

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОННОЙ ПЛОТИНЫ,
ПОСТРОЕННОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
МИНИМАЛЬНЫХ ЗИМНИХ УРОВНЕЙ НА
РЕКЕ СУХОНЕ И ОЗЕРЕ КУБЕНСКОМ**

А.В Белый

*Вологодский государственный университет,
г. Вологда, Россия*

bely.epir@yandex.ru

**RESULTS OF EVALUATION OF THE
EFFICIENCY OF HYDROTECHNICAL
FACILITIES BUILT TO INCREASE
MINIMUM WINTER LEVELS ON THE
SUKHONA RIVER AND LAKE
KUBENSKOYE**

Anatoly V. Bely

Vologda state University, Vologda, Russia,

bely.epir@yandex.ru

Аннотация. Озеро Кубенское – одно из крупнейших озёр Вологодской области, издавна является объектом разнообразного хозяйственного использования, в том числе источником водоснабжения г. Вологды. Иногда его классифицируют как водохранилище сезонного регулирования, поскольку для нужд судоходства по реке Сухоне с 1827 года в 7 км от её истока возведен гидроузел с шлюзовой камерой и подпорной плотинной.

В 2011 году в 300 м выше створа шлюза «Знаменитый» построена глухая донная плотина согласно проекту «Повышение зимнего уровня Кубенского водохранилища для обеспечения работы Вологодского городского водозабора».

Это вызвано тем, что в зимнюю межень водозабор из озера должен служить гарантом бесперебойного водоснабжения г. Вологды. При формировании экстремально низкой зимней межени возникает чрезвычайная ситуация, поскольку из-за низких уровней в подводящем канале насосная станция прекращает свою работу. При этом критично ухудшаются условия зимовки промысловых рыб в озере Кубенском. В сущности, формируется опасное гидроэкологическое явление.

Получены результаты исследования минимальных зимних уровней на Верхней Сухоне и озере Кубенском, находящихся в подпорном режиме после строительства донной подпорной плотины. Выполнены полевые и камеральные работы, а также оценка минимальных зимних уровней расчетных

Abstract. Lake Kubenskoye is one of the largest lakes in the Vologda region, has long been an object of various economic uses, including a source of water supply for the city of Vologda. Sometimes it is classified as a reservoir of seasonal regulation, since for the needs of navigation on the Sukhona River, since 1827, a hydroelectric complex with a lock chamber and a retaining dam was built 7 km from its source.

In 2011, a blind bottom dam was built 300 m above the Znamenity lockin accordance with the project “Increasing the winter level of the Kubensky reservoir to ensure the operation of the Vologda city water intake”.

This is due to the fact that during the winter low-water period, water intake from the lake should serve as a guarantor of uninterrupted water supply to the city of Vologda. When an extremely low winter low water is formed, an emergency situation arises, because due to low levels in the supply channel, the pumping station stops its work. At the same time, wintering conditions for commercial fish in Lake Kubenskoye are critically deteriorating. In essence, a dangerous hydroecological phenomenon is being formed.

The results of a study of the minimum winter levels on the Upper Sukhona and Lake Kubenskoye, which are in the backwater regime after the construction of a bottom backwater dam, are obtained. Field and office work were carried out, as well as an assessment of the minimum winter levels of design probabilities. The insufficiency of the regulating effect of the bottom dam and the

обеспеченностей. Показана недостаточность регулирующего эффекта донной плотины и сохранение указанного опасного гидроэкологического явления.

Ключевые слова: река; озеро; уровни воды; водозабор; плотина; зимняя межень; опасное явление; расчетные гидрологические характеристики.

Введение

Воднотранспортные пути в бассейне реки Сухоны за многие столетия развития подвергались значительным воздействиям – от русловых работ для улучшений условий местного судоходства до создания межбассейновых водных коммуникаций.

preservation of the indicated dangerous hydroecological phenomenon are shown.

Keywords: river; lake; water levels; water intake; dam; winter low water; dangerous phenomenon; calculated hydrological characteristics.

К такой коммуникации можно отнести Северо-Двинскую шлюзованную систему (СДШС), построенную в 1825–1828 гг.. Она соединяет бассейны двух морей – Каспийского и Белого в целом и бассейны рек Шексны и Сухоны в частности (рисунок 1).



Рисунок 1. Ситуационный план и продольный профиль канала им. Герцога Александра Вюртембергского (Северо-Двинской шлюзованной системы) по состоянию на 1898 г.

