

**05.23.07 Гидротехническое строительство**

Оригинальная статья

УДК 502/504:626.814(470.620)

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: ПРИЧИНЫ, РИСКИ  
ДЛЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА  
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

**ВОЛОСУХИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ** , д-р техн. наук, профессор  
director@ibgts.ru

**БАНДУРИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, д-р техн. наук, доцент,  
декан факультета гидромелиорации  
chepura@mail.ru

**ПРИХОДЬКО ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой  
prihodkoigor2012@yandex.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина: 350044, Краснодар, улица Калинина, 13, Россия

*В статье рассматриваются необходимость мероприятий улучшения водопользования в Кубанском водном бассейне с учетом изменения климата, а именно математического моделирования гидравлических условий сопряжения бьефов водосбросного сооружения Краснодарского водохранилища и пути улучшения гидрологического режима р. Пшиши и Кубань. Краснодарское водохранилище при высоких уровнях воды в реках изменяет питающие границы для грунтовых вод на защищаемой территории, а при низких меженных они являются дренами. При уровнях воды в водохранилище меньше 29 м (это меженный уровень в р. Пшиши в районе поперечной дамбы) влияние его на защищаемую территорию практически прекращается, так как береговая линия Краснодарского водохранилища отступает от поперечной дамбы далеко на северо-запад, обнажая ранее затопленное русло реки. Усиливающиеся климатические изменения на юге России, а именно постоянное из года в год снижение уровня влажности в горах Кавказа, привели к ухудшению гидравлического режима на протяжении всего Кубанского водного бассейна. Из года в год наблюдается ухудшение ситуации, которая приводит к деформационным процессам русла весьма непредсказуемой р. Кубань, что в дальнейшем будет способствовать развитию понижения уровня воды по отношению к исходным данным на момент проектирования и строительства водохранилища. Возникла опасность нарушения гидравлических условий сопряжения бьефов водосбросного сооружения – обеспечения необходимой сопряженной глубины совершенного гидравлического прыжка и, следовательно, необходимость недопущения его выскакивания из водобойного колодца, ввиду чего могли бы наступить катастрофические последствия. Кубань – самая длинная и многоводная река Большого Кавказа. Это главная водная артерия западной и северо-западной части северного склона Большого Кавказского хребта и южной части западного Предкавказья, несущая свои воды по четырем субъектам юга России: Краснодарского и Ставропольского краев, Карачаево-Черкесской Республики и Республики Адыгея. Краснодарское водохранилище создает необходимый подпор уровня воды на реках – притоках, который при прохождении максимальных расходов воды может распространяться на р. Пшиши на 10-12 км.*

**Ключевые слова:** водохозяйственный комплекс, математическое моделирование, Краснодарское водохранилище, водосбросное сооружение, климатические изменения

**Формат цитирования:** Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природобустройство. – 2022. – № 4. – С. 50-56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.

© Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., 2022

Original article

# CLIMATE CHANGE: REASONS, RISKS FOR THE WATER MANAGEMENT COMPLEX OF THE KRASNODAR REGION

**VOLOSUKHIN VIKTOR ALEKSEEVICH**✉, *doctor of technical sciences, professor*  
director@ibgts.ru

**BANDURIN MIKHAIL ALEKSANDROVICH**, *doctor of technical sciences, associate professor,*  
*dean of the faculty of hydrotechnology*  
chepura@mail.ru

**PRIKHODKO IGOR ALEKSANDROVICH**, *candidate of technical sciences, associate professor,*  
*head of the department of construction and operation of water management facilities*  
prihodkoigor2012@yandex.ru

