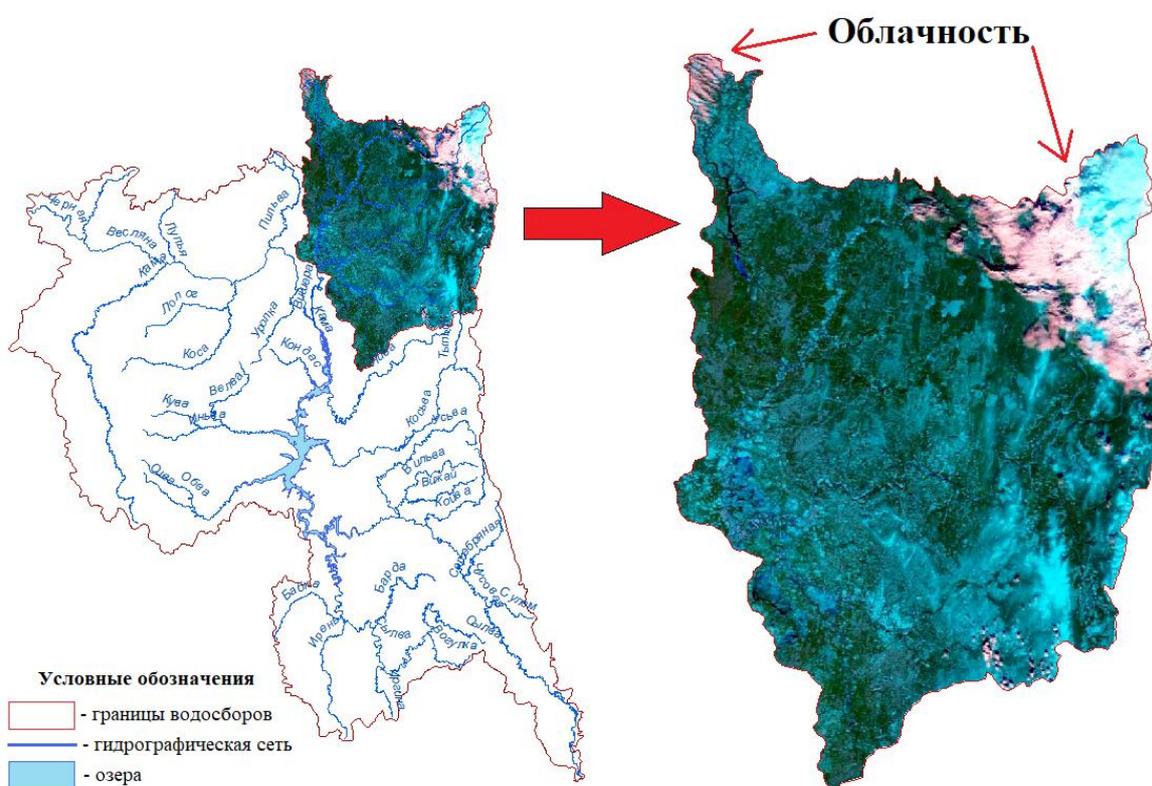


Рис. 1. Водосбор р. Вишеры в пределах бассейна Камского водохранилища, покрытый снегом и облачность на космическом снимке в варианте светового синтеза SWIR-NIR-RED на 30.04.2015

Индексы, используемые для автоматизированного выделения площади, покрытой снегом по спутниковым снимкам, основаны на спектральных характеристиках. Наиболее распространенным является нормализованный относительный индекс снега *NDSI* (normalized difference snow index). Расчет индекса производится по следующей формуле (Шихов и др., 2020):

$$NDSI = (green - swir) / (green + swir) \quad (1)$$

где *green* – яркость в зеленом канале, *swir* – яркость в среднем инфракрасном канале.

Основной задачей дешифрирования является определение площади, покрытой снегом, для расчетов весеннего снеготаяния (Шихов и др., 2020).

При этом в определение этой площади помехой может являться фактор облачности. Так, 30 апреля 2015 облачность наблюдалась на малых участках северо-западной и северо-

восточной области водосбора р. Вишеры (рис. 1), которые на дешифрируемом снимке относятся к зонам с отсутствующим снежным покровом (рис. 2).

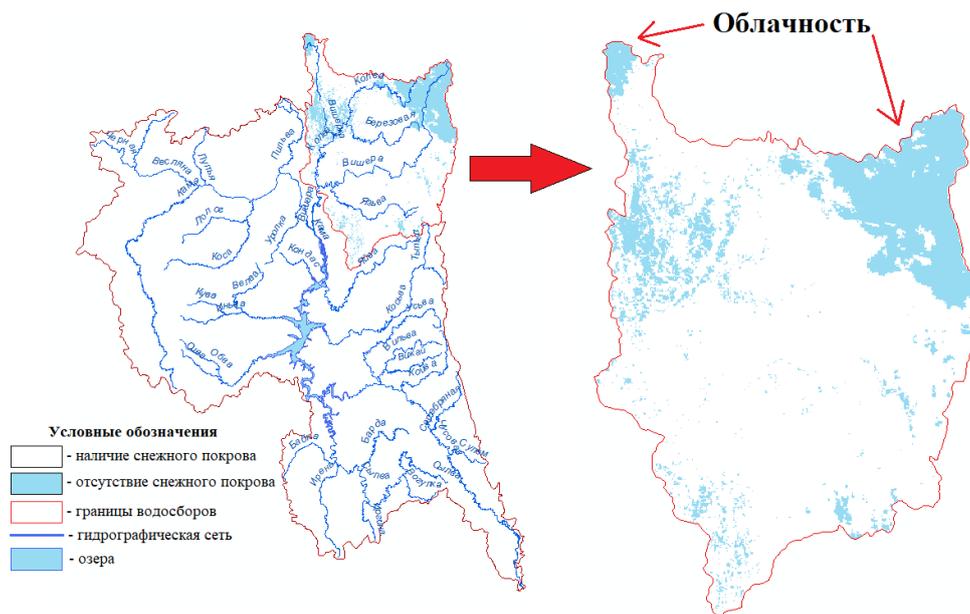


Рис. 2. Дешифрируемый космический снимок территории водосбора р. Вишеры в пределах бассейна Камского водохранилища на 30.04.2015

Снежный покров с учетом облачности 30 апреля покрывал 80% территории водосбора р. Вишеры (рис. 2). А по расчетам снеготаяния (рис. 3) снег покрывал 67% территории.

