

Поступила в редакцию 30.03.2016

**Сведения об авторах****Лепихин Анатолий Павлович**

доктор географических наук, заведующий  
Лабораторией проблем гидрологии суши ГИ  
УрО РАН;  
Россия, 614007, Пермь, ул. Сибирская, 78А;  
e-mail: Lepihin49@mail.ru

**Перепелица Дмитрий Ильич**

инженер Лаборатории проблем гидрологии суши  
ГИ УрО РАН;  
Россия, 614007, Пермь, ул. Сибирская, 78А;  
e-mail: perepelitsa\_di@mail.ru

**About the authors****Anatoliy P. Lepikhin**

Doctor of Geographical Sciences, Head of the  
Laboratory of Surface Hydrology Mining Institute  
of the Ural Branch of the Russian Academy of  
Sciences;  
78А, Sibirskaya str, Perm, 614007, Russia;  
e-mail: Lepihin49@mail.ru

**Dmitriy I. Perepelitsa**

Engineer of the Laboratory of Surface Hydrology  
Mining Institute of the Ural Branch of the Russian  
Academy of Sciences;  
78А, Sibirskaya str, Perm, 614007, Russia;  
e-mail: perepelitsa\_di@mail.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Лепихин А.П., Перепелица Д.И.* К применению показателя (коэффициента) Херста в гидрологии // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 4 (39). С. 36–44. doi 10.17072/2079-7877-2016-4-36-44

**Please cite this article in English as:**

*Lepikhin A.P., Perepelitsa D.I.* To use index Hurst in hydrology // Geographical bulletin. 2016. № 4 (39). P. 36–44. doi 10.17072/2079-7877-2016-4-36-44

УДК 556.552

**А.А.Шайдулина****ОСОБЕННОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА В РАЙОНЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА  
КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА\****Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

Среди всего разнообразия аквальных геосистем наиболее неизученными с гидролого-геоморфологических позиций являются участки водохранилищ, находящиеся в районе переменного подпора. Это связано с тем, что формы проявления русловых деформаций в этом районе отличаются рядом особенностей, обусловленных внутригодовым характером регулирования уровня режима. В зависимости от колебания уровня происходит постоянное перемещение границы выклинивания подпора, что сказывается на гидравлическом режиме потока и режиме наносов. В статье рассмотрены существующие определения, применяемые для обозначения верхних участков равнинных водохранилищ, а также принципы их выделения. Показаны ключевые отличия морфометрических показателей верхнего участка Камского водохранилища и приведена их характеристика. Анализ уровня режима проведен по гидрологическим постам, расположенным в рассматриваемом районе Камского водохранилища. Уровненный режим рассмотрен в соответствии с продолжительностью стояния уровней на проектных отметках. Отмечено влияние характера регулирования уровня режима водохранилищ на образование узлов скопления и расхода наносов на отдельных участках акватории. На основании особенностей уровня режима и показателей морфометрии приведено деление района переменного подпора Камского водохранилища на участки.

Предложены и обоснованы их границы. Сделан вывод о циклическом характере перемещения границы выклинивания подпора.

Ключевые слова: водохранилище, уровенный режим, район переменного подпора.

**A.A. Shaydulina**

## **FEATURES OF THE LEVEL REGIME IN THE VARIABLE BACKWATER AREA OF THE KAMA RESERVOIR**

*Perm State University, Perm*

Among the variety of aquatic geosystems, portions of reservoirs located in the area of variable backwater appear to be the most unexplored from the hydrological and geomorphological perspectives. This is due to the fact that forms of channel deformations in the area have some specific features, which is connected with the intra-annual nature of the level regime regulation. There are constant shifts of the boundary of the transient region depending on the level fluctuation, which affects the hydraulic flow regime and sediment regime. The article deals with the existing definitions used to describe the upper portions of plain reservoirs, as well as the principles of their allocation. The key differences of morphometric parameters of the Kama Reservoir upper portion and their characteristics are described. Analysis of the level regime was conducted at hydrological stations located in this area of the Kama Reservoir. The level regime is examined in line with the duration of levels being registered at the design elevations. It is noted that the nature of regulation of the level regime of reservoirs influences the formation of nodes of sediment accumulation and discharge in some areas. Based on the features of the level regime and morphometric parameters, the Kama Reservoir area of variable backwater has been divided into segments. Their borders are proposed and justified. It is concluded that shifting of the boundary of the transient region appears to be cyclic.

К e y w o r d s : reservoir, level regime, area of variable backwater.

doi 10.17072/2079-7877-2016-4-44-56

### **Введение**

Камское водохранилище, созданное в 1954 г. на р. Каме, находится под пристальным вниманием Пермских гидрологов. На базе исследований Камского, а с 1963 г. и Воткинского водохранилищ на кафедре гидрологии и охраны водных ресурсов ПГНИУ образовано и успешно развивается научное направление, посвященное исследованию водохранилищ. В разное время пермскими учеными рассматривались вопросы районирования, морфометрии, водообмена, режима скоростей, водного баланса и др. Однако во всех работах мало внимания уделено верхней части Камского водохранилища, называемой районом переменного подпора или зоной выклинивания подпора.

В настоящее время достаточно полно сформулированы теоретические положения, характеризующие русловые процессы на реках, чего нельзя сказать о водохранилищах, хотя и здесь есть достаточно много работ, связанных с исследованиями формирования донного рельефа [2]. Исследованием трансформации речных русел ниже плотин гидроузлов в разные годы занимались Н.И. Маккавеев, К.М. Беркович, Н.Б.Барышников, Р.С. Чалов и др. Они считают, что главными антропогенными факторами трансформации речных русел в нижних бьефах являются: задержка водохранилищами всего стока руслообразующих и большей части стока взвешенных наносов, сезонное и многолетнее регулирование стока воды, неустановившееся движение потока, обусловленное переменной нагрузкой электростанций. Основным недостатком этих исследований является неучет специфики протекания русловых процессов в районе переменного подпора, хотя знание этого необходимо для различных отраслей хозяйства (судоходства, водоснабжения и др.). Возможно, авторы условно считают, что зона выклинивания подпора и район переменного подпора одно и то же. Мы рассматриваем зону выклинивания подпора и район переменного подпора как разные участки водохранилища. Считаем, что процессы деформации ложа (осадконакопления и размыва) протекают в районе переменного подпора особенно сложно, поскольку район в период зимней сработки характеризуется условиями, близкими к речным, а в период наполнения и летне-осенней стабилизации уровня – это водохранилище. В связи с этим границы района переменного подпора все еще не имеют однозначного определения. В результате наших исследований граница этого района на Камском водохранилище будет определена, и впервые будут предложены критерии ее выделения.

