



Научная статья  
УДК 627.8.04  
doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_27

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НИЖНЕЙ КУБАНИ

**В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, И.А. Приходько, Д.А. Александров**

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,  
Краснодар, Россия

**Аннотация.** Главной рекой Северного Кавказа бесспорно является река Кубань, которая практически полностью обеспечивает потребность в воде 4 региона России: Карачаево-Черкессию, Ставропольский край, Краснодарский край и Республику Адыгею. Протяженность р. Кубань составляет почти 900 км, из которых 660 км протекает по Краснодарскому краю. С 1930-х годов в Краснодарском крае и Республике Адыгея начинают создавать водохозяйственный комплекс, во главе которого строится Краснодарское водохранилище. Водохозяйственный комплекс Нижней Кубани включает 3 основных системы: Азовскую оросительную систему, площадью 7,1 тыс. га, строительство которой завершилось в 1979 г.; Темрюкскую правобережную оросительную систему, площадью 6,3 тыс. га, строительство которой завершилось в 1970 г.; Темрюкскую левобережную оросительную систему, площадью 6,2 тыс. га, строительство которой завершилось в 1969 г. За более чем 50-летний период эксплуатации и использования водных ресурсов для целей гидроэнергетики, водоснабжения, орошения, промышленности, рыбного хозяйства, жилищно-коммунального и сельского хозяйства в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани образовался ряд проблем, связанных с изменением режима стока реки, что в конечном итоге привело к серьезным гидрологическим проблемам. В связи с вышеизложенным и беря во внимание высокий уровень сейсмичности Краснодарского края возникает необходимость мониторинга инженерной защиты от паводков с учетом возрастающих нагрузок на них. В связи с этим в статье выполнено имитационное моделирование при сбросе из Краснодарского водохранилища проектного расхода  $Q=1500 \text{ м}^3/\text{с}$  в условиях неработающего Шапсугского водохранилища. Установлены уровни кривой свободной поверхности р. Кубань и Протока. Получены отметки превышения уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Кубань и Протока. По результатам имитационного моделирования выявлены неблагоприятные явления на участках рек и даны рекомендации для повышения эффективности работы водохозяйственного комплекса Нижней Кубани.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, кривая свободной поверхности, режим стока реки, мониторинг, водохозяйственный комплекс

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

Original article

## WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THE WATER MANAGEMENT COMPLEX OF THE LOWER KUBAN

**V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, D.A. Alexandrov**

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

**Abstract.** The main river of the North Caucasus is undoubtedly the Kuban River, which almost completely meets the water needs of four regions of Russia: Karachay-Cherkessia, Stavropol and Krasnodar territories and the Republic of Adygea. The length of the river The Kuban is almost 900 km long, of which 660 km flows through the Krasnodar territory. Since the 30s of the last century, in the Krasnodar territory and the Republic of Adygea, they began to create a water management complex, at the head of which the Krasnodar reservoir is being built. The water management complex of the Lower Kuban includes three main systems: the Azov irrigation system, with an area of 7.1 thousand hectares, the construction of which was completed in 1979, the Temryuk right-bank irrigation system, with an area of 6.3 thousand hectares, the construction of which was completed in 1970, the Temryuk left-bank irrigation system, with an area of 6.2 thousand hectares, the construction of which was completed in 1969. For more than 50 years of operation and use of water resources for the purposes of hydropower, water supply, irrigation, industry, fisheries, housing and communal and agriculture in the water management complex of the Lower Kuban, a number of problems have arisen associated with a change in the flow regime of the river, which ultimately led to serious hydrological problems. In connection with the foregoing and taking into account the high level of seismicity in the Krasnodar territory, it becomes necessary to monitor engineering protection against floods, taking into account the increasing loads on them. In this regard, the article simulated the discharge of the design flow  $Q=1500 \text{ m}^3/\text{s}$  from the Krasnodar reservoir under the conditions of the idle Shapsug reservoir. The levels of the curve of the free surface of the river are established Kuban and Protoka. Marks of excess of the water level above the crest of the dam (shore) along the r. Kuban and Protoka. Based on the results of simulation modeling, unfavorable phenomena were identified in the sections of the rivers and recommendations were given to improve the efficiency of the water management complex of the Lower Kuban.

**Keywords:** simulation modeling, free surface curve, river flow regime, monitoring, water management complex

**Acknowledgments:** the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation and the Kuban Science Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 22-17-20001.