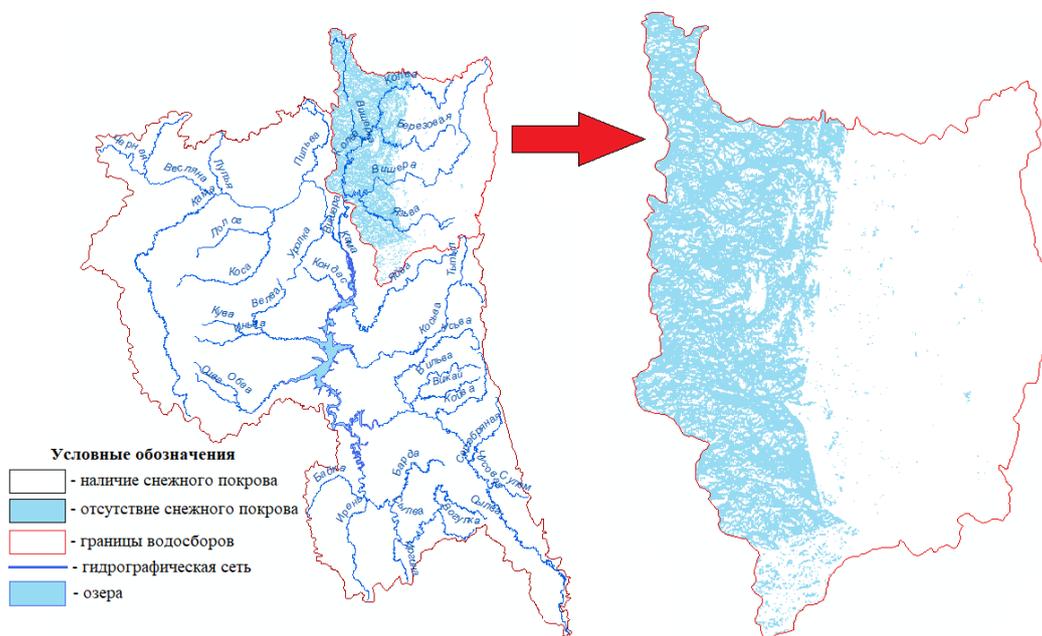


Рис. 3. Расчетная модельная карта распространения снежного покрова на водосборе р. Вишеры в пределах бассейна Камского водохранилища на 30.04.2015

Выполнено количественное сравнение площадей, занятых снежным покровом на дешифрированном космическом снимке и расчетной модельной карте (табл. 1).

Таблица 1

Количественное сравнение площадей, занятых снежным покровом на дешифрированном космическом снимке и расчетной модельной карте для водосбора г/п Вишера-Рябинино за 2015 г.

Дата	Площадь, покрытая снегом, на модельной карте (%)	Площадь, покрытая снегом, на дешифрированном космическом снимке (%)	Отклонение от дешифрированного снимка
05.04.2015	100	95	-5%
30.04.2015	67	80	13%
07.05.2015	47	64	17%
10.05.2015	44	52	8%
11.05.2015	41	30	-11%

Анализ табл. 1 показал, что отклонение расчетной модельной карты от дешифрированного космического снимка составляет в среднем 11% (по модулю).

На рис. 4. показано изменение площадей, занятых снежным покровом, в течение периода снеготаяния 2015 г.

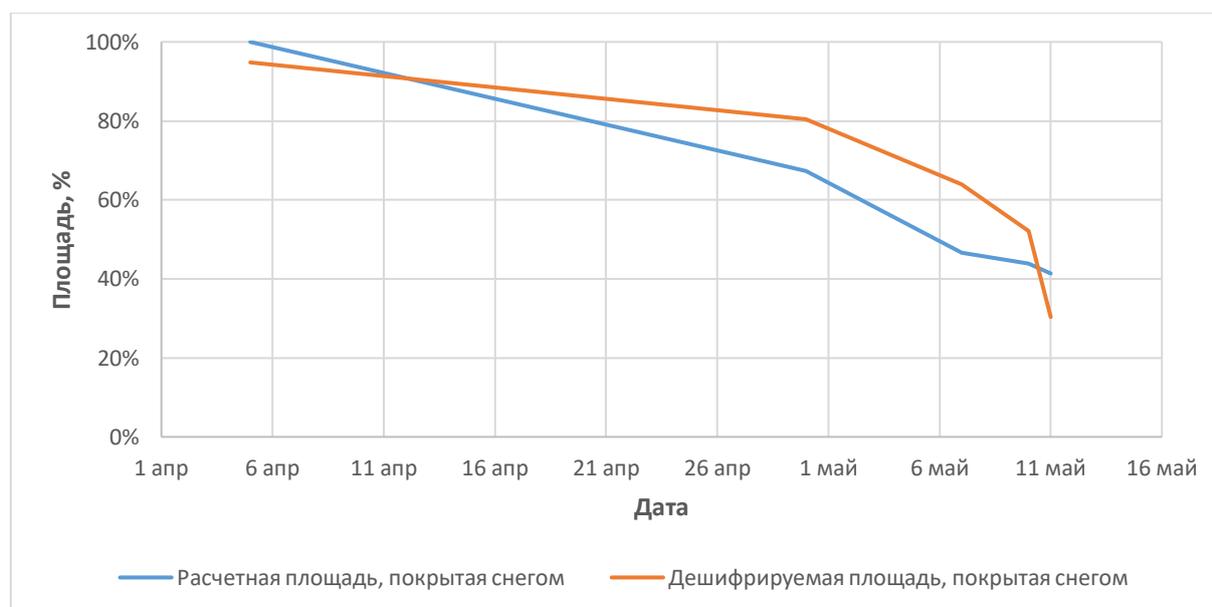


Рис. 4. Изменение площадей, занятых снежным покровом, в течение периода снеготаяния 2015 г. на космическом снимке и расчетной модельной карте

Заметно, что линии схода снежного покрова идут практически синхронно, и лишь в конце периода снеготаяния наблюдается значительное расхождение. Это может быть связано с рядом причин:

– во-первых, с 9 по 12 мая наблюдался резкий подъем температуры воздуха (от +3 до +15 °С). Его интенсивность составила +4°С в день, что могло повлечь резкий сход снежного покрова.