(https://regionavtica.ru/articles/severo-dvinskij_kanal.html)

Figure 1. The original plan of the channel them. Duke Alexander of Württemberg (North Dvina lock system) as of 1898. (https://regionavtica.ru/articles/severo-dvinskij_kanal.htm)

Водный путь с Волги на Северное море – давно известный на Севере. Водораздел между реками Славянка, притока Шексны и рекой Порозовица, впадающей в Кубенское озеро, называли Волок Славенский. Это название сохранилось в названии крупного села Волокославино, расположенного на высоком берегу реки Порозовицы.

Древний Волок Славенский предвосхитил современный Северо-Двинский водный путь, явился его предтечей. Созданная трасса СДШС на

многих участках совпадает с участками древнего водно-волокового пути. В копаном русле пройдены только Топорненский и Кишемский каналы. СДШС в дальнейшем существенно повлияла на водный режим прилегающей территории.

Трасса СДШС берет начало от русла реки Шексна у поселка Топорня и далее проходит по Топорнинскому каналу, Сиверскому озеру, Кузьминскому каналу, реке Поздышка Зауломскому озеру, Вазеринским каналам №1

Белый А.В. Результаты оценки эффективности донной плотины, построенной для повышения минимальных зимних уровней на реке Сухоне и озере Кубенском // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2024. Т. 6. Вып. 1. С. 22–34. DOI: 10.34753/HS.2024.6.1.22.

Гидрографическим условиям и водному режиму озера Кубенского и реки Сухона посвящена достаточная литература [Ильинский, 1928; Филенко, 1966; Ресурсы поверхностных вод, 1972; Кириллова, 1974; Ильина, Грахов, 1987]. Структурными элементами гидроузла являются судоходный шлюз и подпорная плотина

типа «ПОАРЭ». Плотина поддерживает судоходные уровни на озере Кубенском и на Верхней Сухоне в навигационный период (рисунки 3 и 5). Озеро Кубенское вследствие создания этого подпорного сооружения относят к водохранилищу сезонного регулирования.



Рисунок 4. Подпорная плотина ПОАРЭ шлюза Знаменитый СДШС. Вид с нижнего бьефа (фото автора)

Figure 4. Poiret retaining dam of the Znamenity lock of the SDSS as of 20.08.2020. View from the downstream (author's photo)

Основным лимитирующим фактором судоходства выше плотины является пережат на реке Сухоне в створе заходных биев (вблизи створа – д. Прилуки) с отметкой дна 106,3 мБС.

Критическая минимальная отметка водной поверхности для судоходства составляет в этом створе, по данным Вологодского района водных путей, 107,4 мБС (рисунок 5).

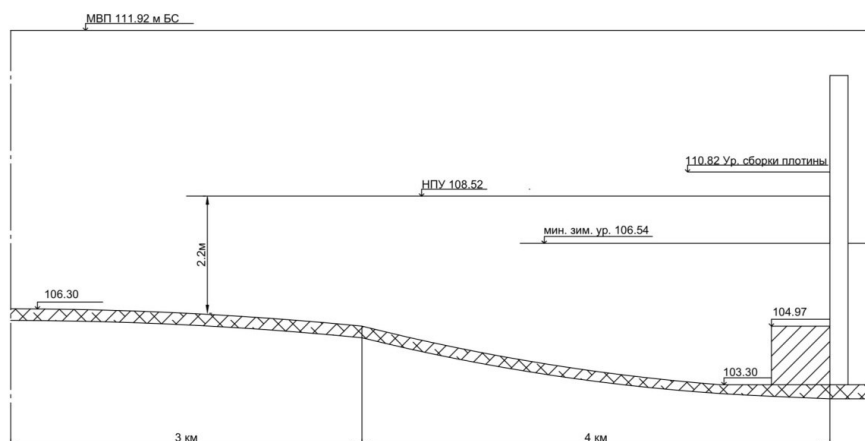


Рисунок 5. Схема характерных уровней, определяющих судоходный режим на Шлюзе «Знаменитом» по данным Вологодского района водных путей²

Figure 5. Scheme of characteristic levels that determine the navigational regime at the Znamenity lock according to the data of the Vologda region of waterways²

² Мероприятия по сохранению и восстановлению качества водных ресурсов бассейна Кубенского озера: Отчёт о НИР/отв. исп. А.В. Белый. Вологда: Вологдаинжпроект, 1993 167с.

В 2011 г. в створе, расположенном в 300 м выше существующей подпорной плотины «ПОАРЭ» построена дополнительная регулирующая донная плотина (рисунок 10). Задачей ее является удержание минимальных зимних уровней в верхнем бьефе гидроузла №7 и южной акватории озера Кубенского на отметках, гарантирующих бесперебойный водозабор для города Вологды.

