

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 267—282.
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 267—282.

ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 004.65:[556.535.8:502.173](282.255.12)

doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282

Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан)

***Икбол Абдугафорович Куватов¹,
Илья Александрович Шишкин², Иван Владимирович Антонов¹,
Наджибулло Рабизода³***

¹ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, Iqbol_90@inbox.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург

³ Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, Душанбе

Аннотация. В работе представлен ГИС-проект территориального мониторинга р. Вахш, который содержит информацию о водных объектах бассейна реки, основных источниках техногенного воздействия, качественные и количественные показатели состава воды по постам контроля. Приводится линейная схема бассейна, с указанием промышленных и сельскохозяйственных источников воздействия. Выполнена оценка качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) за 2014—2018 гг., а также проанализирована информация по предприятиям-водопользователям и выявлены основные промышленные и сельскохозяйственные предприятия, вносящие основной вклад в загрязнение водных объектов, определены участки с различными уровнями загрязнения воды и репрезентативные показатели ее качества.

Ключевые слова: река Вахш, техногенная нагрузка, база геоданных, геоинформационная система, водохозяйственный участок, индекс загрязненности воды.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Министерству энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан и Агентству по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан за предоставление данных для настоящего исследования.

Для цитирования: Куватов И.А., Шишкин И.А., Антонов И.В., Рабизода Н. Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан) // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 267—282. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282.

Original article

Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan)

***Ikbol A. Kuvatov¹, Ilia A. Shishkin², Ivan V. Antonov¹,
Najibullo Rabizoda³***

¹ Higher school of technology and energy Saint-Petersburg state University industrial technology and design, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

³ International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Summary. The article describes the “TM — the Vakhsh River” territorial monitoring GIS-project, which provides information on water objects of the river basin, main sources of technogenic impact, qualitative and quantitative indicators of water composition on control stations. The project “TM — the Vakhsh River” includes three parts: geoinformation topographic base with geographical binding of layers to a single coordination system; geodatabase, which is a storage of information about the analyzed objects; a set of problem-oriented applications for obtaining assessments. A linear scheme of the basin is provided, indicating industrial and agricultural impact sources. Water quality was assessed using the Specific Combinatorial Water Pollution Index (SCWPI) for 2014—2018, water quality in the Vakhsh River in 2014 and 2015 referring to classes 2 and 3 (slightly polluted and polluted), and the one in 2016, 2017 and 2018 referring to class 1 (conditionally clean). Information on water users was analyzed, and the main industrial and agricultural enterprises contributing mainly to water pollution were identified, as well as sites with different levels of water pollution and representative indicators of water quality. The results of basin zoning have resulted in the identification of 3 water management zones, taking into account population, industrial and agricultural enterprises, irrigated areas and climatic characteristics of the terrain. This zoning correlates with the water sector reform program of the Tajikistan Republic for 2016—2025, which in the future will allow the implementation of integrated water resources management (IWRM) and uniform, efficient allocation of quotas for water withdrawal and wastewater discharge in the Vakhsh River basin, which is consistent with the concept of reducing the ecological water footprint of industrial and agricultural enterprises.

Keywords: Vakhsh river, technogenic load, geodatabase, geographic information system, water-resources region, water pollution index.

Acknowledgments. The authors are thankful to the Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan and the Agency of Hydrometeorology of the Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan for providing the data for this research.

For citation: Kuvatov I.A., Shishkin I.A., Antonov I.V., Rabizoda N. Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 267—282. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282.

Введение

Водные ресурсы распределены по земной поверхности неравномерно, и значительная доля человечества проживает в районах с дефицитом пресной воды. Проблема водообеспеченности заключается не только в наличии или отсутствии источников водоснабжения, но и в качестве этого ресурса. Истощение запасов

воды стоит в одном ряду с проблемой воздействия хозяйственной деятельности человека на атмосферный воздух, называемой «углеродным следом» [1, 2].

По территории Республики Таджикистан протекает большое количество рек, множество из которых берет свое начало в горной местности, что, с одной стороны, положительно сказывается на качестве воды (чистая вода из ледников), а с другой — в связи с бурным течением происходят эрозионные процессы. Это приводит к насыщению воды взвешенными веществами и солями, содержащимися в грунте. Кроме этого, по мере развития промышленности, усиливается техногенное воздействие на водные объекты, что проявляется в виде истощения данного ресурса и в загрязнении его сточными водами.

Река Вахш протекает по густонаселенным территориям с развитой промышленностью и сельским хозяйством, деятельность которых сопряжена с вовлечением в хозяйственный оборот больших объемов воды, и не всегда это использование является рациональным.

Для оценки рационального использования водных ресурсов, в настоящее время, часто используется концепция водного экологического следа (water footprint) [3, 4]. Понятие водного экологического следа показывает количество воды, которое используется прямо или косвенно при производстве товаров и услуг [3] и в зависимости от этого складывается из трех видов водного следа [5]:

— голубой — объем воды, изымаемый из поверхностных и подземных источников;

— зеленый — объем воды, поступающий на земную поверхность в виде осадков;

— серый — объем воды, требуемый для разбавления поступающих сточных вод от предприятий и другой хозяйственной деятельности человека.

В связи с этим, основная цель работы состоит в разработке структуры ГИС-проекта территориального мониторинга (ТМ) р. Вахш, с помощью которого будет возможно проводить районирование территории речного бассейна, оценить качество воды по интегральным индексам, определить репрезентативные показатели качества воды в рамках нормирования техногенного воздействия на водные объекты бассейна р. Вахш. В итоге, будут установлены нормативы допустимого изъятия водных ресурсов (ГОСТ Р ИСО 14046-2017) и сброса сточных вод с учетом специфики водного объекта, что приведет к снижению водного экологического следа промышленных и сельскохозяйственных предприятий в данном регионе [2, 5, 6].

