

МЕЛИОРАЦИЯ

Научная статья
УДК 631.674
doi: 10.28983/asj.y2022i11pp9-14

**Совершенствование мероприятий улучшения гидрологического режима
Кубанского водного бассейна на примере реки Пшиш**

**Михаил Александрович Бандурин, Виктор Алексеевич Волосухин, Игорь Александрович Приходько,
Анна Сергеевна Романова**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия
e-mail: chepura@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются пути улучшения гидрологического режима реки Пшиш Кубанского водного бассейна. Эффективным способом снижения ущерба от паводков и наводнений является использование имитационных математических моделей пропуска паводков с учетом совместной работы. Так, в условиях прогрессирующего дефицита пресной воды, особенно на юге России большую актуальность приобретают исследования водных ресурсов бассейна реки Кубани, средних и малых рек, которые в гидрологическом отношении остаются ещё малоизученными, в частности Река Пшиш и Краснодарское водохранилище. При наступлении времени паводка уровень уреза воды значительно повышается, так как будут активными питающими границами для грунтовых вод на защищаемой территории, а при низких меженных – являются дренами. При уровнях воды в водохранилище меньше 29 м, а это время периода меженного уровня в р. Пшиш в районе низконапорной земляной плотины, влияние уровня воды на защищаемую территорию, значительно снижается. Береговая линия Краснодарского водохранилища отступает от поперечной низконапорной плотины далеко на северо-запад, обнажая ранее затопленное русло реки. С учетом формирующейся базы данных по реальному техническому состоянию гидротехнических сооружений противопаводковой системы Нижней Кубани, полученной с использованием неразрушающих методов и спутниковых технологий, имитационное математическое моделирование позволяет оптимизировать режим работы водосбросных сооружений противопаводковой системы Нижней Кубани, а именно для низконапорной земляной плотины для летних и зимних паводков, для условий возникновения заторов и возникновения нагонных явлений на реке. Все это позволяет выработать конкретные противопаводковые мероприятия до, в период и после прохождения паводка. 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.

Ключевые слова: низконапорная земляная плотина; дефицит пресной воды; водный бассейн; гидрологический режим; мероприятия.

Для цитирования: Бандурин М. А., Волосухин В. А., Приходько И. А., Романова А. С. Совершенствование мероприятий улучшения гидрологического режима Кубанского водного бассейна на примере реки Пшиш // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 9–14. <http://10.28983/asj.y2022i11pp9-14>.

AMELIORATION

Original article

Improving measures to improve the hydrological regime of the Kuban water basin on the example of the Pshish River

Mikhail A. Bandurin, Viktor A. Volosukhin, Igor A. Prikhodko, Anna S. Romanova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
e-mail: chepura@mail.ru

Abstract. The article discusses ways to improve the hydrological regime of the Pshish River in the Kuban water basin. An effective way to reduce damage from floods and floods is to use simulation mathematical models of floods, taking into account joint work, so in the context of a progressive shortage of fresh water, especially in southern Russia, studies of the water resources of the Kuban River basin, especially medium and small rivers, are of particular relevance. Hydrologically, the Pshish River and the Krasnodar Reservoir remain poorly studied, so when the time of flood comes, the level of the water's edge increases significantly, since they will be active feeding boundaries for groundwater in the protected area, and at low low water periods they are drains. When the water levels in the reservoir are less than 29 m, and this is the time of the period of low water level in the river. Pshish in the area of the low-pressure earth dam, and the impact of the water level on the protected area is significantly reduced. The coastline of the Krasnodar reservoir recedes from the transverse low-pressure dam far to the northwest, exposing the previously flooded river bed. Taking into account the emerging database on the real technical condition of hydraulic structures of the flood control system of the Lower Kuban, obtained using non-destructive methods and satellite technologies. Simulation mathematical modeling makes it possible to optimize the operating mode of spillways of the flood control system of the Lower Kuban, namely for a low-pressure earthen dam for summer and winter floods, for the conditions for the occurrence of congestion and the occurrence of surge phenomena on the river. All this makes it possible to develop specific anti-flood measures before, during and after the passage of the flood. The effectiveness of engineering flood protection largely depends on the technical condition of the flood control system in the Lower Kuban. Simulation mathematical modeling allows you to determine those parts of the system that require priority investment.