– во-вторых, всегда наблюдаются сложности с дешифрированием снега в конце периода снеготаяния, когда он темнеет или скрыт под лесным массивом. Для водосбора р. Вишеры это особенно актуально, поскольку его залесенность составляет более 90%.

Выводы

Таким образом, выполнено исследование процесса снеготаяния за 2015 г., и верификация расчетных значений площади оставшегося снежного покрова с данными космического мониторинга. Их расхождение в течение периода снеготаяния 2015 г. составило в среднем 11% (по модулю), что свидетельствует о высоком качестве расчетов.

Список литературы

1. Worldview Snapshots. [Электронный ресурс] URL: https://wvs.earth-data.nasa.gov/?LAYERS=MODIS_Terra_CorrectedReflectance_Bands721&CRS=EPSG:4326&TIME=2015-04-05&COORDINATES=54,45,62,65&FORMA-T=image/jpeg&WORLDFILE=true&AUTOSCALE=TRUE&RESOLUTION=250m (Дата обращения: 15.08.2023).
2. Калинин В.Г. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния / В.Г. Калинин, К.И. Суманеева, В.С. Русаков // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 74–85.
3. Калинин В.Г., Суманеева К.И., Русакова В.С. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния // Метеорология и гидрология, 2019, № 2. С. 74–85.
4. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А. К вопросу об учете влияния экспозиции склонов в расчетах снеготаяния // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках. Минск: БГУ, 2021. С. 392–397.
5. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А. Математико-геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на речных водосборах Прикамья. Лед и снег. 2022; 62 (1). С. 63–74.
6. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А. О верификации модельных расчетов пространственного распределения снежного покрова в период снеготаяния // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 99–105.
7. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В. С., Фасахов М.А. К вопросу об учете влияния экспозиции склонов в расчетах снеготаяния. – 2021. С. 392–397.
8. Комаров В.Д. О процессах формирования половодья на малой реке и предвычисления его гидрографа // Труды ЦИП. Вып. 6 (33), 1947. С. 3–41.
9. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект-Пресс, 2004. 184 с.
10. Лебедева Н.Д. Расчет снеготаяния и метод краткосрочного прогноза даты наступления максимального уровня половодья на р. Каме // Тр. ЦИП. Вып. 94. М.: Гидрометеиздат, 1959. С. 15–33.
11. Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учеб. пособие. – Пермь, 2020. 191 с.

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ СТОКА РЕК
В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ**

*Соснина Дарья Александровна
магистрант*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь
darya.sosnina.01@mail.ru*

Научный руководитель:

Микова Ксения Дмитриевна

доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, к.г.н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

**ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE RIVERS FLOW
DURING THE WINTER LOW FLOW PERIOD**

*Darya A. Sosnina
Master's student*

*Perm State University, Perm
darya.sosnina.01@mail.ru*

Supervisor: Ksenia D. Mikova

*PhD, Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection
Perm State University, Perm*

Аннотация

Статья посвящена исследованию факторов формирования стока в период зимней межени для рек северо-восточной части Пермского края. Оценка стокообразующих факторов выполнена по данным о ежедневных расходах и уровнях воды и по данным о состоянии водного объекта. Результаты показали, что наиболее тесную связь минимальный 30-ти суточный расход имеет с толщиной льда и температурой воздуха.

Ключевые слова: зимняя межень; факторы формирования меженного стока; минимальный сток; ледовые явления; динамика расходов и уровней.

Annotation

The article is devoted to the study of the factors of the rivers flow formation during the winter low flow for the rivers of the north-eastern part of the Perm Region. The assessment of the winter runoff-forming factors was carried out according to the data of daily water flow and water stages and according to the water body' state. The results showed that the minimum 30-day flow has the closest relationship with the ice thickness and the air temperature.

Keywords: winter low water; factors of low water flow formation; low flow; ice phenomena; dynamics of water flow and water stages.

Введение

Формирование стока в зимний период является комплексным процессом, на который оказывают влияние такие факторы как: среднесуточная температура воздуха, толщина льда и высота снега на льду, глубина промерзания почвогрунтов на водосборе и атмосферное давление.

Исследуемая территория

Климат рассматриваемой территории континентальный, с холодной снежной продолжительной зимой, теплым, но сравнительно коротким летом, ранними осенними и поздними весенними заморозками. Средняя температура января на северо-востоке региона минус 18,5°C, а на юго-западе минус 13,3°C. Средняя температура июля на северо-востоке региона плюс 16°C, а на юго-западе – плюс 19,1°C.

Годовая норма осадков возрастает от 450 мм на юго-западе до 1000 мм на крайнем северо-востоке, в наиболее высокогорной части Прикамья. Большая часть атмосферных осадков приходится на тёплое полугодие (с мая по сентябрь их выпадает от 66 до 77%). Снежный покров устанавливается в конце октября – начале ноября и держится в среднем 170–190 дней в году [2].

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использованы таблицы ежедневных расходов воды, уровней воды и сведения о ледовом режиме рек из Гидрологических Ежегодников и с электронного ресурса АИС ГМВО на гидрологических постах (г/п), расположенных в северо-восточной части Пермского края. Исследуемые реки являются левобережными притоками Камского водохранилища, они берут начало на склонах Западного Урала (реки Вишера, Язьва, Колва и др.) и имеют сравнимые физико-географические и морфологические характеристики. Выбор факторов, определяющих величину грунтового питания выполнен за период 2014–2019 гг.

Таблица 1

Среднесуточное изменение расхода воды в период зимней межени
за период с 2014 по 2019 гг. (ΔQ , м³/с)

Гидрологический пост	ΔQ , м ³ /с
р. Колва – д. Петрецова	-
р. Язьва – с. Нижняя Язьва	-1,25
р. Березовая – д. Булдырья	-
р. Вишера – д. Митракова	-
р. Косьва – с. Перемское (д. Останино)	-0,89
р. Яйва – с. Усть-Игум	-1,37
р. Усьва – пгт Усьва	-0,41
р. Чусовая – пгт Староуткинск	-0,51
р. Сылва – пгт Шамары	-0,72

Примечание: ΔQ – изменение среднесуточных расходов воды за меженный период.