Исходные данные

Река Вахш, являясь одной из крупнейших рек Таджикистана, протекает через его центральные районы в направлении с северо-востока на юго-запад и имеет протяженность 524 км. Бассейн р. Вахш расположен между 37,10° и 39,74° с.ш. и 68,31° и 73,70° в.д., общая площадь водосбора составляет более 39 000 км². В бассейне расположены крупные промышленные предприятия (ОАО «Таджикхимпром», Таджикско-Китайское СП «Нурии Осие» бывший «ТаджикАзот», ООО «Талко Кемикал», ООО «Хима-текстил», ОАО «Ресанда», ООО «Ресандаи Хатлон» и т.д.), а также городские агломерации (Бохтар, Левакант, Нурек), которые

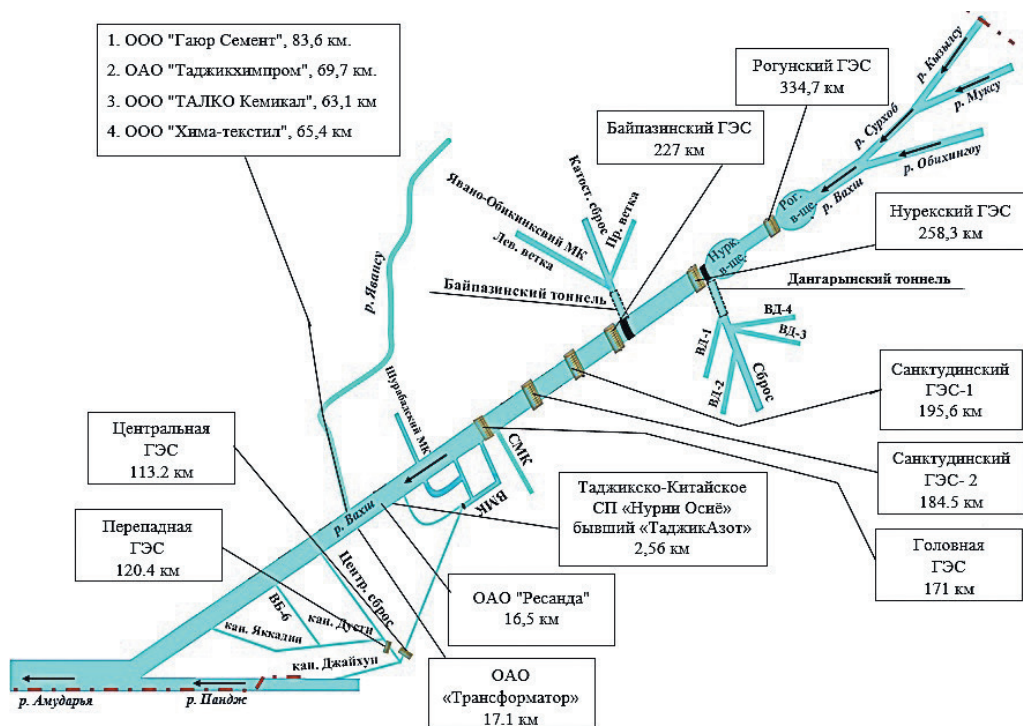


Рис. 1. Линейная схема р. Вахш.

Fig. 1. Linear scheme of the Vakhsh river.

осуществляют забор (изъятие) водных ресурсов, а также отведение своих сточных вод в реки бассейна. Основные притоки и источники техногенного воздействия указаны на линейной схеме бассейна реки Вахш (рис. 1).

Объем забора (изъятия) воды в годовом исчислении на нужды различных отраслей промышленности (химическая, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, машиностроение и металлообработка, цветная металлургия, горнорудная промышленность, угольная, легкая промышленность, пищевая промышленность, промышленность стройматериалов) из всех источников в пределах речных бассейнов Республики Таджикистан составляет: по Сырдарье 46,4 млн м³ (42,0 %), по Кафирнигану 26,2 млн м³ (23,7 %), по Вахшу 12,1 млн м³ (10,9 %), в том числе на легкую промышленность приходится 3,23 %, а на промышленность стройматериалов 7,75 %, по Зеравшану 14,7 млн м³ (13,3 %), по Пянджу 6,8 млн м³ (6,14 %) в том числе по Хатлонскому региону 6,17 млн м³, по ГБАО (Горно-Бадахшанская автономная область) 620 тыс. м³ [7—9].

Объемы сточных вод, которые отводятся от основных предприятий в поверхностные водные объекты бассейнов рек Республики Таджикистан, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемы водоотведения в поверхностные водные объекты по речным бассейнам
Республики Таджикистан

Volumes of water disposal to surface water bodies by river basins of the Republic of Tajikistan

Речной бассейн	Отведено в водные объекты		Безвозвратное потребление		Загрязненные стоки	
	тыс. м ³	% (от общего расхода)	тыс. м ³	%	тыс. м ³	%
Сырдарья	10916,5	23,5	1604,7	3,5	840,5	1,8
Зеравшан	3963,6	27,0	582,6	4,0	305,1	2,1
Кафирниган	8218,5	31,4	1208,1	4,6	632,0	2,4
Вахш	3040,6	25,1	447,0	3,7	234,1	2,0
Пяндж, в т.ч.:	1831,4	27,0		4,0		2,1
– регион Хатлон	1664,0	24,5	244,6	3,6	128,1	1,9
– регион ГБАО	167,4	2,5	24,6	0,4	12,8	0,2

Методика и результаты

Как видно из линейной схемы (рис. 1) и табл. 1, на водные объекты бассейна р. Вахш оказывается серьезное воздействие сточными водами предприятий. Помимо этого, намечается тенденция к увеличению численности населения, а также развитию существующих предприятий и вводу новых мощностей, что может привести к ухудшению качества воды в водных объектах бассейна. При этом, развитие промышленности не всегда сопряжено с модернизацией систем очистки, восстановлением и планированием новых водоотводящих мелиоративных систем.

Для нормализации ситуации с качеством воды в бассейне р. Вахш одним из первоначальных этапов является создание базы геоданных водных объектов с указанием постов гидрохимического и гидрологического контроля, предприятий-водопользователей.

Разработка ГИС-проекта территориального мониторинга «ТМ — р. Вахш» с использованием программного продукта ArcGIS Desktop позволяет решать следующие задачи [10—14]:

- накопление, систематизацию и классификацию всех источников негативного воздействия на бассейн реки;
- прогнозирование изменений во времени исследуемых параметров и показателей;
- статистическое и математическое моделирование процессов переноса и превращения веществ на основе моделей конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ) [15, 16].

Важнейшими элементами системы оценки на базе ГИС являются проблемно-ориентированные приложения, основная задача которых — проведение специализированного анализа данных для получения оценки состояния природных объектов и визуализации результатов.

