

Особенности формирования водного режима водохранилищ камского каскада

В. Г. Калинин¹, А. А. Шайдулина¹✉, М. А. Фасахов¹,
К. Д. Микова¹, С. В. Ясинский², А. С. Скороход¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Российская Федерация

(614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

²Институт географии РАН, Российская Федерация
(119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4)

Аннотация. Цель – выявление закономерностей формирования водного режима водохранилищ камского каскада.

Материалы и методы. Исходными данными послужили материалы ежедневных наблюдений за притоком, сбросом и уровнем воды за 2002-2021 годы. В работе применялись географо-гидрологический и статистический методы.

Результаты и обсуждение. Многолетние изменения составляющих водного баланса и уровня воды камских водохранилищ определяются естественным речным стоком с одной стороны и каскадным регулированием с другой. Камское водохранилище является регулятором каскада. Приток к Воткинскому водохранилищу полностью зависит от сбросов воды через Камскую ГЭС, а расход воды определяется регламентом работы Воткинской ГЭС. На Нижнекамском водохранилище водный режим является следствием совместной работы водоемов камского каскада и зарегулированной боковой приточности.

Выводы. Уровненный режим Камского и Воткинского водохранилищ отражает фазы весеннего наполнения, летне-осенней стабилизации и зимней сработки. На Нижнекамском водохранилище эти фазы практически отсутствуют, а в характере притока и сброса четко прослеживается недельное регулирование стока. Внутригодовое распределение составляющих водного баланса в многоводные годы проявляется в высоком весеннем притоке и наложении волн дождевых паводков, что в свою очередь обуславливает продолжительное стояние уровня воды на отметках, близких к в период летне-осенней стабилизации, и повышенный сброс воды через гидроузлы в течение всего года. Внутригодовое распределение исследуемых характеристик в маловодные и средние по водности годы имеет схожий характер.

Ключевые слова: водохранилища, водный режим, внутригодовое распределение притока, расхода и уровня воды, годы разной водности.

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-17-00224.

Для цитирования: Калинин В. Г., Шайдулина А. А., Фасахов М. А., Микова К. Д., Ясинский С. В., Скороход А. С. Особенности формирования водного режима водохранилищ камского каскада // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2025, № 2, с. 80-92. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/80-92>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Формирование водного режима водохранилищ во многом определяется соотношением приходных и расходных составляющих водного баланса, знание которого особенно актуально для управления водными ресурсами при планировании хозяйственной деятельности на их водосборах [1-7, 10-11]. Гидрологический режим водохранилищ имеет существенные отличия от режима естественных водных объектов, на базе которых они созданы. Эти отличия определяются специфическими особенностями водохранилищ

как новых водных объектов суши [6], характером их морфометрии и положением в каскаде. Приток и сброс воды также связаны с каскадным режимом работы водохранилищ и сильно меняются по сезонам и в годы разной водности.

Целью настоящей работы является выявление закономерностей формирования водного режима водохранилищ камского каскада.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа многолетней и внутригодовой изменчивости приходных и расходных элементов водного



баланса и уровня режима Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ использованы материалы ежедневных наблюдений за 2002-2021 годы¹.

Территория водосбора Нижнекамского водохранилища (рис. 1), общей площадью 370000 км², расположена на северо-востоке Европейской части России. Основной водной артерией является р. Кама, а водоемами – созданные на ней крупные водохранилища (рис. 1), регулирование стока которых определяется в соответствии с «Правилами использования...» [8, 9]. Водоохра-

нилища осуществляют сезонное, недельное и суточное регулирование стока.

Камское водохранилище – регулятор каскада, с напором 21,0 м и площадью водосбора в створе Камской ГЭС 168000 км² [8]. Водохранилище вытянуто в меридиональном направлении, отличается большой изрезанностью береговой линии и наличием крупных краевых заливов. Максимальная ширина водоема в центральной части при НПУ составляет 14,2 км, а максимальная глубина (28,1 м) наблюдается у плотины Камской ГЭС [5].

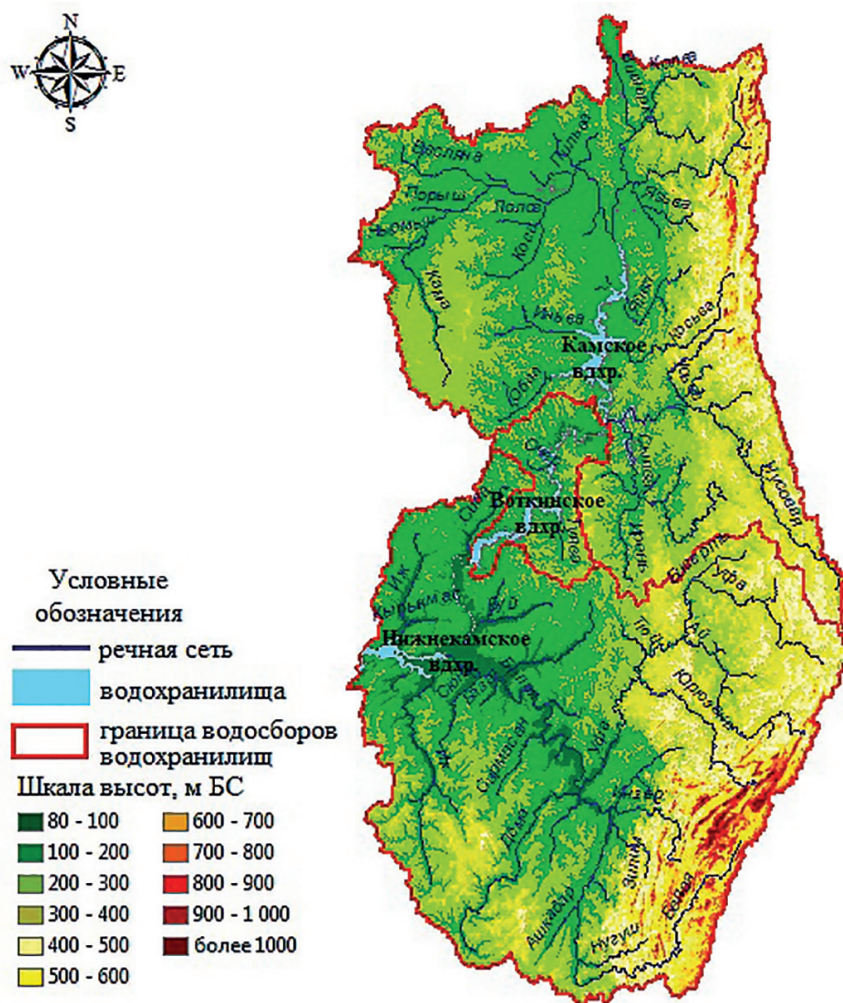


Рис. 1. Водосбор Нижнекамского водохранилища
[Fig. 1. Catchment area of the Nizhnekamskoye Reservoir]

Воткинское водохранилище – вторая ступень каскада с напором 23 м и площадью водосбора в створе Воткинской ГЭС 184000 км² [8]. Представляет собой узкий вытянутый с северо-востока на юго-запад водоем со значительной извилистостью, особенно в верхней и центральной частях. Максимальная ширина и глубина наблюдаются у плотины Воткинской ГЭС и составляют при НПУ 8,23 км и 22,8 м соответственно [5].