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Kalinina, 13, Russia

*The article discusses the need for measures to improve the hydrological regime of the Kuban water basin, taking into account climate change, namely, mathematical modeling of the hydraulic conditions for conjugation of the pools of the spillway structure of the Krasnodar reservoir and ways to improve the hydrological regime of the river. Pshish and Kuban. The Krasnodar reservoir at high water levels in the rivers changes the feeding boundaries for groundwater in the protected area, and at low low water levels they are drains. When water levels in the reservoir are less than 29 m (this is a low water level in the Pshish River in the area of the transverse dam), its influence on the protected area practically ceases, since the coastline of the Krasnodar reservoir recedes from the transverse dam far to the northwest, exposing earlier flooded riverbed. Due to the increasing climatic changes in the south of Russia, namely, the constant decrease in the water level in the Caucasus mountains from year to year has led to a deterioration in the hydraulic regime throughout the entire Kuban water basin. From year to year, there is a deterioration in the situation, which leads to deformation processes in the channel of a very unpredictable river. Kuban, which will further contribute to the development of lowering the water level in relation to the initial data at the time of design and construction of the reservoir. There was a danger of violation of the hydraulic conditions for the conjugation of the pools of the spillway structure – ensuring the necessary conjugate depth of the perfect hydraulic jump and, consequently, preventing it from jumping out of the water well. In the latter case, catastrophic consequences would have occurred. The Kuban is the longest and most abundant river in the Greater Caucasus. this is the main water artery of the western and northwestern part of the northern slope of the Greater Caucasus Range and the southern part of the western Ciscaucasia, carrying its waters through four regions of southern Russia: the Krasnodar and Stavropol Territories, the Karachay-Cherkess Republic and the Republic of Adygea. The Krasnodar reservoir creates the necessary water level support on the rivers – tributaries, which, when the maximum water flow passes, can spread to the river. Pshish for 10-12 km.*

**Keywords:** *water management complex, mathematical modeling, Krasnodar reservoir spillway structure, climate change*

**Format of citation:** *Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A. Climate change: causes, risks for the water management complex of the Krasnodar Territory // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – No. 4. – S. 50-56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001).*

*Вклад авторов: все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.*

**Введение.** По территории Краснодарского края протекает 7751 река общей протяженностью 29 тыс. 125 км, самая крупная из которых – р. Кубань, имеющая общую длину 870 км и водосборную площадь 57900 км<sup>2</sup>. Из них на территории края протяженность реки составляет 662 км (76,1% длины реки).

*The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-20001).*

*Contribution of the authors: all authors made an equal contribution to the preparation of the publication.*

Восстановленный годовой сток рек Краснодарского края составляет  $W = 22,1 \text{ км}^3$ . Из них 65,6% приходится на р. Кубань, 30,8% – на малые реки Черноморского побережья, 3,4% – на реки Восточного Приазовья. При этом годовой сток реки Кубань имеет большую изменчивость: например, в 2015 г.

он был меньше на 13,8% от среднемноголетнего стока, а в 2018 г. – больше на 13,1%.

Краснодарский край по своему географическому положению, климатическим условиям, геоморфологическому и геолого-тектоническому строению, а также с учетом изменения климата подвержен частому воздействию опасных природных явлений, в том числе гидрологического характера. По данным Росгидромета, число опасных метеорологических явлений за последние два десятилетия увеличилось примерно в три раза на фоне резкого изменения климата в разные периоды года (летом, осенью, зимой и весной). Квота забора из поверхностных и подземных водных источников для Краснодарского края составляет 7685,0 млн м<sup>3</sup>/год. При этом в годы с водностью меньше средне-многолетних величин водозабор составляет меньше установленного квотой: например, в 2019 г. – 89,2%,  $W = 6857,9$  млн м<sup>3</sup>. Так,  $W_{\text{год}}^{2019} = 19,7$  км<sup>3</sup>/год,  $W_{\text{год}}^{\text{ср.мн.}} = 22,1$  км<sup>3</sup>/год.

Основные водопотребители в Краснодарском крае: сельское хозяйство (~66%); обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха (~26%), водоснабжение и водоотведение (~7%), прочие водопотребители (~1%).