Для решения задач оценки техногенной нагрузки на водные объекты бассейна р. Вахш разработанный проект «ТМ — р. Вахш» включает три блока:

1. Геоинформационную топооснову с географической привязкой слоев к единой системе координат (использованы топографические карты (масштаб 1:100000 и 1:200000) и спутниковые снимки Landsat 2 MSS (L2MMS), Landsat 5 TM (L5TM) и Landsat 8 OLI (L8OLI). 2019—2020 гг.) [17—19].

2. Базу геоданных, являющуюся хранилищем информации об анализируемых объектах, имеющую единую структуру и систему кодовых полей, позволяющую географически корректно привязать данные к тому или иному пространственному объекту [14, 20].

3. Набор проблемно-ориентированных приложений для получения оценок по ранее разработанным алгоритмам, и осуществляющих построение тематических карт, и визуализации результатов в пространственном виде.

Общий вид проекта «ТМ — р. Вахш» приведен на рис. 2 [13, 14, 18, 21—23].

В соответствии с поставленными целями и задачами база геоданных, как показано на рис. 2, включает шесть типов пространственных объектов:

- 1) территорию (административные границы республики, использованы шейп-файлы из открытых источников) [24];
- 2) районы (границы административных районов и сельских общин (джамоатов), использованы шейп-файлы из открытых источников) [24];
- 3) р. Вахш, полигональный слой реки;
- 4) ГЭС (включает местоположение гидроэлектростанции);
- 5) гидрост (включает местоположение гидростов);
- 6) посты гидрохимического контроля (включает местоположение постов (створов) наблюдения за качеством воды).

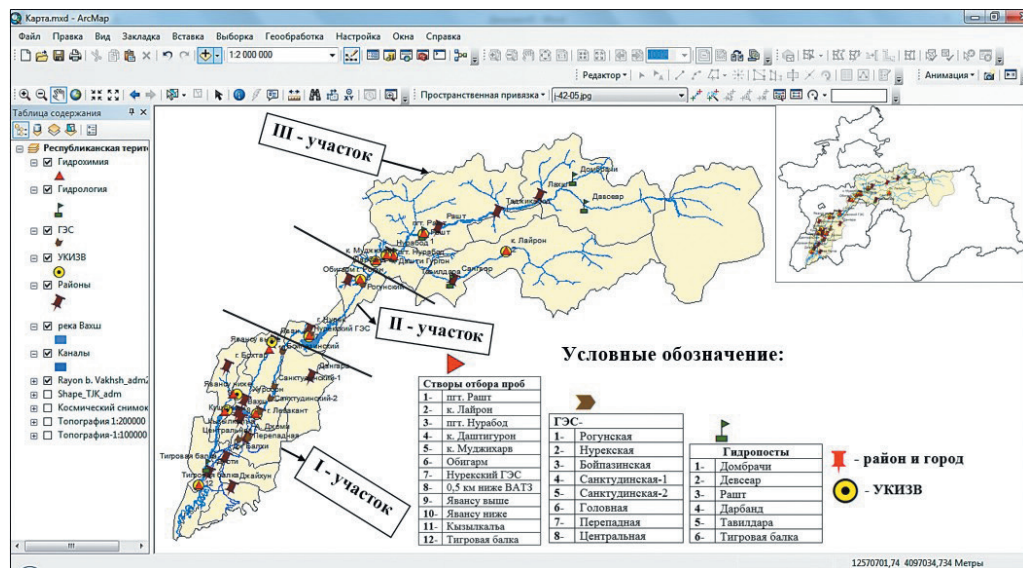


Рис. 2. Общий вид ГИС проекта «ТМ — р. Вахш».

Fig. 2. General view of the GIS project “Territorial Monitoring — Vakhsh River”.

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) является официальным показателем для характеристики качества воды в системе Таджики-гидромета и учитывает как кратность превышения нормативов, так и повторяемость этих случаев. Расчет осуществляется по документу РД 52.24.643-2002.

Наполнение базы геоданных информацией осуществлялось по материалам наблюдений Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан, Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, ГУ «Таджик НИИГиМ» за пятилетний период, которые были скомпонованы в единую структуру геоинформационной системы бассейна р. Вахш.

В результате обработки информации в базе геоданных вначале было выделено три водохозяйственных участка (рис. 3) с учетом сведений по количеству населения, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям, площадям орошения и климатическим характеристикам местности.

Нагрузка от производственно-коммунальных и сельскохозяйственных предприятий на речную сеть бассейна р. Вахш, как показали исследования, отличается значительной неравномерностью в верхнем, среднем и нижнем течении, что

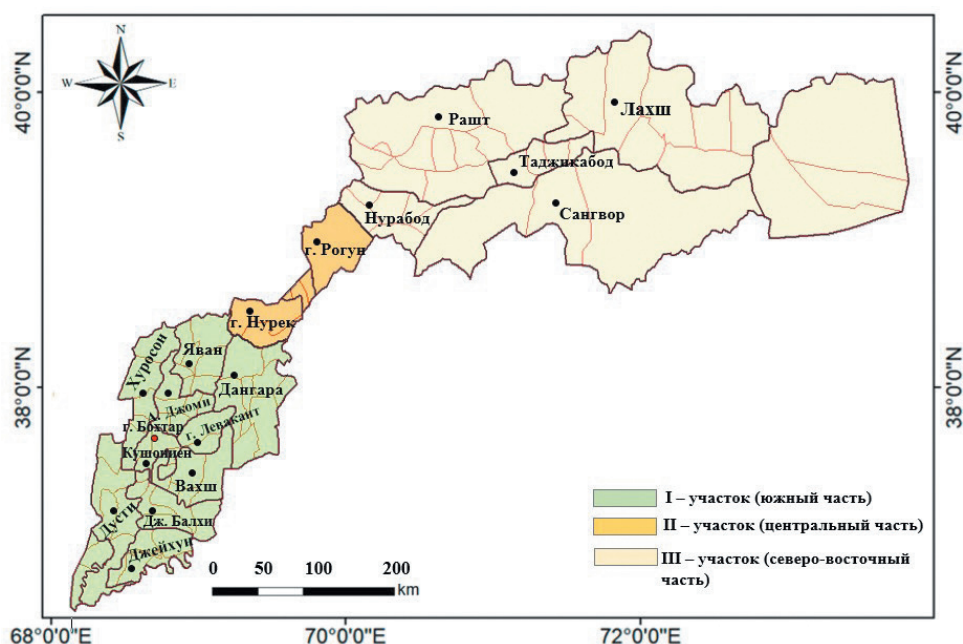


Рис. 3. Карта схема водосборного бассейна р. Вахш:

черные линии — административно-территориальные границы районов и городов;
красные (светлые) линии — территориальные границы сельских общин (джамоатов).