Нижнекамское водохранилище – третья ступень каскада с расчетным напором² 12,4 м. Проектная отметка НПУ водохранилища равна 68,00 м БС, однако по ряду причин наполнение водохранилища не было завершено, и в настоящее время оно эксплуатируется на отметке НПУ – 63,30 м БС [9]. Водоем отличается сложными очертаниями береговой линии и наличием обширных мелководий. Максимальная ширина водо-

¹ Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. – URL: <http://gis.vodinfo.ru> (дата обращения: 17.02.2024). – Текст: электронный.

² Нижнекамская ГЭС. – URL: <https://www.so-ups.ru/odu-volga/odu-volga-zone/znachimye-ehnergoobekty/nizhnekamskaja-gehs/> (дата обращения: 17.02.2024). – Текст: электронный.

Таблица 1

Характерные уровни водохранилищ камского каскада [8, 9]

[Table 1. Typical levels of the Kama cascade reservoirs]

№ п/п	Параметр / Parameter	Водохранилище / Reservoir		
		Камское / Kamskoe	Воткинское / Votkinskoe	Нижнекамское / Nizhnekamskoe
1	Нормальный подпорный уровень, НПУ (м БС)	108,50	89,00	63,30
2	Минимальный допустимый уровень (мертвого объема), УМО (м БС)	100,00	84,00	62,70
3	Уровень принудительной предполоводной сработки, УПС (м БС)	101,00	85,00	нет
4	Форсированные уровни при пропуске максимальных расходов вероятностью превышения, м БС:			
	0,01 %	110,20/110,12*	90,00/89,89*	68,99
	0,1 %	108,5	89,50/89,00*	66,93
5	Минимальный навигационный уровень, МНУ (м БС)	106,00	87,00	63,00

Примечание: *в числителе приведен проектный ФПУ, в знаменателе – полученный по результатам гидравлических расчетов, выполненных при разработке «Правил использования...» [8]

[Note: *the numerator shows the design high water level, the denominator is the one obtained from the results of hydraulic calculations performed during the development of the «Pravila ispol'zovaniya...» [8]]

хранилища при НПУ³ составляет 16 км, а глубина – 23,0 м.

Для всех водохранилищ установлены характерные уровни воды, имеющие постоянные высотные отметки (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, наибольшая амплитуда хода уровня воды в течение года характерна для Камского водохранилища, а наименьшая – для Нижнекамского.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности многолетней динамики характеристик водного режима. На основе среднесуточных данных о притоке, расходе воды через гидроузлы, уровне воды в водохранилищах камского каскада выполнены расчеты их среднесеasonных значений, и проведен анализ многолетних изменений (рис. 2).

Камское и Воткинское водохранилища формируют сопряженный каскад ГЭС. Подпор от плотины Нижнекамской ГЭС распространяется до г. Сарапула, расположенного в 70 км ниже Воткинской ГЭС, поэтому каскад является разорванным. Анализ приходных и расходных составляющих водного баланса и уровня режима Воткинского водохранилища за многолетний период показал, что распределение этих характеристик практически полностью соответствует Камскому водохранилищу (см. рис. 2).

Как видно из рисунка 2, максимальный приток и расход воды через ГЭС (около 2500 м³/с) на Камском и Воткинском водохранилищах наблюдался в 2017 и 2019 годах, а на Нижнекамском (3700 м³/с) – в 2002 году, что связано с большим боковым притоком по рекам Белой и Уфе. В 2021 году отмечен самый минимальный приток и расход воды в водохранилищах камского каскада

(Камское – 1370 м³/с, Воткинское – 1400 м³/с, Нижнекамское – 2270 м³/с).

В среднем за 20-летний период значение притока воды и расхода воды через Камскую ГЭС составило 1840 м³/с, через Воткинскую ГЭС – 1900 м³/с, а через Нижнекамскую ГЭС – 3000 м³/с, что практически соответствует значениям среднего по водности 2014 года.

Внутригодовое распределение притока воды, сброса через ГЭС и хода уровня воды в водохранилищах камского каскада за период с 2002 по 2021 годы представлено на рисунке 3.

Уровненный режим водохранилищ определяется соотношением элементов водного баланса, зависящих от условий формирования стока на водосборе, регулирующей роли Камского водохранилища и режима эксплуатации Камской, Воткинской и Нижнекамской ГЭС при их совместной работе в каскаде. Для Камского и Воткинского водохранилищ четко прослеживаются фазы весеннего наполнения, летне-осенней стабилизации и зимней сработки.

На Нижнекамском водохранилище эти фазы выражены не столь явно, поскольку его годовая амплитуда колебания уровня воды не превышает 1,5 м. Внутри года значения уровней воды находятся в пределах проектных отметок, определенных «Правилами использования...» [8, 9].

Основной приток Камское водохранилище получает во время весеннего половодья, поскольку реки рассматриваемой территории имеют преимущественно снеговое питание, на долю которого приходится 50-70 % годового стока. Период наполнения Камского и Воткинского водохранилищ до отметки НПУ начинается в середине апреля и заканчивается во второй половине мая.

³ Администрация Камского бассейна внутренних водных путей. – URL: <https://kamvodput.ru/aboutus/publications/> (дата обращения: 17.02.2024). – Текст: электронный.

Средние значения притока воды и расхода через ГЭС в период наполнения составляют на Камском водохранилище – 3713 м³/с, на Воткинском – 3205 м³/с, на Нижнекамском – 5367 м³/с. Для последней фаза наполнения начинается в марте, что обусловлено более

ранним снеготаянием в связи с южным расположением водосбора. Наибольшие значения притока воды приходятся на май и в среднем составляют на Камском водохранилище – 7200 м³/с, на Воткинском – 5121 м³/с, на Нижнекамском – 6883 м³/с.

