

РАСЧЕТ ПРОПУСКА ПАВОДКОВ ЧЕРЕЗ ГИДРОУЗЕЛ БАЛАНОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Иванкова Т.В., Волосухин В.А.

Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Российская Федерация

Аннотация. Дана характеристика крымских рек, для которых характерен паводковый режим. С 1974 года на реке Зуя функционирует Балановское водохранилище, которое обеспечивает пресной водой нужды сельского хозяйства района. Приводятся данные по расчету пропуска паводков через гидроузел Балановского водохранилища, относящегося ко II классу опасности. Поверочный максимальный расход, согласно СП – 0,1% ВП. Была выполнена оценка и 0,01% ВП пропуска паводка существующими сооружениями гидроузла. Рекомендована организация непрерывных наблюдений за всеми параметрами на сети автоматических станций, которая будет наиболее полно характеризовать всю обстановку в бассейне и на различных его участках. Обеспечивать информацией комплекс математических моделей для гидродинамического моделирования поверхностного стока и руслового добега расходов к промежуточным створам, с достаточной заблаговременностью оценивать риски опасных гидрологических явлений на различных участках бассейна.

Ключевые слова. Водохранилище, гидроузел, паводок, пропускная способность.

CALCULATION OF THE PASSAGE OF FLOODS THROUGH THE WATERWORKS BALANOVSKY RESERVOIR

Ivankova T.V., Volosukhin V.A.

Institute for safety of hydraulic structures, Novocherkassk, Russian Federation

Abstract. The characteristic of the Crimean rivers for which the flood regime is characteristic is given. In 1974, the Balanovskoye reservoir was built on the Zuya river to meet the needs of the district's agriculture. The data on the calculation of the passage of floods through the hydroelectric Balanovsky reservoir, belonging to the II class of danger. Calibration of the maximum rate, according to the SP and 0.1% of the EAP. The assessment and 0.01% of the EAP of the flood pass by the existing structures of the hydroelectric facility was carried out. It is recommended to organize continuous observations of all parameters on the network of automatic stations, which will most fully characterize the entire situation in the basin and in its various sections, as well as provide information to a set of mathematical models for hydrodynamic modeling of surface runoff and channel runoff to intermediate branches, to assess the risks of dangerous hydrological phenomena in various parts of the basin with sufficient advance.

Key word. Reservoir, waterworks, flood, capacity.

По территории Полуострова Крым реки протекают крайне неравномерно. Густота речной сети увеличивается от района предгорья к Главной гряде и Южному берегу. За многолетний период максимальные расходы воды для большинства рек наблюдаются в теплый период и, для некоторых из них, могут превышать зимне-весенние максимумы в 2-4 раза (реки Бельбек, Демерджи, Зуя и др.). Для рек территории характерно уменьшение максимальных расходов воды при выходе из гор и предгорий к устью, что объясняется, помимо естественной трансформации паводков на бесприточных участках, потерями воды в карст, забором на орошение и заполнение прудов и водохранилищ. Область максимального стока располагается в зоне, где благоприятные для формирования речного стока гидрометеорологические условия усиливаются наибольшим выходом грунтовых (карстовых) вод [1].

У рек, берущих начало на северных склонах Главной гряды (Альма, Кача, Бельбек, Черная Зуя и др.), преобладает снеговое, а для рек Южного берега — дождевое питание. Обильные летние ливни, интенсивное снеготаяние весной и нередко зимой резко повышают уровень воды в реках, превращая их порой в свирепые грозные потоки. Зимние паводки повторяются чаще, чем летние, и отмечены на многих водотоках [2].

Наводнения в Крыму случаются в основном в осенне-зимний период и в конце весны, когда тает снег на вершинах Крымских гор. В этой связи наиболее опасны они в прибрежных зонах Южного Берега и в Керчи. Здесь возможны как сильные осадки, так и сходы потоков воды с гор. Например, в сентябре 2018 года вода затопила улицы Феодосии выше решетки радиатора легкового автомобиля. При этом

обычно реки разливаются на несколько десятков метров, а их максимальная глубина в самых глубоких местах не превышает 2-3 метра [3]. Огромная нагрузка в эти периоды приходится на гидротехнические сооружения, в том числе на гидроузлы Балановского водохранилища, в связи с чем, наши исследования и расчеты являются **актуальными**.