В своих исследованиях мы придерживаемся точки зрения Н.И.Маккавеева, называвшего верхний участок водохранилища «зоной переменного подпора». Этот термин заменил существовавший ранее и еще существующий термин «зона выклинивания подпора». Термин, предложенный Н.И. Маккавеевым, представляется более правильным. Отличительной чертой этой зоны является перемещение вдоль нее места выклинивания подпора. Это перемещение имеет сложный характер, так как зависит от изменения уровня верхнего бьефа (наполнения и сработки водохранилища) и от гидрографа стока реки. Таким образом, в общем случае [2] зона переменного подпора на продольном профиле располагается между двумя точками: нижняя – пересечение УМО и меженного уровня реки; верхняя – пересечение НПУ с тем же уровнем. Однако считаем, во первых, что необходимо заменить в определении термин «зона» на «район», поскольку придерживаемся принципов районирования, выдвинутых Ю.М. Матарзиным и И.К. Мацкевичем [8]. Они предполагали, что район охватывает часть водохранилища по длине, тогда как зона в их подходе является производной от глубины.

Во-вторых, так как Камское водохранилище никогда (период с 1964 по 2015 г.) до УМО не срабатывалось, правильнее будет взять в качестве нижней границы пересечение с УПС (табл. 1). Для подтверждения применения данного подхода нами на основе эмпирических данных проведен анализ изменения уровня по длине водохранилища и в верхней его части.

### Материалы и методы исследования

Перемещение *границы выклинивания подпора* по району переменного подпора носит сложный характер. Являясь границей между явно речными и водохранилищными условиями, выклинивание подпора оказывает большое влияние на гидродинамический режим и характер перемещения наносов. Это влияние тем больше, чем продолжительнее стояние границы выклинивания подпора в одном створе. Поэтому важным аспектом при изучении гидрологического режима района переменного подпора является анализ уровня режима, а в частности продолжительности стояния уровня.

Таблица 1

Проектные отметки Камского водохранилища [12]

<i>Наименование проектных уровней</i>	<i>Величина, м. абс</i>
Нормальный подпорный уровень, НПУ	108,5
Минимальный допустимый (мертвого объема), УМО	100,0
Принудительная предполоводная сработка на 21 апреля, УПС	101,0
Максимальный допустимый (форсированный подпорный), ФПУ при пропуске максимальных расходов обеспеченностью 0,01% с г.п.	110,2/ 110,12*
То же при пропуске максимальных расходов обеспеченностью 0,1 %	108,5
Минимальный навигационный уровень, МНУ	106,0
То же в начале навигации	104,0

Примечание: \* в числителе приведен проектный ФПУ, в знаменателе – полученный по результатам гидравлических расчетов, выполненных при разработке ПИВР, 2011.

Переменный режим уровней водохранилищ является причиной трансформации стока наносов, приносимых рекой, и возникновения направленных изменений русла на участке реки, расположенном выше по течению и не подверженному подпору во все фазы гидрологического режима [2]. В самом районе переменного подпора складывается несколько иная ситуация, связанная с двойкой ролью этого участка: чередованием водохранилищных и речных условий – на участках длиной в десятки и сотни километров наблюдается периодическая смена гидравлических условий свободной реки и озера. Этим объясняется сложность изучения протекающих здесь гидроморфологических процессов, т.е. процессов, являющихся результатом взаимодействия гидрологического режима и морфологических процессов. Гидрологический режим включает уровень режим, пространственно-временную изменчивость расходов воды, внешний водообмен и проточность, скорости течения, ветровое волнение, термический режим [3].

Но не все составляющие гидрологического режима участвуют в формировании берегов и подводного рельефа района переменного подпора. Из всех перечисленных характеристик наибольший интерес представляют уровень режимы и характер ветрового волнения, проявляющиеся через особенности морфометрии района, типы берегов и их литологический состав. Они, в свою очередь, напрямую зависят от режима эксплуатации водоема и морфологического строения долины р. Камы.

В качестве исходного материала для оценки уровня режима использовались данные наблюдений за уровнями воды (гидрологические ежегодники, фондовые материалы ФБУ «Администрация «Камводпуть»). Всего осуществлено порядка 77 000 наблюдений на период с 1964 по 2015 г. по разным гидрологическим постам (с.Бондюг, пгт.Керчевский, пгт.Тюлькино, г.Березники, п.Усть-Пожва, п.Усть-Косьва, верхний бьеф Камской ГЭС).

Создание Камского водохранилища полностью изменило уровень режим р. Камы. Первоначальное наполнение водохранилища до НПУ (108,0 м. абс.) осуществлено в 1956 г. В 1960 г. в целях более рациональной эксплуатации водоема НПУ поднят до существующей отметки – 108,5 м абс. В 1964 г. с наполнением до проектных размеров Воткинского водохранилища и изменением статуса Камского с одиночного на регулятор каскада глубина нормальной эксплуатационной сработки была уменьшена на 1,0 м.

Таким образом, регламент эксплуатации Камского водохранилища с момента его наполнения менялся несколько раз. Соответственно ему менялся и характер уровня режима.

В 2011 г. центром Российского регистра гидротехнических сооружений и государственного водного кадастра были разработаны новые «Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р.Каме» (ПИВР) [12]. Настоящие правила, разработанные ФГУП «Центр Регистра и Кадастра», вступили в силу с 1 июля 2012 г. и действуют до 31 декабря 2022 г. или до наполнения Нижнекамского водохранилища до проектных отметок (65,0–68,0 м). Проектные отметки Камского водохранилища представлены в табл. 1.

### Результаты и их обсуждение

Выше было сказано, что характер уровня режима связан с особенностями морфометрии района, такими как ширина, глубина, изрезанность береговой линии и пр. Особенно четко эта взаимосвязь видна в изменении площади мелководий в течение года, напрямую зависящей от сезонного регулирования стока. Для большинства равнинных водохранилищ с малой навигационной сработкой оправдано определение мелководий как участков акваторий, ограниченных глубиной около 2 м при НПУ. Такая глубина близка к значениям максимальной критической глубины ( $H_{кр}$  – глубина, с которой начинается активное воздействие волн на дно) и зачастую встречается на внешнем крае абразионных отмелей. По мнению А.Б. Авакяна [1], «к мелководьям следует относить все участки акватории водохранилищ, которые в тот или иной период имеют глубину 2 м и менее, в остальное время они могут быть или сушей, или мелководьем». Согласно этому определению, мелководья не имеют постоянных границ и их площади меняются в соответствии с изменением уровня воды в водохранилище и значительно отличаются в разных морфометрических районах. По расчетам Ю.М. Матарзина и Н.Б. Сорокиной [9], площадь мелководий 1-го района Камского водохранилища составляет 28,3% площади всего района, или 6,7% площади водохранилища (из них 4% – это мелководья на 1-м участке). Это самый большой показатель в целом для водохранилища.

Камское водохранилище представляет собой водоем с довольно сложной конфигурацией, чередованием суженных участков и расширений. По схеме районирования, предложенной Ю.М. Матарзиным и И.К. Мацкевичем [8], Камское водохранилище по особенностям морфометрии подразделяют на 2 плеса, 4 района и 12 участков. Участок водохранилища от п. Керчевский до п. Усть-Пожва, указанный как район переменного подпора, входит в 1-й район (рис. 1) и характеризуется большой извилистостью, суженные места чередуются с расширениями. Глубины колеблются в пределах 2–3 м. Максимальная ширина в средней и нижней частях достигает 0,65 км. Наличие большого количества плесов и перекатов обуславливает «скачкообразный» характер изменения коэффициента морфометрического подобия. В 2009 г. выполнено уточнение морфометрических характеристик [10].