В этой связи предметом настоящего исследования является сравнительная оценка влияния гидротехнических сооружений (ГТС) из состава гидроузла №7 и донной плотины на расчетные минимальные зимние уровни в верхнем бьефе. В рамках исследования поставлены и решены следующие задачи:

- выполнить сбор и анализ информации по зимнему уровенному режиму реки Сухоны и озера Кубенского во всех имеющихся источниках;

- установить основные характеристики всех объектов водохозяйственного комплекса рассматриваемой территории;

- получить оценки основных показателей уровенного режима реки Сухоны и озера Кубенского в период зимней межени до строительства донной плотины;

- выполнить сравнительный анализ изменений минимальных зимних уровней воды в расчетных створах, вызванных строительством донной регулирующей плотины.

Постановка вопроса и состояние проблемы

В семидесятые годы XX века на исследуемой территории создан комплекс гидротехнических сооружений для забора воды в город Вологду – насосная станция и водоподводящий канал (рисунки 2, 6 и 7). Это позволяет в лимитирующий период – низкую зимнюю межень иметь дополнительный источник водоснабжения для г. Вологды.

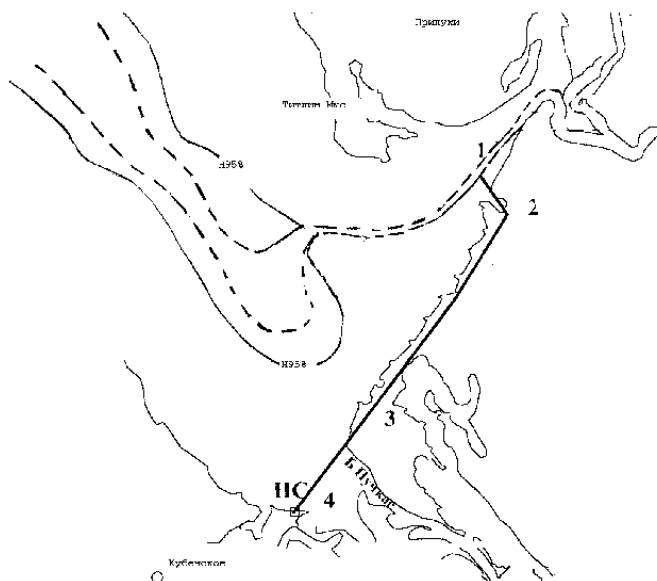


Рисунок 6. Схема водозаборных сооружений²:

1-2 –700-метровая часть подводящего канала, проложенная по дну озера; 4 (НС) – насосная станция

Figure 6. Scheme of water intake facilities²:

1-2 –700-meter part of the supply channel, laid along the bottom of the lake; 4 (NS)–pumping station]



Рисунок 7. Вид на р. Верхняя Сухона и оз. Кубенское на 13.04.21 г. На дальнем плане справа – водоподводящий канал насосной станции (фото автора)

Figure 7. View of the Upper Sukhonariver and Kubenskoelake on April 13, 2021. In the background on the right is the supply channel to the pumping station (author's photo)

В отдельные годы экстремально низкая зимняя межень на озере выступает опасным гидроэкологическим явлением, поскольку падение уровней в упомянутом подводящем канале нарушает бесперебойность работы насосной станции.

Подобная ситуация возникала зимой в 1992–1993 гг., 2000–2001 гг., 2002–2003 гг. Тогда реально происходили перебои водоподдачи в город Вологду. По крайней мере, в двух указанных случаях – в 1992 и 2002 гг. – возникшей ситуации был присвоен ранг чрезвычайной. Можно выделить несколько причин порождающих указанную проблему. В частности:

1. Из 5400 м подводящего канала 700 м проходит по дну южной мелководной акватории озера. Этот участок постоянно замывается в теплый период года, поскольку глубины здесь невелики, волнение озера значительное, а дно сложено несвязными грунтами. К примеру, при аварийных дноуглубительных работах в зиму 1992–1993 г. топографы института «Вологдаинжпроект» установили факт замывания части подводящего канала, проходящей по дну озера. Отметки дна канала возросли на 1,5 м: от 105,5 до 107,0 мБС. *Это – первая причина.*

2. В работе [Ильина, Грахов, 1987] выполнена статистическая обработка данных многолетних гидрометрических измерений на

опорных водомерных постах и установлены значения характерных и расчетных обеспеченных уровней в указанных гидрометрических створах (таблица 1).