На территории Краснодарского края функционирует часть самого мощного на Северном Кавказе водохозяйственного комплекса, расположенного в бассейне Кубани, включающего в себя три гидроузла и четыре крупных водохранилища: Краснодарское ( $W_{\text{НПУ}} = 1798$  млн м<sup>3</sup>), Шапсугское ( $W_{\text{НПУ}} = 81$  млн м<sup>3</sup>), Крюковское ( $W_{\text{НПУ}} = 111$  млн м<sup>3</sup>), Варнавинское ( $W_{\text{НПУ}} = 40$  млн м<sup>3</sup>). В общей сложности в водохранилищах, озерах и прудах Краснодарского края аккумулируется запасов воды более 2,5 млрд м<sup>3</sup>. Крупнейший искусственный водоем – Краснодарское водохранилище – построен в период с 1968 по 1973 гг.

Забор воды из поверхностных и подземных источников в Краснодарском крае существенно зависит от водности года: например, в 2010 г. он составил  $W = 7185,86$  млн м<sup>3</sup>, а в маловодный 2020 г. –  $W = 3729,10$  млн м (по данным Росводресурсов).

**Материалы и методы исследований.** Длительный период эксплуатации Краснодарского водохранилища и его сооружений показал, что размывы русла р. Кубань в нижнем бьефе значительно превысили прогнозные предположения. Снижение уровней воды в р. Кубань привело к ухудшению гидравлического режима водосбросного сооружения. Гидравлические расчеты и результаты натурных исследований на водосбросном сооружении свидетельствуют о том, что отогнанный гидравлический режим наблюдается при расходах

более 850 м<sup>3</sup>/с при четырех работающих отверстиях и при расходах более 150 м<sup>3</sup>/с при двух работающих отверстиях (при НПУ = 33.65 м).

Расчетный гидравлический режим – формирование совершенного гидравлического режима как эффективного гасителя избыточной кинетической энергии – нарушается вследствие падения уровня воды за сооружением. Водный поток без гидравлического прыжка может выходить из водобойного колодца с большими скоростями, вызывая размывы в нижнем бьефе.

Мелиоративная обстановка на участке инженерной защиты № 11 в долине р. Пшиш зависит от строения безнапорного водоносного горизонта, фильтрационных свойств водовмещающих грунтов и условий на границах водоносного горизонта в плане.

Строение безнапорного водоносного горизонта (грунтовых вод) слоистое. На большей части характеризуемой территории его можно представить в виде двухслойной толщи с хорошо водопроницаемым слоем песков, гравийного и галечникового грунта внизу и слабопроницаемым слоем глин и суглинков сверху.

Фильтрационные свойства грунтов определялись на предыдущих стадиях исследований с помощью одиночных и кустовых откачек из скважин. В работах [4, 5] выполнено обобщение результатов предыдущих исследований, и за расчетные значения коэффициента фильтрации грунтов ( $K$ ) приняты следующие значения: глины и суглинки ИГЭ-2, 3-0,05 м/сут.; супеси ИГЭ-4-0,5 м/сут.; пески мелкие ИГЭ-5-12 м/сут.; пески средней крупности ИГЭ-6-22 м/сут.; пески крупные ИГЭ-7-27 м/сут.; гравийные и галечниковые грунты – 35 м/сут.

Коэффициент суммарной водопроницаемости ( $K_m$ ) грунтовых вод изменяется от 50 до 250 м<sup>2</sup>/сут. (150 м<sup>2</sup>/сут. – среднее значение), а коэффициент уровня проводимости ( $a$ ), при активной водоотдаче покровных глин и суглинков  $n = 5\%$ , составляет  $a = 3000$  м<sup>2</sup>/сут. (среднее значение).