Следует отметить, что многие авторы проводили уточнение морфометрических характеристик Камского водохранилища в ходе своих научно-исследовательских работ [4]. Однако в данной работе сравнение проведено только с «Уточнением...», что связано, в первую очередь, со схожим (полевым) принципом исследования, а во вторых – «Уточнение...» выполнялось в рамках госконтракта и имеет официальный статус. Уточнение морфометрических параметров Камского водохранилища проведено в пределах его плесов, районов и участков. При этом была сохранена схема районирования водоема, разработанная в 1970 г. Ю.М. Матарзиным и И.К. Мацкевичем. Границы районов и участков в области переменного подпора остались прежними. Дополнительно к старой схеме были выполнены определения морфометрических параметров «0»го участка – самого верхнего, располагающегося от г.

Березники до пгт. Керчевский. За всю историю исследования Камского водохранилища этот участок столь подробно был рассмотрен впервые (табл. 2, 3, 4).

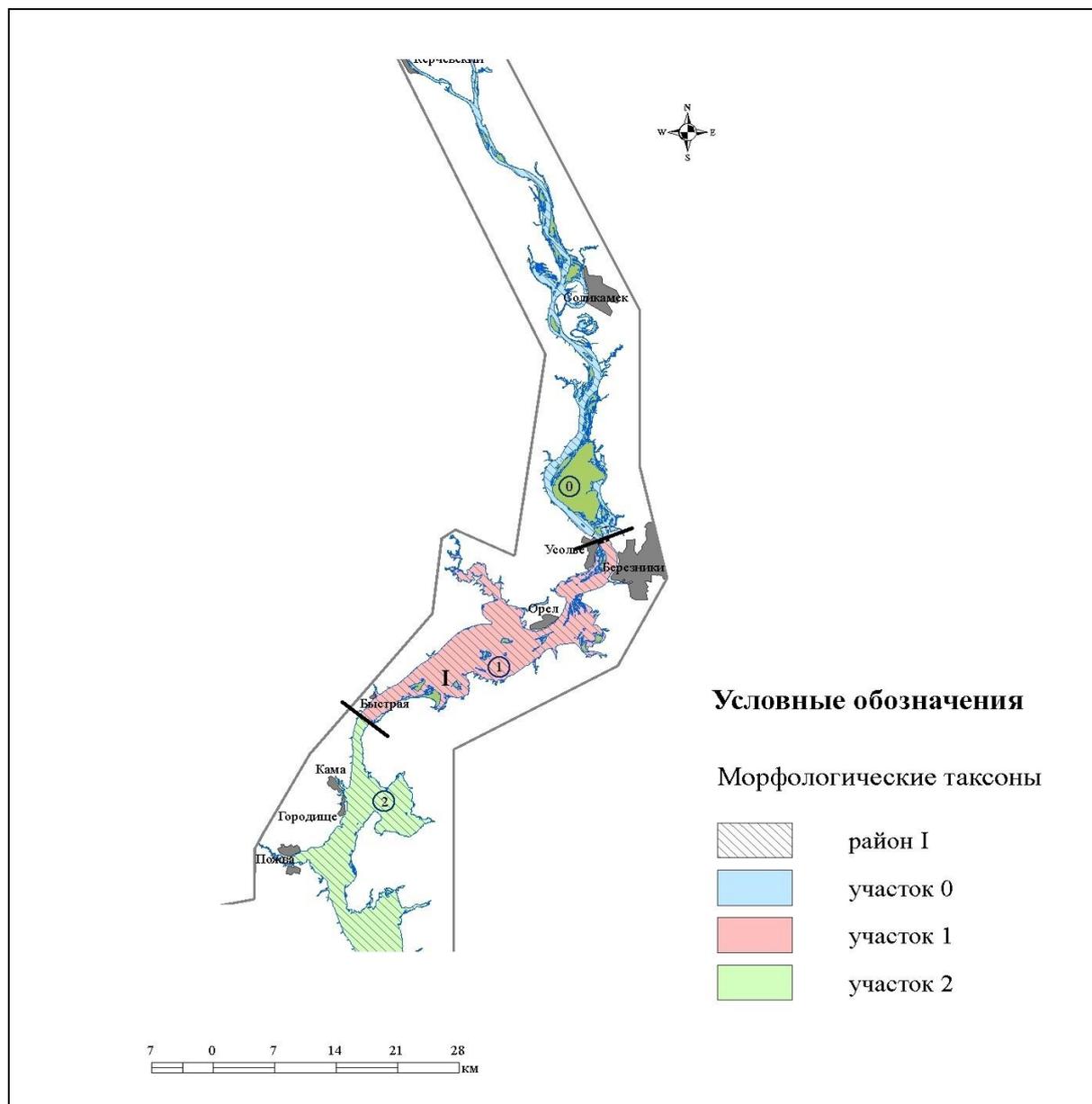


Рис. 1. Район переменного подпора Камского водохранилища. Морфологические таксоны приведены согласно «Уточнению...» [10]

В целом, значительных отклонений от цифр данных 1970 г. не выявлено, однако вследствие применения новых приборов и включения в исследование так называемого «0» участка некоторые отличия все же есть.

В период зимней сработки, когда влияние подпора от плотины Камской ГЭС минимально и прослеживается на участке ниже Березников (а в отдельные маловодные годы в районе п. Устье-Пожва) выше границы выклинивания четко выражено однонаправленное движение воды, характерное только для речных условий. Это обуславливает миграцию русловых аккумулятивных форм (заструг, закосков, кос, отмелей, гряд и т.д.). Процесс миграции в значительной мере контролируется сезонной изменчивостью стока воды и наносов. Развитие большого комплекса кос, заливов обусловило повышенную изрезанность береговой линии. При этом на «0» участке, выше г. Березники, по левому берегу ее значения выше (3,7), чем по правому (2,2). В конце весеннего периода на спаде половодья и формирования подпорных уровней происходит ежегодная перестройка рельефа в прибрежной зоне участка.

Таблица 2

Морфометрические показатели глубин и объемов Камского водохранилища [8; 10]

Плес	Район	Участок	Глубина (H)				Объем (V)				Объем зоны сработки (полезный объем)	
			наибольшая		средняя		при НПУ (108,5м)		при УПС (101,0м)			
			при НПУ	при УПС	при НПУ	при УПС	млн. м3	% объема водохранилища	млн. м3	% объема водохранилища	млн. м3	% объема водохранилища
Камский	I	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			<b>11,8</b>	<b>4,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>227</b>	<b>2,1</b>	<b>4</b>	<b>1,67</b>	<b>223</b>	<b>2,07</b>
		1	13	5,5	3,4	1,4	779	6,8	24	3,8	755	6,56
			<b>14,4</b>	<b>6,9</b>	<b>3,2</b>	<b>1,5</b>	<b>548</b>	<b>5,1</b>	<b>29</b>	<b>5,20</b>	<b>520</b>	<b>4,83</b>
		2	15	7,5	3,4	1,7	664	5,8	52	7,8	612	5,32
			<b>14,2</b>	<b>6,7</b>	<b>3,3</b>	<b>1,6</b>	<b>451</b>	<b>4,2</b>	<b>37</b>	<b>8,29</b>	<b>414</b>	<b>3,84</b>
	По району	15	7,5	3,4	1,7	1443	12,6	76	5,26	1367	11,88	
	<b>14,4</b>	<b>6,9</b>	<b>2,6</b>	<b>1,2</b>	<b>1226</b>	<b>11,4</b>	<b>70</b>	<b>5,69</b>	<b>1156</b>	<b>10,74</b>		

Примечание: обычным шрифтом приведены данные Ю.М. Матарзина и И.К. Мацкевича. Жирным шрифтом в таблице выделены данные, полученные в ходе «Уточнения...».