На рисунке 6 пунктиром показана отметка изобаты озера при минимальном зимнем уровне 95 % обеспеченности. Возможно, что южная подледная часть озера в период низкой зимней межени представляет собой узкий водоток (как бы продолжение русла реки Кубены) с глубинами 0,6–0,8 м, по которому осуществляется транзит стока из р. Кубены в р. Сухону [Ильина, Грахов, 1987]. Несомненно, что в маловодные периоды для поступления воды в водоподводящий канал между ним и подледным руслом реки Кубены должна быть обеспечена гидравлическая связь. *Эта связь, как установлено, при определенных условиях нарушается, что определяет вторую причину.*

3. На рисунке 8 представлена графическая интерпретация значений расчетных и наблюдаемых уровней. Расчеты топографических характеристик озера Кубенского позволили установить, что проектный уровень водозабора, принятый равным 107,2 мБС, оказался на 0,25 м выше уровня воды 95 % обеспеченности в створе д. Прилуки (106,94 мБС) [Ильина, Грахов, 1987]. *Это третья причина перебоев водоподдачи.* Исходя из приведенных утверждений, первоначально был предложен вариант возможного решения проблемы.

Таблица 1. Характерные и экстремальные уровни Кубенского озера и Верхней Сухоны [Ильина, Грахов, 1987]

Table 1. Characteristic and extreme levels of Lake Kubenskoye and Upper Sukhona [Ильина, Грахов, 1987]

Показатель, единица измерения	Наименование створа по озеру			
	Водпост Пески	Водпост Коробово	Водпост Прилуки	Водпост Знаменитый
Расстояние по судовому ходу, км	66,7	89,3	122,5	127,0
Период наблюдений	1936–1992 гг.	1931–1981 гг.	1985–1987 гг.	1876–1992 гг.
Уровень весеннего половодья (ВП) 1986 г.	112,05	111,99	111,86	111,60
Уровень ВП 1987 г.	111,55	111,45	111,20	111,05
Средний за ВП уровень 1986 г.	109,73	109,73	109,66	109,39
Минимальный зимний уровень 1986 г.	107,85	107,65	107,10	106,70
Уровень 16.01.92 г.		107,83	(107,42)	106,87
Уровень 15.02.92 г.		107,84	(107,14)	106,82
Минимальный зимний уровень, 95 % обеспеченность	107,65	107,55	106,94	106,50

Предложено, что безусловно необходимо искусственное повышение (регулирование) минимальных зимних уровней для обеспечения гарантированного водозабора для г. Вологды в экстремально низкие зимние межени, в том числе и для создания более благоприятных условий зимовки промысловых рыб [Ильина, Грахов, 1987].

Как вариант к рассмотрению предложено возвести глухую донную плотину в створе деревни Прилуки, что в 7.0 км выше гидроузла №7 (рисунок 9) [Кириллова, 1974]. По расчетам такая плотина не позволит опускаться минимальным зимним уровням ниже отметки 107,7 мБС

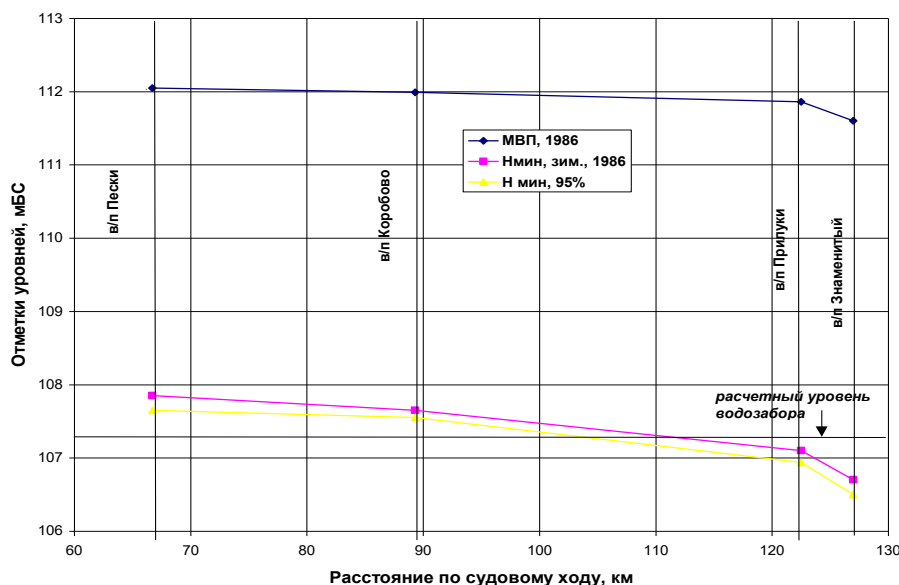


Рисунок 8. Продольный профиль озера Кубенского по судовому ходу для характерных и экстремальных уровней воды

Figure 8. Longitudinal profile of Lake Kubenskoye along the ship's course for characteristic and extreme water levels

В 2005 г. проектным институтом «Ленгипроречтранс» разработан рабочий проект строительства: «Повышение зимнего уровня Кубенского водохранилища для обеспечения

работы Вологодского городского водозабора» со следующими инженерно-техническими решениями.