Keywords: low-pressure earth dam; fresh water deficit; water basin; hydrological regime; events.

For citation: Bandurin M. A., Volosukhin V. A., I Prikhodko. A., Romanova A. S. Features of growing irrigated soybeans with complex mineral nutrition // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(11):9–14. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2022i11pp9-14>.

Введение. Самой длинной и многоводной рекой Большого Кавказа России является р. Кубань, длина р. Кубани до створа плотины Краснодарского водохранилища равна 630 км, а площадь водосбора – 45,9 тыс. км². Питание





р. Кубань смешанное: ледниковое, снеговое, дождевое и грунтовое. По режиму стока р. Кубань является горной рекой. Сток отличается значительной сезонной неравномерностью и большой амплитудой изменения величин расходов [11].

В районе Краснодарского водохранилища средние уклоны реки около 0,1 %, скорость течения в половодье 1,0–1,5 м/с, в межень 0,4–0,6 м/с. В естественных условиях для Кубани характерны весенне-летнее половодье и осенне-зимняя межень. Средняя амплитуда колебания уровней за год на р. Кубань в естественных условиях была 4,0–4,5 м. Средний восстановленный годовой сток в створе Краснодарского водохранилища в год 50 % обеспеченности – 13,7 км³.

Средняя многолетняя величина расхода Кубани у г. Краснодара [14] (за 1911–2021 гг.) составляет 437 м³/с. Краснодарское водохранилище расположено в осевой части Азово-Кубанского артезианского бассейна платформенного типа, в составе которого содержится большое количество водоносных горизонтов.

Краснодарское водохранилище было создано с целью введения в хозяйственный оборот 250 тыс. га орошаемых земель, из которых не менее 150 тыс. га рисовых, срезки пика паводка в бассейне р. Кубань с 2400 до 1500 м³/с, улучшения водоснабжения в Низовьях Кубани и условий судоходства, совершенствования санитарно-оздоровительных, рыбохозяйственных и других мероприятий.

Фильтрационные свойства грунтов определялись на предыдущих стадиях исследований с помощью одиночных и кустовых откачек из скважин. В работах [2, 4, 6] выполнено обобщение результатов предыдущих исследований и за расчетные значения коэффициента фильтрации грунтов (К) приняты следующие значения: глины и суглинки ИГЭ-2, 3 – 0,05 м/сутки; супеси ИГЭ-4 – 0,5 м/сутки; 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/сутки.

Коэффициент суммарной водопроницаемости (K_m) грунтовых вод изменяется от 50 до 250 м²/сут. (150 м²/сут. среднее значение), а коэффициент уводнепроводности (a), при активной водоотдаче покровных глин и суглинков $n = 5$ %, составляет, $a = 3000$ м²/сутки (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 – являются 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 [1].

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.

Отметим, что в последние годы рисосеяние [13] 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 низконапорной земляной плотины были затоплены за счет выклинивания грунтовых вод и поверхностного стока, в том числе и с территории надпойменных террас [9].

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 меженным, 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 [3].

Уровненный режим грунтовых вод почти повсеместно гидрологический, искусственный, зависящий от уровней воды в р. Пшиш, Краснодарском водохранилище, сбросных каналах, прудах рыбопитомников. Из-за малой глубины до воды в мелиоративных каналах, зона их влияния на грунтовые воды невелика, согласно работам [10, 12], 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 [5].