**Введение.** В настоящей работе под Нижней Кубанью подразумевается р. Кубань (с дельтовым рукавом Протока) между створом плотины Краснодарского водохранилища и Темрюкским заливом Азовского моря [1].

Ландшафт современной дельты р. Кубань располагается по обоим бортам одноименной реки, простираясь в северном направлении до Кирпильского лимана. На западе и востоке он граничит с ландшафтом Азовской аккумулятивной аллювиально-морской слабонаклонной равниной (устье р. Протока) и ландшафтом Азово-Кубанской возвышенности аккумулятивно-

эрозионной пологоволнистой равнины, а на юге его условной границей являются р. Адагум и Сухой Аушедз, Варнавинское, Крюковское и Шапсугское водохранилища. Характерной сельскохозяйственной особенностью ландшафта является развитие на его площади рисосеяния: практически вся территория — сплошные рисовые чеки, ограниченные оросительными каналами [2, 3].

Пойма р. Кубань имеет два уступа: низкий — 0,7-0,8 м и высокий — 1,5-3,0 м. Эти уступы хорошо прослеживаются на всем протяжении от г. Краснодар до станции Марьянская, ниже

которой они переходят в пространство заболоченных плавней дельты р. Кубань [4, 5].

Низкая пойма обычно развита на выпуклых сторонах излучин реки в виде отмелей или намытых островков. Вторая и третья надпойменные террасы имеют сравнительно малое распространение в пределах исследованной площади. На второй террасе расположен г. Краснодар, станции Елизаветинская и Марьянская [6].

Территория Нижней Кубани и прилегающая акватория Азовского моря характеризуются умеренно-континентальным, мягким климатом, с короткой зимой и продолжительным жарким летом [7].

Распределение среднего годового количества осадков в бассейне Нижней Кубани увеличивается с запада на восток от 416-459 мм (г. Темрюк) до 587-623 мм (г. Краснодар).

Нынешняя дельта Кубани не похожа на ту, которая существовала во времена Страбона (64-24 гг. до н.э.) и Геродота (484-425 гг. до н.э.), упоминающих эти места в своих работах (рис. 1).

В XIX столетии половина стока Кубани шла через Бугазский рукав в Кизилташский лиман и далее в Черное море; в то время р. Кубань впадала в два моря — Азовское и Черное. В настоящее время р. Кубань принадлежит бассейну Азовского моря [8]. Питание смешанное: на долю дождевого приходится 38% годового стока, грунтового — 36%, ледниково-снегового — 26%.

**Материал и методика исследований.** Первые наблюдения за уровнем воды р. Кубань были организованы в 1881 г. у г. Краснодар и продолжались около года. Регулярные наблюдения за уровнем воды начаты в 1903 г. у г. Краснодар

и продолжают до настоящего времени. Период 1903-1948 гг. считается периодом естественного режима реки. В период 1949-1966 гг. вводятся в эксплуатацию Невиномысский канал, Тишкское и Шапсугское водохранилища; с 1967 по 1972 гг. — ввод в эксплуатацию Большого Ставропольского канала и Федоровского гидроузла, Варнавинского и Крюковского водохранилищ. С 1975 г. и по настоящее время — период регулирования стока Краснодарским водохранилищем [9, 10].

В пределах дельты на территории бывших Приазовских плавней построены рисовые оросительные системы: ПАОС, Темрюкская правобережная, Азовская и Черноерковская. Федоровский гидроузел (1967 г.) обеспечивает командование горизонтов в магистральные каналы Кубанской, Федоровской, Марьяно-Чембургольской и Понуро-Калининской систем. Общая площадь мелиоративных систем — около 80 тыс. га [11, 12].

