

Абдушукуров Д.А., Кобулиев З.В., Пасселл Х., Салибаева З.Н.

## ГИДРОХИМИЯ ВОД ОСНОВНЫХ РЕК ТАДЖИКИСТАНА

D.A. Abdushukurov, Z.V. Kobuliev, Kh. Passell, Z.N. Salibaeva

## HYDROCHEMISTRY OF THE WATERS OF THE MAIN RIVERS OF TAJIKISTAN

УДК: 550.4:556.114

Проведена обработка и интерпретация данных о физико-химических характеристиках вод основных рек Таджикистана. Измерения (рН, концентрация солей, общий состав растворенных в водах веществ, удельная проводимость вод, окислительно-восстановительный потенциал и концентрация растворенного в водах кислорода) произведены в 31 точке на реках. Измерены содержания растворенных в воде кальция, железа, марганца и натрия. Наибольшие концентрации Ca и Na обнаружены в низовьях рек Сырдарья, Пяндж, Вахи и Исфара, наибольшая концентрация Fe – в горных реках Шахристан и Варзоб. Содержание марганца достаточно низко.

**Ключевые слова:** гидрохимия, качество воды, макроэлементы, обработка и интерпретация данных.

Result of the data processing and interpretation of the physical and chemical characteristics of the waters in the main rivers of Tajikistan are represented. Analyses were spent within the limits of the international experiment of "NAVRUZ", measurements have been made in 31 points on the rivers. Have been measured pH, concentration of salts, common composition of the dissolved in waters substances, specific electric conductivity of waters, reduction potential and concentration of the dissolved oxygen in waters. Concentration of the dissolved in water calcium, iron, manganese and sodium has been measured. The greatest concentration of calcium and sodium is observed in lower reaches of the rivers Syrdarya, Pyandj, Vakhsh and Isfara. The greatest concentration of iron is inherent in the mountain rivers Shachristan and Varzob. The manganese maintenance it is low enough.

**Key words:** hydrochemistry, water quality, macro elements, data processing and interpretation.

**Введение.** Основные реки Таджикистана протекают в густонаселенных районах, они принимают стоки с орошаемых земель, откуда в водные объекты привносится значительное количество биогенных веществ и химических загрязнений. От физико-географических условий бассейнов рек зависит не только общая минерализация вод, но и химический состав растворенных веществ. К важнейшим показателям качества воды относится содержание в ней тяжелых металлов. Определение растворенных форм металлов в данной работе проводилось при помощи высокочувствительных методов анализа, одним из которых является нейтронно-активационный анализ (НАА).

Ученые Казахстана, Узбекистана и Кыргызстана в 1999-2009 гг. принимали участие в международном экспериментальном проекте «НАВРУЗ». Целью эксперимента являлось изучение радиоэкологической и геохимической чистоты трансграничных рек Центральной Азии [1, 2]. По условиям проекта, полный объем отобранных для исследований образцов отправлялся на НАА в Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (ИЯФ АН

РУ), одна десятая часть проб – в Институт ядерной физики Академии наук Республики Казахстан (ИЯФ АН РК) и такая же партия направлялась в Сандийскую национальную лабораторию (СНЛ) США для подтверждения правильности данных и контроля качества анализов. Результаты анализов собирались в СНЛ.

Выполненная работа относится к области гидрохимии и посвящена результатам обработки и интерпретации ранее полученных данных измерения физико-химических характеристик вод основных рек Таджикистана.

**Отбор проб и методы анализа.** В рамках проекта «НАВРУЗ» были проведены отборы проб воды в 31 точке основных рек Таджикистана. Отборы производились в периоды половодья, в весенне-летний сезон (май-июнь месяцы). При этом не учитывались метеорологические условия местности (в частности дожди и сели).

Методика пробоотбора предусматривала отбор растворенных компонентов речной воды, близлежащих почв, донных осадков и водной растительности [3, 4]. Измерения физико-химических параметров воды (температура, рН, удельная проводимость, общий состав растворенных твердых веществ, общий состав солей, растворенный кислород и окислительно-восстановительный потенциал) производились на местах отбора проб прибором "Hydrolab" (США) [5]. В Республике Таджикистан были выбраны точки отбора проб воды практически на всех основных реках бассейнов Амударьи и Сырдарьи, кроме р. Зерафшан. Особое внимание было уделено рекам Варзоб и Кафирниган, составлявшим основу водозабора города Душанбе [6, 7].