Fig. 3. Schematic map of the river Vakhsh catchment:

black lines — administrative and territorial boundaries of districts and cities;
red (light) lines — territorial boundaries of rural communities (jamoats).

предопределило необходимость интегрированного районирования по гидро- и морфологическим, а также гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Общие объемы водопотребления и водоотведения по различным видам хозяйственной деятельности для выделенных участков бассейна составляют:

— промышленные предприятия — 80,4 % (I участок), 14,3 % (II участок), 5,3 % (III участок);

— сельхозпредприятия — 74,1 % (I участок), 3 % (II участок), 22,9 % (III участок);

— орошаемая площадь — 87,2 % (I участок), 0,6 % (II участок), 12,2 % (III участок);

— население — 62,4 % (I участок), 3,8 % (II участок), 33,8 % (III участок).

При анализе предприятий в бассейне р. Вахш можно выделить три основные группы водопользователей: промышленные, объекты жилищно-коммунального хозяйства, сельскохозяйственные.

В табл. 2 приведены результаты обработки и систематизации водопользователей бассейна р. Вахш с учетом водохозяйственного районирования по данным источников [7, 9, 25, 26].

Таблица 2

Распределение водопользователей по административным районам бассейна р. Вахш с учетом водохозяйственного районирования

Distribution of water users by administrative districts of the Vakhsh River basin, taking into account water management zoning

Название района / город		Население*			Промышленные предприятия, шт.	Сельхоз предприятия, шт.	Орошаемая площадь, га
		1	2	3			
I участок	Джайхун	139,0	139,0	1,0	1	86	24972
	Дусти	117,1	97,5	1,2	3	47	19858
	Дж. Балхи	201,3	223,7	0,9	4	92	22970
	А. Джоми	175,8	293,0	0,6	1	54	2390
	Вахш	199,3	199,3	1,0	1	97	21506
	Кушониен	245,9	409,6	0,6	4	147	25795
	г. Бохтар	111,8	—	—	10	16	—
	Хуросон	116,5	129,4	0,9	1	47	10877
	Яван	234,6	260,7	0,9	10	158	27025
	г. Левакант	48,3	483,0	0,1	3	13	—
	Дангара	161,0	80,5	2,0	7	33	7550
	Всего	1750,6	2315,7	9,2	45	790	162943
II участок	г. Нурек	61,5	153,5	0,4	6	12	567
	г. Рогун	44,1	88,2	0,5	2	20	—
	Всего	105,6	241,7	0,9	8	32	567
III участок	Нурабод	82,1	91,2	0,9	—	59	2542
	Сангвор	23,3	3,9	6,0	—	13	1195
	Рашт	127,4	27,7	4,6	3	87	6387
	Таджикабад	46,0	65,7	0,7	—	46	3235

Окончание табл. 2

Название района / город	Население*			Промышленные предприятия, шт.	Сельхоз предприятия, шт.	Орошаемая площадь, га
	1	2	3			
Лахш	66,4	14,4	4,6	–	39	7844
Всего	345,2	202,9	16,8	3	244	21203
Всего	2201,4	2760,3	26,9	56	1066	184713

*1 столбец — население, тыс. чел., 2 — численность населения на км², 3 — территория, тыс. км².

Структура «ТМ — р. Вахш» реализована в виде набора пространственных объектов, отражающих основные характеристики техногенной нагрузки на бассейн р. Вахш.

Комплексная оценка существующей техногенной нагрузки по 12 действующим створам позволила оценить качество воды по 14 показателям и выявить влияние на них сельскохозяйственных предприятий и промышленных производств. Выявлено значительное превышение значений ПДК по содержанию алюминия, сульфатов, водородного показателя (*pH*) и минерализации. Результаты оценки с указанием класса качества воды по УКИЗВ за пятилетний период приведены на рис. 4 и в табл. 3 [27—29].

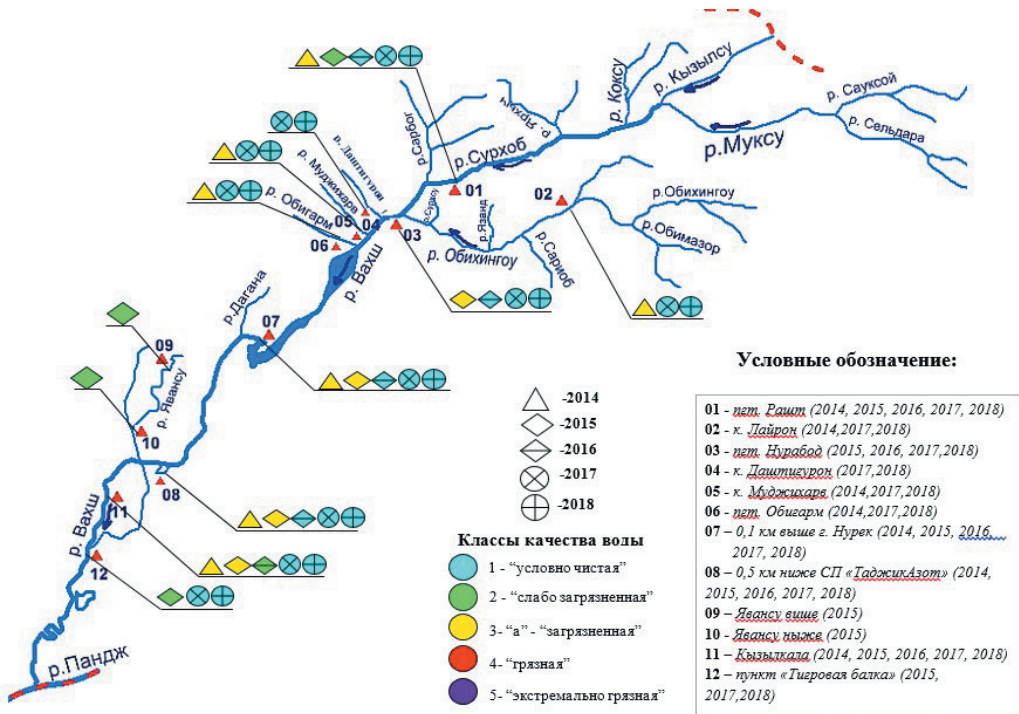


Рис. 4. Схема качества воды бассейна р. Вахш по данным 2014—2018 гг.