Наступление периода зимней межени на исследуемой территории приходится на третью декаду октября – начало ноября. Расходы воды в этот период формируются притоком грунтовых вод, без участия поверхностного стока в виде поступления жидких осадков. В этот период расходы воды в реках минимальны, а их изменения крайне малы (табл. 1).

Факторы формирования меженного стока

Нарастание толщины льда. Нарастание ледяного покрова начинается после установления полного ледостава. До его установления происходит постоянное перемешивание водной массы, что препятствует увеличению толщины ледяного покрова. В третью декаду ноября нарастание льда происходит интенсивно. Толщина льда за ноябрь–декабрь изменяется от 20 до 30 см. В период с января по апрель толщина льда увеличивается, и к апрелю лед достигает максимальной толщины за зиму. Это значение составляет порядка 50–60 см, в некоторых случаях до 80 см. На интенсивность нарастания толщины льда влияет высота снежного покрова и условия его трансформации.

Высота снежного покрова. Накопление снега на льду идет неравномерно, пики максимальной высоты снега фиксируются в январе и в феврале. Это может быть связано с деятельностью ветра, который сметает снег с открытого пространства замерзшего русла реки, поэтому аккумуляция происходит скачкообразно. Аккумуляция снега зависит от количества выпадающих твердых атмосферных осадков. При этом снег является не только хорошим изолятором тепла, уменьшающим рост льда, но и готовым ледяным материалом для образования снежного льда в период оттепелей и при перегрузках ледяного покрова [4].

Глубина промерзания почвогрунтов. Длительное время в эмпирических зависимостях не учитывались факторы промерзания грунтов, что связано в основном с отсутствием во многих случаях количественных характеристик промерзания грунтов. Одним из исследований, которое учитывает сезонное промерзание почвогрунтов, является исследование С.К. Аржакова и А.М. Владимирова [1], в котором показана зависимость расходов воды в реках с глубиной промерзания почвогрунтов. Зависимости, полученные С.К. Аржаковым и А.М. Владимировым, отражают закономерное снижение зимних расходов воды по мере увеличения промерзания почвогрунтов и их постепенного смыкания с толщей многолетнемерзлых пород [1].

При уменьшении промерзания почвогрунтов возрастает их воздухопроницаемость. При более свободном проникновении воздуха в зону аэрации над грунтовыми водами зимой не создается более низкое давление, чем в атмосфере, и подземные воды свободно разгружаются в реки.

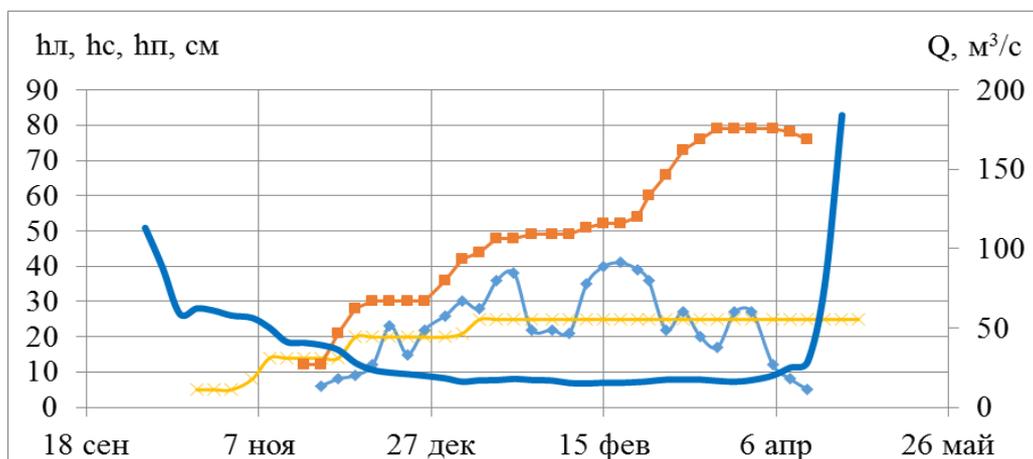


Рис. 1. Изменение расходов воды (Q , м³/с), толщины льда ($h_{л}$, см), высоты снега на льду ($h_{с}$, см) и глубины промерзания почвы ($h_{п}$, см) за период зимней межени на г/п р. Язьва – с. Нижняя Язьва за 2014–2015 гг.

- Толщина льда, см.
- Толщина снега на льду, см.
- Глубина промерзания почвы, см.
- Минимальный 30-ти суточный расход воды, м³/с.

Атмосферное давление. В области речной гидрологии вопросу связи атмосферного давления с величиной стока практически не уделяется внимания. По исследованиям Г.Н. Каменского и др. [3] и С.В. Марунича и др. [6] выявлено большое количество случаев, в которых отмечалось прохождение паводков до начала поступления осадков на водосбор. В отдельных примерах происходило прохождение паводков при полном отсутствии осадков. М.Л. Марковым и С.А. Лавровым [5] были сделаны выводы о том, что изменение атмосферного давления оказывает влияние на уровень воды в наблюдательных скважинах, дебит родников и сток малых рек.

Наблюдения показали, что при изменении атмосферного давления на одну и ту же величину изменение уровня грунтовых вод изменяется в широких пределах. Однако, несмотря на выявленные эффекты влияния давления атмосферы на гидрологические характеристики, комплексные исследования, раскрывающие механизмы данного влияния, до сих пор не проведены [4].

Результаты

С помощью метода линейной корреляции были определены парные корреляционные зависимости для исследуемых переменных и сделана выборка характеристик, которые лучше всего использовать для прогноза зимнего минимального стока рек.

Таблица 2

Матрица корреляций основных факторов, влияющих на величину грунтового питания в период зимней межени

Параметр	Q	h_c	h_n	h_n	P
Q	1				
h_c	-0,28	1			
h_n	-0,42	0,25	1		
h_n	-0,23	0,06	0,16	1	
P	0,02	-0,15	-0,18	-0,14	1
θ	0,35	-0,19	0,12	-0,08	-0,28

Примечание: Q – расход воды, м³/с; h_c – высота снега на льду, см; h_n – толщина льда, см; h_n – глубина промерзания почвы, см; P – атмосферное давление, мм. рт. ст.; θ – температура воздуха, °С.