Следствием этого является образование массы осередков, отмелей, островов. В целом, осередки являются характерной русловой формой для рек, и их наличие на «0» участке свидетельствует о преобладании здесь речных условий. Отмели характерны для условий водохранилища, так как их формирование имеет сезонный характер и подчинено условиям регулирования уровня режима. Выполнение «Уточнения...» [10] позволило выявить дополнительно (ранее никем не отмеченную) морфолого-гидрографическую особенность этого участка – повышенную островность. Острова располагаются компактными группами: от устья р. Вишеры до с.Тюлькино, в районе с. Григорово, на участке с.Тетерино – Верхние Новинки. Большая часть их располагается под левым берегом. Площадь, занимаемая островами на расстоянии от устья р. Вишеры и до створа Бор-Ленвы, составляет 53,19 км<sup>2</sup>. Из всех участков Камского водохранилища это максимальное значение [10].

Таблица 3

Морфометрические показатели поверхности Камского водохранилища [8; 10]

Плес	Район	Участок	Площади районов (fр) и участков (fуч) без островов				Площади районов (fр) и участков (fуч) с островами и при НПУ	Площадь зоны сработки /fс/		Площадь прибрежной зоны при НПУ		Площадь островов
			при НПУ		при УПС			км <sup>2</sup>	% от F0 при НПУ	км <sup>2</sup>	% от F0 при НПУ	
			км <sup>2</sup>	% от F0 при НПУ	км <sup>2</sup>	% от F0 при НПУ						
Камский	I	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			<b>84,0</b>	<b>4,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>	<b>137,2</b>	<b>80,2</b>	<b>4,6</b>	<b>50,5</b>	<b>2,9</b>	<b>53,19</b>
		1	229	12,8	17	7,4		212	11,8			
			<b>163,5</b>	<b>9,3</b>	<b>18,4</b>	<b>11,3</b>	<b>174,8</b>	<b>145,1</b>	<b>8,3</b>	<b>68,0</b>	<b>3,9</b>	<b>11,25</b>
		2	192	10,7	28	14,6		164	9,2			
			<b>138,5</b>	<b>7,9</b>	<b>17,4</b>	<b>12,5</b>	<b>139,1</b>	<b>121,1</b>	<b>6,9</b>	<b>63,4</b>	<b>3,6</b>	<b>0,55</b>
	По району	421	23,5	45	10,7		376	21,0				
	<b>386,0</b>	<b>22,0</b>	<b>39,5</b>	<b>10,2</b>	<b>451,0</b>	<b>346,5</b>	<b>19,8</b>	<b>181,9</b>	<b>10,4</b>	<b>64,99</b>		

Примечание. Обычным шрифтом приведены данные Ю.М. Матарзина и И.К. Мацкевича. Жирным шрифтом в таблице выделены данные, полученные в ходе «Уточнения...».

Таблица 4

Морфометрические показатели поверхности Камского водохранилища  
[8], [10]

Плес	Район	Участок	Длина /L/				Ширина /B/				Длина береговой линии /L/ при НПУ				Удлиненность $l=L/V_{ср}$		Изрезанность береговой линии (K)	
			по средней линии		по судовому ходу		средняя		наибольшая		по левому берегу		по правому берегу		при НПУ	при УПС	по Л.Б.	по П.Б.
			км	% от L при НПУ	км	% от L при НПУ	при НПУ	при УПС	при НПУ	при УПС	км	% от L при НПУ	км	% от L при НПУ				
Камский	I	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			<b>71,4</b>	<b>14,6</b>	<b>75,3</b>	<b>21,9</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>	<b>7,2</b>	<b>0,2</b>	<b>276,5</b>	<b>20</b>	<b>206,1</b>	<b>14,8</b>	<b>42,3</b>	<b>714,0</b>	<b>3,7</b>	<b>2,2</b>
		1	41,7	8,4	44,3	8,4	5,5	0,41	7,1	0,7	62,7	8,8	62,5	9,3	7,6	101,7	1,5	1,3
			<b>39,9</b>	<b>6,3</b>	<b>41,0</b>	<b>11,9</b>	<b>3,9</b>	<b>0,5</b>	<b>8,1</b>	<b>0,7</b>	<b>112,8</b>	<b>8</b>	<b>139,8</b>	<b>10,0</b>	<b>10,2</b>	<b>79,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>
		2	36,3	7,4	39	7,4	5,3	0,72	7,4	0,8	79,5	11	53,1	7,9	6,8	50,5	1,2	1,5
			<b>32,7</b>	<b>5,2</b>	<b>30,1</b>	<b>8,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,5</b>	<b>8,5</b>	<b>1,2</b>	<b>112,2</b>	<b>8</b>	<b>83,4</b>	<b>6,0</b>	<b>10,2</b>	<b>65,4</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>
По району	78	15,8	83,3	15,8	5,5	0,58	7,4	0,8	142,2	19,8	115,6	17,2	14,2	134,5	1,3	1,4		
	<b>144</b>	<b>22,7</b>	<b>146,4</b>	<b>42,6</b>	<b>2,9</b>	<b>0,3</b>	<b>8,5</b>	<b>1,2</b>	<b>501,5</b>	<b>37</b>	<b>429</b>	<b>30,8</b>	<b>49,1</b>	<b>480</b>	<b>2,5</b>	<b>2</b>		

Примечание: обычным шрифтом приведены данные Ю.М. Матарзина и И.К. Мацкевича. Жирным шрифтом в таблице выделены данные, полученные в ходе «Уточнения...».

Наиболее крупные острова: Тюлькинский, Кобылий, Соликамский, Пыскорский. Наличие островов создает разветвленность русла, что сказывается на ширине участка водоема. Ширина водохранилища по первому району колеблется на суженных участках от 0,3–0,5 км и до 4–6,5, максимальная – 8,5 км. Преобладающие глубины на фарватере увеличиваются вниз по течению от 4,0–5,0 м до 6,0–8,0 м. В нижней части района по уточненным данным они возрастают 14,4 м (табл. 2).

Особое положение, занимаемое районом переменного подпора среди других частей водохранилища, и пространственно-временные границы выклинивание подпора обусловлены, в первую очередь, динамикой основных показателей уровня режима.

По постоянству отметок уровня выделяют два типа водохранилищ. В первом наблюдается относительное постоянство уровня, тогда как второй имеет переменный уровень в течение года или нескольких лет.