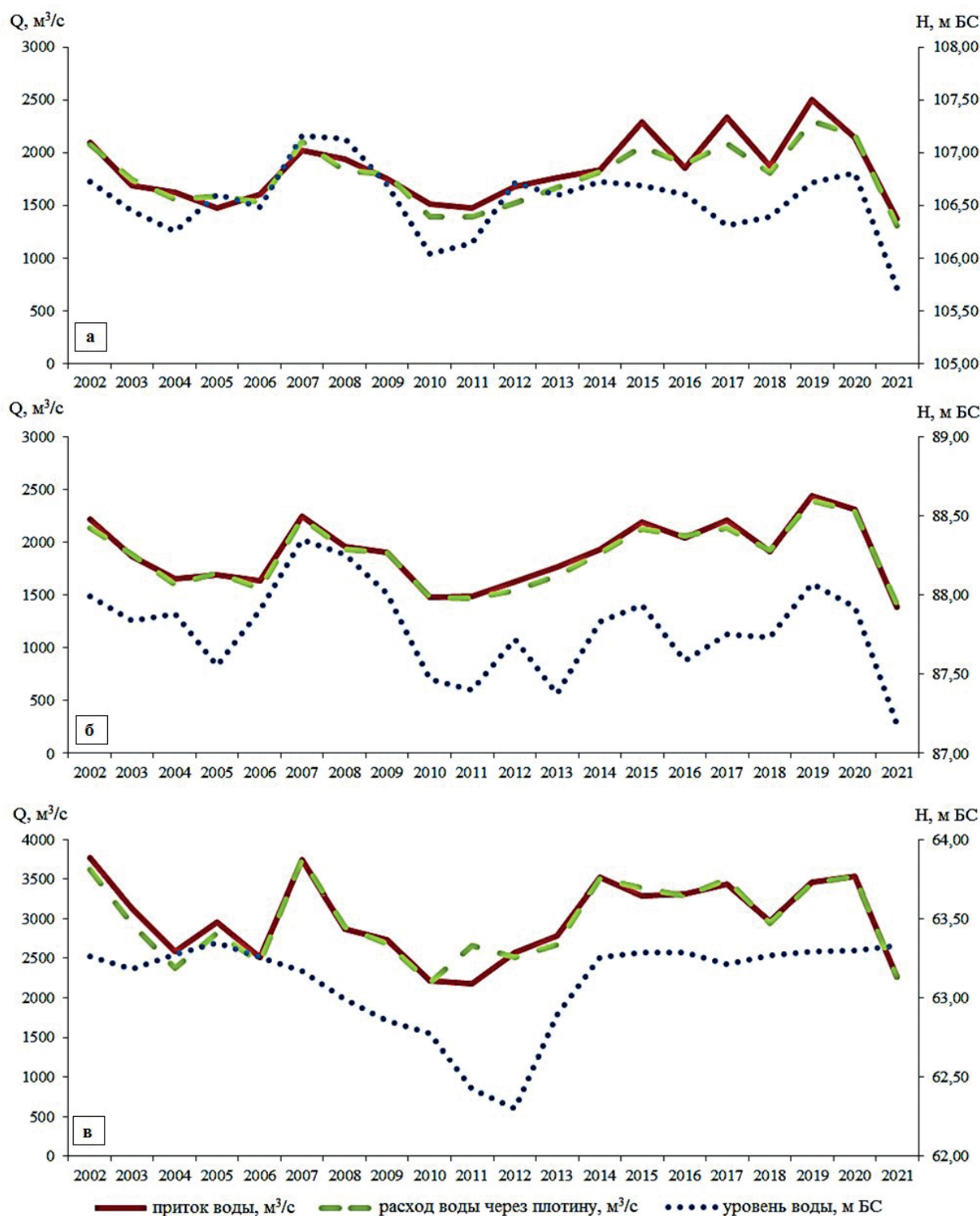


Рис. 2. Изменение притока к водохранилищу, расхода воды через ГЭС и уровней воды Камского (а), Воткинского (б) и Нижнекамского водохранилищ (в) за 2002-2021 годы
[Fig. 2. Changes in inflow to the reservoir, water flow through HPP and the level regime of the Kamenskoye (a), Votkinskoye (b) and Nizhnekamskoye Reservoirs (c) for 2002-2021]

Фаза летне-осенней стабилизации водохранилищ камского каскада продолжается с июня до конца октября. Доля летне-осеннего стока рек составляет в среднем 25 % годового стока и мало меняется по территории. В соответствии с этим ГЭС работают преимущественно на бытовых расходах для обеспечения гарантированных судоходных глубин [8, 9]. Средние значения притока

воды и расхода через ГЭС составляют на Камском водохранилище – 1390 м³/с и 1426 м³/с, на Воткинском – 1506 м³/с и 1520 м³/с, на Нижнекамском – 2319 м³/с и 2262 м³/с соответственно.

Зимнее понижение уровня воды в водохранилищах обычно начинается в конце октября – начале ноября. Зимняя межень на реках водосбора отличается устой-