Выявлено, что связь зимнего расхода воды с атмосферным давлением и температурой воздуха положительная, однако с давлением очень слабая (0,02), а с температурой воздуха слабая (0,35) (табл. 2). Остальные корреляционные связи являются отрицательными, соответственно увеличение одной переменной связано с уменьшением другой переменной. Выявлено, что теснота связи между величиной минимального 30-ти суточного расхода воды и высотой снега на льду практически равна связи расхода и глубины промерзания почвы. При введении множества переменных в уравнение прогноза возрастает величина ошибки, поскольку каждая характеристика несет в себе погрешность. Поскольку коэффициенты корреляции близки друг к другу, то значение толщины снега на льду для дальнейшего анализа является предпочтительнее.

Выводы

Анализ воздействия основных факторов, влияющих на величину грунтового питания, показал, что наиболее тесную связь минимальный 30-ти суточный расход имеет с толщиной льда и температурой воздуха. Теснота связи меженного стока с толщиной льда равна -0,42, а с температурой воздуха 0,35.

Список литературы

1. Аржакова С.К., Владимиров А.М. Зимний сток рек криолитозоны России. 2013.
2. Атлас Пермского края ПГНИУ [Электронный ресурс] URL: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/atlas/Atlas_Permian.pdf (дата обращения: 15.08.2023).
3. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. Гидрометеоиздат, 1987. С. 247.
4. Каменский Г.Н., Биндеман Н.Н., Вевировская М.А., Альтавский М.Е., Режим подземных вод. Строительная литература, Москва-Ленинград. 1938. С. 150.
5. Лавров С.А., Марков М.Л. Оценка влияния атмосферного давления на уровень и сток грунтовых вод // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 11-12. С. 44–51.
6. Марунич С.В., Завилейский С.В., Ливанова Н.А., Влияние изменения атмосферного давления на формирование речного стока. Известия Академии наук. Серия географическая. 1998. № 1. С. 111–115.

**ПРОВЕРКА МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ СРОКОВ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ОДНОРОДНОСТЬ
С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЕВ ДИКСОНА И СМИРНОВА-ГРАББСА**

*Тимачёва Татьяна Евгеньевна
студент*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: timacheva2002@mail.ru

Научный руководитель:

Калинин Виталий Германович

Зав. кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов, д.г.н., доцент

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

**VERIFICATION OF ICE FORMATION LONG-TERM SERIES FOR HOMOGENEITY USING
THE DIXON AND SMIRNOV-GRUBBS CRITERIA**

*Tatyana E. Timacheva
Student*

Perm State University

Supervisor: Vitaliy G. Kalinin

Head of the Department of Hydrology

And Water Resources Protection

Doctor of Geographical Sciences

Perm State University, Perm

Аннотация

Выполнено исследование многолетних колебаний сроков появления устойчивых ледяных образований на реках Пермского края по 12 гидрологическим постам за период 1936–2022 гг. Проведена проверка рядов наблюдений на однородность с помощью критериев Диксона и Смирнова-Грabbса. Анализ результатов показал, что по обоим критериям все исследуемые ряды однородны, что свидетельствует об отсутствии выраженного влияния современных климатических изменений при использовании длинных (87 лет) рядов наблюдений.

Ключевые слова: река; сроки ледообразования; многолетние ряды наблюдений; критерии однородности.

Annotation

A study of long-term fluctuations in the ice formation dates on the rivers of the Perm krai at 12 hydrological posts for 1936–2022 has done. The series of observations checked for homogeneity using the Dixon and Smirnov-Grubbs criteria. The results showed that all series are homogeneous according to both criteria. It indicates the absence of a pronounced influence of modern climate changes using long (87 years) observation series.

Keywords: river; dates of ice formation; long-term series of observations; homogeneity criteria.

Введение

При исследовании многолетних колебаний рядов наблюдений за характеристиками гидрологического режима водных объектов возникает необходимость их проверки на однородность. Последняя может быть нарушена по целому ряду причин, одной из которых является включение в ряды наблюдений генетически неоднородных данных. Установка истинных причин появления аномальных значений может вызывать сложности. Они могут быть вызваны как многовековой изменчивостью климатических факторов, так и антропогенным вмешательством [3].

Исходные данные и методы исследований

Исходными данными для решения задачи об определении однородности гидрологических рядов явились многолетние ряды сроков появления устойчивых ледяных образований [1] в осенний период на реках Пермского края: г/п Березовая-Булдырья, г/п Кама-Бондюг, г/п Колва-Чердынь, г/п Велва-Ошиб, г/п Вишера-Рябинино, г/п Иньва-Кудымкар, г/п Коса-Коса, г/п Лолог-Сергеевский, г/п Обва-Карагай, г/п Усьва-Усьва, г/п Сылва-Подкаменное, г/п Чусовая-Кын. По всем постам собраны данные за период 1936-2022 гг.

Для выявления неоднородности используются статистические критерии, применение которых дает возможность получить количественные характеристики для анализа отклоняющихся значений в рядах наблюдений [2].

Наибольшее распространение для оценки отклоняющихся значений в гидрологической практике получили критерии Диксона и Смирнова-Граббса [4]. Для оценки однородности при помощи данных критериев отклоняющиеся от эмпирического распределения максимумы проверяют по обобщенным статистическим критериям и в случае отклонения гипотезы однородности устанавливается ее причина на основе генетического анализа. Статистический критерий Диксона рассчитывается на основании эмпирических данных по формулам:

а) Для максимального члена ранжированной последовательности (Y_N):

$$D1_N = \frac{y_N - y_{N-1}}{y_N - y_1}, \quad 1$$

$$D2_N = \frac{y_N - y_{N-1}}{y_N - y_2}, \quad 2$$

$$D3_N = \frac{y_N - y_{N-2}}{y_N - y_2}, \quad 3$$

$$D4_N = \frac{y_N - y_{N-2}}{y_N - y_3}, \quad 4$$

$$D5_N = \frac{y_N - y_{N-2}}{y_N - y_1}. \quad 5$$

б) Для минимального члена ранжированной последовательности (Y_1):

$$D1_1 = \frac{y_1 - y_2}{y_1 - y_N}, \quad 6$$

$$D2_1 = \frac{y_1 - y_2}{y_1 - y_{N-1}}, \quad 7$$

$$D3_1 = \frac{y_1 - y_3}{y_1 - y_{N-1}}, \quad 8$$

$$D4_1 = \frac{y_1 - y_3}{y_1 - y_{N-2}}, \quad 9$$

$$D5_1 = \frac{y_1 - y_3}{y_1 - y_N}. \quad 10$$

где Y_N – максимальный член выборки, Y_1 – минимальный член выборки.