1. Устройство водосливной плотины предусмотрено в 300 м выше по течению от плотины шлюза «Знаменитый»;

2. Расчетный проектный уровень 97 % обеспеченности на створ водозабора должен составлять 107,70 мБС;

3. Приняты следующие технические проектные характеристики – длина плотины по водосливу 166,5 м, ширина гребня – 3,0 м, отметка гребня – 107,5 мБС;

4. Предусмотрено устройство противофильтрационной завесы из сварных шпунтовых панелей с проектной отметкой верха 107,0 мБС;

5. Высотная отметка гребня донной плотины принята равной 107,5 мБС и должна обеспечить проектный уровень в верхнем бьефе

плотины 107,64 мБС, а в створе водозабора – 107,70 мБС [Кириллова, 1974].

Результаты исследования

Указанный проект регулирующей донной плотины был реализован строительством в 2011 г. (рисунок 10). Плотина построена на участке, где судоходство практически отсутствует и не является ограничивающим фактором.

В августе 2020 г., апреле 2021 г. и в марте 2022 и 2024 гг. года автором были выполнены обследования объекта строительства. Получена информация о плановом и высотном положении основных структурных элементов, а также ряды минимальных зимних уровней после строительства (рисунки 7 и 10).



Рисунок 9. Схема предложенных инженерных решений³
Figure 9. Scheme of the proposed engineering solutions³

В частности, с помощью ГНС-приемника (метод RTK) установлены отметки уровней воды по состоянию на 16.04.2021 г., в том числе в створе д. Прилуки, где регулярные гидрометрические наблюдения в настоящее время не ведутся (таблица 2, колонка 7). Перепад уровней между створом Шлюз «Знаменитый» и

д. Прилуки составил 0,16 м, уклон в этом случае крайне мал – 0,00002.

В марте 2024 г. выполнено уточнение отметок гребня донной плотины и верха шпунтовой стенки. Нивелирование выполнялось электронным тахеометром SOCCIA CX-106 от контрольного репера водомерного поста Шлюз

³«Повышение зимнего уровня Кубенского водохранилища для обеспечения работы Вологодского городского водозабора» Рабочий проект, пояснительная записка / ЗАО «Проектно-изыскательский институт Ленгипроречтранс» // Санкт Петербург, 2005 г.

«Знаменитый» (113,963 мБС). Установлено, что высота гребня плотины составляет 107,197 мБС (проект 107,50 мБС), шпунтовой завесы – 107,142 мБС (проект 107,00 мБС). Результаты вполне удовлетворительные.

С использованием оценочных значений уклона реки Сухоны, получены возможные

расчетные уровни в створе проектного водозабора, практически совпадающего со створом д. Прилуки. Получено, что расчетный уровень (107,4 мБС) несколько ниже проектного уровня – 107,7 мБС (таблица 2).



Рисунок 10. Вид на донную плотину с БПЛА с правого берега Сухоны. На заднем плане комплекс гидротехнических сооружений шлюза Знаменитый. Март 2022 г. (фото автора)

Figure 10. UAV view of the bottom dam from the right bank of the Sukhona. In the background is the complex of hydraulic structures of the Znamenityy lock in March 2022 (author's photo)

За постстроительный период эксплуатации донной плотины – (2012–2024 гг.) получены данные о зимних уровнях воды на водомерных постах – д. Коробово и Шлюз «Знаменитый». По данным этих постов выполнены расчеты обеспеченных характеристик минимальных срочных зимних уровней и уточнены такие же характеристики уровня режима за период, предшествующий строительству донной плотины.

Обобщение статистических рядов значений минимальных уровней воды было выполнено с помощью кривых обеспеченностей. Обработаны

ряды наблюдаемых уровней по водпостам Коробово и Шлюз «Знаменитый» за периоды 1991–2011 гг. и 2012–2024 гг. по каждому. Расчет теоретических квантилей кривых обеспеченностей выполнен методом наибольшего правдоподобия (МНП) для биномиального закона распределения вероятностей.

На рисунках 11 и 12, приведены эмпирические кривые обеспеченности и их теоретические аппроксимации для водомерных постов Коробово и Шлюз «Знаменитый».