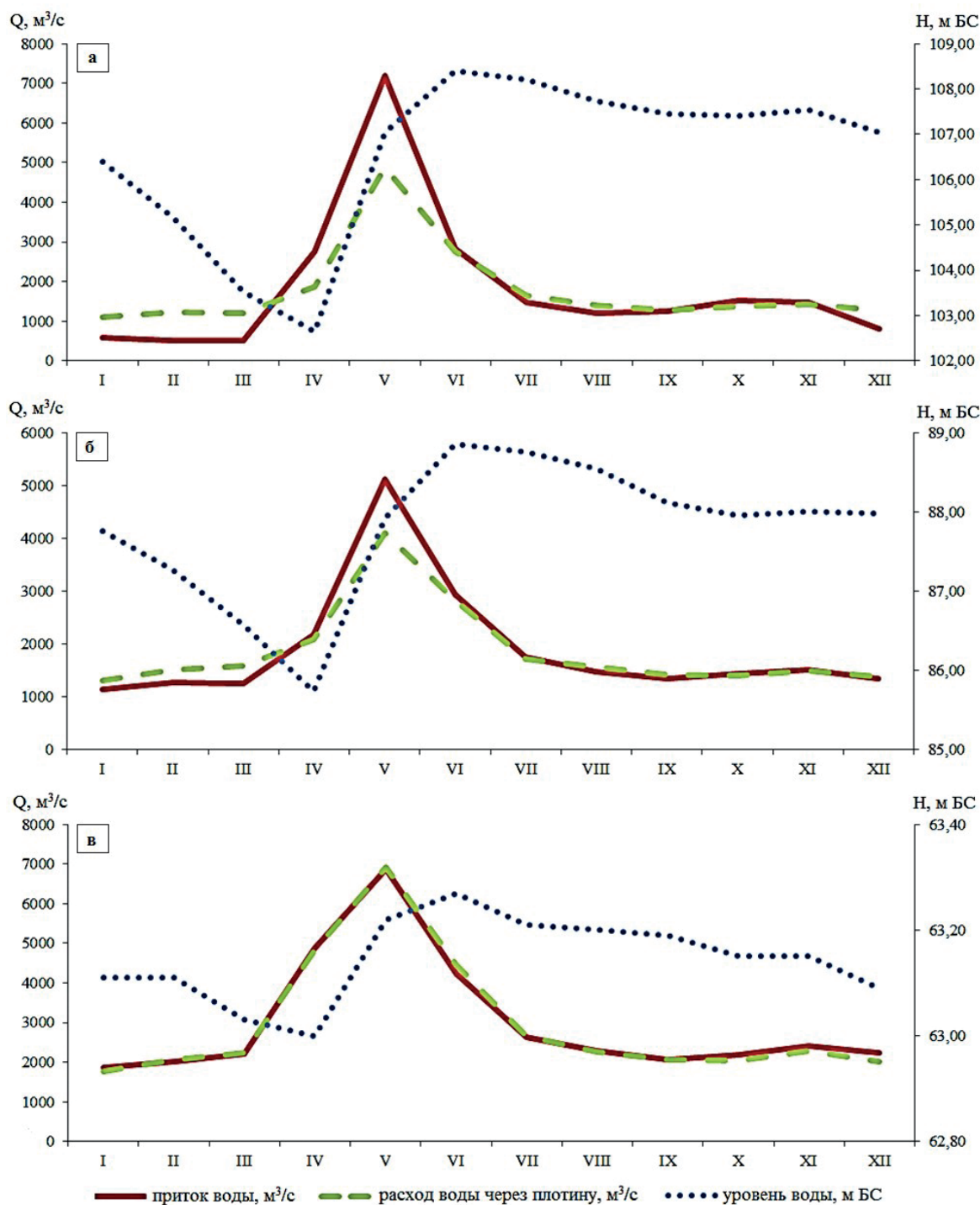


Рис. 3. Изменение средних значений притока к водохранилищу, расхода воды через ГЭС и уровней воды Камского (а), Воткинского (б) и Нижнекамского водохранилища (в) по месяцам за 2002-2021 годы [Fig. 3. Changes in the average values of inflow to the reservoir, water flow through HPP and the level of water of the Kamenskoye (a), Votkinskoye (b) and Nizhnekamskoye Reservoirs (c) by month for 2002-2021]

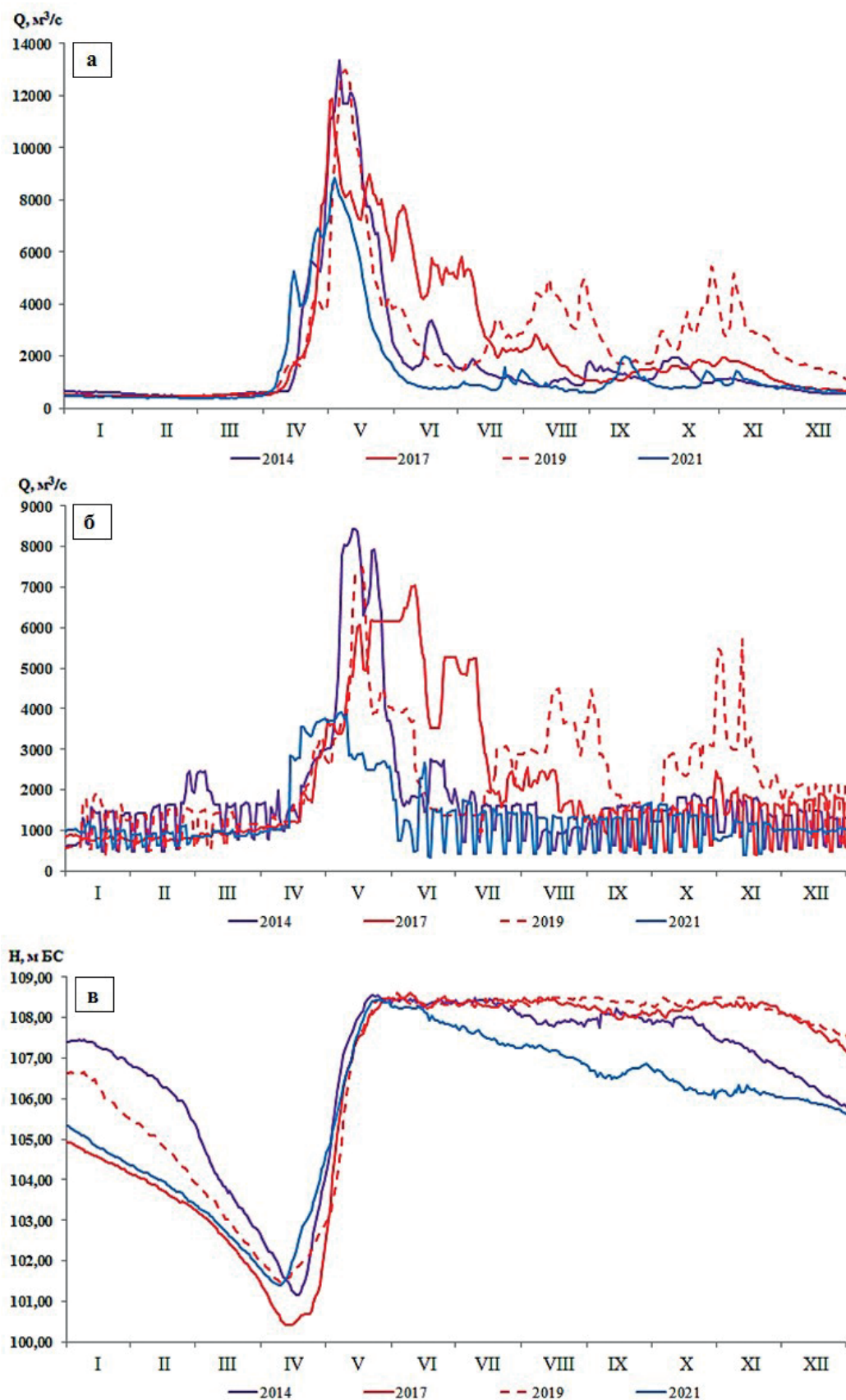


Рис. 4. Внутригодовое распределение приходных (а) и расходных (б) составляющих водного баланса и уровень режим (в) Камского водохранилища за средний по водности 2014 год, многоводные 2017 и 2019 годы, и маловодный 2021 год

[Fig. 4. Intra-annual distribution of incoming (a) and outgoing (b) components of the water balance and level regime (c) of the Kamskoye Reservoir for the average year of water content in 2014, high-water years 2017 and 2019, and low-water year 2021]