Как отмечено выше, защищаемая территория высокой поймы р. Пшиш в естественных условиях периодически затоплялась паводковыми водами и большей частью была заболоченной. В настоящее время мелиоративное состояние этой территории, занятой рисовыми полями и прудами рыбопитомников, зависит прежде всего от технического состояния сбросных (дренажных) каналов и работы насосной станции, перекачивающей дренажные и поверхностные воды с защищаемой территории в р. Пшиш.

Река Пшиш и Краснодарское водохранилище при высоких уровнях воды в них являются питающими границами для грунтовых вод

на защищаемой территории, а при низких меженных – дренами. При уровнях воды в водохранилище меньше 29 м (это меженный уровень в р. Пшиш в районе поперечной дамбы) влияние его на защищаемую территорию практически прекращается, так как береговая линия водохранилища отступает от поперечной дамбы далеко на северо-запад, обнажая ранее затопленное русло реки [6].

Территория высоких надпойменных террас, примыкающих к защищаемой территории с северо-востока, является постоянной питающей границей для грунтовых вод высокой поймы. Отметим, что с их поверхности по балкам на защищаемую территорию поступает и поверхностный сток. Территория высокой поймы практически бессточная, поэтому большая часть атмосферных осадков идет на водонасыщение пород зоны аэрации и питание грунтовых вод. Величина инфильтрационного питания грунтовых вод в холодный период года (ноябрь-март) может достигать 1,5 мм/сут. В теплый период года (апрель-октябрь) происходит частичная разгрузка подземных вод за счет испарения и транспирации с поверхности грунтовых вод.

Основными факторами, определяющими устойчивость гидротехнических сооружений против опасных размывов в нижнем бьефе и при проектировании подземного очертания флютбетов, являются [7]:

- правильное назначение основных размеров водобойных устройств (например, глубина и длина водобойного колодца), зависящее от сочетания невыгодных уровней и опасных расходов воды, возможных комбинаций маневрирования затворами при многопролетных сооружениях, конструктивных форм входных и выходных сопрягающих устройств и других и, конечно, от правильного выбора расчетных формул и умелого их применения [8];

- компоновка подземного контура, определяющая величины гидродинамических напоров, от которых зависят все другие расчетные элементы фильтрации (скорости, расходы, градиенты);

- увязка размеров отдельных элементов и всего гидротехнического сооружения в целом с учетом двух предыдущих требований.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные исследования показывают, что в большинстве случаев проектирующие организации не соблюдают рекомендации, содержащиеся в литературе и учебных пособиях, или искажают их.

В отношении фильтрационных расчетов можно сказать, что несмотря на многочисленные и весьма полезные работы, проведенные многими авторами по интерпретации теории академика Н.Н. Павловского и ее внедрению

в практику, до сих пор по некоторым простейшим схемам подземного контура отсутствуют приемлемые для расчетной практики способы определения гидродинамических напоров.

Все это определило необходимость внесения ряда конкретных предложений по восстановлению в существующих правах и изменению некоторых общеизвестных рекомендаций с тем, чтобы обеспечить более правильное назначение основных размеров и проектирование отдельных элементов ответственных частей сооружений и компоновки их сочетаний в целом.

К числу вопросов, подлежащих освещению на основании опыта и анализа существующих сооружений и явлений, относятся [9]:

- проектирование на нескальных основаниях водобойных колодцев как наиболее эффективных и надежных гасительных устройств;
- проектирование рыбопропускных сооружений и устройств;
- фильтрационные расчеты.

За период эксплуатации произошли деформационные процессы русла весьма непредсказуемой р. Кубань, повлекшие за собой понижение уровней воды более 2 м по отношению к исходным 1967 г. (на момент проектирования и строительства). Возникла опасность нарушения гидравлических условий сопряжения бьефов водосбросного сооружения – обеспечения необходимой сопряженной глубины совершенного гидравлического прыжка, и, следовательно, необходимость недопущения его выскакивания из водобойного колодца. В последнем случае могли бы наступить катастрофические последствия.