По химическому составу грунтовые воды гидрокарбонатные, редко гидрокарбонатно-сульфатные, различного катионного состава; минерализация их изменяется от 0,6–1,0 г/дм³ вдоль русла р. Пшиш и уступов надпойменных террас до 1–2 г/дм³ (редко более) в центральной части защищаемой территории. Грунтовые воды с минерализацией до 1 г/дм³ неагрессивны к бетонам марки W4 по водонепроницаемости, а с минерализацией более 1 г/дм³ – среднеагрессивные.

Методика исследований. Проведение мониторинга водных ресурсов в бассейне р. Пшиш актуально и необходимо в целях регулярных наблюдений за состоянием водных объектов, их количественными и качественными показате-

лями, своевременного выявления и прогнозирования негативных процессов, влияющих на качество вод и состояние различных гидротехнических сооружений водохозяйственного комплекса.

В длину р. Пшиш 248 км (до затопления ее низовий Краснодарским водохранилищем река была на 10 км длиннее, а ее бассейн составлял 1850 км²). На р. Пшиш половодье не наблюдается. Максимальный сток формируется дождевыми паводками. Период паводков постоянно длится с октября по апрель. Особенно высокие паводки наблюдаются при образовании на поверхности земли ледяной корки. Примером таких паводков на реках данного района являются паводки 26 февраля 1965 г., 5–6 декабря 1973 г., серия паводков в третьей декаде декабря 2001 г. – январе 2002 г. и ряд других [8].

Максимальные в году расходы воды на р. Пшиш, постоянно наблюдаются в период весенне-летнего половодья. Наибольшие за зиму снего-дождевые паводки наблюдаются чаще всего в феврале – марте. Средняя продолжительность паводка – 22 дня. Часто на спад одного паводка накладывается подъем следующего. Максимальные среднесуточные восстановленные расходы воды за прошлый период достигали 2010–2300 м³/с. Так максимальные расходы воды в незарегулированном режиме р. Кубань у г. Краснодар превышали 2000 м³/с один раз в 15–20 лет; 1500 м³/с – один раз в 5 лет; 1000 м³/с – практически ежегодно, а иногда и по несколько раз.

Минимальный приток в водохранилище наблюдается в осенне-зимний период. Минимальный среднесуточный расход воды наблюдается преимущественно в январе-феврале. Однако, за последние 20 лет в связи с теплыми зимами минимальные среднесуточные расходы воды в р. Кубань все чаще отмечаются в ноябре. Минимальный среднесуточный расход 95 % обеспеченности в створе гидроузла – 80,3 м³/с.

Среднее число дней с ледоставными образованиями по Краснодарскому водохранилищу составляет 55–70 дней, максимальное 107–118 дней. Отложившиеся наносы на устьевых участках рек-притоков теперь закреплены древесной растительностью и довольно устойчивы к плановым и глубинным деформациям. Размыв наносов идет более замедленно, чем их отложение. Таким образом, живое сечение русла постепенно сокращается за счет потери пойменного пространства и частично руслового. В 2019 г. были выполнены геоморфологические работы по определению пропускной способности рек Кубань, Пшиш и Псекупс. Результаты этих работ показали, сто 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 низконапорная земляная плотина или коренные берега имеют запас по высоте около 1 м.

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.

Поперечная низконапорная земляная плотина защищает участок со стороны водохранилища. Длина ее 3,25 км, максимальная высота 5,0 м; ширина гребня 6,0 м, отметка гребня 36,00 м, верховой откос на длине 300 м закреплен каменной наброской толщиной 40 см по слою гравийно-песчаной смеси; на длине 200 м – железобетонными плитами, на длине 1230 м – гравием толщиной 20 см, уложенным по слою гравия 5 см, втрамбованного в грунт.