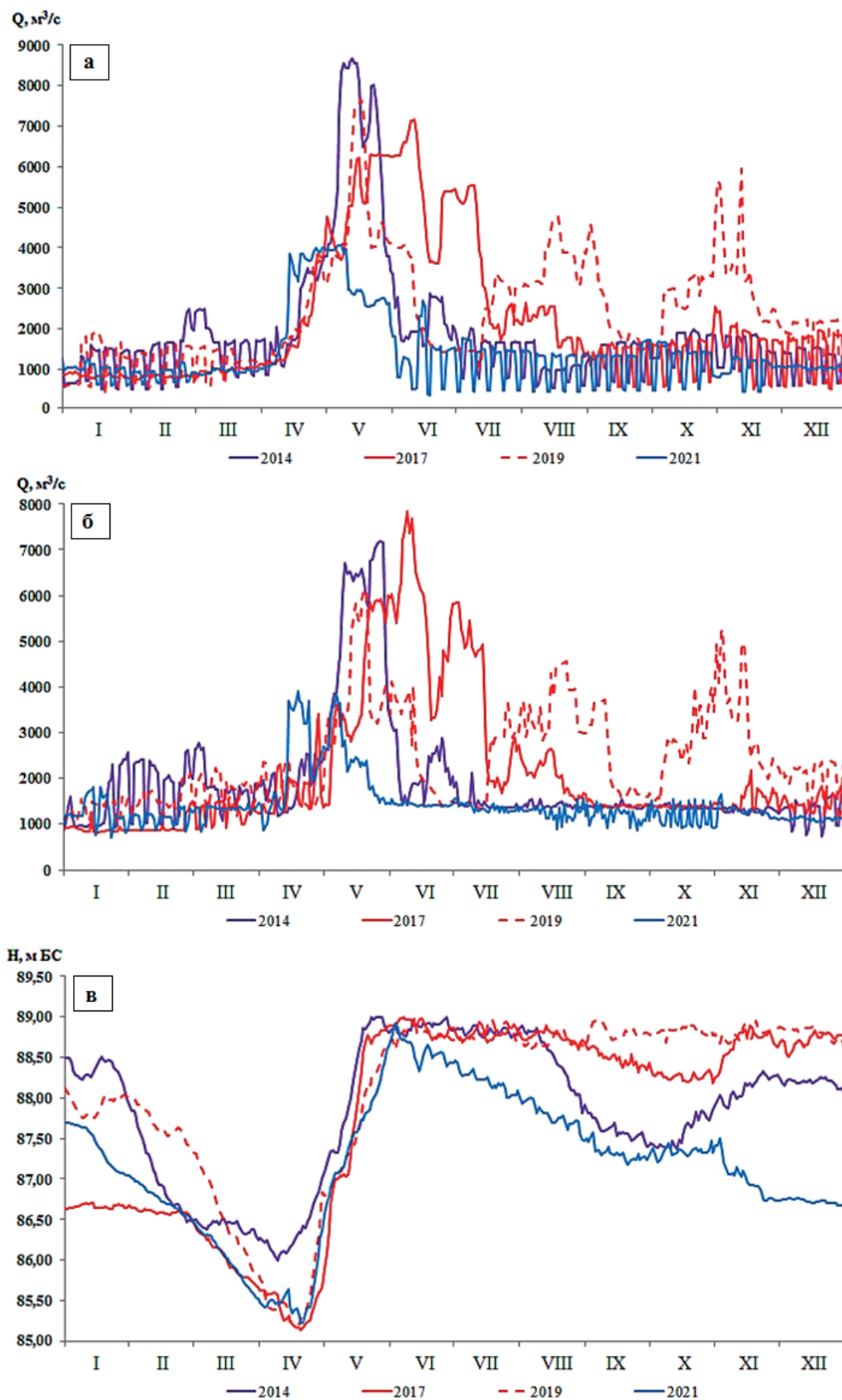


Рис. 5. Внутригодовое распределение приходных (а) и расходных (б) составляющих водного баланса и уровень режим (в) Воткинского водохранилища за средний по водности 2014 год, многоводные 2017 и 2019 годы, и маловодный 2021 год

[Fig. 5. Intra-annual distribution of incoming (a) and outgoing (b) components of the water balance and level regime (c) of the Votkinskoye Reservoir for the average year of water content in 2014, high-water years 2017 and 2019, and low-water year 2021]

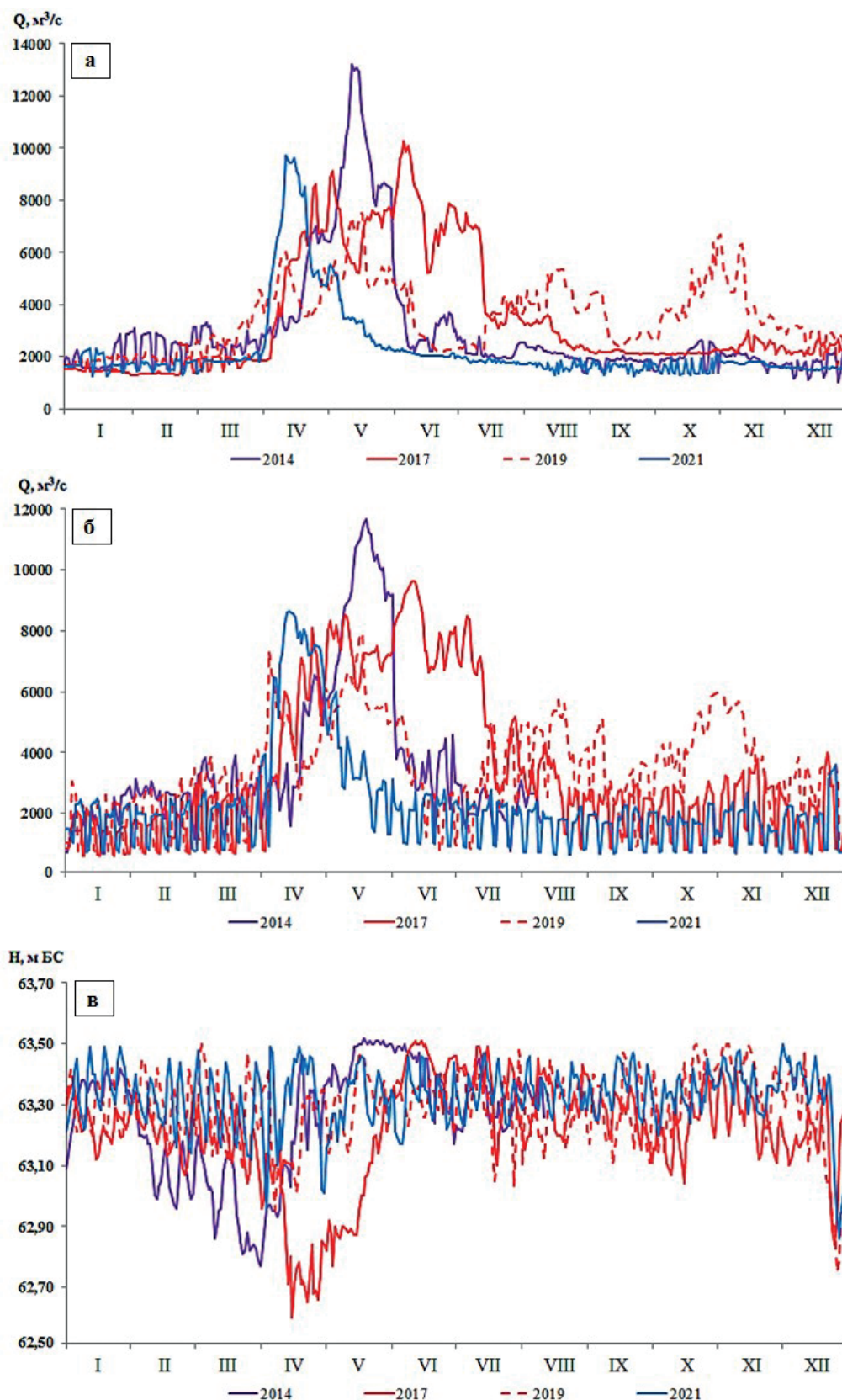


Рис. 6. Внутригодовое распределение приходных (а) и расходных (б) составляющих водного баланса и уровенный режим (в) Нижнекамского водохранилища за средний по водности 2014 год, многоводные 2017 и 2019 годы, и маловодный 2021 год