При отборе проб были соблюдены все требования в соответствии с Методическими указаниями [3]. Учтены минимальные расстояния отбора проб вниз по течению реки от ближайшего притока или водослива, обеспечивающие достаточное перемешивание для взятия пробы воды. Образцы воды объемом 5 л отбиралась как минимум из пяти точек в рассматриваемом створе. Пробы воды фильтровались и подкислялись азотной кислотой не позднее одного часа после отбора.

Одновременно в точке отбора проб производились измерения физико-химических параметров воды. Проводилось пять измерений через каждые десять минут с записью информации для последующего определения в лабораторных условиях скорости дегазации растворенного кислорода. При хорошем перемешивании воды речным потоком, проба бралась в трех точках русла (на расстоянии 2-3 метров от берегов и в середине реки). Подтвержде-

нием хорошего перемешивания служило постоянство показаний температуры и рН при опробовании [8].

Отобранные образцы вод доставлялись в лабораторию, где производилось упаривание воды при температуре до 85 °С до 50 мл, т.е. степень предварительного обогащения составляла 1:100. При про-

ведении анализов концентрация металлов пересчитывалась на полный объем воды.

**Результаты анализов и обсуждения.** Результаты физико-химических параметров опробованных вод сведены в таблице 1.

*Таблица 1.*

**Физико-химические параметры воды рек Таджикистана**

Реки	рН	Соли (мг/л)	Раств. вещества (мг/л)	Удельная проводимость (мС/см)	ОВП (мВ)	О <sub>2</sub> растворен. (% насыщения)	О <sub>2</sub> растворен. (мг/л)
Сиома	7,6	40	62,1	0,0969	435	95,1	10,8
Тагоб	7,82	60	93,1	0,1455	419	94	9,36
Оби Чаппа	8,14	90	128,2	0,2004	400	94,8	8,51
Оджук	7,85	40	70,4	0,1128	386	96	9,06
Варзоб 1	7,93	80	109,5	0,1711	380	97,9	9,6
Варзоб 2	7,97	80	112,8	0,176	437	101,1	10,43
Сарбо	7,5	50	81,9	0,128	390	96,4	9,61
Сардаи Миёна	7,46	70	99,5	0,1556	409	93,9	9,24
Кафирниган 1	7,88	80	117,4	0,1834	445	100	10,15
Кафирниган 2	7,76	100	135,2	0,2112	341	106,6	10,21
Кафирниган 3	7,73	130	172,1	0,2691	334	106,5	9,67
Елок	7,85	300	387,6	0,5805	470	98,2	8,95
Вахш 1	7,46	650	785	1,23	353	104,8	9,71
Вахш 2	7,31	220	278,5	0,4353	372	100,6	10,03
Пяндж 2	7,75	520	633	0,9887	355	105,5	8,9
Сырдарья 1	7,93	920	1111	1,732	413	104,5	8,02
Сырдарья 2	8,04	700	821,1	1,323	418	109,3	8,75
Исфара 1	8,25	150	194,6	0,3043	369	97,4	8,76
Исфара 2	8,1	1030	1230	1,921	373	100,7	7,31
Сабурган	7,58	160	209,7	0,3277	357	94,3	9,49
Каратаг 1	7,19	40	69,9	0,1097	348	94,7	10,04
Каратаг 2	7,33	70	99,6	0,1558	438	96,2	9,75
Рогова	7,5	80	114,1	0,1783	408	91,5	8,73
Хонако1	7,35	40	68,5	0,1071	395	93	9,46
Хонако2	7,44	60	89,9	0,1404	400	92	8,96
Шахристан 1	7,77	110	146,9	0,2294	388	83,9	8,8
Шахристан 2	8,08	200	221,1	0,4005	354	83,1	8,96
Шахристан 3	7,97	130	171,4	0,2669	360	78,7	9,3
Шахристан 4	7,61	40	64,3	0,1007	384	79,3	8,13

Значения рН в опробованных водах изменяются от 7,19 до 8,25, то есть воды рек Таджикистана являются слабощелочными. Наименьшее значение рН зафиксировано в р.Каратаг 1, максимальное - в р.Исфара 1.

Вода во всех горных реках Таджикистана является пресной. Соли в водах рек распределены неравномерно: наибольшая концентрация соли (1030 мг/л) зарегистрирована в р. Исфара 2 (до впадения в Ферганский канал), минимальная концентрация (40 мг/л) присуща образцу Шахристан 4 (конец перевала Шахристан со стороны Айни).