Продольная (правобережная) низконапорная земляная плотина обвалования расположена вдоль р. Пшиш по ее правому берегу. Длина дамбы 7,36 км, максимальная высота 6,5 м; ширина гребня 3,0 м, 4,5 м, 6,0 м, верховой откос на длине 510 м закреплен каменной наброской толщиной 30 см по слою гравийно-песчаной смеси. Продольная низконапорная земляная плотина 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 м³/с, оборудована 4 насосами АД 6300-276-3 и 1 насосом АД 2000-21-2-06. Установленная мощность насосной станции составляет 875 кВт. Объем регулирующего бассейна – 350000 м³ (старица р. Пшиш). Сброс перекачиваемых вод осуществляется в р. Пшиш по напорным трубопроводам диаметром 820 и 630 мм. В соответствии с ТЭО реконструкции выполнено спрямление продольной дамбы на участке ПК 58-63, где русло р. Пшиш приблизилось вплотную к земляной плотине и угрожает ей размывом.

Параметры спрямляющей дамбы: длина 360 м, средняя высота 2,3 м, ширина поверху 4,5 м, заложение верхового откоса 1:2,5, низового 1:2.

Результаты исследований. В ходе выполненного имитационного моделирования низконапорной земляной плотины получены следующие значения заторных явлений (см. таблицу).

При наличии заторов в зимне-весенний период уровень воды на 10–80 см выше, чем у паводков тех же значений без влияния заторов. Превышение уровня воды над гребнем низконапорной земляной плотины по р. Пшиш, представление на рис. 1, показывает опасность возрастающих процессов изменения гидрологического режима р. Пшиш.

Было выполнено имитационное моделирование которое позволяет оптимизировать режим работы водосбросных сооружений противопаводковой системы низконапорных земляных плотин Нижней Кубани для летних и зимних паводков, для условий возникновения заторов и возникновения нагонных явлений. Все это позволяет выработать конкретные противопаводковые мероприятия до, в период и после прохождения паводка.

Эффективность инженерной защиты от паводков во многом зависит от технического состояния противопаводковой системы Нижней Кубани. Имитационное математическое моделирование позволяет определить те участки низконапорных земляных плотин, которые требуют первоочередного вложения средств (рис. 2).



Превышение уровня воды над гребнем дамбы по р. Пишиш

Номер створа	Минимальная отметка низконапорной плотины, м	Превышение уровня воды над гребнем низконапорной плотины, 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
Устье реки	0,54	-0,86

12

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

11

2022



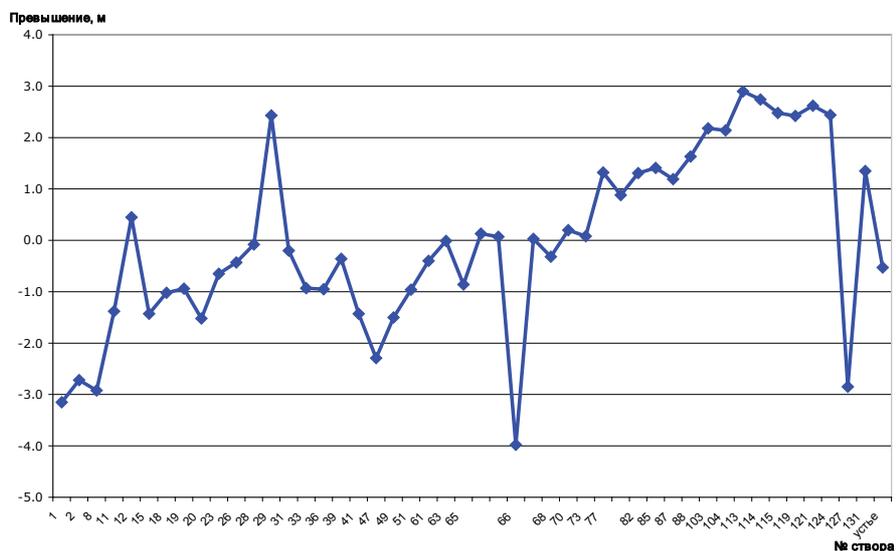
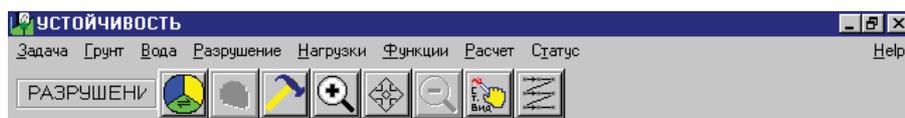