Район переменного подпора в первом типе занимает небольшой участок. Вблизи створа, где выклинивается подпор, образуется первичное тело заиления [7] в виде вала с пологим верховым и крутым низовым откосами наподобие устьевых бара при впадении в море.

Во втором случае, при больших колебаниях уровня водохранилищ, длина района переменного подпора в равнинных водохранилищах может достигать 50–70% длины зоны постоянного подпора, что наблюдается на Камском водохранилище. Здесь она порядка 135 км и занимает примерно 45% всей его длины, от пгт. Керчевский до п. Усть-Пожва. Формирование уровня режима на этом участке происходит под влиянием величины и интенсивности притока по рекам Каме и Вишере и распространению подпора от плотины Камской ГЭС. Наиболее полный анализ зоны выклинивания подпора был сделан В.К. Калужным [5]. В его работе существенно уточнена верхняя граница зоны выклинивания подпора на Камском водохранилище (46 км р.Вишера, что примерно на 30 км выше общепринятого положения), что соответствует недостаточной надежности расчетов, применявшихся при проектировании. Выявлено увеличение длины кривой подпора по мере смещения ее вниз по течению при сработке водохранилища: НПУ 108,5–29 км; ПУ 107,0–46 км; МНУ 106,0–55 км. Исследованием и анализом уровня режима довольно долго занимался И.К. Мацкевич [6] и др.

Для построения кривых свободной поверхности нами взяты среднемесячные данные за 10 лет (с 1964 по 1973 г.) по 6 пунктам наблюдений. В этот период входят характерные по водности годы: 1965 – многоводный, 1967 – маловодный и 1966 – средний по водности год. Этот период был взят для анализа уровня режима вследствие того, что на него приходится данные по скоростям воды и

характеру взвешенных и влекомых наносов, совместный анализ которых предполагается в будущей работе. Для доказательства репрезентативности проведенного анализа уровня режима и его актуальности на нынешний период был проведен корреляционный анализ взятых данных с данными за 2001–2015 гг. Коэффициент корреляции составил 0,97, что свидетельствует об очень высокой (максимально возможной) силе связи между переменными.

Район переменного подпора отмечается значительным падением уровней, достигающим на концах района в апреле – мае 7–8 м (рис. 2, 3). Эта величина сохраняет свою устойчивость как в маловодные, так и многоводные годы. Граница выклинивания подпора перемещается наиболее близко к плотине обычно в начальную фазу половодья, когда водохранилище сильно сработано, а скорости речного потока относительно велики. В маловодные годы подпор выклинивается в районе п. Усть-Пожва при отметке минимального уровня предполоводной сработки 101 м абс, а продолжительность этого периода примерно месяц (от 91 дня до 121 дня года). Максимальный уровень составляет 108,9 м абс при продолжительности стояния 7–10 дней. Такая же картина наблюдается и в Березниках (рис. 3): продолжительность стояния минимальных уровней также составляет 1 месяц, но высота минимального уровня другая – 102,0 м абс. Максимальный уровень – 110,35 м абс при продолжительности стояния 7–10 дней. Таким образом, по величине стояния характерных уровней п. Усть-Пожва и г. Березники относятся к одному району. Однако в маловодные годы при небольшом притоке воды в водохранилище с рек Камы и Вишеры граница подпора устанавливается чуть выше п. Усть-Пожва. В период зимней сработки она находится в районе г. Березники, а выше отмеченного створа преобладают естественные речные условия (рис. 4).

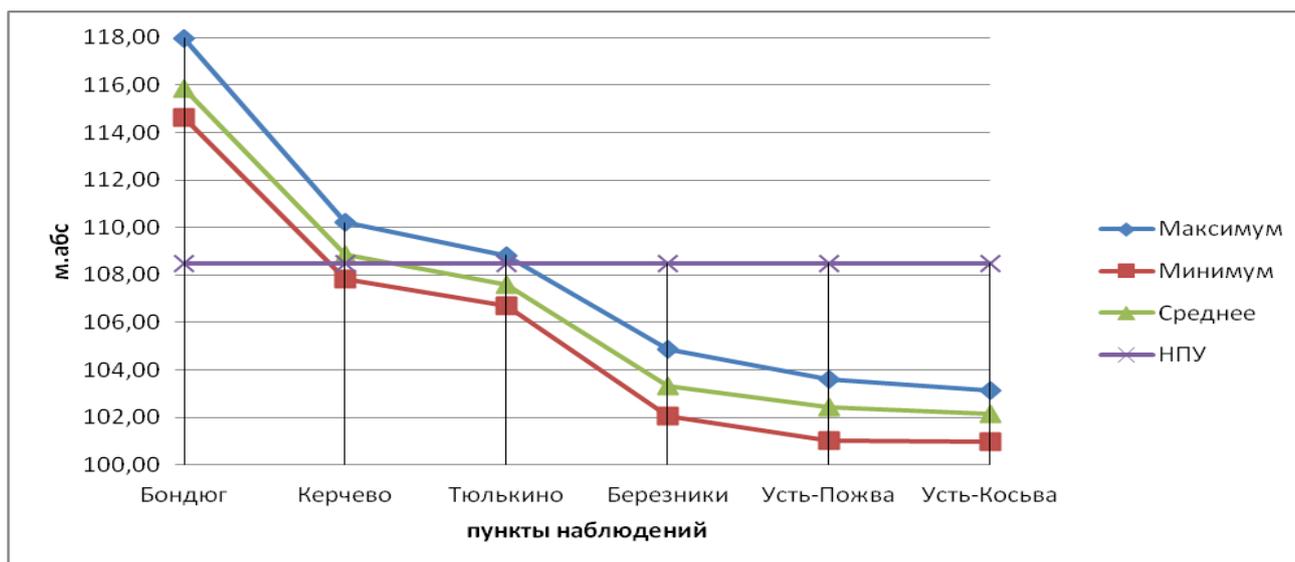


Рис. 2. Высота средних уровней воды по длине района переменного подпора в апреле

Обычно это отмечается в конце февраля, начале апреля. В этот период уровень воды у плотины КамГЭС понижается до отметки 101–102 м. По мере наполнения водохранилища граница подпора перемещается выше по главной реке и в период летне-осенней стабилизации граница выклинивания подпора доходит до пгт.Керчевский (рис. 4). В это время уровни на этом участке от пгт.Керчевский до п.Усть-Пожва поддерживаются в интервале отметок 107,5–108,5 м. абс. с небольшими колебаниями. К концу навигации (3 декаде октября) граница подпора медленно смещается к плотине Камского гидроузла. В сентябре – октябре во время осенних дождевых паводков возможно кратковременное повышение уровня на 0,2 – 0,6 м, что влияет на положение выклинивание подпора.

В зимнюю межень граница подпора, вследствие более интенсивной сработки водной массы водохранилища, вновь смещается вниз по водохранилищу. К началу весеннего наполнения она может занять крайнее нижнее положение (район п. Усть-Пожвы). В декабре – апреле подпор выклинивается на участке между створами п. Тюлькино и г. Березники. Уровни в это время наименьшие, их отметки колеблются в пределах 102 – 106 м абс (рис. 4).