Статистический критерий Смирнова-Граббса для максимального и минимального члена ряда соответственно рассчитывается:

$$G_N = \frac{y_N - \bar{y}}{\bar{S}}, \quad 11$$

$$G = \frac{\bar{y} - y_1}{\bar{S}}. \quad 12$$

где, \bar{y} , \bar{S} – среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

Для определения однородности сроков наступления ледовых фаз был выполнен расчет критериев Смирнова-Граббса и Диксона. Ранжирование ряда осуществлялось в порядке возрастания, т.к. наиболее часто встречающимися сроками появления устойчивых ледяных образований будут наиболее поздние сроки. Для сравнения данных критериев на разных реках для каждого ряда были рассчитаны среднее значение \bar{y} , среднее квадратическое отклонение σ , а также коэффициент асимметрии C_s . Кроме этого, выполнена проверка гипотезы на наличие автокорреляции в имеющихся рядах наблюдений. Для определения статистических характеристик была использована программа StokStat.

Анализ результатов

После определения статистических характеристик проводилось сравнение эмпирических значений с теоретическими. Последние представлены в [2] в виде номограмм и таблиц. Если полученное эмпирическое значение меньше, чем теоретическое, то принимается нулевая гипотеза об однородности рядов наблюдений (таблица).

При сопоставлении полученных результатов видно, что все гидрологические ряды являются однородными по критерию Диксона и по критерию Смирнова-Граббса. Влияние современных климатических изменений при больших объемах выборочных данных наблюдений (87 лет) практически не заметно. При использовании рядов наблюдений меньшей продолжительности не исключено появление в них неоднородности.

Таблица. Проверка однородности сроков появления устойчивых ледовых образований

Название г/п	Критерий Диксона										Критерий Смирнова – Гриббса		r(1)	Cs
	D1 ₁	D2 ₁	D3 ₁	D4 ₁	D5 ₁	D1 _N	D2 _N	D3 _N	D4 _N	D5 _N	G	G _N		
Березовая – Булдырья	0,000	0,000	0,070	0,023	0,021	0,064	0,064	0,085	0,087	0,085	1,727	2,427	0,073	0,329
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Кама – Бондюг	0,023	0,023	0,070	0,073	0,068	0,023	0,023	0,070	0,073	0,068	1,790	2,315	0,072	0,378
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Колва – Чердынъ	0,023	0,023	0,070	0,070	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,843	2,265	0,090	0,404
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Велва – Ошиб	0,048	0,048	0,119	0,122	0,119	0,000	0,000	0,025	0,027	0,024	2,054	1,979	0,198	0,255
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Вишера – Рябинино	0,000	0,000	0,051	0,053	0,050	0,025	0,025	0,050	0,053	0,050	1,935	2,181	0,123	0,283
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Иньва – Кудымкар	0,024	0,024	0,071	0,075	0,071	0,000	0,000	0,049	0,051	0,048	2,057	1,971	0,156	0,161
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Коса – Коса	0,024	0,024	0,049	0,050	0,049	0,000	0,000	0,025	0,026	0,024	1,915	2,038	0,147	0,302
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Лолог – Сергеевский	0,068	0,070	0,070	0,071	0,068	0,023	0,024	0,049	0,049	0,045	1,981	1,963	0,197	0,289
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Обва – Карагай	0,130	0,133	0,133	0,143	0,130	0,022	0,025	0,100	0,100	0,087	2,009	1,908	0,070	0,707
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Усьва – Усьва	0,000	0,000	0,029	0,029	0,028	0,056	0,056	0,056	0,057	0,056	1,845	1,847	0,070	0,121
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		
Сылва – Подкаменное	0,143	0,143	0,190	0,195	0,190	0,000	0,000	0,028	0,029	0,024	2,235	1,908	0,108	0,694
	0,300	0,310	0,370	0,370	0,360	0,090	0,110	0,130	0,140	0,120	3,900	2,160		
Чусовая – Кын	0,024	0,024	0,049	0,050	0,049	0,000	0,000	0,025	0,026	0,024	2,043	2,133	0,093	0,209
	0,255	0,275	0,325	0,335	0,315	0,220	0,130	0,160	0,170	0,150	3,770	2,405		

Список литературы

1. Калинин В.Г. О методике определения некоторых характеристик ледовых явлений на водохранилищах // Метеорология и гидрология. 1995. № 1. С. 114–116.
2. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – Л.: Нестор-История, 2010. 162 с.
3. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 78 с.
4. Рождественский А.В., Сахарюк А.В. Обобщение критериев однородности Стьюдента и Фишера на случай коррелированных во времени и пространстве гидрологических характеристик // Тр. ГГИ, 1981. Вып. 282. С. 51–71.

АНАЛИЗ ПЛАНОВОГО СМЕЩЕНИЯ УЧАСТКА РУСЛА РЕКИ ВИШЕРА В РАЙОНЕ С. РЕДИКОР

*Фотина Алена Сергеевна
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь
Магистрант I курса
E-mail: alena-fotina@mail.ru
Научный руководитель:
Ларченко Ольга Викторовна
доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, к.г.н.,
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

ANALYSIS OF THE PLANNED DISPLACEMENT OF A SECTION OF THE VISHERA RIVER BED IN THE AREA OF THE VILLAGE OF REDIKOR

*Alena S. Fotina
1st year master student
Perm State University, Perm
Supervisor: Olga V. Larchenko
Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, PhD
Perm State University, Perm*

Аннотация

Выполнен анализ планового смещения участка русла реки Вишера в районе села Редикор, расположенного в Пермском крае. Основой для анализа послужили данные топографических карт «Топомарпер» (14.11.2016 г.) и «ESRI World Topo» (08.11.2022 г.) с временным промежутком 6 лет, а также измерения, которые проводились при помощи программы QGIS.