Цель работы – рассчитать пропускную способность Балановского гидроузла существующими сооружениями для безаварийного режима трансформирования паводка 0,1% ВП, не превышая отметку ФПУ и пропуска максимального паводка с $Q_{0,01\%}$ (с учетом гарантийной поправки) всеми водопропускными сооружениями гидроузла при наполненном водохранилище до отметки НПУ, как наиболее ответственного мероприятия при опасном гидрометеорологическом явлении.

Результаты исследований. Поскольку класс основных сооружений гидроузла Балановского водохранилища – II (ГТС чрезвычайно высокой опасности – Постановление Правительства РФ от 02.11.2013 № 986), расчёт проведен для гидрографа паводка 0,01% и 0,1% ВП [14].

В подготовке и проведении гидравлических расчетов пропуска половодий и паводков выделяются три основных этапа: гидрологический, гидравлический, водохозяйственный.

Гидрологический этап представляет собой построение расчетных гидрографов половодий и паводков, принимаемых за исходные при проведении расчетов регулирующего влияния водохранилища. За расчётные принимаются гидрографы паводков 0,01 и 0,1% вероятности превышения.

Основные характеристики паводка, используемые при расчётах трансформации максимального расхода воды водохранилищем (по схематизированному гидрографу):

- максимальный расход $Q_{0,01\%} = 166,1 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{0,1\%} = 105,2 \text{ м}^3/\text{с}$;
- объём паводка $W_{0,01\%} = 19,1 (14,6) \text{ млн. м}^3$; $W_{0,1\%} = 12,1 (9,23) \text{ млн. м}^3$;
- продолжительность паводка $T = 3 \text{ сут.}$;
- продолжительность подъёма $t_1 = 0,5 \text{ сут. (12 ч)}$;
- продолжительность спада $t_2 = 2,5 \text{ сут.}$

В данных расчётах водохранилище характеризуется «батиграфическими кривыми», из которых устанавливается ёмкость форсировки (трансформации) расходов воды и глубина слоя форсировки:

$$V_{\text{ф}} = W_{\text{ФПУ}} - W_{\text{НПУ}} = 5,4 - 5,0 = 0,4 \text{ млн. м}^3;$$

$$h_{\text{ф}} = 228,1 - 227,2 = 0,9 \text{ м.}$$

Водохозяйственный расчёт водохранилища на пропуск максимальных расходов выполнен на основе уравнения баланса воды в водохранилище. В общем виде баланс воды в водохранилище за время dt может быть выражен следующим дифференциальным уравнением:

$$Qdt = Q_{\text{сб}}dt \pm \Omega dZ,$$

где Q – расчётный расход во входном створе водохранилища, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{сб}}$ – расход в створе водосбросного сооружения (сбросной расход); Ω – площадь водной поверхности водохранилища; Z – уровень воды в водохранилище, м.

При детальных балансовых расчётах применяли различные приёмы приближенного интегрирования. При этом весь период паводка разделили на конечные малые интервалы времени, в течение которых расходы притока и сброса можно считать изменяющимися линейно [6-7].

Уравнение с конечными интервалами времени примет вид:

$$\frac{Q_n + Q_k}{2} \Delta t - \frac{Q_{\text{сб},n} + Q_{\text{сб},k}}{2} \Delta t = \Delta W,$$

где ΔW – изменение объёма водохранилища; индексы n и k означают начало и конец расчётного интервала времени.

В уравнении неизвестны сбросной расход $Q_{\text{сб},k}$ и объём водохранилища W_k на конец интервала.

В начале первого расчётного интервала расходы притока и сброса равны нулю. В конце интервала приток определяют, как ординату гидрографа половодья (паводка) и вычисляют объём стока за интервал. Сбросной расход на конец интервала неизвестен; задаются отметкой уровня воды в водохранилище на конец интервала Z'_k и по графику пропускной способности водосброса находят в первом приближении сбросной расход. Решая уравнение баланса воды в водохранилище, находят его объём на конец интервала, и по батиграфической кривой $Z = f(W)$ устанавливают соответствующую отметку уровня воды $Z_{\text{уб}}$. Если $Z_{\text{уб}}$ и Z'_k не совпадают, то изменяется отметка Z'_k и расчёт повторяется. Конечный расход стока Q_k , сбросного расхода $Q_{\text{сб},k}$ и ёмкости W_k одного интервала являются начальными для последующего [8-10].