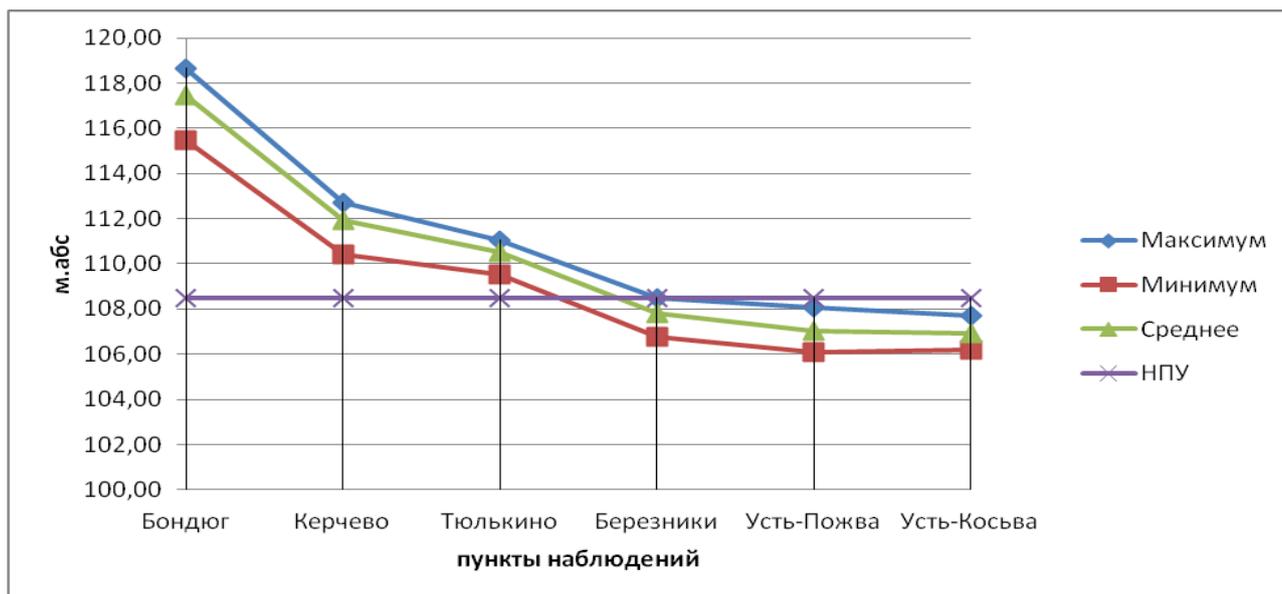


Рис. 3. Высота средних уровней воды по длине района переменного подпора в мае

Наиболее характерным участком, разграничивающим преимущественное влияние речных естественных и подпорных условий в режиме уровней, является район г. Березников. Наблюдения показывают, что в течение 4 – 5 месяцев в году граница подпора находится в пределах участка п. Тюлькино – г. Березники. В период прохождения пика весеннего половодья на р. Каме уровни воды в районе г. Березники могут быть выше естественных речных и выше НПУ водохранилища, если пик половодья проходит при полностью или частично наполненном водохранилище.

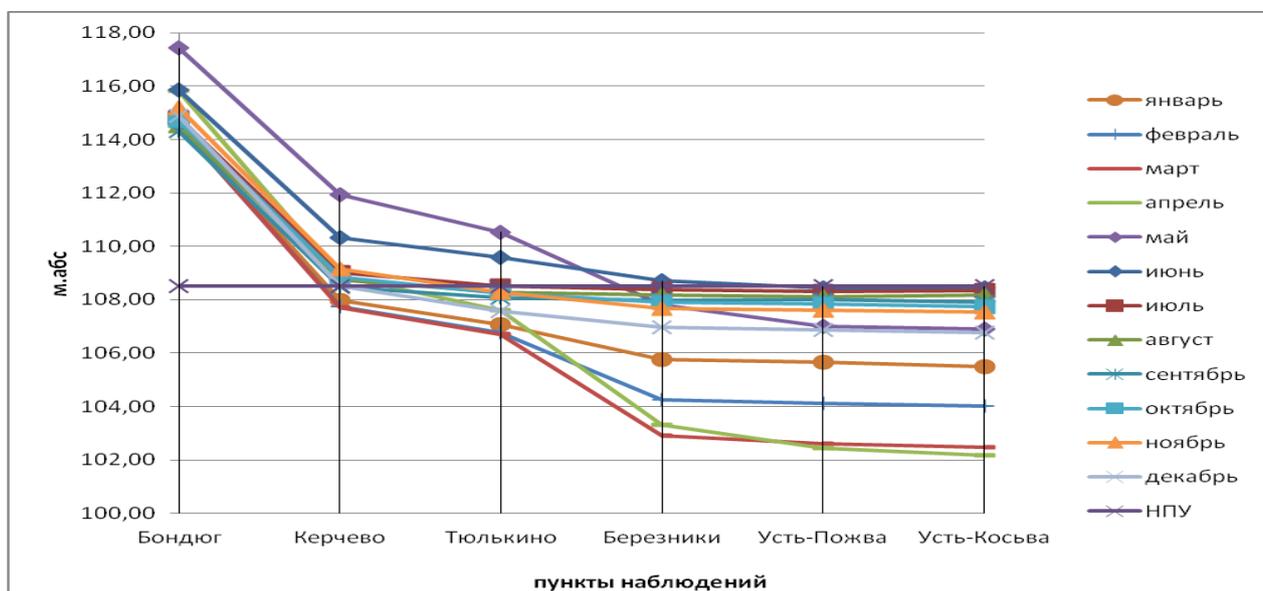


Рис. 4. Осредненная (за 1964–1973 гг.) высота уровней воды по длине района переменного подпора

При количественной оценке уровневого режима необходимой характеристикой является продолжительность стояния уровней в различных интервалах высот. Такая статистическая обработка может проводиться за весь год, но при изучении многих процессов более показательным является навигационный период. Для Камского водохранилища продолжительность навигационного периода принимается с момента установления уровня на отметке 106,0 м абс. – МНУ. Для оценки обеспеченности стояния уровня на проектных отметках построены кривые обеспеченности по четырем гидрологическим постам (рис. 5). Также приведена оценка повторяемости стояния уровня в

различных интервалах. Для верхней части района переменного подпора в навигационный период характерно наличие уровней, обеспечивающих безопасность судоходства.

Уровни выше НПУ в пгт. Керчевский имеют обеспеченность 44–100% в зависимости от водности года, т.е. режима эксплуатации водохранилища. В районе пгт. Тюлькино уровни выше МНУ обеспечены на 90%. Минимальные летние уровни на этом участке гарантируют глубины по судовому ходу не менее 4,5 м, так как остаются высокими за счет подпора от водохранилища. В Березниках и Усть-Пожве аналогичные уровни имеют обеспеченность порядка 35–100%.