Вода в нижних притоках Амударьи оказалась с повышенной минерализацией [9]. В Вахше 1 (перед слиянием с р. Пяндж) концентрация солей равна 650 мг/л, и уменьшается по мере продвижения к истокам

реки. Так концентрация солей в р. Вахш 2 (к. Чорсада), равна 220 мг/л. Вахшская долина достаточно хорошо освоена в аграрном плане, и дренажные воды, после полива полей, могут возвращаться в основное русло реки, увеличивая минерализацию, особенно в период половодья. Немного лучшая ситуация сложилась на р. Пяндж, в низовьях которой концентрация солей равна 520 мг/л.

Общий состав растворенных веществ в водах, кроме солей, включает в себя и другие вещества, в частности органические соединения. Из сравнения значений общего состава растворенных веществ и концентрации солей видно, что концентрация общих растворенных веществ выше концентрации солей и они тесно коррелируют, в том числе и с электропроводимостью (рис. 1, 2).

Органические вещества составляют небольшую часть в общем составе растворенных веществ, и можно предположить, что эти вещества практически не меняются в общем составе всех речных вод.

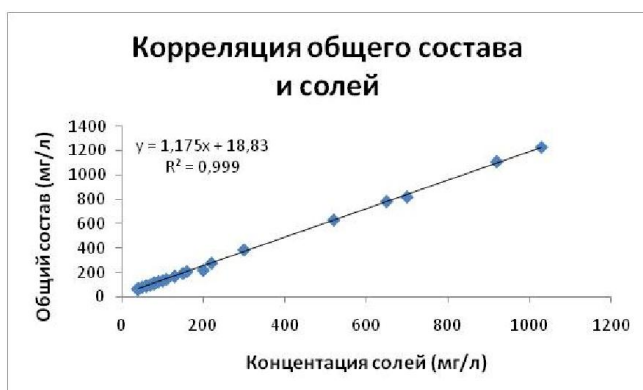


Рис. 1. Корреляция общего состава растворенных веществ с солями.

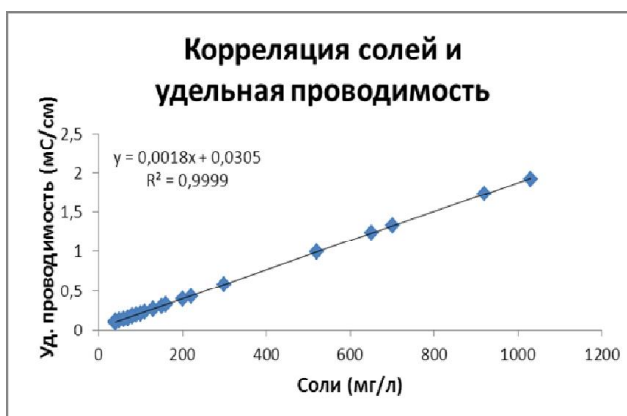


Рис. 2. Корреляция солей с удельной проводимостью.

Для определения степени окисления воды или изменения условий распространения в воде растворенных металлов в экологической химии используется окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Этот параметр вод также используется в геологии для поиска месторождений определенных минералов посредством оконтуривания вод, потенциалы которых зависят от состава и количества растворенных в водах металлов.

Измеренные значения ОВП в исследуемых водах находятся в пределах от 334 до 470 мВ (табл.1) и соответствуют значениям для поверхностных вод.

Важным биохимическим параметром вод является концентрация растворенного кислорода. В застойных водах концентрация кислорода сильно уменьшается, и, наоборот, в горных реках в условиях бурного течения происходит повышенное обогащение кислородом. Концентрация растворенного кислорода в поверхностных водах изменяется от нуля до 14 мг/л и подвержена значительным сезонным и суточным колебаниям, которые в основном зависят от соотношения интенсивности процессов его продуцирования и потребления. Все реки Таджикистана в достаточной степени насыщены кислородом (табл.1). Наибольшая концентрация кислорода наблюдается в горных реках, в частности в Варзобе и ее притоках.

Обработанные данные о концентрации растворенных главных металлов в водах хорошо совпали с данными по физико-химическим характеристикам вод, измеренных с помощью прибора "Hydrolab". В проанализированных пробах воды методом НАА на реакторе ИЯФ АН РУ были определены 4 макроэлемента: Ca, Fe, Mn, Na (табл. 2).