Расчеты пропуска паводка обеспеченностью $P = 0,01 \%$ для Балановского ГУ представлены в табл. 1 и $P=0,1\%$ в табл. 2. Гидрографы паводков и сбросов представлены на рисунках 1 – 2.

Таблица 1 – Расчет пропуска паводка 0,01% ВП в створе Балановского гидроузла существующими сооружениями (часть данных) $Z_{НПУ} = 227,20$ м; $Z_{ФПУ} = 228,1$ м; $h_{\phi} = 0,9$ м; $W_{НПУ} = 5,0$ млн. м³; $W_{ФПУ} = 5,4$ млн. м³; $V_{\phi} = 0,4$ млн. м³.

№ интервала	Δt , сут.	$\Sigma \Delta t$ нарастающим итогом	$Q_{Н}$, м ³ /с	$Q_{К}$, м ³ /с	Приток $\frac{Q_{Н} + Q_{К}}{2} \Delta t$, млн. м ³	Сброс $\frac{Q_{Сб.н} + Q_{Сб.к}}{2} \Delta t$, млн. м ³	$W_{Н}$	$W_{К}$	$Z_{УВ}$
							млн. м ³	млн. м ³	м БС
				0			5,0	5,0	227,20
0		0,05		0			5,0	5,0	227,20
1	0,1	0,15	0	29,9	0,129	0,129	5,0	5,0	227,20
2	0,1	0,25	29,9	98	0,553	0,40	5,0	5,15	227,60
3	0,1	0,35	98	144,5	1,05	0,77	5,15	5,43	228,10
4	0,1	0,45	144,5	164,4	1,33	1,08	5,43	5,68	228,70
5	0,05	0,5	164,4	166,1	0,71	0,60	5,68	5,79	229,00
6	0,05	0,55	166,1	164,4	0,71	0,60	5,79	5,90	229,20
7	0,1	0,65	164,4	154,5	1,38	1,21	5,90	6,07	229,90
8	0,1	0,75	154,5	139,5	1,27	1,21	6,07	6,13	230,00
9	0,1	0,85	139,5	122,9	1,13	1,17	6,13	6,09	230,00
10	0,1	0,95	122,9	106,3	0,99	1,04	6,09	6,04	230,00
11	0,15	1,1	106,3	83,1	1,23	1,44	6,04	5,83	229,20
12	0,2	1,3	83,1	58,1	1,22	1,92	5,83	5,13	227,50
13	0,2	1,5	58,1	39,9	0,85	1,74	5,83	5,0	227,20
14	0,5	2	39,9	15,3	1,19	1,19	5,0	5,0	227,20
15	1	3	15,3	1,99	0,75	0,75	5,0	5,0	227,20
16	1	4	1,99	0,33	0,10	0,10	5,0	5,0	227,20
17	1	5	0,33	0	0,01	0,01	5,0	5,0	227,20

Таблица 2 – Расчет пропуска паводка 0,1% ВП в створе Балановского гидроузла существующими сооружениями (часть данных) $Z_{НПУ} = 227,20$ м; $Z_{ФПУ} = 228,1$ м; $h_{\phi} = 0,9$ м; $W_{НПУ} = 5,0$ млн. м³; $W_{ФПУ} = 5,4$ млн. м³; $V_{\phi} = 0,4$ млн. м³