Рис. 1. Превышение уровня воды над гребнем низконапорной земляной плотины по р. Пиши



8-8



Результаты расчета			
СНиП 2.06.05-84 по соотношению моментов сил			
1.0000	1.0000	1.0000	
Узел 1	Радиус 1	Узел 2	
24.6000	100.0000	86.8000	
37.0500	100.0000	28.8000	
Минимальный коэффициент устойчивости			2.2091

Аварийные ситуации	
Выполнено	100%
Центр вращения: X = 68.184701 Y = 127.052077, радиус 100.000000	

-9.09,46.2

Num

Ins

08.01.06 17:10:45

Рис. 2. Результаты расчета устойчивости низового откоса низконапорной земляной плотины долины р. Пиши в расчетном сечении по соотношению моментов сил

Заключение. В Краснодарское водохранилище ежегодно осаждается примерно 6,5 млн м³ наносов, что составило более 160 млн м³ наносов за время существования водохранилища.

Распределение наносов в Краснодарском водохранилище крайне неравномерно. 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.

Расчистку затопленных русел рек предлагается выполнить методом взмучивания. Суть его состоит в том, что илистые отложения взмучиваются с помощью плавучего земснаряда струями воды и пульпа не всасывается в земснаряд, а взвешенные наносы транспортируются течением воды в чашу «мертвого» объема водохранилища. Использование данного метода рекомендуется по причинам экономического характера, так как он в 2,4 раза дешевле расчистки с изъятием пульпы. Основной объем влекомых и взвешенных наносов поступает в чашу по затопленным руслам рек, впадающих в Краснодарское водохранилище. Данный метод используется на водоемах, имеющих проточность.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdrazakov F. K., Orlova S. S., Pankova T. A., Mirkina E. N., Fedyunina T. V. The monitoring of condition of hydraulic structures // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10. No. 13. P. 1952–1958.
2. Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Vanzha V. V. Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. P. 214–218.





3. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V. Technical condition diagnostics of the water supply facilities in the irrigation systems // *Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : The International Scientific Conference. 2019. Vol. 698. 022060.

4. Safronova T.I., Vladimirov S.A., Prikhodko I.A., Sergeyev A.E. Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems // *E3S Web of Conferences*: 8, Rostovon-Don, 19–30 августа 2020 года. Rostov on Don, 2020. P. 05014. – DOI 10.1051/e3sconf/202021005014.

5. Vladimirov S.A., Prikhodko I.A., Safronova T.I., Chebanova E.F. Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region // *E3S Web of Conferences* : 13, Rostovon-Don, 26–28 февраля 2020 года. Rostovon-Don, 2020. P. 12010.

6. Бандурин М. А. Волосухин В. А. Мониторинг сооружений водного хозяйства. Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы. Зерноград, 2012. С. 98–101.

7. Болгов М.В., Беляев А.И., Пугачева А.М., Власенко М.В., Шульгин М.В. Азово-Донская водная проблема // *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 6. С. 755–766.

8. 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 им. адмирала С.О. Макарова*. 2017. Т. 9. № 2. С. 346–354.

9. Кирейчева Л. В., Карпенко Н. П., Хохлова О. Б. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / *Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова*. М., 2010. 240 с.

10. Кирейчева Л. В., Носов А. К., Юрченко И. Ф. Приоритетные направления развития инновационных технологий в орошении // *Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию ВНИИГиМа*. М., 2009. С. 76–85.