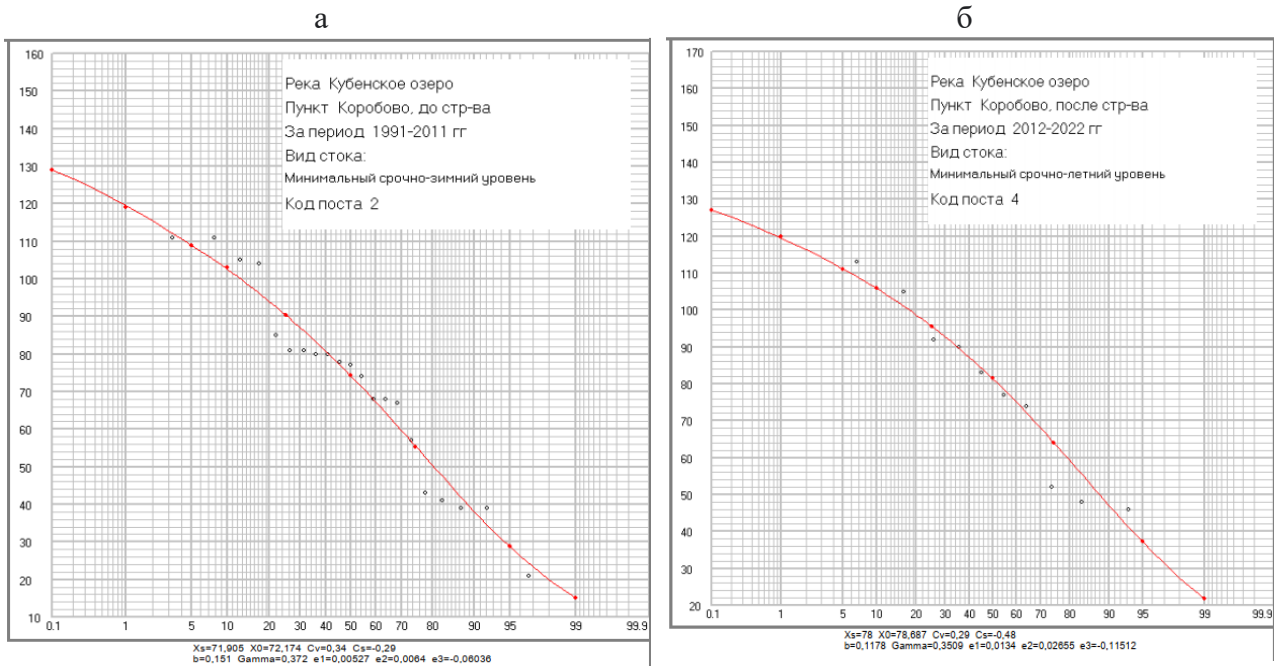


Рисунок 11. Эмпирические кривые обеспеченности минимальных зимних уровней по водпосту Коробово за период 1991–2011 гг.(а) и 2012–2022 гг. (б)

Figure 11. Empirical curve for the occurrence of minimum winter levels for the Korobovo water station for the period 1991–2011 (a) and 2012–2022 (b)