№ интервала	Δt , сут.	$\Sigma \Delta t$ нарастающим итогом	Приток $\frac{Q_{Н} + Q_{К}}{2} \Delta t$, млн. м ³	$Q_{Сб.Н}$, м ³ /с	$Q_{Сб.К}$, м ³ /с	Сброс $\frac{Q_{Сб.н} + Q_{Сб.к}}{2} \Delta t$, млн. м ³	Водохранилище		
							$W_{Н}$, млн. м ³	$W_{К}$, млн. м ³	$Z_{УВ}$, м БС
							5,0	5,0	227,20
0		0,05					5,0	5,0	227,20
1	0,1	0,15	0,08	0	5	0,02	5,0	5,06	227,21
2	0,1	0,25	0,35	5	50	0,24	5,06	5,17	227,50
3	0,1	0,35	0,66	50	80	0,56	5,17	5,27	227,80
4	0,1	0,45	0,84	80	90	0,73	5,27	5,38	227,95
5	0,05	0,5	0,45	90	111	0,43	5,38	5,40	228,10
6	0,05	0,55	0,45	111	111	0,45	5,40	5,40	228,10
7	0,1	0,65	0,87	111	111	0,96	5,40	5,31	227,90
8	0,1	0,75	0,80	111	85	0,84	5,31	5,27	227,80
9	0,1	0,85	0,72	85	80	0,71	5,27	5,26	227,75
10	0,1	0,95	0,63	80	70	0,62	5,26	5,25	227,60
11	0,15	1,1	0,78	70	50	0,76	5,25	5,23	227,50
12	0,2	1,3	0,77	50	40	0,75	5,23	5,21	227,40
13	0,2	1,5	0,54	40	25	0,51	5,21	5,18	227,30
14	0,5	2	0,75	25	15	0,65	5,18	5,08	227,25
15	1	3	0,47	15	5	0,40	5,08	5,01	227,20
16	1	4	0,06	5	0,5	0,05	5,01	5,00	227,20
17	1	5	0,01	0,5	0	0,01	5,00	5,00	227,20