Fig. 4. Quality scheme of the Vakhsh river basin according to 2014—2018 data.

Таблица 3.

Изменение качества воды в бассейне р. Вахш по данным 2014—2018 г.
Changes in water quality in the Vakhsh river basin according to 2014—2018 data

Водный объект	Пункт наблюдений	Основные загрязняющие вещества	УКИЗВ и класс качества воды				
			2014	2015	2016	2017	2018
р. Сурхоб	пгт. Рашт	2014 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr ⁴⁺), фтор, медь, марганец, фосфор фосфатов	2,260, 3-й класс	1,780, 2-й класс	0,410, 1-й класс	0,320, 1-й класс	0,426, 1-й класс
р. Оби-хингоу	к. Лайрон		2,540, 3-й класс	—	—	0,330, 1-й класс	0,385, 1-й класс
р. Вахш	пгт. Нурабод		—	2,210, 3-й класс	0,499, 1-й класс	0,390, 1-й класс	0,400, 1-й класс
р. Даштигурон	к. Даштигурон	2015 г. — азот аммонийный, азот нитритов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr ⁴⁺), фтор, медь, марганец, фосфор фосфатов	—	—	—	0, 1-й класс	0,309, 1-й класс
р. Муджихарв	к. Муджихарв		2,090, 3-й класс	—	—	0, 1-й класс	0, 1-й класс
р. Обигарм	Обигарм		2,19	—	—	0, 1-й класс	0, 1-й класс
р. Вахш	Нурекский ГЭС	2016 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, кальций, магний, калий, натрий	2,280, 3-й класс	1,980, 3-й класс	0,960, 1-й класс	0,464, 1-й класс	0,412, 1-й класс
р. Вахш	0,5 км ниже ВАТЗ		2,280, 3-й класс	2,510, 3-й класс	0,560, 1-й класс	0,461, 1-й класс	0,409, 1-й класс
р. Явансу	Явансу выше	2017 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, натрий	—	1,610, 2-й класс	—	—	—
р. Явансу	Явансу ниже		—	1,490, 2-й класс	—	—	—
р. Вахш	Кизыл-кала	2018 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr ⁶⁺) натрий	2,278, 3-й класс	2,610, 3-й класс	1,050, 2-й класс	0,380, 1-й класс	0,390, 1-й класс
р. Вахш	Тигровая балка		—	1,076, 2-й класс	—	0, 1-й класс	0,403, 1-й класс

Общий вид структуры базы данных приведен на рис. 5.

База данных результатов наблюдений и оценки качества воды реализована на реляционном принципе (рис. 5) и включает пять типов объектов по аналогии со структурой топоосновы:

— Гидрологические данные (расход воды по гидростам);

— Гидрохимические данные по 12 створам, в каждом по 31 гидрохимическому показателю (температура, запах, цветность, мутность, соленость, рН, минерализация, УЭП, аммоний, нитриты, нитраты, железо общее, фосфор, фосфаты, оксид фосфора, алюминий, хлориды, марганец, калий, кремний, сернистая кислота, гидрокарбонаты, сульфаты, кальций, магний, натрий, медь, хром (четырёхвалентный), хром (шестивалентный), фтор, диоксид кремния);

— УКИЗВ, который рассчитан для каждого года за период с 2014 по 2018 гг. При этом в расчетах использовались показатели качества: нитриты, нитраты, аммоний, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (четырёхвалентный), фтор, медь, марганец, фосфор;

— ГЭС (месторасположение восьми гидроэлектростанций и зафиксированный расход вод — створный, турбинный, холостой, объем холостой воды);

— Районы. Включает 15 районов: Лахш, Таджикабад, Рашт, Нурабад, Сангвор, г. Рогун, г. Нурек, Дангара, Хуросон, г. Левакант, Яван, г. Бохтар, Кушониен, Вахш, А. Джоми, Дж. Балхи, Дусты, Джайхун. Районирование произведено по: количеству населения, площади территории, плану водоснабжения, промышленным и сельхозпредприятиям, площадям орошения [7, 29].

Как видно на рис. 5, таблицы базы данных соединены между собой, в зависимости от взаимоотношения каждого из типов объектов. Имеются связи «один ко многим», что означает, для одного объекта данного типа имеется множество объектов из другого типа (например, в одном пункте контроля определение качества воды производится по различным показателям во времени).

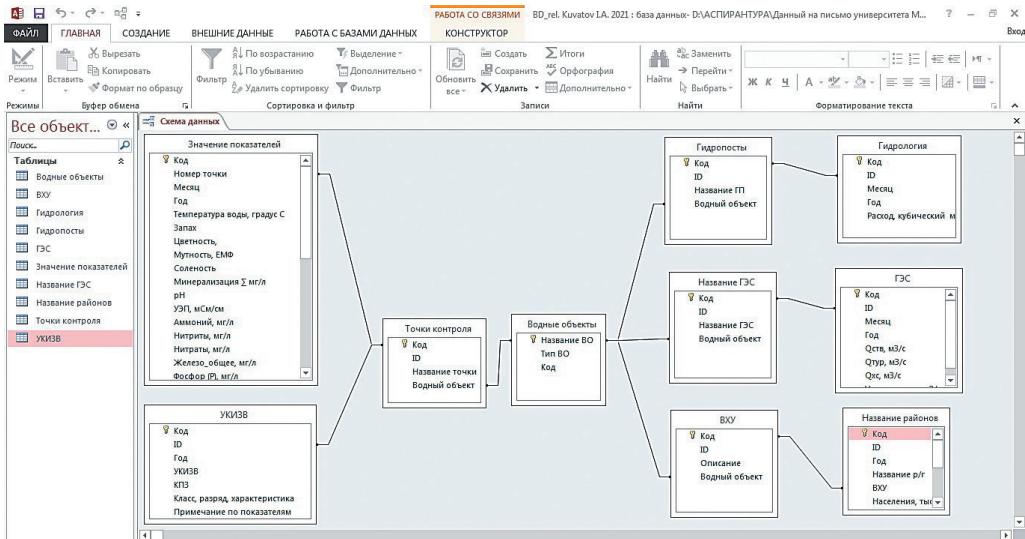


Рис.5. Схема реляционной базы данных бассейна реки Вахш.