[Fig. 6. Intra-annual distribution of incoming (a) and outgoing (b) components of the water balance and level regime (c) of the Nizhnekamskoye Reservoir for the average year of water content in 2014, high-water years 2017 and 2019, and low-water year 2021]

чивостью, низким стоком и большой продолжительностью (140-160 дней). Доля зимнего стока рек составляет в среднем 15 % годового стока, поэтому в период зимней сработки средний расход воды через гидроузлы несколько превышает приток воды в водохранилища. В период зимней сработки приток воды и расход через ГЭС составляют на Камском водохранилище 600 м³/с и 1200 м³/с, на Воткинском – 1251 м³/с и 1447 м³/с, на Нижнекамском – 2085 м³/с и 2015 м³/с соответственно.

Особенности внутригодового распределения характеристик водного режима в годы разной водности рассмотрено для среднего по водности – 2014 года, маловодного – 2021 года, многоводных – 2017 и 2019 годы (рис. 4-6).

Выбор двух многоводных лет обусловлен особенностями внутригодового распределения исследуемых

характеристик. Так, 2017 год отличался высоким весенним половодьем с продолжительным периодом спада за счет наложения волн дождевых паводков со второй половины мая и до середины июля, а в 2019 году высокие дождевые паводки наблюдались в течение всего летне-осеннего периода. Это привело к тому, что впервые за всю историю существования Камской ГЭС для поддержания уровня водохранилища в пределах НПУ затворы водосбросов открывались даже в ноябре (см. рис. 4).

Для выбранных лет выполнены расчеты объемов поступления воды, ее сбросов через ГЭС, а также отношения притока и сброса в периоды весеннего наполнения, летне-осенней стабилизации и зимней сработки (табл. 2).

Таблица 2

Объемы поступления воды и ее сброса через ГЭС в водохранилища камского каскада в годы разной водности
[Table 2. Volumes of water incoming and outgoing through HPP into the Kama cascade reservoirs in years of different water content]

Водохранилище / Reservoir	Фазы работы ГЭС / Phases of HPP working									Всего за год / For all year		
	Наполнение / Spring water level rising			Стабилизация / Summer-autumn stabilization period			Сработка / Winter water level decrease					
	П*/I, км³	С*/O, км³	П/С I/O	П/I, км³	С/O км³	П/С I/O	П/I, км³	С/O, км³	П/С I/O	П/I, км³	С/O, км³	П/С I/O
2014 г.												
Камское	31,5	20,6	1,5	16,2	16,0	1,0	10,6	21,0	0,5	58,4	57,6	1,0
Воткинское	23,4	18,7	1,3	16,2	17,3	0,9	21,3	23,7	0,9	61,0	59,7	1,0
Нижнекамское	36,2	33,5	1,1	24,1	29,8	0,8	33,2	36,4	0,9	93,5	99,7	0,9
2017 г.												
Камское	49,1	36,5	1,3	18,4	16,9	1,1	6,6	12,6	0,5	74,1	66,0	1,1
Воткинское	39,4	34,5	1,1	18,4	17,9	1,0	12,1	14,9	0,8	69,9	67,4	1,0
Нижнекамское	60,2	58,4	1,0	28,1	27,8	1,0	20,9	24,5	0,9	109,2	110,7	1,0
2019 г.												
Камское	30,7	20,8	1,5	44,5	41,3	1,1	4,3	10,7	0,4	79,5	72,8	1,1
Воткинское	22,8	18,3	1,2	44,0	43,2	1,0	10,2	14,2	0,7	77,0	75,6	1,0
Нижнекамское	30,4	27,8	1,1	59,4	57,7	1,0	19,9	23,5	0,8	109,7	109,0	1,0
2021 г.												
Камское	24,3	14,1	1,7	13,1	16,4	0,8	6,4	11,1	0,6	43,9	41,5	1,1
Воткинское	15,9	12,1	1,3	16,1	18,3	0,9	11,9	14,1	0,8	43,9	44,5	1,0
Нижнекамское	26,1	26,0	1,0	23,2	24,8	0,9	22,1	20,7	1,1	71,5	71,4	1,0

Примечание: «П» – приток воды в водохранилище; «С» – сброс воды из водохранилища
[Note: «I» – water inflow into the reservoir; «O» – outgoing through HPP of the reservoir]

Анализ таблицы 2 показал, что в период весеннего наполнения наибольшее отношение притока воды в водоем и сброса через ГЭС (П/С) характерно для Камского водохранилища. Это отношение является наименьшим для многоводных лет (1,3-1,5) и наибольшим для маловодного года (1,7), а в средний по водности год составляет 1,5. На Воткинском водохранилище эта закономерность сохраняется для многоводных лет, а в маловодный год значения совпадают со средним по

водности годом. Для Нижнекамского водохранилища отношение П/С в период весеннего наполнения в годы разной водности практически одинаково – 1,0-1,1.

Для летне-осенней стабилизации уровня воды отношение П/С в водохранилищах камского каскада составляет в среднем 1,0, уменьшаясь в маловодный год до 0,8-0,9.

В период зимней сработки отношение П/С не зависит от водности года, но увеличивается по длине камского каскада, что связано с разной величиной

полезного объема водохранилищ. Для Камского водохранилища характерен наибольший полезный объем – 9,83 км³ [8], при П/С=0,5. Для Воткинского водохранилища полезный объем почти в два раза меньше – 4,45 км³ [8], при П/С=0,8. У Нижнекамского водохранилища полезный объем составляет 0,77 км³ [9], при П/С=0,9, что подтверждает транзитный характер работы водоема (см. табл. 2).