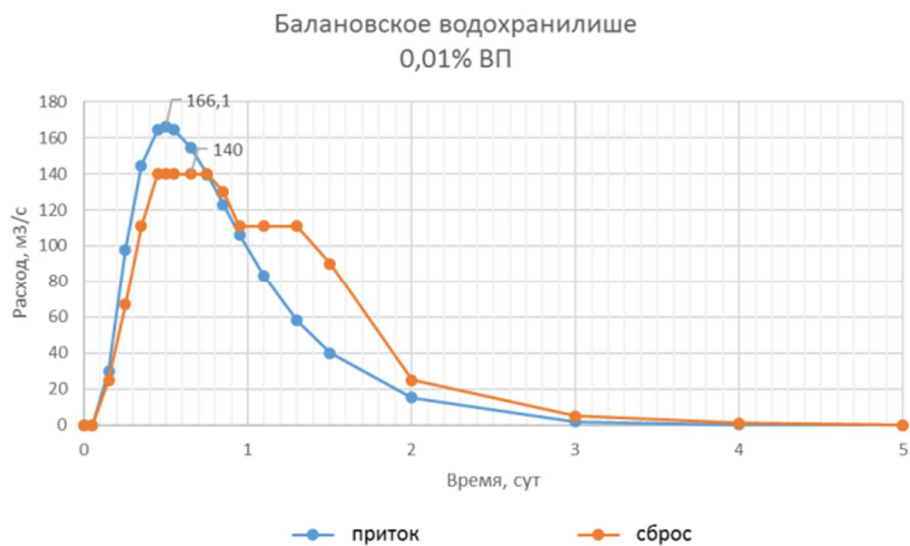


Рисунок 1 - Гидрографы притока и сброса паводка 0,01% ВП

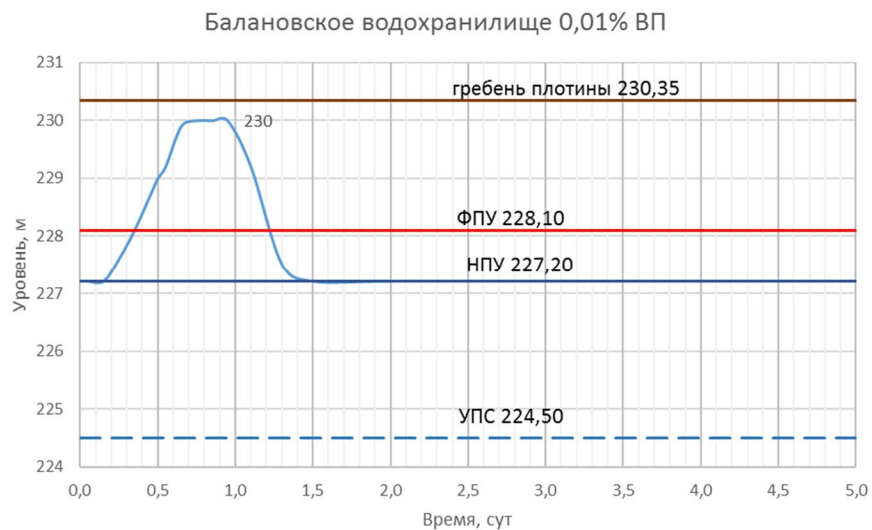


Рисунок 2 - Динамика уровней воды в водохранилище при пропуске паводка 0,01% ВП

Пропуск паводка 0,1% ВП рассчитан в табл. 2. Результаты представлены на рис. 3 – 4.

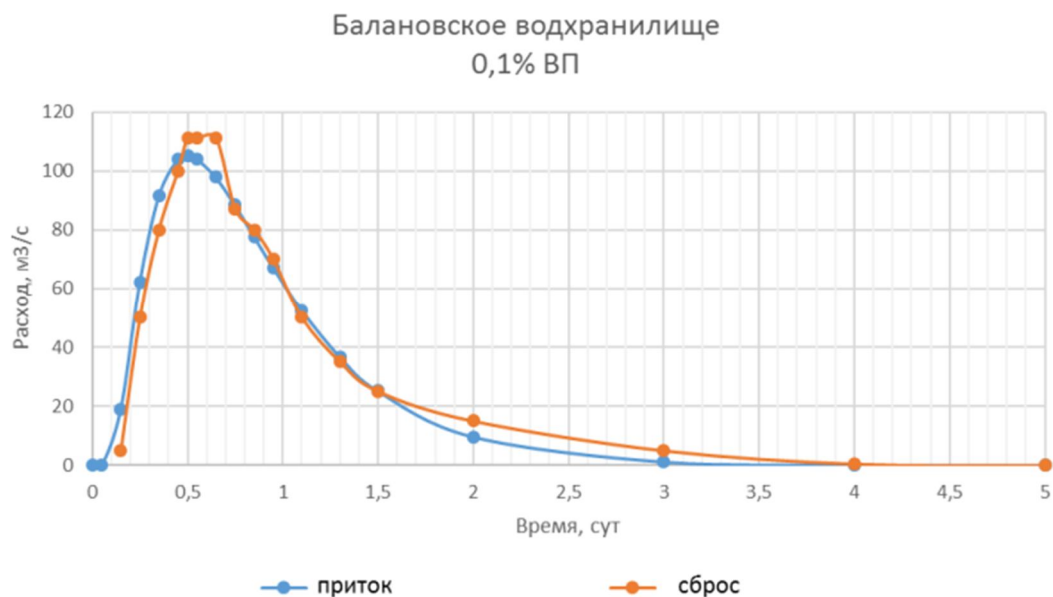


Рисунок 3 - Гидрографы притока и сброса паводка 0,1% ВП

Так как гидроузел II класса, то поверочный максимальный расход, согласно СП – 0,1% ВП. Это совсем не означает, что паводок 0,01% ВП не может случиться на Балановском гидроузле. Поэтому нами выполнена оценка пропуска такого паводка существующими сооружениями гидроузла в их современном состоянии. Результат показал, что такой паводок не может быть пропущен без глубокой предпаводковой сработки уровня (до отметки 224,50) [13-14].

Пропуск паводка 0,1% ВП не требует предпаводковой сработки уровня, но следует выполнить оценку пропускной способности водосброса при некотором превышении уровня ФПУ.