11. Корнилова Т. И., Григорьев М. Ф., Сивцев И. Г., Румянцев В. А., Винокуров Н.В. Проблемы оптимизации гидрологических циклов малых рек центральной Якутии // *Сельское, лесное и водное хозяйство*. 2014. № 4 (31). С. 5.

12. Островский Н. В., Ванжа В. В., Самойлюков Ю. Н. Эффективные решения по автоматизации локализованных ирригационных систем // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 11. С. 102–107.

13. Юрченко И.Ф. Информационные технологии и организация информационных ресурсов управления агроэкосистемами: прошлое, настоящее, будущее // *Modern Science*. 2019. № 12–2. С. 13–16.

14. Юрченко И.Ф. Технологии прецизионного управления мелиоративным режимом агроэкосистем // *Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сб. науч. трудов*. М., 2020. С. 222–233.

REFERENCES

1. Abdrazakov F. K., Orlova S. S., Pankova T. A., Mirkina E. N., Fedyunina T. V. The monitoring of condition of hydraulic structures. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018; 10; 13: 1952–1958.

2. Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Vanzha V. V. Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*. 2018; 931: 214–218.

3. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V. Technical condition diagnostics of the water supply facilities in the irrigation systems. *Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : The International Scientific Conference*. 2019; 698.022060.

4. Safronova T.I., Vladimirov S.A., Prikhodko I.A., Sergeyev A.E. Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems. *E3S Web of Conferences*: 8, Rostovon-Don, August 19–30, 2020. Rostovon-Don, 2020. P. 05014. – DOI 10.1051/e3sconf/202021005014.

5. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I. & Chebanova, E.F. Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region. *E3S Web of Conferences* : 13, Rostovon-Don, February 26–28, 2020. Rostov on Don, 2020: 12010.

6. Bandurin M. A. Volosukhin V. A. Monitoring of structures of the water economy. *Innovative Ways of Development of the Agro-Industrial Complex: Challenges and Prospects*. Zernograd, 2012: 98–101. (In Russ).

7. Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shulgin M.V. Azov-Don water problem. *Water resources*. 2020; 47; 6: 755–766. (In Russ).

8. Volosukhin V. A., Bandurin M. A. The need for multifactorial diagnostics of the Donskoy sluice system in the face of growing shortage of water resources and the safety of facilities. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2017; 9; 2: 346–354. (In Russ).

9. Kireycheva L. V., Karpenko N. P., Khokhlova O. B. New technologies for design, justification of construction, operation and management of reclamation systems / *All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov*. Moscow, 2010. 240 p. (In Russ).

10. Kireycheva L. V., Nosov A. K., Yurchenko I. F. Priority directions for the development of innovative technologies in irrigation. *Modern problems of melioration and water management*. Moscow, 2009: 76–85. (In Russ).

11. Kornilova T.I., Grigoriev M.F., Sivtsev I.G., Rumyantsev V.A., Vinokurov N.V. Problems of optimizing the hydrological cycles of small rivers in central Yakutia. *Agriculture, forestry and water management*. 2014; 4 (31): 5. (In Russ).

12. Ostrovsky N. V., Vanzha V. V., Samoylyukov Yu. N. Effective solutions for the automation of localized irrigation systems. *The agrarian scientific journal*. 2021; 11: 102–107. (In Russ).

13. Yurchenko I.F. Information technologies and organization of information resources for agroecosystem management: past, present, future. *Modern Science*. 2019; 12-2: 13–16. (In Russ).

14. Yurchenko I.F. Technologies for precision control of the ameliorative regime of agroecosystems. *Scientific and methodological support for the development of the reclamation and water management complex*. Moscow, 2020: 222–233. (In Russ).

Статья поступила в редакцию 27.07.2022; одобрена после рецензирования 20.08.2022; принята к публикации 25.08.2022.
The article was submitted 27.07.2022; approved after reviewing 20.08.2022; accepted for publication 25.08.2022.