Fig. 5. Schematic of the Vakhsh river basin relational database.

Заключение

На основе выполненных исследований по обобщению, ранжированию и классификации характеристик водопользования и распределения сбрасываемых сточных вод создан проект территориального мониторинга бассейна р. Вахш «ТМ — р. Вахш», содержащий пять слоев (гидрология, гидрохимия, расход воды по ГЭС, водохозяйственные районы по участкам и результаты расчета УКИЗВ).

Наполнение разработанной структуры базы данных осуществлено на основе систематических наблюдений по гидропостам и отдельным створам.

В рамках задачи оценки качества воды было обобщено в базе данных 11630 значений концентраций гидрохимических показателей, что позволило выявить репрезентативные показатели качества воды в бассейне р. Вахш. К ним были отнесены: сульфаты, натрий, калий, кальций, магний. Помимо выбора репрезентативных показателей, на основе этих наборов данных рассчитан УКИЗВ (табл. 3) за 2014—2018 гг. Показано, что качество воды в р. Вахш в 2014 и 2015 гг. относится к 2-му и 3-му классам (слабо загрязненная и загрязненная), а 2016, 2017 и 2018 гг. относится к 1-му классу (условно чистая).

Выявлено значительное превышение нормативов качества воды (ПДК) для показателей: алюминий, сульфаты, *pH* и минерализация.

По результатам районирования бассейна выделено три водохозяйственных участка (рис. 3) с учетом сведений по количеству населения, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям, площадям орошения и климатическим характеристикам местности. Данное районирование коррелируется с программой реформы водного сектора Республики Таджикистан на 2016—2025 гг., которая в дальнейшем позволит реализовать интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) и равномерно, эффективно распределять квоты на забор воды и сброс сточных вод в бассейне р. Вахш, что укладывается в концепцию снижения экологического водного следа промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Список источников

1. Рыбников О.В., Бондаренко Н.П., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно бумажного комбината ЗАО IP («ОАО Светогорск») // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. С. 62—68.
2. Aqueduct global maps 2.0. Aqueduct metadata document: [Электронный ресурс] // Francis Gassert et al. Washington, WRI, Working Paper 19, 2013. 20 p. URL: <https://docplayer.net/8582082-Executive-summary-contents-aqueduct-metadata-document-aqueduct-global-maps-2-1-working-paper.html> (дата обращения 02.04.2022).
3. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. L.; Wash., DC: Water Footprint Network, 2011. 228 p.
4. Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products // Hydrology and Earth System Sciences. 2011. Vol. 15, № 5. P. 1577—1600 doi: 10.5194/hess-15-1577-2011.
5. ISO (2011) ISO 14051:2011. Environmental Management — Material Flow Cost Accounting — General Framework. ISO, Geneva: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/50986.html> (дата обращения: 02.04.2022).
6. Гулахмадов А.А. Анализ климатических переменных в верховьях бассейна реки Амударья в Таджикистане. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. Брянск. 2022. № 1. С. 76—85. doi: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-76-85.

7. *Шишкин А.И., Куватов И.А., Барххуев Х.О.* Районирование бассейна р. Вахш по интегральной нагрузке основных промышленных и сельскохозяйственных производств. Сборник материалов XXIV Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады. Книга 1. СПб.: Любавич, 2019. С. 356—366.
8. *Шишкин А.И., Куватов И.А.* Применение системного анализа для комплексной оценки техногенной нагрузки в трансграничном бассейне реки Вахш (Республики Таджикистан) // Сборник материалов XXIII Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады. Книга 2. СПб.: Любавич, 2019. С. 122—133.
9. Статистический отчет о результатах одновременного выборочного обследования по водопользователям в сельском хозяйстве, добывающей и обрабатывающей промышленности в Республике Таджикистан 2016 года: [Электронный ресурс]. URL: http://stat.wv.tj/4b41344a386e7999608e75e7a5710373_1515477607.pdf/ (дата обращения: 6.06.2021).
10. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 287 с.
11. *Наврузов С.Т.* О создании геоинформационной системы управления водными ресурсами трансграничных рек // Сборник научных трудов ЭИТ. Выпуск 10, часть 1. Душанбе. 2008. С. 124—134.
12. *Шамова В.В.* ГИС водоемов и воднотранспортных объектов. Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. 409 с.
13. *Наврузов С.Т.* Геоинформационная система управления водными ресурсами речного бассейна // Материалы научной конференции «Вопросы ресурсного обеспечения информационно-коммуникационных технологий в образовании», посвященной 10-летию РТСУ. Душанбе: РТСУ, 2006. С. 65—68.
14. *Куракина Н.И.* Геоинформационные системы в экологии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 160 с.
15. *Шишкин А.И., Горбунов Н.Е., Елифанов А.В.* Управление качеством окружающей среды с применением геоинформационных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 292 с.
16. *Дружинин Н.И., Шишкин А.И.* Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 329 с.
17. *Аминов Дж.Х., Фазылов А.Р., Кобулиев З.В., Аминов Дж., Сафаров М.С.* Мониторинг заилиenia водохранилищ с использованием методов дистанционного зондирования // Сборник материалов Международной научно-практической онлайн конференции (Душанбе, Таджикистан). Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата. Душанбе: Фархунда М, 2020. С. 57—68.
18. *Gulakhmatov A., Chen Xi, Gulakhmatov M., Kobuliev Z., Gulahmatov N., Peng J., Li Z., Liu T.* Evaluation of the CRU TS3.1, APHRODITE_V1101, and CFSR Datasets in Assessing Water Balance Components in the Upper Vakhsh River Basin in Central Asia // Atmosphere. 2021. 12(10). 1334. doi: 10.3390/atmos12101334.
19. *Gulakhmatov A., Chen X., Gulahmatov N., Liu T., Anjum M.N., Rizwan M.* Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios // Water 2020. 12(5). 1426. doi: 10.3390/w12051426.
20. *Хомопепко А.Д., Цыганков В.М., Мальцев М.Г.* Базы данных. СПб.: КОРОНА-Век, 2009. 736 с.
21. *Наврузов С.Т.* Моделирование в управлении водными ресурсами. Душанбе: ЭР-граф, 2013. 280 с.
22. *Алексеев В.В., Шишкин И.А.* Геоинформационная система оценки состояния технических сооружений защиты территории от подтопления // Вестник ТОГУ. 2012. № 4(27). С. 69—78.
23. *Антонов И.В., Шишкин А.И., Чусов А.Н.* Методология нормирования антропогенного воздействия на основе геоинформационной моделирующей системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 25—37.
24. GIS program «DIVA-GIS»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diva-gis.org/datadown> (дата обращения: 30.06.2021).
25. Статистический отчет о численности населения Республики Таджикистан 2014—2019 гг. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан: [Электронный ресурс]. URL: http://oldstat.wv.tj/ru/img/b417f44e3113e555ffff3cd143d5b3fe_1404816557.pdf/ (дата обращения: 16.06.2021).
26. Авторское свидетельство РФ № 2021623223, 27.12.2021. Реляционная база гидрологических и гидрохимических данных по водным объектам с учетом водохозяйственного районирования