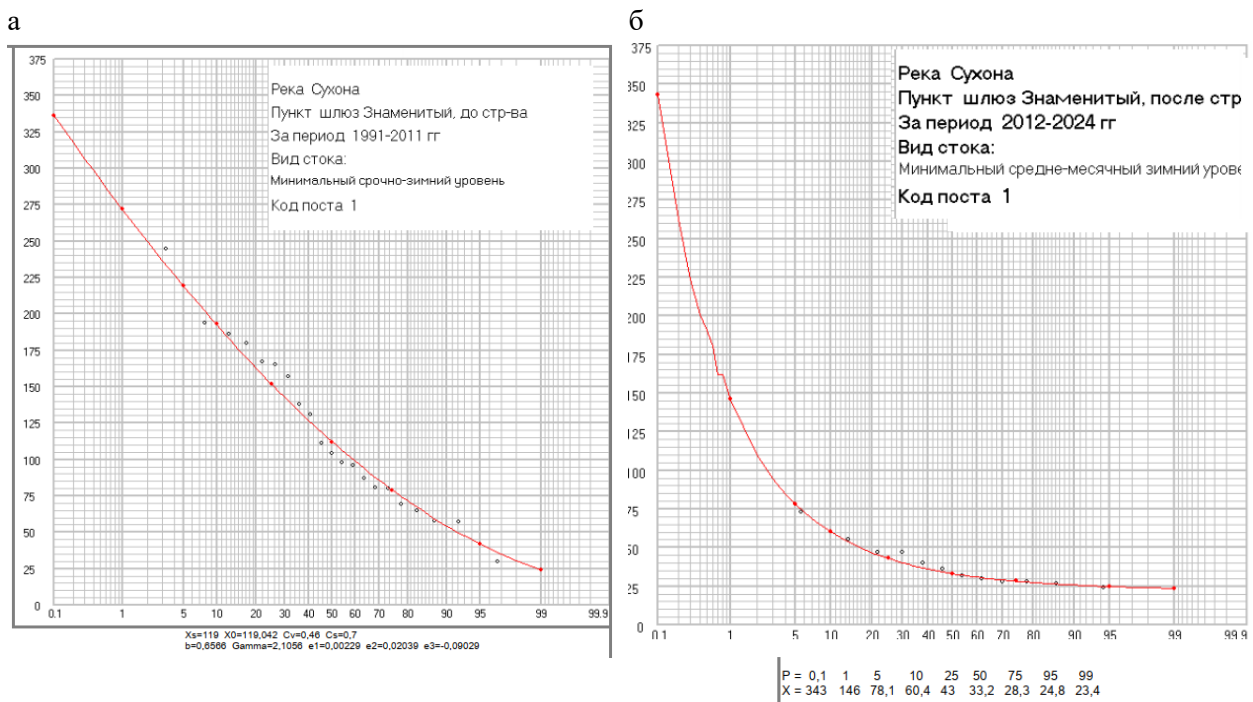


Рисунок 12. Эмпирические кривые обеспеченности минимальных зимних уровней по водпосту Шлюз «Знаменитый» за период 1991–2011 гг.(а) и 2012–2024 гг. (б)

Figure 12. Empirical curve for the provision of minimum winter levels at the Znamenityy lock water post for the period 1991–2011 (a) and 2012–2024 (b)

Результаты статистического обобщения «Знаменитый») произошел подъем уровней массивов данных представлены в таблице 2. Видно, что в створе плотины (водопост Шлюз

«Знаменитый») произошел подъем уровней массивов данных представлены в таблице 2. Видно, что в створе плотины (водопост Шлюз

вероятностью превышения 50–99 %. Увеличение составило от 0,73–1,53 м.

Таблица 2. Минимальные зимние срочные уровни различной обеспеченности р. Верхней Сухоны и озера Кубенское

Table 2. Minimum winter urgent levels of various provision of the river. Upper Sukhona and Lake Kubenskoye

Водомерный пост	Статистические характеристики ряда H_{\min} за период до строительства плотины			Статистические характеристики ряда H_{\min} за период после строительства плотины			Оценка достоверности разности средних на 95 % уровне доверительной вероятности			
	X	V	S_x	X	V	S_x	d	S_d	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{теор}}$
Шлюз «Знаменитый»	-31	0,46	3,11	41	0,63	7,77	72	8,37	8,6	2,1
Коробово	72, 2	0,34	5,48	78,7	0,29	7,21	6,53	9,06	0,72	2,1

Таблица 3. Результаты оценки статистической достоверности изменений уровней зимней межени на Верхней Сухоне и озере Кубенском

Table 3. Results of assessing the statistical significance of changes in the level regime of winter low water in the Upper Sukhona and Lake Kubenskoye

№ п/п	Обеспеченность, %	Обеспеченные минимальные зимние уровни, мБС			Изменение обеспеченных уровней, мБС		Фактические уровни в период полевых работ 16.03.2021 г.
		с начала наблюдений до 1991 г.	до строительства 1991–2011 гг.	после строительства 2012–2024 гг.	5–3	5–4	
Водомерный пост Шлюз «Знаменитый» верхний бьеф «0» графика 107,26 мБС							
1	50 %	106,80	106,64	107,37	0,57	0,73	
2	75 %	106,64	106,31	107,31	0,67	1,00	
3	95 %	106,50	105,90	107,27	0,77	1,37	
4	99 %		105,72	107,25		1,53	
5	Среднее (норма)		106,70	107,43		0,73	
6							107,59
Водомерный пост д. Коробово «0» графика 107,21 мБС							
1	50 %	107,76	107,95	108,02	+0,19	+0,07	
2	75 %	107,67	107,74	107,85	+0,18	+0,11	
3	95 %	107,55	107, 50	107,58	+0,03	+0,08	
4	99 %		107,36	107, 43		+0,07	
5	Среднее (норма)		107, 93	108,00		+0,07	
6							108,16
Гидрометрический створ д. Прилуки							
1	50 %			107,53			
2	75 %			107,47			
3	95 %			107,43			
4	99 %			107,41			
5	Среднее (норма)			107,59			
6	50 %						107,75

Выполнен анализ достоверности разности средних для расчетов по створам Коробово и Шлюз «Знаменитый» при 95 % уровне доверительной вероятности (таблица 3).