Расчеты отклонения величины притока воды от среднего по водности 2014 год в водохранилищах камского каскада показали, что приток в многоводный 2019 год на 26,5 % больше, а в маловодный 2021 год – на 25,4 % меньше по сравнению со средним по водности годом. Для величины сброса воды через ГЭС эти отклонения составили 20,8 % и 27,3 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Отклонение величины притока воды и сброса через ГЭС от среднего по водности года в водохранилищах камского каскада
[Table 3. Deviation of water incoming and outgoing through HPP into the Kama cascade reservoirs in years from the average water content of the year]

Водохранилище / Reservoir	Отклонение величины притока воды от среднего по водности года, % / Deviation of water incoming from the average water content of the year, %			Отклонение величины сброса воды от среднего по водности года, % / Deviation of water outgoing from the average water content of the year, %		
	2017	2019	2021	2017	2019	2021
Наполнение						
Камское	55,9	-2,7	-22,7	77,1	0,9	-31,6
Воткинское	68,4	-2,6	-31,9	84,7	-2,4	-35,1
Нижнекамское	66,4	-15,9	-27,9	74,4	-17,0	-22,5
Стабилизация						
Камское	13,6	174,7	-19,1	5,9	158,2	2,4
Воткинское	13,6	171,5	-0,9	3,6	149,4	5,7
Нижнекамское	16,7	146,3	-3,6	-6,7	93,6	-16,9
Сработка						
Камское	-37,7	-59,4	-39,3	-40,1	-49,2	-47,3
Воткинское	-43,2	-52,0	-44,3	-37,0	-40,0	-40,5
Нижнекамское	-37,1	-40,1	-33,3	-32,8	-35,4	-43,2
За год						
Камское	26,9	36,1	-24,8	14,6	26,4	-28,0
Воткинское	14,6	26,2	-28,0	12,9	26,6	-25,5
Нижнекамское	16,8	17,3	-23,5	11,0	9,3	-28,4

Отличия хода уровня воды в годы разной водности проявляются в глубине предполоводной сработки и продолжительности фазы стабилизации. Так, в средний по водности 2014 год отметка уровня воды перед весенним наполнением на Камском водохранилище составила 101,21 м БС, на Воткинском – 86,04 м БС, а на Нижнекамском – 62,77 м БС (см. рис. 4-6).

В маловодный 2021 год отметка уровня воды перед весенним наполнением на Камском водохранилище была выше, чем в 2014 году, и составляла 101,50 м БС, а на Воткинском – 85,22 м БС. В летне-осеннюю стабилизацию уровни воды снизились на Камском водохранилище до отметки 106,50 м БС, на Воткинском – до 87,23 м БС. Осень характеризовалась наличием трех дождевых паводков, однако общая тенденция к снижению уровня воды продолжилась. Уровень воды на Нижнекамском водохранилище на протяжении всего года держался практически на одной отметке 63,30 м БС.

В многоводный 2017 год Камское водохранилище

готовили к большому притоку в период весеннего половодья, поэтому отметка уровня воды перед наполнением была наименьшей за весь исследуемый период, и составила 100,55 м БС. На Воткинском – 85,16 м БС, а на Нижнекамском – 62,60 м БС. На всех водохранилищах каскада высокие уровни в многоводные 2017 и 2019 годы сохранялись в течение всего периода летне-осенней стабилизации. Однако для 2017 года это было обусловлено большим притоком в период половодья, а для 2019 года – значительными летне-осенними дождевыми паводками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние изменения приходных и расходных составляющих водного баланса и уровня воды камских водохранилищ определяются естественным речным стоком с одной стороны и регламентом каскадного регулирования с другой. Камское водохранилище является регулятором каскада. Приток к Воткинскому водохранилищу полностью зависит от сбросов воды через Камскую ГЭС,

а расход воды определяется регламентом работы Воткинского гидроузла. На Нижнекамском водохранилище водный режим отражает сложный характер совместной работы водохранилищ камского каскада, а также зарегулированной боковой приточности рек Белой и Уфы.

Уровненный режим Камского и Воткинского водохранилищ отражает фазы весеннего наполнения, летне-осенней стабилизации и зимней сработки. На Нижнекамском водохранилище эти фазы практически отсутствуют, а в характере притока и сброса четко прослеживается недельное регулирование стока.

Фаза весеннего наполнения Камского и Воткинского водохранилищ начинается в середине апреля и заканчивается во второй половине мая. Наполнение Нижнекамского водохранилища начинается в марте, что обусловлено более ранним снеготаянием, в связи с южным расположением водосбора. Фаза летне-осенней стабилизации водохранилищ камского каскада наблюдается в июне-октябре. Зимнее понижение уровня воды в водохранилищах обычно проходит в период с начала ноября до середины апреля.

Внутригодовое распределение приходных и расходных составляющих водного баланса в маловодные и средние по водности годы имеет схожий характер. Основные отличия внутригодового распределения этих характеристик в многоводные годы проявляются в высоком весеннем притоке и наложении волн дождевых паводков, которые обуславливают продолжительное стояние уровня воды на отметках, близких к НПУ в период летне-осенней стабилизации, и повышенный сброс воды через гидроузлы в течение всего года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А. Б. Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // *Гидротехническое строительство*, 1991, № 8, с. 1-8.

2. Болгов М. В. Управление водными ресурсами Нижней Волги в условиях климатических изменений // *Изменение климата в регионе Каспийского моря*, 2022, с. 245-247.

3. Григорьев В. Ю., Фролова Н. Л., Джамалов Р. Г. Изменение водного баланса крупных речных бассейнов европейской части России // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, 2018, № 4, с. 36-47.

4. Изменение стока и качества вод на водосборах водохранилищ / С. В. Долгов, Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, С. В. Ясинский, Е. А. Кашутина, С. И. Шапоренко, И. С. Зайцева // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов*, 2019, с. 75-80.

5. Калинин В. Г. *Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон*. Пермь: Пермский государственный университет, 2014. 184 с.

6. Матарзин Ю. М. *Гидрология водохранилищ*. Пермь: ПГУ, 2003. 296 с.

7. Миннегалиев А. О. Пространственно-высотные закономерности сроков начала весеннего половодья на водотоках бассейна реки Белая // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2020, № 3, с. 32-39.

8. *Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме*. Москва: Федеральное агентство водных ресурсов, 2016. 202 с.

9. *Правила использования водных ресурсов Нижнекамского водохранилища на р. Каме*. Москва: Федеральное агентство водных ресурсов, 2014. 132 с.

10. Эдельштейн К. К. *Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения*. Москва: ГЕОС, 1998. 277 с.

11. Ясинский С. В. Водный баланс природных зон бассейна р. Волги в разные по водности фазы многолетнего периода // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 2015, № 6, с. 86-101.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 18.03.2024

Принята к публикации: 02.06.2025

Peculiarities of Water Regime Formation in Reservoirs of the Kama Cascade

V. G. Kalinin¹, A. A. Shaydulina¹✉, M. A. Fasakhov¹, K. D. Mikova¹, S. V. Yasinsky², A. S. Skorokhod¹

¹Perm State National Research University,
Russian Federation

(614068, Perm region, Perm, Bukirev Str., 15)

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(119017, Moscow, Staromonetny Lane, 29, bldg. 4)

Abstract. The purpose is to identify patterns of water regime formation in reservoirs of the Kama cascade.