- бассейна реки Вахш Республики Таджикистан по сезонам за период 2014—2018 гг. для идентификации параметров качества вод / Куватов И.А., Шишкин И.А., Рабизода Н., Антонов И.В., Кушнеров А.И. // Авторское право России. № 2021623041. 13.12.2021. Бюл. № 1.
27. *Абдушукуров Дж.А., Салибаева З.Н.* Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана. ФРГ: Изд-во Ламберт, 2014. 130 с.
 28. Авторское свидетельство РФ № 2020622624, 14.12.2020. Реляционная база гидрохимических данных водных объектов бассейна реки Вахш Республики Таджикистан по сезонам за период 2014—2018 гг. для идентификации параметров качества вод / Куватов И.А., Шишкин И.А., Кушнеров А.И., Рабизода Н. // Авторское право России № 2020622200. 10.11.2020. Бюл. № 12.
 29. *Алексеев В.В., Шишкин И.А.* Районирование территорий на базе ГИС с целью оценки степени риска от подтопления // МНТК «Научное и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий». СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2011. С. 39—47.

References

1. *Rybnikov O.V., Bondarenko N.P., Mandre Yu.G., Akim E.L.* Stage-by-stage ecological and technological reconstruction of the integrated pulp and paper mill of CJSC IP (“OJSC Svetogorsk”). *Tsellyuloza. Bumaga. Karton. Cellulose. Paper. Paperboard.* 2013, 5: 62—68. [In Russian].
2. Aqueduct global maps 2.0. Aqueduct metadata document. Francis Gassert et al. Washington, WRI, Working Paper 19, 2013, 20. Available at: <https://docplayer.net/8582082-Executive-summary-contents-aqueduct-metadata-document-aqueduct-global-maps-2-1-working-paper.html> (accessed 02.04.2022).
3. *Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M.* The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. L.: Wash., DC: Water Footprint Network, 2011: 228 p.
4. *Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y.* The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15, 5: 1577—1600. doi: 10.5194/hess-15-1577-2011.
5. ISO (2011) ISO 14051:2011. Environmental Management — Material Flow Cost Accounting — General Framework. ISO, Geneva. Available at: <https://www.iso.org/standard/50986.html> (accessed 02.04.2022).
6. *Gulakhmadov A.A.* Analysis of climate variables in the upper Amu Darya River Basin in Tajikistan. *Nauchno-Tekhnicheskij Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. Scientific and Technical Journal of Bryansk State University. 2022, 1: 76—85. doi: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-76-85. [In Russian].
7. *Shishkin A.I., Kuvatov I.A., Barkhkhuev H.O.* Zoning of the Vakhsh River basin according to the integral load of the main industrial and agricultural industries. *Sbornik materialov XXIII Mezhdunarodnogo Bios-foruma i Molodezhnoi Bios-olimpiady. Kniga 2*. Collection of materials of the XXIV International Bios Forum and the Youth Bios Olympiad. Book 1. St. Petersburg: Lyubavich, 2019: 356—366. [In Russian].
8. *Shishkin A.I., Kuvatov I.A.* Application of system analysis for a comprehensive assessment of technogenic load in the transboundary basin of the Vakhsh River (Republic of Tajikistan). *Sbornik materialov XXIII Mezhdunarodnogo Bios-foruma i Molodezhnoi Bios-olimpiady. Kniga 2*. Collection of materials of the XXIII International Bios Forum and the Youth Bios Olympiad. Book 2. SPbSCRS, VVM. SPb: Lyubavich, 2019: 122—133. [In Russian].
9. *Statisticheskij oчет o rezul'tatakh yedinovremennogo vyborochnogo obsledovaniya po vodopol'zovatelyam v sel'skom khozyaystve, dobyvayushchey i obrabatyvayushchey promyshlennosti v Respublike Tadjikistan 2016 goda*. Statistical report on the results of a one-time sample survey on water users in agriculture, extractive and manufacturing industries in the Republic of Tajikistan 2016. Available at: <http://stat.wv.tj> (accessed 06.06.2021). [In Tajikistan].
10. *Tsvetkov V.Y.* *Geoinformacionnye sistemy i tekhnologii*. Geoinformation systems and technologies. Moscow: Finance and statistics, 1998: 287 p. [In Russian].
11. *Navruzov S.T.* On the creation of a geoinformation system for managing water resources of transboundary rivers. *Sbornik nauchnykh trudov EIT. Vypusk 10, chast' 1*. Collection of scientific papers Energy Institute of Tajikistan (EIT). Dushanbe, 2008, 10(1): 124—134. [In Tajikistan].