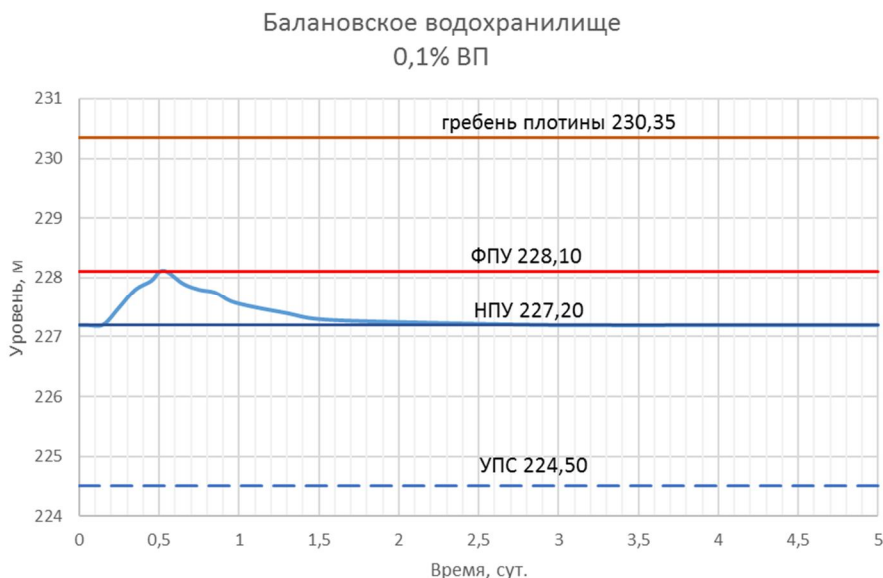


Рисунок 4 - Динамика уровней воды в водохранилище при пропуске паводка 0,1% ВП

Выводы. Результаты расчётов показали, что паводок 0,01% ВП не может быть пропущен существующими водосбросными сооружениями при наполненном водохранилище до отметки НПУ, чтобы его пропустить необходима глубокая предпаводковая сработка водохранилища до отметки 224,50 м БС.

Пропуск паводка 0,1% ВП гидроузлом возможен без предпаводковой сработки уровня.

Необходимо организовать непрерывные наблюдения в режиме реального времени за гидрологическими, гидрогеологическими, метеорологическими параметрами на сети автоматических станций. Создаваемая сеть будет наиболее полно характеризовать всю гидрологическую и метеорологическую обстановку в бассейне и на различных его участках, а также обеспечивать информацией комплекс математических моделей для гидродинамического моделирования поверхностного стока и руслового добега расходов к промежуточным створам, оценивать риски опасных гидрологических явлений на различных участках бассейна с достаточной заблаговременностью.

Список использованных источников

1. Паводки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://kimmeria.com/crimea_placenames/repository/carefully_mountains_24.htm (10.10.2019).
2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Книга 1. Общая характеристика речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым. 2017. – 175 с.
3. Овчарук В.А., Прокофьев О.М., Е.И. Тодорова Особенности формирования паводков теплого периода на реках Горного Крыма. Вісник Харківського національного університету, № 1157. С. 99-106.
4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 2. Вып. 3. Бассейны Северского Донца, рек Крыма и Приазовья. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 362 с.
5. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма: монография / Тимченко З.В. – Смферополь: ИТ «АРИАЛ», 2012. – 290 с.
6. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Издание официальное. – М.: Росстрой России, 2004. – 73 с.
7. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Балановского водохранилища. Утв. 05.05.2016 Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору / ГБУ РК «Крымелиоводхоз», Симферополь, 2016.

8. Проект мониторинга безопасности гидротехнических сооружений гидроузла Балановского водохранилища / Белогорский филиал ГБУ РК «Крыммелиоводхоз». – г. Белогорск, 2016.
9. Паспорт гидропоста № 3 / Балановской участок орос. сист. – Симферополь, 2017 (рукопись)
10. Овчарук В.А., Тодорова Е.И. Статистические параметры максимальных расходов воды и слоёв паводочного стока для рек горного Крыма / Одесский государственный экологический университет. – Одесса, 2014.
11. Ляпичев, П. А. Методика регулирования стока и водохозяйственных расчетов. – М.: Стройиздат, 1972.
12. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – Спб, 2009. – 193 с.
13. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ: по состоянию на 27 июля 2010 г. // Гарант Эксперт 2012 [Электронный ресурс]. – ООО НПП «Гарант-Сервис», 2012.
14. СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения».
15. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ (утв. Приказом Минприроды России 26.01. 2011, № 17).