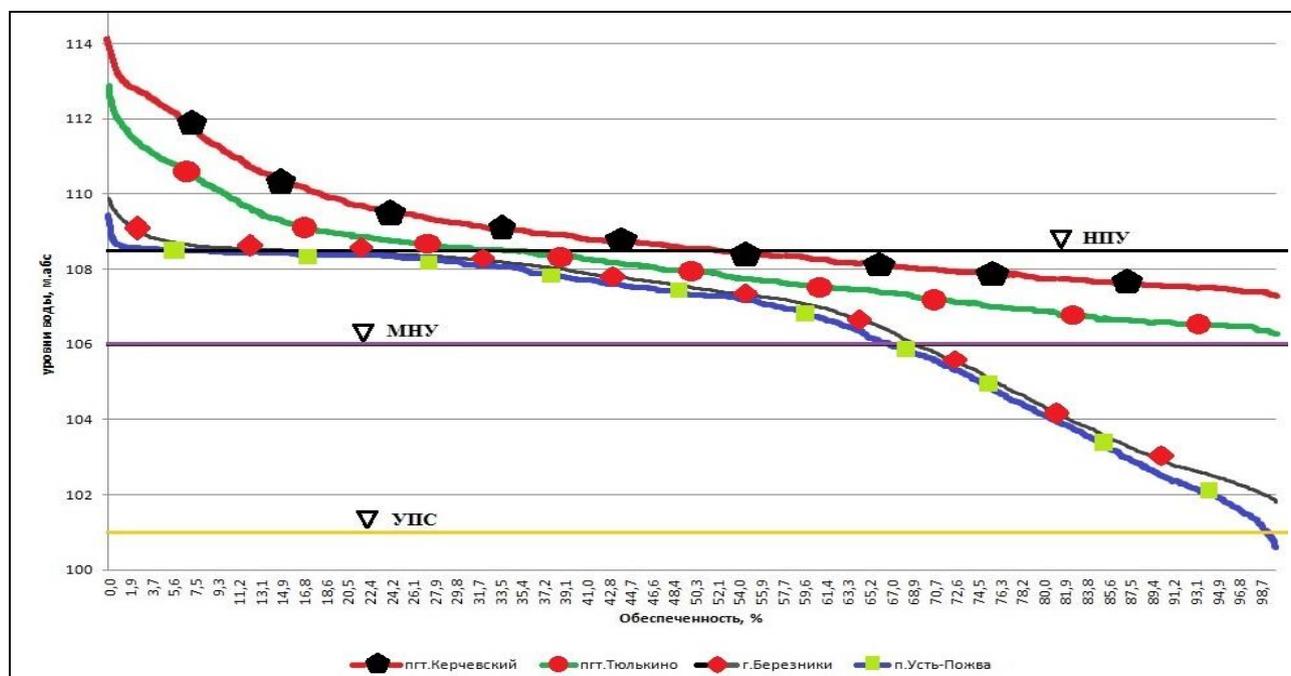


Рис. 5. Расчетная обеспеченность высоты стояния уровней воды по створам Камского водохранилища

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в верхней части водохранилища по изменению высоты и продолжительности стояния уровней по длине водохранилища можно выделить 3 характерных участка, объединенных в 1 район – район переменного подпора.

Он простирается от п. Усть-Пожва до пгт. Керчевский и имеет протяженность 135 км, занимая 45 % длины Камского водохранилища. Внутри него выделяются 3 участка.

1. От пгт. Керчевский до пгт. Тюлькино. В отдельные (многоводные годы) подпор заходит в устья Верхней Камы и Вишеры. На этом участке наблюдается преобладание речных условий.

2. От пгт. Тюлькино до г. Березники. Граница выклинивания перемещается по этому участку, разграничивая речные и водохранилищные условия. Уровни выше МНУ здесь наблюдаются порядка 8–9 месяцев в году, приближенные к НПУ – 5–6 месяцев. В среднем Березники выходят из подпора на 1–3,5 месяца. Это участок со смешанными условиями. Река и водохранилища имеют здесь «равные права».

3. Г. Березники – п. Усть-Пожва. Уровни в пределах МНУ – УПС здесь наблюдаются в среднем с января по апрель. При прохождении половодья граница формирования больших уклонов перемещается на этот участок, обуславливая рост уклонов более чем в 10 раз. В целом, практически в течение всего года здесь наблюдаются водохранилищные условия.

Перемещение границы выклинивания носит циклический характер (рис. 6) и в многолетнем аспекте, в пределах указанных участков границы практически постоянны.

Таким образом, район переменного подпора на отдельных участках характеризуется разным уровнем режимом, определяющим прочие гидрологические условия, следовательно, и гидрологические особенности выделенных участков. При этом важную роль в положении и устойчивости выделенных границ определяет водность года. Однако необходимо отметить, что искусственные водные объекты являются результатом сложного взаимодействия многих процессов и, как следствие, каждый объект уникален.

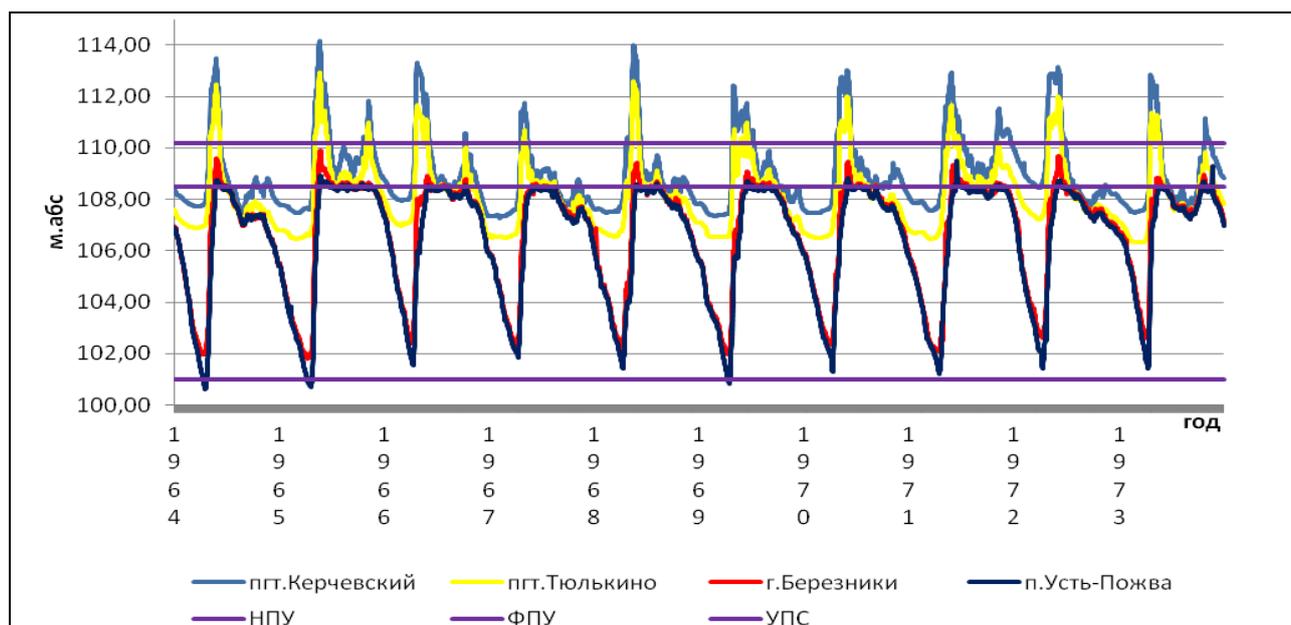


Рис. 6. Ход уровня воды по створам Камского водохранилища в многолетнем аспекте (1964–1973 гг.)