В результате численных расчетов для расширяющегося в плане водобойного колодца, а также гидравлических исследований приплотинных сооружений гидроузла установлено, что в отличие от исследований применительно к плоской задаче, за колодцем для обеспечения расчетного режима требуется меньшая глубина. К тому же и порог электрорыбозаградителя, и сам электрорыбозаградитель способствуют повышению надежности сопряжения потоков в нижнем бьефе.

Результаты численного математического моделирования представлены на рисунке 1 с пространственным трехмерным и плоским изображением полей векторов скоростей, эпюр осредненных скоростей и осредненных глубин. Во всех выполненных исследованиях влияние порога электрорыбозаградителя не учитывалось.

Анализ проведенного исследования показал, что гидравлический прыжок подтоплен. Вследствие работы только двух крайних сбросных пролетов наблюдаются горизонтальное вращение потока и его перераспределение

в пределах водобойного колодца. Волнения на поверхности за пределами водобойного колодца незначительны и распространяются по всей длине вдоль рыбоподъемника (рис. 2).

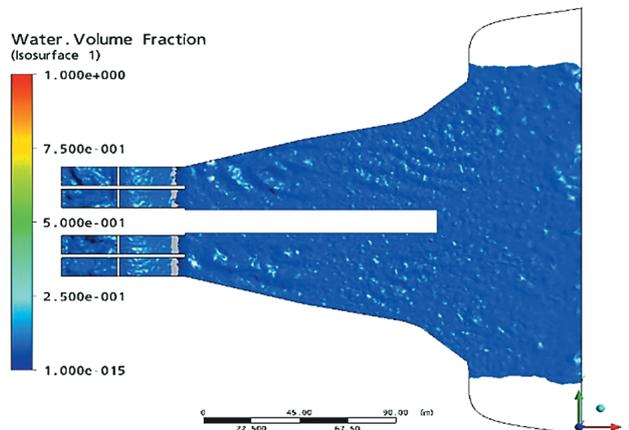


Рис. 1. Численное моделирование гидравлического прыжка при расходе  $200 \text{ м}^3/\text{с}$   
Fig. 1. Numerical simulation of a hydraulic jump at a flow rate of  $200 \text{ м}^3/\text{с}$

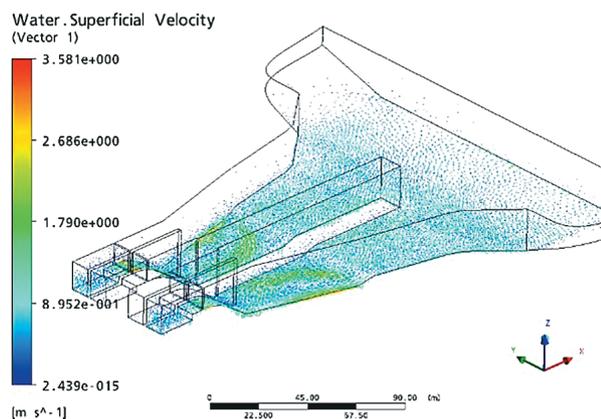


Рис. 2. Численное моделирование работы сопряжения бьефов при расходе  $60 \text{ м}^3/\text{с}$   
Fig. 2. Numerical simulation of the operation of the coupling of pools at a flow rate of  $60 \text{ м}^3/\text{с}$

Согласно данным рисунка 3 можно сделать вывод о том, что гидравлический прыжок слегка надвинут на водослив. В водобойном колодце происходит гашение энергии потока (за счет вращения прыжка и создания макротурбулентности). Волнения водного потока на поверхности колодца и на рибберме незначительны. В пределах водобойного колодца отмечаются водовороты.

Отложившиеся наносы на устьевых участках рек-притоков теперь закреплены древесной растительностью и довольно устойчивы к плановым и глубинным деформациям. Размыв наносов идет более медленно, чем их отложение.