Ключевые слова: плановое смещение; русло; река Вишера.

Annotation

The analysis of the planned displacement of the section of the Vishera River bed in the area of the village of Rediktor, located in the Perm Territory, was carried out. The basis for the analysis was data from topographic maps "Topomapper" (11/14/2016) and "ESRI World Topo" (11/08/2022) with a time interval of 6 years, as well as measurements carried out using the QGIS program.

Keywords: planned displacement; channel; river Vishera.

Взаимодействие потока и русла, являясь естественным процессом, обуславливает постоянные переформирования, выражающиеся в развитии горизонтальных или вертикальных деформаций русла, которые, в свою очередь, влияют на стабильность или нестабильность положения русла в плане. Также, эти переформирования определяют развитие или отмирание рукавов на участках разветвлений, скорость размыва и намыва берегов, прорыв (спрямление) излучин или трансформацию русла из одного типа русла в другой [5]. В связи с чем, изучение этих изменений и установление закономерностей имеет большое практическое и научное значение. На различные отрасли народного хозяйства, которые, как правило, не могут обой-

тись без водных ресурсов, большое влияние оказывают русловынные процессы [2]. Также, их изучение важно для исправной работы промышленных предприятий и обеспечения наилучших условий для лесосплава и судоходства. Изучением русловых процессов в России в разные годы занимались: В.М. Маккавеев, Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Р.С. Чалов, Н.Б. Барышников, В.М. Лохтин, Н.С. Лелявский, М.А. Великанов, В.Н. Гончаров [1].

Целью данной работы является анализ планового смещения русла (на примере участка р. Вишера).

Река Вишера расположена в Пермском крае и является одним из крупных притоков Камы. Ее устье находится в Вишерском заливе Камского водохранилища. Вишера протекает по территории следующих районов Пермского края – Соликамского, Красновишерского и Чердынского. Река берет свое начало на границе с Республикой Коми и Свердловской областью, располагаясь на северо-востоке края. Течет в основном по предгорьям Урала, в связи с чем характеризуется как быстрая горная река, которая течет в узкой долине. Длина р. Вишеры 415 км, а площадь водосбора – 31 200 км².

Исток находится в Красновишерском городском округе на высоте 1007 м, вблизи горной вершины Саклаимсори-Чахль. Устье расположено в Соликамском городском округе напротив деревни Усть-Вишера [4].

Рассматриваемый участок Нижней Вишеры протяженностью 8,5 км находится на 382 км от истока реки в районе села Редикор, которое расположено на правом берегу. На участке представлены три излучины, две из которых относятся к русловому процессу «незавершенное меандрирование», так как на них отмечается наличие спрямляющих протоков. Для удобства анализа излучины были пронумерованы, положение русла реки в зависимости от рассматриваемого года, а также нумерация излучин представлены на рис.

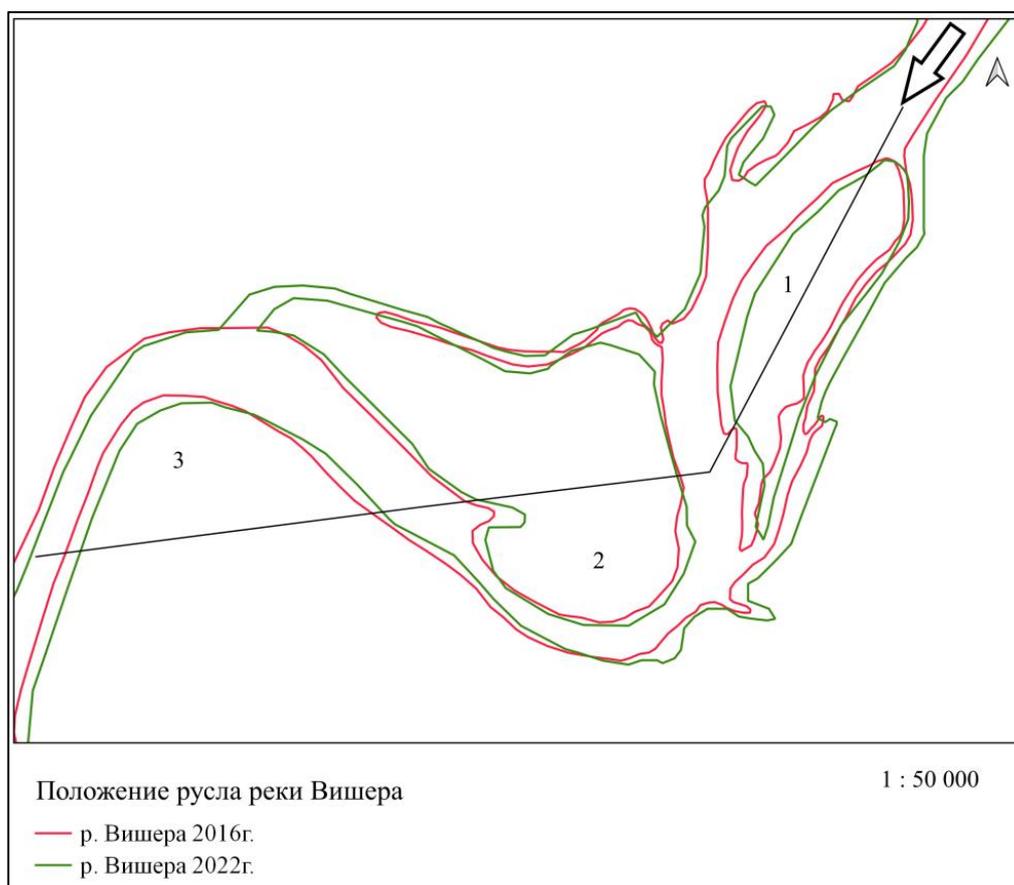


Рис. Плановое положение участка русла реки Вишера в районе села Редикор на 382 км от истока. Масштаб 1:50 000

Чтобы оценить форму и размеры излучин, были использованы такие измерители, как длина излучины, шаг излучины, высота излучины, относительная длина излучины, стрела прогиба излучины, углы входа и выхода, угол сопряжения излучин, угол разворота излучины и показатель асимметричности излучины [3].