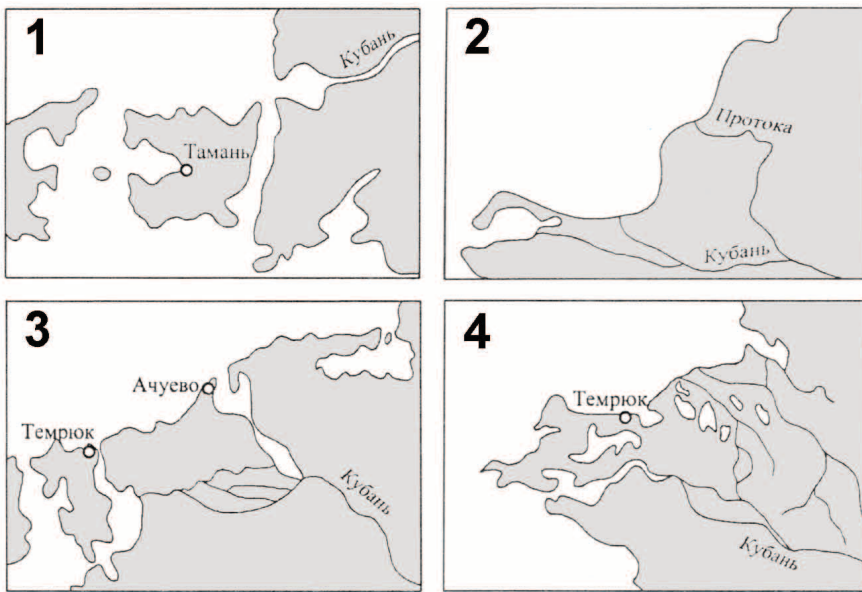


Рисунок 1. Исторические схемы развития дельты р. Кубань: 1 — около 2000 лет назад; 2 — около 1000 лет назад; 3 — на 1775 г.; 4 — современный вид  
Figure 1. Historical patterns of development of the delta of the river Kuban: 1 — about 2000 years ago; 2 — about 1000 years ago; 3 — for 1775; 4 — modern look



Рисунок 2. Космоснимок наиболее значимых гидротехнических сооружений Нижней Кубани  
Figure 2. Satellite image of the most significant hydraulic structures in the Lower Kuban

Таблица 1. Уровни кривой свободной поверхности р. Кубань  
Table 1. Levels of the curve of the free surface of the river Kuban

Наименование сооружений на р. Кубань	№ створа	Расстояние от створа Краснодарского гидроузла, км	Участок на расчетной схеме по р. Кубань	Расчетные расходы по участкам, м <sup>3</sup> /с	Уровни воды в створах, м			
КГУ	1	0	I-II	1500	21.69			
	2	1.5			21.56			
	8	10.3			20.90			
	11	15.3			20.49			
	12	22.3			19.92			
	15	29			19.50			
	18	31.1			19.41			
	19	40			18.80			
	20	45.5			18.42			
	23	49.3			18.28			
Шапсугское водохранилище	26	51.4	II-III	1860	18.15			
	28	55.6			17.84			
	29	59.2			17.56			
	31	70.8			16.50			
	33	74.4			16.04			
	36	88.8			14.28			
	39	92.4			13.77			
	41	93.5			13.57			
	47	93.7			13.21			
	49	93.9			13.50			
ФГУ	51	96.7	III-IV	1860	13.36			
		106.43			12.80			
	61	116.16			11.98			
	63	122.15			11.38			
	65	124.35			11.16			
		126.15			11.13			
		126.4			11.07			
	66	126.82			11.08			
	ТГУ				127.02	IV-V	1042	11.02
					129.4			11.03
Водо-забор ПАОС		68	130.15	V-VI	1042			11.04
		70	134.85					10.81
		73	139.45					10.36
		77	145.65					9.98
			151.35					9.88
		155.1	9.77					
		160.95	9.41					
		166.05	9.11					
	168.75	8.96						
	181.75	8.34						
Водо-забор ККОС		190.3	VI-VII	1042	7.81			
	103	194.75			7.76			
	104	196.35			7.74			
Варнавинский сбросной канал	113	211.35	VII-VIII	1382	6.51			
	114	212.65			6.43			
	115	214.65			6.19			
	119	220.75			5.57			
	121	225.25			5.28			
	124	230.15			4.81			
	127	234.45			3.95			
131	242.05	1.56						
устье	24				-0.32			





Рисунок 3. Схема расположения ГТС на Нижней Кубани  
Figure 3. Layout of the GTS in the Lower Kuban



Рисунок 4. Схема наблюдательной сети за водопользователями поверхностных водных ресурсов Нижней Кубани  
Figure 4. Scheme of the observation network for water users of surface water resources in the Lower Kuban

Таблица 2. Уровни кривой свободной поверхности р. Протока  
Table 2. Levels of the curve of the free surface of the river Protoka