Таким образом, живое сечение русла постепенно сокращается за счет потери пойменного пространства, и частично – руслового. В ходе

проведения исследований были выполнены геоморфологические работы по определению пропускной способности рек Кубань, Пшиш и Псекупс. Результаты этих работ показали, что устьевые участки этих рек, хотя и сильно заилены, способны пропустить паводки обеспеченностью 0,5% при отметке воды в водохранилище до 33,45 м. Повсеместно при этих условиях реки будут выходить из русла, но дамбы обвалования или коренные берега имеют запас по высоте около 1 м [10].

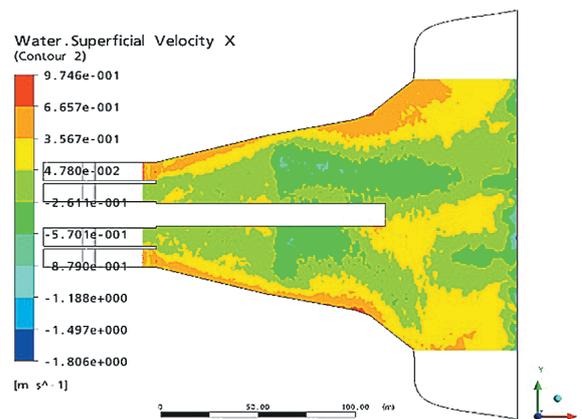


Рис. 3. Численное моделирование распределения осредненных продольных скоростей в горизонтальной плоскости на расстоянии  $0,5h$  от поверхности при расходе  $80 \text{ м}^3/\text{с}$   
Fig. 3. Numerical simulation of the distribution of average longitudinal velocities in the horizontal plane at a distance of  $0,5h$  from the surface at a flow rate of  $80 \text{ м}^3/\text{с}$

Краснодарское водохранилище вызывает подпор уровней воды на реках – притоках, который при прохождении максимальных расходов воды может распространяться на р. Пшиш на 10-12 км. Протяженность береговой линии, подверженной волновой переработке, составляет 74 км. В последние годы интенсивность переработки берегов в результате эксплуатации водохранилища со сниженным НПУ уменьшилась.

Продольная дамба сопрягается с защитным валом р. Пшиш в районе х. Братского. Дренажную функцию выполняет придамбовый канал длиной 1,8 км. Дренажно-сбросная насосная станция № 11, расположенная на ПК 40 продольной дамбы, принимает фильтрационные, поверхностные и сбросные воды с рисовой системы. В последние годы осуществлена реконструкция насосной станции.

После реконструкции Дренажно-сбросная насосная станция № 11 имеет производительность  $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ , оборудована четырьмя насосами АД 6300-276-3 и одним насосом АД 2000-21-2-06. Установленная мощность насосной станции

составляет 875 кВт. Объем регулирующего бассейна – 350000 м<sup>3</sup> (старца р. Пшиш).

Сброс перекачиваемых вод осуществляется в р. Пшиш по напорным трубопроводам диаметром 820 и 630 мм.

В соответствии с условиями реконструкции выполнено спрямление продольной дамбы на участке ПК 58-63, где русло р. Пшиш приблизилось вплотную к дамбе и угрожает ей размывом.

Параметры спрямляющей дамбы: длина – 360 м; средняя высота – 2,3 м; ширина по верху – 4,5 м; заложение верхового откоса – 1:2,5, низового – 1:2. (рис. 4).



**Рис. 4. Дренажно-сбросная насосная станция как элемент инженерной защиты долины р. Пшиш**  
Fig. 4. Drainage-discharge pumping station, as an element of engineering protection of the river valley. Pshish

В последние годы рисосеяние на защищаемой территории не производится. Пруды рыбопитомников заброшены; их питающая и сбросная насосные станции разрушены. Пруды с наиболее низкими отметками поверхности земли 31-32,5 м и территория вдоль поперечной дамбы были затоплены за счет выклинивания грунтовых вод и поверхностного стока, в том числе с территории надпойменных террас.