После проведения измерений и расчетов перечисленных измерителей, была составлена таблица 1, которая численно показывает изменения, произошедшие в русле Вишеры в период с 2016 по 2022 гг. на рассматриваемом участке.

Таблица 1

Полученные измерители излучин на участке русла р. Вишера в районе села Редикор на 382 км от истока за 2016 и 2022 гг.

Измерители	№ изл.	Данные 2016 г.	Данные 2022 г.	Измерители	№ изл.	Данные 2016 г.	Данные 2022 г.
Шаг излучины λ (м)	1	2043,9	2114,5	Угол входа α в (град.)	1	19,5	23,9
	2	1476,7	1468,4		2	98	98,9
	3	1911,3	1889		3	57,2	42
Длина излучины S (м)	1	2222,8	2319,5	Угол выхода α н (град.)	1	40	38,7
	2	2356,8	2427,5		2	59,2	42,8
	3	2727,7	2669,8		3	60,7	61,1
Относительная длина излучины	1	1,09	1,10	Угол разворота α (град.)	1	59,5	62,6
	2	1,60	1,65		2	157,2	141,7
	3	1,43	1,41		3	117,9	103,1
Высота излучины Y_m (м)	1	417	398,2	Угол сопряжения излучин β (град.)	1	58	60,2
	2	829,7	875,2		2	-2	-0,8
	3	904,9	853,8		3	-	-
Стрела прогиба h (м)	1	377,3	389,1	Показатель асимметричности излуч. ϵ (град.)	1	-4,4	0,0
	2	773,1	782,1		2	-47,1	-1,9
	3	853,3	821,3		3	1,2	-0,5

Сравнивая полученные значения измерителей излучин на участке верхней Вишеры за 2016 год со значениями 2022 года, можно говорить о том, что шаг излучины №1 увеличился на 70,6 м. Шаг излучин №2 и 3, наоборот, стал меньше на 8,3 и 22,3 м соответственно. Изменились значения длин излучин: излучины №1 и 2 увеличились на 96,7 и 70,7 м соответственно, а длина излучины №3 уменьшилась на 57,9 м. Относительная длина излучин №1 и 2 увеличилась 0,1 и 0,05 соответственно, а излучины №3 стала меньше на 0,02. Высота излучин №1 и 3 уменьшилась на 18,8 и 51,1 м соответственно, а излучины №2 увеличилась на 45,5 м. Показатели стрелы прогиба излучин №1 и 2в 2022 году стали больше на 11,8 и 9 м соответственно, в сравнении с показателями 2016 года, а излучины №3 – меньше на 32 м. Угол разворота излучины №1 за рассматриваемый временной промежуток увеличился на 3,1 градус, а излучин №2 и 3 уменьшился в среднем на 15,2 градуса. Угол сопряжения излучин №1 и 2, и №2 и 3 за рассматриваемый промежуток времени увеличился. Значения показателя асимметричности для 1 и 2 излучин стали больше, а для излучины №3 этот показатель по прошествии рассматриваемого периода стал меньше.

Смещение излучин в плане определялось путем сопоставления положения участков (через каждые 500 м) русла за 2016 и 2022 гг. Полученные данные оказались следующими: для

излучины №1 смещение составило в среднем 28 м, что говорит о ее ежегодном смещении на 4,7 м; для излучины №2 смещение составило 36,3 м или 6 м в год; самым большим смещением обладает излучина №3, она сместилась на 45,7 м или около 7,6 м в год.

Стоит отметить, что на рассматриваемом участке для излучины №1 постоянным было наличие спрямляющей протоки за весь период наблюдения. А у излучины №2 протока появилась только к 2022 году. Поэтому, были также проанализированы измерители руслового процесса «незавершенное меандрирование», такие как: длина излучины, длина спрямленного участка реки, длина протока и относительная длина русла. Полученные при измерении данные за 2016 и 2022 года представлены в таблице 2.

Таблица 2

Измерители незавершенного меандрирования на участке русла р. Вишера в районе села Редикор на 382 км от истока за 2016 и 2022 гг.

Измерители	№ излучины	Данные 2016 г.	Данные 2022 г.
Длина излучины S (м)	1	2222,8	2319,5
	2	2356,8	2427,5
Длина спрямленного участка реки Sp (м)	1	2833	2815,2
	2		4376,2
Длина протока Sp (м)	1	2751,9	2696,8
	2		2746,3
Относительная длина русла	1	1,03	1,04
	2		1,59

Длины излучин № 1 и 2 увеличились на 96,7 и 70,7 м соответственно. Изменение остальных измерителей можно проанализировать только для излучины № 1: длина спрямленного участка реки за рассматриваемый интервал времени уменьшилась на 17,8 м; длина протока тоже стала меньше на 55,1 м; относительная длина русла за 6 лет стала больше на 0,01.

В целом, на этом участке близ впадения в Каму отмечаются пологие и прорванные излучины, а русло становится разветвленно-извилистым, с явным продольным смещением. Такие русловые деформации вызваны тем, что в нижнем течении Вишеры наблюдается чередование свободных и ограниченных условий развития русловых деформаций, на которые, в первую очередь, влияют такие факторы, как геология и рельеф участка.

Список литературы

1. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 454 с.
2. Значение учения о русловых процессах для народного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <https://helpiks.org/7-23596.html>
3. Наумов Г.Г. Антропогенные воздействия на русловые процессы на переходах через водотоки: монография. М.: МАДИ, 2012. – 105с
4. Ураловед. Река Вишера: особенности, история и путеводитель по реке [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <https://uraloved.ru/mesta/permskiy-krai/reka-vishera>
5. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение): учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2016. – 565 с.

Научное издание

Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов

Материалы межрегиональной научно-практической
конференции студентов, аспирантов и молодых ученых
(13 декабря 2023 г.)

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка: *О. А. Березина*

Подписано в печать 29.12.2023
Объем данных 2,39 Мб

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15