№ створа	Расстояние от створа, ниже Тиховского гидроузла, км	Участок на расчетной схеме по р. Протока	Расчетные расходы по участкам, м <sup>3</sup> /с	Уровни воды в створах, м
1	0			10.13
3	3.6			9.90
4	6.4			9.71
5	8.3			9.62
8	12.7			9.35
9	14.6	IV-IX	818	9.29
10	16.1			9.21
11	17.5			9.15
14	23.7			8.90
16	28			8.78
17	29.6			8.68
19	32.9			8.47
20	34.3			8.41
22	38.5	IX-X	818	8.06
25	43.3			7.72
27	47.6			7.47
28	49.5			7.34
31	54.8			6.98
34	59.8			6.76
37	64.7	X-XI	818	6.56
38	66.6			6.50
39	68.4			6.45
40	69.5			6.40
42	73.1			6.20
43	74.8			6.10
45	78.6			5.86
47	82.7			5.60
48	84.9			5.48
49	87			5.36
50	88.7			5.27
52	91.9			5.13
53	93.5			5.05
54	95.6			4.81
55	97.9			4.65
56	99.9			4.55
58	103.4			4.39
59	105.5			4.26
60	107.5			4.15
61	109.5			3.96
64	115.8			3.26
65	118.2			2.99
66	119.5			2.88
67	121.2			2.68
68	123.1			2.50
69	125.2			2.25
70	126.9			2.02
71	128.9			1.66
72	129.9			1.34
устье	132.3			-0.32



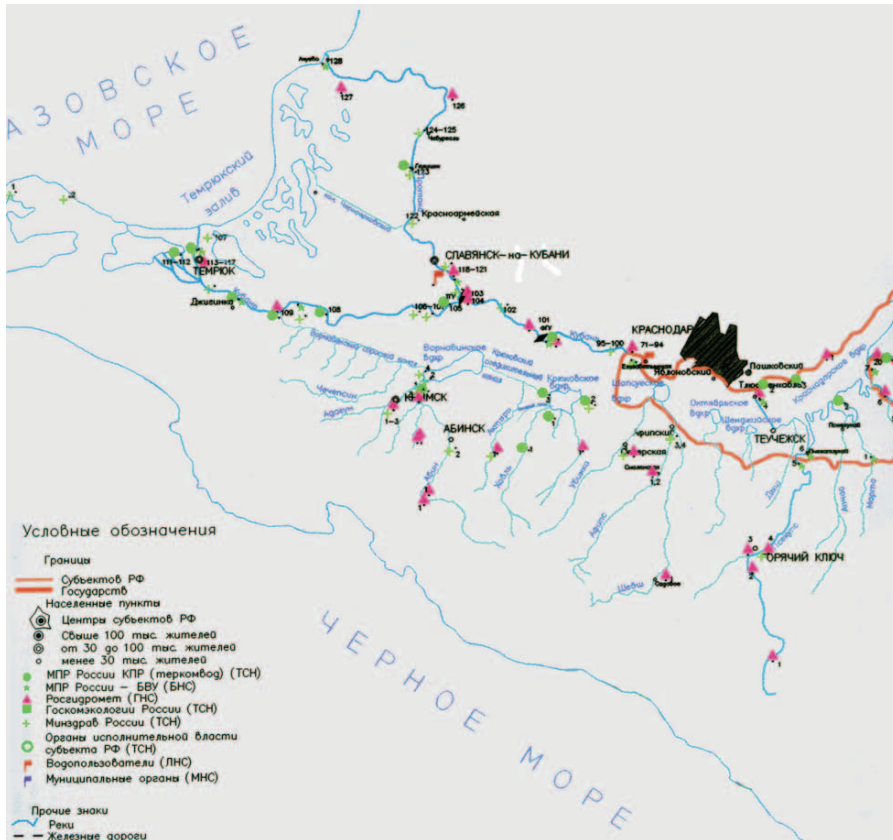


Рисунок 5. Схема действующей наблюдательной сети за состоянием поверхностных водных объектов Нижней Кубани

Figure 5. Scheme of the current observation network for the state of surface water bodies in the Lower Kuban

Для перераспределения стока между р. Кубань и рукавом Протока предназначен недавно построенный Тиховский гидроузел.

Основные гидротехнические сооружения, а также наблюдательные сети за состоянием поверхностных водных ресурсов Нижней Кубани показаны на рисунках 2-5 [13, 14].

Эффективность инженерной защиты от паводков во многом зависит от технического состояния противопаводковой системы Нижней Кубани. Имитационное математическое моделирование позволяет определить те участки системы, которые требуют первоочередного вложения средств [15, 16].

**Результаты и их обсуждение.** Имитационное моделирование при сбросе из Краснодарского водохранилища проектного расхода  $Q=1500 \text{ м}^3/\text{с}$  в условиях неработающего Шапсугского водохранилища показали [17, 18] уровни кривой свободной поверхности для р. Кубань и Протока (табл. 1, 2).

Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) для р. Кубань и Протока показаны в таблицах 3, 4.

Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Кубань и Протока в условиях неработающего Шапсугского водохранилища в графическом виде показаны на рисунках 6 и 7 [19, 20].

**Выводы.** Вывод из эксплуатации в 2002 г. Шапсугского водохранилища (1952 г.) существенно снизил надежность противопаводковой системы Нижней Кубани.

Результаты имитационного моделирования показывают, что в условиях неработающего Шапсугского водохранилища недопустимы летние расходы через Краснодарский гидроузел  $1500 \text{ м}^3/\text{с}$  с водозабором  $230 \text{ м}^3/\text{с}$  в створе Федо-

ровского гидроузла. На устьевую часть р. Кубань существенное влияние оказывают сбросы паводковых вод левобережных рек, которые трансформируются в Крюковском и Варнавинском водохранилищах и поступают по Варнавинскому сбросу, что требует перераспределения паводковых расходов р. Кубань в створе Тиховского гидроузла с увеличением подачи в р. Протока.

Из результатов имитационного моделирования следует, что в условиях неработающего Шапсугского водохранилища заторные явления наиболее опасны для двух расчетных участков — от Шапсугского водохранилища до Федоровского гидроузла и от Федоровского гидроузла до Тиховского гидроузла.

Наиболее опасными являются зимние паводки Закубанских рек, регулируемые Шапсугским водохранилищем. Необходима его срочная реконструкция с увеличенной противопаводочной емкостью. При наличии заторов в зимне-весенний период уровень воды на 10-80 см выше, чем у паводков тех же значений без влияния заторов.

Расчеты на ветровой нагон со стороны Азовского моря показывают, что он существенно влияет как на уровни, так и на расходы в р. Кубань и Протока. Чем меньше расходы по р. Кубань, тем больше влияние ветрового нагона.

Критериальные значения диагностических показателей дамб обвалования Нижней Кубани количественно различны до, в период и после прохождения паводка. Устойчивость верхового и низового откосов дамб обвалования существенно снижается с учетом роста сейсмичности (с 6 до 8 баллов). Результаты имитационного моделирования длительно эксплуатирующихся дамб обвалования р. Кубань и Протока, а также дамб Варнавинского, Крюковского, Шапсугского

Таблица 3. Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Кубань  
Table 3. The excess of the water level above the crest of the dam (bank) along the river Kuban

№ створа	Минимальная отметка дамбы (берега), м	Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега), м
1	24.84	-3.15
2	24.28	-2.72
8	23.82	-2.92
11	21.87	-1.38
12	19.47	0.45
15	20.93	-1.43
18	20.43	-1.02
19	19.74	-0.94
20	19.94	-1.52
23	18.93	-0.65
26	18.58	-0.43
28	17.92	-0.08
29	15.13	2.43
31	16.7	-0.2
33	16.97	-0.93
36	15.23	-0.95
39	14.13	-0.36
41	15	-1.43
47	15.5	-2.29
49	15	-1.5
51	14.32	-0.96
61	12.38	-0.4
63	11.39	-0.01
65	12.02	-0.86
	11	0.13
	11	0.07
66	15	-3.98
	11	0.03
68	11.36	-0.32
70	10.61	0.2
73	10.28	0.08
77	8.66	1.32
	9	0.88
82	8.46	1.31
85	8	1.41
87	7.92	1.19
88	7.33	1.63
103	5.58	2.18
104	5.6	2.14
113	3.61	2.9
114	3.69	2.74
115	3.71	2.48
119	3.15	2.42
121	2.66	2.62
124	2.37	2.44
127	6.8	-2.85
131	0.21	1.35
устье	0.21	-0.53

водохранилищ, дамб обвалования р. Псекупс свидетельствуют, что в достаточно большом количестве створов в период прохождения паводка их устойчивость не обеспечена. Положение усугубляется тем, что вдоль дамб обвалования в целом ряде случаев не работают дренажи.

На основании имитационного математического моделирования и экспериментальных исследований в натурных условиях установлены эмпирические зависимости профилеформирующих параметров гибких дамб для монтажного случая, отвечающие условиям устойчивой работы сооружений на сдвиг и опрокидывание от внешних воздействий.