12. *Shamova V.V. GIS vodoemov i vodnotransportnykh ob'ektov: uchebnoe posobie*. GIS of reservoirs and water transport objects: a textbook. Novosibirsk: Novosibirsk State Academy of Waters. transp., 2013: 409 p. [In Russian].
13. *Navruzov S.T. Geoinformation system of water resources management of the river basin. Materialy nauchnoi konferentsii «Voprosy resursnogo obespecheniia informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologii v obrazovanii», posviashchennoi 10-letiiu RTSU*. Materials of the scientific conference «Issues of resource provision of information and communication technologies in education» dedicated to the 10th anniversary of the Russian-Tajik (Slavic) University. RTSU. Dushanbe, 2006: 65—68. [In Tajikistan].
14. *Kurakina N.I. Geoinformacionnye sistemy v ekologii*. Geoinformation systems in ecology. St. Petersburg: Publishing house of SPbGETU «LETI», 2015: 160 p. [In Russian].
15. *Shishkin A.I., Gorbunov N.E., Epifanov A.V. Upravlenie kachestvom okruzhayushchej sredy s primeneniem geoinformacionnykh sistem: ucheb. posobie*. Environmental quality management with the use of geoinformation systems: textbook. manual. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic University, 2011: 292 p. [In Russian].
16. *Druzhinin N.I., Shishkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie zagryazneniya poverhnostnykh vod sushi*. Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989: 329 p. [In Russian].
17. *Aminov J.Kh., Fazylov A.R., Kobuliev Z.V., Aminov J., Safarov M.S. Monitoring of reservoir silting using remote sensing methods. Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi onlain konferentsii (Dushanbe, Tadjikistan). Kompleksnoe ispol'zovanie vodno-energeticheskikh resursov Tsentral'noi Azii v usloviakh global'nogo izmeneniia klimata*. Collection of materials of the International Scientific and Practical Online Conference (Dushanbe, Tajikistan) Integrated use of water and energy resources of Central Asia in the context of global climate change. Dushanbe: Farkhunda, 2020: 57—68. [In Tajikistan].
18. *Gulakhmadov A., Chen Xi, Gulakhmadov M., Kobuliev Z., Gulakhmadov N., Peng J., Li Zh., Liu T. Evaluation of the CRU TS3.1, APHRODITE_V1101, and CFSR Datasets in Assessing Water Balance Components in the Upper Vakhsh River Basin in Central Asia*. Atmosphere. 2021, 12(10), 1334. . doi: 10.3390/atmos12101334.
19. *Gulakhmadov A., Xi Ch., Gulakhmadov N., Liu T., Anjum M.N., Rizwan M.* Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios. Water. 2020, 12(5): 1426. doi: 10.3390/w12051426.
20. *Homopepko A.D., Tsygankov V.M., Maltsev M.G. Bazy dannykh*. Databases. St. Petersburg: KORONA-Vek, 2009: 736 p. [In Russian].
21. *Navruzov S.T. Modelirovanie v upravlenii vodnymi resursami*. Modeling in water resources management. Dushanbe: ER-graf, 2013: 280 p. [In Tajikistan].
22. *Alekseev V.V., Shishkin I.A. Geoinformation system for assessing the state of technical structures for protecting the territory from flooding. Vestnik TOGU*. Bulletin of PSU. 2012, 4(27): 69—78. [In Russian].
23. *Antonov I.V., Shishkin A.I., Chusov A.N. Methodology of rationing of admissible dumps on the basis of geoinformation modeling system. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014, 3 (18): 25—37. [In Russian].
24. GIS program «DIVA-GIS». Available at: <https://www.diva-gis.org/datadown> (accessed 30.06.2021).
25. *Statisticheskij ochet o chchislennost' naseleniya Respubliki Tadjikistan 2014—2019 gg.* Statistical report on the population of the Republic of Tajikistan 2014—2019 Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Available at: <http://oldstat.wv.tj/ru/img> (accessed 16.06.2021). [In Tajikistan].
26. *Kuvatov I.A., Shishkin I.A., Rabizoda N., Antonov I.V., Kushnerov A.I. Relyatsionnaya baza gidrologicheskikh i gidrokhimicheskikh dannykh po vodnym ob'yektam s uchetom vodokhozyaystvennogo rayonirovaniya basseyna reki Vakhsh Respubliki Tadjikistan po sezonam za period 2014—2018 gg. dlya identifikatsii parametrov kachestva vod.* The relational database of hydrological and hydrochemical data on water bodies, taking into account the water management zoning of the Vakhsh river basin of the Republic of Tajikistan by seasons for the period 2014—2018 for identification of water quality parameters. Patent RF, no. 2021623223, 2021. [In Russian].

27. *Abdushukurov J.A., Salibayeva Z.N. Hidrogeokhimicheskiye parametry kachestva vody v rekakh Tadjikistana.* Hydrogeochemical parameters of water quality in the rivers of Tajikistan. Germany: Lambert Publishing House, 2014: 130 p. [In German].
28. *Kuvatov I.A., Shishkin A.I., Kushnerov A.I., Rabizoda N. Relyatsionnaya baza gidrokhimicheskikh daniykh vodnykh ob'yektov basseyna reki Vakhsh Respubliki Tadjikistan po sezonam za period 2014—2018 gg. dlya identifikatsii parametrov kachestva vod.* Relational database of hydrochemical data of water bodies of the Vakhsh River basin of the Republic of Tajikistan by seasons for the period 2014—2018 for identification of water quality parameters. Patent RF, no 2020622624, 2020. [In Russian].
29. *Alekseev V.V., Shishkin I.A. The Zoning based on GIS to assess the degree of risk from flooding. MNTK «Naukoemkie i innovatsionnye tekhnologii v reshenii problem prognozirovaniia i predotvrashcheniia chrezvychainykh situatsii i ikh posledstviia».* Conference «Science and innovative technologies in solving the problems of forecasting and prevention of emergency situations and their consequences». St. Petersburg: LLC «PIF.COM», 2011: 39—47. [In Russian].

Информация об авторах

Куватов Икбол Абдугафорович, аспирант 4-го года обучения Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Iqbol_90@inbox.ru.

Шишкин Илья Александрович, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), ilya@mail.ru.

Антонов Иван Владимирович, канд. техн. наук, доцент Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Antonovivv@yandex.ru.

Рабизода Наджибулло, канд. техн. наук, ст. преподаватель, Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, факультет Цифровые технологии и менеджмента, декан, kuvvatov-1987@mail.ru.

Information about authors

Kuvatov Ikbol A., 4th year post-graduate student, Higher school of technology and energy of the Saint Petersburg state University of industrial technologies and design.

Shishkin Ilya, PhD (Tech. Sci.), associate professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Antonov Ivan V, PhD (Tech. Sci.), associate professor, Higher school of technology and energy of the Saint Petersburg state University of industrial technologies and design.

Rabizoda Najibullo, PhD (Tech. Sci.), Senior Lecturer, International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, faculty Digital technologies and management, dean.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 01.02.2022.

Принята к публикации после доработки 08.05.2022.

The article was received on 01.02.2022.

The article was accepted after revision on 08.05.2022.