В период обследования уровень воды в водохранилище находился на отметке 29,38 м, и урез воды сместился далеко на северо-запад от поперечной дамбы. В р. Пшиш уровни воды были близкими к межнным, и она являлась главной дренажной для защищаемой территории. Общее направление движения грунтовых вод было западным, к реке, с уклоном от 0,0006 до 0,002.

Наибольшая глубина залегания грунтовых вод 2-3 м наблюдалась в районе действующей насосной станции и вдоль р. Пшиш. Здесь же наблюдаются и более высокие

отметки поверхности земли. Наименьшие глубины залегания грунтовых вод (0,1-1,0 м) наблюдались вдоль уступов надпойменных террас и в районе рыбопитомников.

Уровненный режим грунтовых вод почти повсеместно гидрологический, искусственный, зависящий от уровней воды в р. Пшиш, Краснодарском водохранилище, сбросных каналах, прудах рыбопитомников. Ввиду малой глубины до воды в каналах зона их влияния на грунтовые воды невелика и составляет около 100 м. В связи с этим вдали от р. Пшиш (более 500-900 м) на рисовых полях в районе оросительных каналов режим грунтовых вод будет смешанным, но близким к климатическому; максимальные уровни грунтовых вод здесь будут наблюдаться в период с февраля по апрель, а минимальные – с августа по октябрь. Амплитуда колебания уровня изменяется от 0,6 до 1,0 м.

По химическому составу грунтовые воды гидрокарбонатные, редко – гидрокарбонатно-сульфатные, различного катионного состава; минерализация их изменяется от 0,6-1,0 г/дм<sup>3</sup> вдоль русла р. Пшиш и уступов надпойменных террас до 1-2 г/дм<sup>3</sup> (редко – более) в центральной части защищаемой территории. Грунтовые воды с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup> являются неагрессивными по отношению к бетонам марки W4 по водонепроницаемости, а с минерализацией более 1 г/дм<sup>3</sup> – слабо-среднеагрессивные.

### Выводы

В ходе выполненного математического моделирования наиболее опасных ситуаций, с применением гидродинамической модели водосброса гидроузла Краснодарского водохранилища, основанной на трехмерной системе эволюционных уравнений Навье-Стокса, для рассмотренных расчетных случаев можно сделать следующие выводы.

Во всех рассмотренных расчетных случаях гашение энергии верхнего бьефа происходит в форме косоугольного гидравлического прыжка. Наблюдается прижим струи к стенкам рыбохода. В Краснодарском водохранилище ежегодно осаждается примерно 6,5 млн м<sup>3</sup> наносов, что составило более 160 млн м<sup>3</sup> наносов за время существования водохранилища.

Распределение наносов в Краснодарском водохранилище является крайне неравномерным. Около 50% всего объема отложений сосредоточено в верхней части водохранилища и по устьевым участкам рек-притоков. Особенно сильно заилен участок водохранилища от ст. Воронежской до устья р. Белой, где средняя мощность отложений превышает 2 м.