Проверка нулевой гипотезы (отсутствие существенности различий в значениях выборочных средних статистических рядов минимальных зимних уровней) выполнена с применением эмпирического критерия

Стьюдента (t). В общем случае эмпирический критерий Стьюдента t для оценки существенности разницы d между средними двух выборок X_1 и X_2 есть отношение этой разности d к среднегеометрической ошибке расчета средних S_x :

$$t_{эмн} = \frac{d}{S_d} = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{(S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2)}}, \quad (1)$$

S_x – ошибка средней арифметической, определяемая по формуле $S_x = S/n^{0.5}$.

Стандартное отклонение рядов S получено с использованием коэффициента вариации V и нормы ряда X полученных при аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей методом наибольшего правдоподобия (МНП), по выражению: $S=X \times V$.

Согласно результатам расчетов, предоставленных в таблице 3, подъем средних минимальных уровней на водомерном посту Шлюз «Знаменитый» статистически достоверен на 95 % уровне значимости. Этот вывод, по видимому, можно распространить и на значения квантилей большей обеспеченности.

В тоже время, согласно данным той же таблицы 3, изменения уровней на водомерном посту Коробово *статистически не значимы*, поскольку эмпирический критерий Стьюдента существенно ниже соответствующего теоретического значения.

Как отмечено выше, участок русла реки Сухоны от донной плотины до створа Прилуки в период минимальной зимней межени в сущности находится в подпоре, о чем свидетельствует крайне низкий уклон воды на этом участке – 0,00002. Тем не менее, величины этого подпора оказались недостаточно, чтобы поднять уровни в створе водозабора и в южной части акватории Кубенского озера до проектных значений. Подпорное влияние донной плотины вероятно ограничивается створом Прилуки.

Литература

Ильина Л.Л. Грахов А.Н. Реки Севера. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 128 с.
Кириллова В.А. Характеристика притока в озера // Кубенское озеро. Л.: Наука, 1974. С. 9–11.

Выводы и рекомендации

1. Выполнены сбор и статистический анализ имеющейся информации по зимнему уровенному режиму реки Верхняя Сухоны и озера Кубенского.

2. Выполнены нивелирование и аэрофотосъемка элементов донной плотины в створе Шлюза «Знаменитый», а также нивелирование уровней воды на плотине и в истоке реки Сухоны в период зимней межени. Нивелирование отметок элементов донной плотины позволило установить, что высота гребня плотины составляет 107,197 мБС (проект 107,50 мБС), шпунтовой завесы – 107,142 мБС (проект 107,00 мБС). Результаты удовлетворительные.

3. Получены оценки статистических показателей уровенного режима реки Верхней Сухоны и озера Кубенского в период зимней межени. Расчеты выполнены по водомерным постам Шлюз «Знаменитый» и д. Коробово для рядов уровней воды за периоды до строительства плотины 1991–2011 гг. и за послестроительный период 2012–2024 гг.

4. Выполнен сравнительный анализ изменений минимальных зимних уровней воды в расчетных створах, вызванных строительством донной регулирующей плотины. Установлено на 95 % уровне доверительной вероятности, что в верхнем бьефе донной плотины минимальные уровни выросли в среднем на 0,73 м. На озере Кубенском, в створе д. Коробово статистически значимого повышения минимальных зимних уровней не установлено.

5. На основе результатов представленного исследования можно выдвинуть предположение о недостаточности регулирующего действия построенной донной плотины на минимальные зимние уровни в районе упоминаемого водозабора из озера Кубенского.

References

Filenko R.A. *Vody Vologodskoy oblasti [Waters of the Vologda Oblast]*, publ. of Leningrad University, 1966, 132 p.

- Озеро Кубенское. Часть 1. Гидрология. Л.: Наука, 1974. 308 с.
- Ресурсы поверхностных вод, Т. 3. Северный край / Под. ред. И. М. Жила, Н. М. Алюшинской. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 664 с.
- Филенко Р.А. Воды Вологодской области. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1966. 132 с.
- Ilyina L.L., Grakhov A.N. *Reki Severa [Rivers of the North]*, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 128 p.
- Kirillova, V.A. *Kharakteristika pritoka v ozera [Characteristics of the inflow into the lakes]*. In the book: *Ozero Kubenskoye [Kubenskoye Lake]*, Leningrad, Science, 1974, pp. 9–11.
- Ozero Kubenskoye Chast' 1. Gidrologiya. [Lake Kubenskoye. Part 1. Hydrology]*, Leningrad, Science, 1977, 308 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod, T. 3. Severnyy kray [Surface Water Resources, Volume 3, Northern Territory]*. In Zhila I. M. and Alyushinskaya N. M. (ed.), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, 664 p.