Попытки систематического их описания для выявления общих закономерностей приносят практическую пользу, однако они неизбежно приводят лишь к качественным оценкам, оценкам по аналогии. Одним из очевидных выходов из этого положения является моделирование протекающих здесь гидрологических и геоморфологических процессов, позволяющих синтезировать эквивалентные множества моделей и адаптировать их к конкретным условиям и соответствующим экспериментальным материалам. Однако модели, описывающей гидролого-морфологические процессы в районе переменного подпора, пока еще нет, что объясняет важность и перспективность ее разработки. Использование при моделировании результатов наблюдений за распределением по акватории водоема взвешенных частиц и донных наносов при разных стояниях уровней позволит рекомендовать модель для прогноза формирования аккумулятивных форм рельефа дна изучаемого района. Это и будет следующим этапом наших исследований.

#### Библиографический список

1. Авакян А.Б., Погорельцева Г.В., Шарпов В.А. О классификации мелководий водохранилищ: тез. докл. к совещ. по комплексному использованию мелководий водохранилищ в народном хозяйстве. М., 1970. С. 28–30.
2. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ / Моск. ун-т. М., 2012. 163 с.
3. Двинских С.А., Китаев А.Б., Гидрология Камских водохранилищ / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. 266 с.
4. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосборов в зимний сезон / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2014. 184 с.
5. Калюжный В.К. Особенности руслового режима зоны выклинивания подпора Камского водохранилища // Эрозия почв и русловые процессы. М., 1998. Вып. 11. С. 263–272.
6. Китаев А.Б. Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2004. 219 с.
7. Маккаев Н.И., Белинович И.В., Хмелева Н.В. Русловые процессы в зонах переменного подпора // Русловые процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 318–337.
8. Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство/ Перм. гос. ун-т. Пермь, 1970. Вып. 1. С. 27–45.
9. Матарзин Ю.М., Сорокина Н.Б. Формирование мелководий Камских водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство. Вып. 1. Пермь, 1970.
10. Михалев В.В., Рейхардт Ю.В., Быков Н.Я. и др. Уточнение морфометрических параметров Камского водохранилища: отчет по госконтракту № 350/10/07 от 19.10.07: в 4 т. Пермь, 2008.

11. Свод правил по проектированию и строительству определение основных расчетных гидрологических характеристик СП 33-101-2003. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России). М., 2003.

12. Чуканов В.В. Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме: отчет госконтракту №200/06/10 от 08.12. 2010 М, 2011.

13. Шайдулина А.А. К вопросу об особенностях выделения зоны выклинивания подпора на водохранилищах (на примере Камского) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. V Межд. науч.-практ. конф. Пермь, 2015. Т.1. С.156–160.

### References

1. Avakyan, A.B., Pogorel'ceva, G.V., and Sharapov V.A. (1970), "On the classification of shallow water reservoirs", *Tezisy докладov k soveshchaniyu po kompleksnomu ispol'zovaniyu melkovodij vodohranilishch v narodnom hozyajstve* [Abstracts for the meeting on the integrated use of the national economy shallow water reservoirs] *Kompleksnoe ispol'zovanie melkovodij vodohranilishch v narodnom hozyajstve* [Integrated use of shallow water reservoirs in the national economy], Moscow, Russia, pp. 28–30.

2. Berkovich, K.M. (2012), "Ruslovye processy na rekah v sfere vliyaniya vodohranilishch" [Channel processes in the rivers in the area of influence of reservoirs], Moscow, Russia.

3. Dvinskih, S.A., and Kitaev, A.B. (2008), "Gidrologiya Kamskih vodohranilishch" [Hydrology of Kama Reservoirs], University of Perm Press, Perm, Russia.

4. Kalinin, V.G. (2014), "Vodnyj rezhim kamskih vodohranilishch i rek ih vodosborov v zimnij sezon" [Water regime of Kama reservoirs and rivers, their watersheds in the winter season], University of Perm Press, Perm, Russia.

5. Kalyuzhnyj, V.K. (1998), "Features of the channel mode zone wedging pressurization Kama Reservoir", *Ehroziya pochv i ruslovye processy*, Moscow, Russia, pp. 263–272.

6. Kitaev, A.B. (2004), "Aktualnye voprosy gidrologii i gidrohimii Kamskogo vodohranilishcha" [Actual questions of hydrology and hydrochemistry of the Kama Reservoir], University of Perm Press, Perm, Russia.

7. Makkaveev, N.I., Belinovich I.V., and Hmeleva N.V. (1958), "The chanal processes in zones variable a subtime", *Ruslovye processy*, pp. 318–337.

8. Matarzin, Yu.M. and Matskevich, I.K. (1970), "Questions of a morphometry and division into districts of reservoirs", *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh vliyaniye na prirodu i khozyaystvo*, no. 1, Perm, Russia, pp. 27–45.

9. Matarzin, Yu.M., and Sorokina, N.B. (1970), "Formation of shoal of the Kama Reservoir", *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh vliyaniye na prirodu i khozyaystvo*, no. 1, Perm, Russia.

10. Mihalev, V.V., Reyhardt, Yu.V., and Bykov, N.Ya. (2008), *Utochnenie morfometricheskikh parametrov Kamskogo vodohranilishcha, otchet po goskontraktu № 350/10/07 ot 19.10.07 v 4 t.* Perm, Russia.

11. *Russian Federation State Committee for Construction and Housing and Municipal Economy (Gosstroy Russia)*, (2003), *SP 33-101-2003: svod pravil po proektirovaniyu I stroitelstvu opredelenie osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik* [SP 33-101-2003, Code of practice for design and construction of the definition of basic hydrological characteristics of settlement], Moscow, Russia.

12. Chukanov, VV and others (2011), "Terms of use of water resources of the Kama and Воткиnsk reservoir on the river. Kama" *report state contract №200 / 06/10 of 08.12. 2010* Moscow, Russia.

13. Shaydulina, A.A. (2015), "On the features of definition zone transient region of the reservoir (for example Kama reservoir)", *Sovremennye problem vodohranilishch i ih vodosborov*, part 1, pp. 156–160.

Поступила в редакцию 20.05.2016

### Сведения об авторе

#### Шайдулина Аделия Александровна

аспирант кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г.Пермь, ул.Букирева, 15; e-mail: AdelinaSh89@mail.ru

### About the author

#### Adeliya A. Shaydulina

Postgraduate Student, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva, Str., Perm, 614990, Russia; e-mail: AdelinaSh89@mail.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Шайдулина А.А.* Особенности уровня режима в районе переменного подпора Камского водохранилища // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 4 (39). С. 44–56.

doi 10.17072/2079-7877-2016-4-44-56

**Please cite this article in English as:**

*Shaydulina A.A.* Features of the level regime in the variable backwater area of the Kama reservoir // Geographical bulletin. 2016. № 4 (39). P. 44–56. doi 10.17072/2079-7877-2016-4-44-56