Materials and methods. The initial data were the materials of daily observations of the inflow, discharge and water level for 2002-2021. Geographic-hydrological and statistical methods were used.

Results and discussion. Long-term changes in water balance components and water level in the Kama reservoirs are determined by natural river flow on the one hand and cascade regulation on the other. The Kama reservoir is a regulator of the cascade. The inflow to the Votkinskoye reservoir is fully dependent on water discharges through the Kamskaya Hydroelectric Power Plant, and the water flow rate is determined by the operating regulations of the Votkinskoye Hydroelectric Power Plant. At the Nizhnekamskoye reservoir, the water regime is a consequence of joint operation of the Kama's cascade reservoirs and regulated lateral inflow.

Conclusions. The water level regime of the Kamskoye and Votkinskoye reservoirs reflects the phases of spring rising, summer-autumn stabilisation and winter water level decrease. In the Nizhnekamskoye reservoir these phases are practically absent, and weekly flow regulation is clearly traced in the character of inflow and discharge. The intra-annual distribution of water balance components in high-water years is appeared in high spring inflows and superposition of rain floods waves, which cause the high-water level in the reservoir for a long time during the summer-autumn stabilization period and increased water discharge through the Normal Retaining Level throughout the entire year. The intra-annual distribution of the studied characteristics in low-water and average-water years has a similar character.

Key words: reservoirs, water regime, intra-annual distribution of inflow, discharge and water level, years of different water availability.

Funding: The study was financially supported by RSF, project No. 22-17-00224.

For citation: Kalinin V.G., Shaydulina A.A., Fasakhov M.A., Mikova K.D., Yasinsky S.V., Skorokhod A.S. Peculiarities of Water Regime Formation in Reservoirs of the Kama Cascade. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2025, no. 2, pp. 80-92. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/80-92>

REFERENCES

1. Avakyan A.B. Narodnohozyajstvennye i ekologicheskie posledstviya spuska vodohranilishch [National economic and environmental consequences of the descent of reservoirs]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 1991, no. 8, pp. 1-8. (In Russ.)
2. Bolgov M.V. Upravlenie vodnymi resursami Nizhnej Volgi v usloviyah klimaticheskikh izmenenij [Water resources management of the Lower Volga in the context of climate change]. *Izmenenie klimata v regione Kaspijskogo moraya*, 2022, pp. 245-247. (In Russ.)
3. Grigor'ev V.Yu., Frolova N.L., Dzhamalov R.G. Izmenenie vodnogo balansa krupnykh rechnykh bassejnov evropejskoj chasti Rossii [Changes in the water balance of large river basins in the European part of Russia]. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2018, no. 4, pp. 36-47. (In Russ.)
4. Izmenenie stoka i kachestva vod na vodosborah vodohranilishch [Changes in runoff and water quality in reservoir catchments] / S.V. Dolgov, N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova, S.V. Jasinskij, E.A. Kashutina, S.I. Shaporenko, I.S. Zajceva. *Sovremennye problemy vodohranilishch i ih vodosborov*, 2019, pp. 75-80. (In Russ.)
5. Kalinin V.G. *Vodnyj rezhim kamskih vodohranilishch i rek ih vodosbora v zimnij sezon* [The water regime of the Kama reservoirs and their catchment rivers in the winter season]. Perm'skij gosudarstvennyj universitet, 2014. 184 p. (In Russ.)
6. Matarzin Yu.M. *Gidrologiya vodohranilishch*. [Hydrology of reservoirs]. Perm: PSU, 2003. 296 p. (In Russ.)
7. Minnegaliev A.O. Prostranstvenno-vysotnye zakonomernosti srokov nachala vesennego polovod'ya na vodotokah bassejna reki Belaya [Spatial and altitude patterns of the timing of the onset of spring floods on the watercourses of the Belaya River basin]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2020, no. 3, pp. 32-39. (In Russ.)
8. *Pravila ispol'zovaniya vodnykh resursov Kamskogo i Votkinskogo vodokhranilishch na r. Kame* [Rules for the use of wa-



ter resources of the Kama and Votkinsk reservoirs on the Kama River]. Moscow: Federal'noe agentstvo vodnykh resursov, 2016. 202 p. (In Russ.)

9. *Pravila ispol'zovaniya vodnykh resursov Nizhnekamskogo vodokhranilishcha na r. Kame* [Rules for the use of water resources of the Nizhnekamsk reservoir on the Kama River]. Moscow: Federal'noe agentstvo vodnykh resursov, 2014. 132 p. (In Russ.)

10. Edelshtein K. K. *Vodokhranilishcha Rossii: ekologicheskie problemy, puti ikh resheniya* [Reservoirs of Russia: environmental problems, ways to solve them]. Moscow: GEOS, 1998. 277 p. (In Russ.)

Калинин Виталий Германович

Доктор географических наук, доцент, заведовал кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация; умер 20.06.2024 г.

Шайдулина Аделия Александровна

Кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2439-908X, e-mail: adelinash89@mail.ru

Фасахов Михаил Александрович

Ассистент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7334-4646, e-mail: komrad.fasakhov2017@yandex.ru

Микова Ксения Дмитриевна

Кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1170-5375, e-mail: mikovak@yandex.ru

Ясинский Сергей Владимирович

Доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2478-8256, e-mail: yasisergej@yandex.ru

Скорород Анастасия Сергеевна

Магистрант кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, ORCID: 0009-0004-6071-2226, e-mail: anastasiaskoroxod15@gmail.com

11. Yasinsky S. V. *Vodnyj balans prirodnih zon bassejna r. Volgi v raznye po vodnosti fazy mnogoletnego perioda* [The water balance of the natural zones of the Volga River basin in different water phases of the long-term period]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2015, no. 6, pp. 86-101. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 18.03.2024

Accepted: 02.06.2025

Vitaliy G. Kalinin

Dr. Sci (Geogr.), Assoc. Prof., He was the Head of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation, He died on 06/20/2024.

Adeliya A. Shaydulina

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2439-908X, e-mail: adelinash89@mail.ru

Michael A. Fasakhov

Assistant at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7334-4646, e-mail: komrad.fasakhov2017@yandex.ru

Ksenia D. Mikova

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1170-5375, e-mail: mikovak@yandex.ru

Sergey V. Yasinsky

Dr. Sci (Geogr.), Leading Researcher at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2478-8256, e-mail: yasisergej@yandex.ru

Anastasia S. Skorokhod

Master's Student at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation, ORCID: 0009-0004-6071-2226, e-mail: anastasiaskoroxod15@gmail.com