Таблица 4. Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Протока  
Table 4. The excess of water level above the crest of the dam (bank) along the river Protoka

№ створа	Минимальная отметка дамбы (берега), м	Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега), м
1	10.86	-0.73
3	10.88	-0.98
4	10.53	-0.82
5	10.19	-0.57
8	10.25	-0.9
9	9.82	-0.53
10	10.09	-0.88
11	9.79	-0.64
14	9.55	-0.65
16	9.39	-0.61
17	9.17	-0.49
19	8.84	-0.37
20	9.01	-0.6
22	8.13	-0.07
25	7.78	-0.06
27	7.61	-0.14
28	7.38	-0.04
31	7.38	-0.4
34	6.57	0.19
37	6.42	0.14
38	6.2	0.3
39	6.47	-0.02
40	5.74	0.66
42	5.77	0.43
43	5.57	0.53
45	5.3	0.56
47	4.62	0.98
48	4.86	0.62
49	4.57	0.79
50	4.82	0.45
52	4.04	1.09
53	4.4	0.65
54	3.05	1.76
55	2.7	1.95
56	2.58	1.97
58	2.19	2.2
59	2.94	1.32
60	3.28	0.87
61	1.89	2.07
64	1.36	1.9
65	1.2	1.79
66	1.01	1.87
67	0.99	1.69
68	0.82	1.68
69	0.64	1.61
70	0.39	1.63
71	0.15	1.51
72	0.54	0.8
устье	0.54	-0.86

Достоверность сделанных выводов и обоснованность рекомендаций обусловлены использованием современных лабораторных и натурных методик исследования дамб с использованием метрологически аттестованного оборудования, методов математического моделирования со статистической оценкой полученных результатов, сравнением полученных результатов численного эксперимента с натурными данными и сопоставлением полученных данных с результатами других авторов.

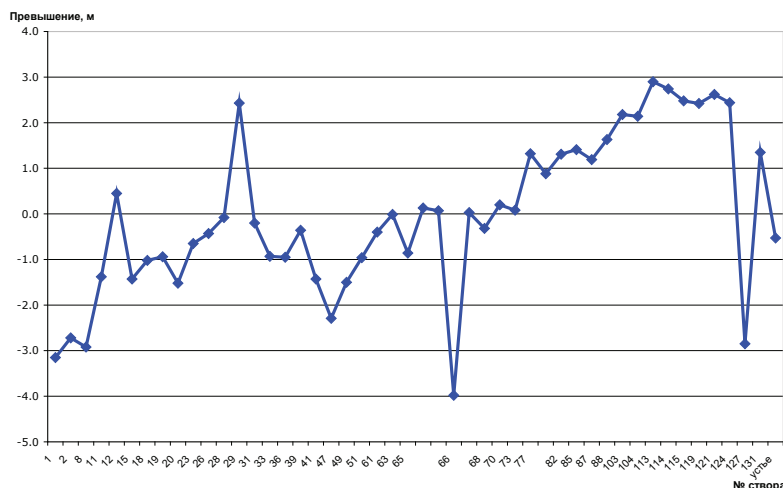


Рисунок 6. Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Кубань в условиях неработающего Шапсугского водохранилища  
Figure 6. Exceeding the water level above the crest of the dam (bank) along the river Kuban in the conditions of a non-working Shapsug reservoir

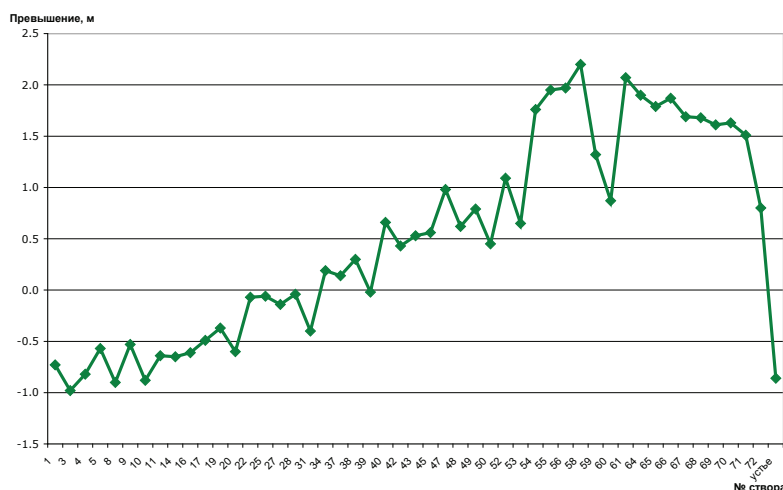


Рисунок 7. Превышение уровня воды над гребнем дамбы (берега) по р. Протока в условиях неработающего Шапсугского водохранилища  
Figure 7. Exceeding the water level above the crest of the dam (bank) along the river Protoka in the conditions of a non-working Shapsug reservoir