**Библиографический список**

1. Кизяев Б.М. Роль науки в обосновании и развитии мелиорации в России / Б.М. Кизяев, Л.В. Кирейчева, С.Д. Исаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 26-31.
2. Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет // Программа многофакторных исследований ГТС. Проведение натурных работ по комплексному обследованию и геодезическим измерениям / О.Д. Рубин, Н.В. Ханов, С.Е. Лисичкин, А.С. Антонов. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. – 111 с. – ISBN978-5-9675-1867-6.
3. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5-6. – С. 50-55.
4. Improvement of the theory of shaft spillway calculations / A. Gur'yev, N. Khanov, M. Chumicheva et al. // E3S Web of Conferences, Tashkent, 01-03 апреля 2021 г. – Tashkent, 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202126403031.
5. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurina, V.V. Vanzha et al. // Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry. – 2018. – Enterprise Information Systems, Tomsk, 17-20 января 2018 г. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042061. DOI 10.1088/1742-6596/1015/4/042061.
6. Юрченко И.Ф. Оценка современного состояния индустрии цифровизации мелиорации // Природобустройство. – 2022. – № 2. – С. 6-12. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-6-12.
7. Finite-element simulation of possible natural disasters on landfall dams with changes in climate and seismic conditions taken into account / M.A. Bandurina, V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev et al. // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 17-20 января 2018 г. – Tomsk, 2018. – P. 032011. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032011.
8. Ghebrehiwot A.A. Hydrological modelling for ungauged basins of arid and semi-arid regions: review / A.A. Ghebrehiwot, D.V. Kozlov // Vestnik MGSU. – 2019. – Vol. 14, No 8. – P. 1023-1036. DOI 10.22227/1997-0935.2019.8.1023-1036.
9. Шевченко В.А., Исаева С.Д. Совершенствование мониторинга мелиорированных сельскохозяйственных земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 72-78.
10. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В.И. Ольгаренко, И.Ф. Юрченко, И.В. Ольгаренко и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1 (29). – С. 49-65.

**Критерии авторства**

Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 29.08.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

**References**

1. Kizyaev B.M. The role of science in the justification and development of land reclamation in Russia / B.M. Kizyaev, L.V. Kireycheva, S.D. Isaeva // Melioration and water management. – 2016. – No. 2. – pp. 26-31.
2. Multifactorial studies of hydraulic structures with a service life of more than 25 years: Program of multifactorial studies of hydraulic structures Carrying out full-scale surveys and geodetic measurements / O.D. Rubina, N.V. Khanov, S.E. Lisichkin, A.S. Antonov. – Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2022. – 111 p. – ISBN978-5-9675-1867-6.
3. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M. Models and information technologies for water management in meliorative systems, providing a favorable meliorative regime. Melioration and water management. – 2014. – No. 5-6. – pp. 50-55.
4. Improvement of the theory of shaft spillway calculations / A. Gur'yev, N. Khanov, M. Chumicheva [et al.] // E3S Web of Conferences, Tashkent, 01-03 April 2021. – Tashkent, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202126403031.
5. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurina, V.V. Vanzha [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Enterprise Information Systems, Tomsk, January 17-20, 2018. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042061. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/4/042061.
6. Yurchenko I.F. Evaluation of the current state of the digitalization industry of melioration / I.F. Yurchenko // Nature Engineering. – 2022. – No. 2. – pp. 6-12. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-2-6-12.
7. Finite-element simulation of possible natural disasters on landfall dams with changes in climate and seismic conditions taken into account / M.A. Bandurina, V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 17–January 20, 2018. – Tomsk, 2018. – P. 032011. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032011.
8. Ghebrehiwot A.A. Hydrological modeling for ungauged basins of arid and semi-arid regions: review / A.A. Ghebrehiwot, D.V. Kozlov // Vestnik MGSU. – 2019. – Vol. 14. – No 8. – pp. 1023-1036. – DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1023-1036.
9. Shevchenko V.A. Improving the monitoring of reclaimed agricultural lands / V.A. Shevchenko, S.D. Isaeva // Proceedings of the Nizhnevolsky agro-university complex: Science and higher professional education. – 2018. – No. 2 (50). – pp. 72-78.
10. Justification of the efficiency of planning technological processes of water use and operational management of water distribution based on the use of the Monte Carlo method / V.I. Olgarenko, I.F. Yurchenko, I.V. Olgarenko [et al.] // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. – 2018. – No. 1 (29). – pp. 49-65.

**Criteria of authorship**

Volosukhin V.A., Bandurina M.A., Prikhodko I.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Volosukhin V.A., Bandurina M.A., Prikhodko I.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 29.08.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022