**Список источников**

1. Дубенок Н.Н., Бенин Д.М., Мочунова Н.А. Роль Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова в становлении и развитии мелиорации страны // Природообустройство. 2020. № 5. С. 6-17.
2. Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е., Приходько И.А. Способ подготовки почвы к посеву риса в паровом поле рисового севооборота // Патент № 2457650 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/02, А01G 16/00. № 2010153809/13: заявл. 27.12.2010; опубл. 10.08.2012; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.
3. Юрченко И.Ф. Информационные технологии и организации информационных ресурсов управления агроэкосистемами: прошлое, настоящее, будущее // Modern Science. 2019. № 12-2. С. 13-16.
4. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeev, A.E. (2020). Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202021005014
5. Чеботарев М.И., Приходько И.А. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса // Патент № 2482663 С2 Российская Федерация, МПК А01G 16/00.: № 2011123829/13: заявл. 10.06.2011; опубл. 27.05.2013; заявитель Федеральное государственное об-

- разовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.
6. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010
7. Юрченко И.Ф. Технологии прецизионного управления мелиоративно-водохозяйственного комплекса // В сборнике: Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сборник научных трудов. М., 2020. С. 222-233.
8. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. Journal of Agriculture and Environment, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15
9. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Кузнецова Н.В., Родин К.А. Водопотребление риса и удельные затраты на формирование урожая зерна при разных способах полива // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 108-117.
10. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Родин К.А., Кузнецова Н.В. Менее водозатратная и экологически предпочтительная технология орошения риса периодическими поливами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 49-55.







11. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*, vol. 931, pp. 214-218.

12. Юрченко И.Ф. Планово-предупредительные мероприятия повышения надежности мелиоративных объектов // Природообустройство. 2017. № 1. С. 73-79.

13. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.

14. Солoduнов А.А., Бандурин М.А. Вопросы безопасной эксплуатации внутрихозяйственной сети рисовых оросительных систем // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции / отв. за выпуск А.Г. Кошарев. 2019. С. 492-493.

15. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Необходимость многофакторной диагностики Донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 346-354.

16. Дьяченко В.Б., Бандурин М.А. Мониторинг длительно эксплуатируемых мелиоративных систем с помощью неразрушающих методов диагностики // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 21. С. 169-171.

17. Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф. Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. № 1. С. 12-15.

18. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the anthropogenic impact of natural risks on small rivers in the south of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 — Chapter 3*, p. 042037.

19. Bandurin, M.A., Yurchenko, I.F., Bandurina, I.P. (2019). Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019*, p. 8933970.

20. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.

## References

1. Dubenok, N.N., Benin, D.M., Mochunova, N.A. (2020). Rol' Instituta melioratsii, vodnogo khoziaistva i stroitel'stva imeni A.N. Kostyakova v stanovlenii i razvitiu melioratsii strany [The role of the Institute of Land Reclamation and Water Resources and Construction named after A.N. Kostyakova in the formation and development of land reclamation of the country]. *Prirodobuстройство* [Environmental engineering], no. 5, pp. 6-17.

2. Kuznetsov, E.V., Khadzidi, A.E., Prikhod'ko, I.A. (2012). *Sposob podgotovki pochvy k posevu risa v parovom pole risovogo sevooborota* [Method of soil preparation for sowing rice in a fallow field of rice crop rotation]. Applicant and patentee Kuban GAU. No. 2010153809/13; app. 12/27/2010; publ. 10.08.2012, 6 p.

3. Yurchenko, I.F. (2019). Informatsionnye tekhnologii i organizatsiya informatsionnykh resursov upravleniya agroekosistemami: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Information technology and organization of information resources for agroecosystem management: past, present, future]. *Modern Science*, no. 12-2, pp. 13-16.

4. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeyev, A.E. (2020). *Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems*. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2 020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202021005014

5. Chebotarev, M.I., Prikhod'ko, I.A. (2013). *Sposob melioratsii pochvy risovoi orositel'noi sistemy k posevu risa* [The method of soil reclamation of the rice irrigation system for sowing rice]. Applicant and patentee Kuban GAU. No. 2011123829/13; app. 06/10/2011; publ. 05.27.2013, 6 p.

6. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). *Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region*. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010

7. Yurchenko, I.F. (2020). Tekhnologii pretsizionnogo upravleniya meliorativnym rezhimom agroekosistem [Technologies for precision management of the reclamation regime of agroecosystems]. V *sbornike: Nauchno-metodicheskoe obespechenie razvitiya meliorativno-vodokhoziaistvennogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov* [In the collection: Scientific and methodological support for the development of a reclamation and water management complex. Collection of scientific papers]. Moscow, pp. 222-233.

8. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. *Journal of Agriculture and Environment*, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15

9. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Kuznetsova, N.V., Rodin, K.A. (2018). Vodopotrebleniye risa i udel'nye zatraty na formirovaniye urozhaya zerna pri raznykh sposobakh poliva [Rice water consumption and unit costs for grain yield formation with different irrigation methods]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: Science and higher vocational education], no. 1 (49), pp. 108-117.

10. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Rodin, K.A., Kuznetsova, N.V. (2019). Menee vodozatravnaya i ehkologicheski predpochtitel'naya tekhnologiya orosheniya risa periodicheskimi polivami [Less water-intensive and environmentally preferable technology for irrigating rice with periodic irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: Science and higher vocational education], no. 2 (54), pp. 49-55.

11. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). Technology for water economy monitoring of technical state

of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*, vol. 931, pp. 214-218.

12. Yurchenko, I.F. (2017). Planovo-predupreditel'nye meropriyatiya povysheniya nadezhnosti meliorativnykh ob'ektov [Scheduled preventive measures to improve the reliability of land reclamation facilities]. *Prirodobuстройство* [Environmental engineering], no. 1, pp. 73-79.

13. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.

14. Solodunov, A.A., Bandurin, M.A. (2019). Voprosy bezopasnoi ehkspluatatsii vnutrikhoziaistvennoi seti risovykh orositel'nykh sistem [Issues of safe operation of the on-farm network of rice irrigation systems]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik tezisov po materialam Vserossiiskoi (natsional'noi) konferentsii* [Scientific support of the agro-industrial complex. Collection of abstracts based on the materials of the All-Russian (national) conference], pp. 492-493.

15. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A. (2017). Neobkhodimost' mnogofaktornoi diagnostiki Donskoi shlyuzovannoi sistemy v usloviyakh rosta defitsita vodnykh resursov i bezopasnosti sooruzhenii [The need for multifactorial diagnostics of the Donskoy sluice system in the conditions of growing water resources deficit and the safety of facilities]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, vol. 9, no. 2, pp. 346-354.

16. D'yachenko, V.B., Bandurin, M.A. (2009). Monitoring dlitel'no ehkspluatiruemyykh meliorativnykh sistem s pomoshch'yu nerazrushayushchikh metodov diagnostiki [Monitoring of long-term operated reclamation systems using non-destructive diagnostic methods]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], no. 21, pp. 169-171.

17. Karpenko, N.P., Yurchenko, I.F. (2015). Teoreticheskoe обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса [Theoretical substantiation of the structure of the classifier of safety criteria for hydraulic structures of the reclamation water management complex]. *Prirodobuстройство* [Environmental engineering], no. 1, pp. 12-15.

18. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the anthropogenic impact of natural risks on small rivers in the south of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC Earth-Science 2022 — Chapter 3*, p. 042037.

19. Bandurin, M.A., Yurchenko, I.F., Bandurina, I.P. (2019). Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019*, p. 8933970.

20. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.

## Информация об авторах:

**Волосухин Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор кафедры сопротивления материалов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9029-7802>, director@ibgts.ru

**Бандурин Михаил Александрович**, доктор технических наук, доцент, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, декан факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru

**Приходько Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

**Александров Даниил Александрович**, обучающийся 2 курса бакалавриата факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0937-7109>, dankaman@yandex.ru

## Information about the authors:

**Viktor A. Volosukhin**, doctor of technical sciences, professor, Honored worker of science of the Russian Federation, Honorary worker of higher professional education of the Russian Federation, professor of the department of strength of materials, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9029-7802>, director@ibgts.ru

**Mikhail A. Bandurin**, doctor of technical sciences, associate professor, Honored inventor of the Russian Federation, dean of the faculty of hydroreclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru

**Igor A. Prikhodko**, candidate of technical sciences, associate professor, acting head of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

**Daniil A. Alexandrov**, 2th year undergraduate student of the faculty of hydroreclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0937-7109>, dankaman@yandex.ru