Таблица 2

Содержание макроэлементов в водах рек Таджикистана

№	Реки	Ca (мг/л)	Fe (мг/л)	Mn (мг/л)	Na (мг/л)
1.	Сиома	12,79±1,3	0,086±0,001	0,002±0,0002	1,01±0,1
2.	Тагоб	27,20±3	0,311±0,03	0,011±0,001	1,52±0,2
3.	Оби Чаппа	59,85±6	0,281±0,03	0,005±0,0005	1,62±0,2
4.	Оджук	30,25±3	0,190±0,02	0,003±0,0003	1,34±0,1
5.	Варзоб 1	51,09±5	0,685±0,07	0,012±0,001	1,22±0,1
6.	Варзоб 2	53,03±5	0,217±0,03	0,008±0,001	1,34±0,1
7.	Сарбо	28,19±3	0,246±0,03	0,005±0,0005	1,22±0,1
8.	Сардаи Миёна	30,59±3	0,153±0,02	0,004±0,0004	1,04±0,1
9.	Кафирниган 1	56,30±6	0,196±0,02	0,006±0,001	1,84±0,2
10.	Кафирниган 2	46,67±5	0,211±0,02	0,012±0,001	5,06±0,5
11.	Кафирниган 3	26,90±3	0,169±0,02	0,009±0,001	6,58±0,7
12.	Елок	143,01±14	0,321±0,03	0,001±0,0001	12,81±1
13.	Вахш 1	134,59±15	0,265±0,03	0,009±0,001	70,89±7
14.	Вахш 2	74,15±8	0,189±0,02	0,003±0,0003	12,97±1

15.	Гунт	43,89±4	0,065±0.007	0,002±0,0002	6,54±0,6
16.	Пяндж 1	43,12±4	0,129±0,01	0,003±0,0003	5,46±0,6
17.	Пяндж 2	40,02±4	0,193±0,02	0,005±0,0005	52,28±0,5
18.	Сырдарья 1	214,60±21	0,204±0,02	0,005±0,0005	100,47±10
19.	Сырдарья 2	139,93±14	0,260±0,03	Следы	52,15±5
20.	Исфара 1	43,77±4	0,239±0,03	0,005±0,0005	3,76±4
21.	Исфара 2	170,40±17	0,244±0,03	Следы	79,37±8
22.	Сабурган	79,43±8	0,134±0,02	0,004±0,0004	2,75±0,3
23.	Каратаг 1	35,43±4	0,301±0,03	0,008±0,001	2,84±0,3
24.	Каратаг 2	30,37±3	0,114±0,01	0,004±0,0004	1,23±0,1
25.	Рогова	38,92±4	0,040±0,04	0,012±0,002	1,86±0,2
26.	Хонако 1	35,88±4	0,416±0,04	0,010±0,001	2,87±0,3
27.	Хонако 2	28,39±3	0,326±0,04	0,012±0,002	1,33±0,1
28.	Шахристан 1	37,96±4	0,807±0,08	0,008±0,001	2,44±0,2
29.	Шахристан 2	31,35±3	0,619±0,06	0,012±0,001	2,47±0,3
30.	Шахристан 3	37,07±4	0,091±0,01	0,001±0,0001	2,61±0,3
31.	Шахристан 4	10,34±1	0,450±0,05	0,006±0,0006	1,21±0,1

Распределение в водах р. Сырдарья кальция и натрия такое же, как и концентрация солей. В верхнем течении р. Сырдарья 1 (к. Булок, вход в Кайракумское водохранилище) концентрация солей, кальция и натрия оказалось выше (920 мг/л, 215 мг/л и 100 мг/л, соответственно), чем в нижнем течении, р. Сырдарья 2 (западная окраина Ходжента - 700мг/л, 140 мг/л и 52 мг/л соответственно). Это свидетельствует о том, что соли выпадают из водного раствора в осадок. Следовательно, Кайракумское водохранилище играет роль хорошего фильтра - отстойника в среднем течении реки.

Концентрации кальция, натрия и растворенных солей оказались высоки в низовьях рек Пяндж, Вахш и Исфары. Наибольшее количество солей зарегист-

рировано в р. Сырдарья. Почвы в северной части Согдийской области преимущественно состоят из гипсоносных сероземов и солончаков, богатых кальцием и натрием, а бассейны указанных рек хорошо освоены в аграрном плане. Дренажные воды с полей зачастую возвращаются в основное русло реки и увеличивают содержание солей.

Чистыми, с малыми концентрациями кальция, натрия и соответственно солей являются горные реки Таджикистана. Наименьшее их количество находятся в реке Сиома.

На рисунке 3-7 представлены гистограммы и корреляционные графики распределения растворенных в водах кальция, натрия и железа (слева направо от верховьев к низовьям).

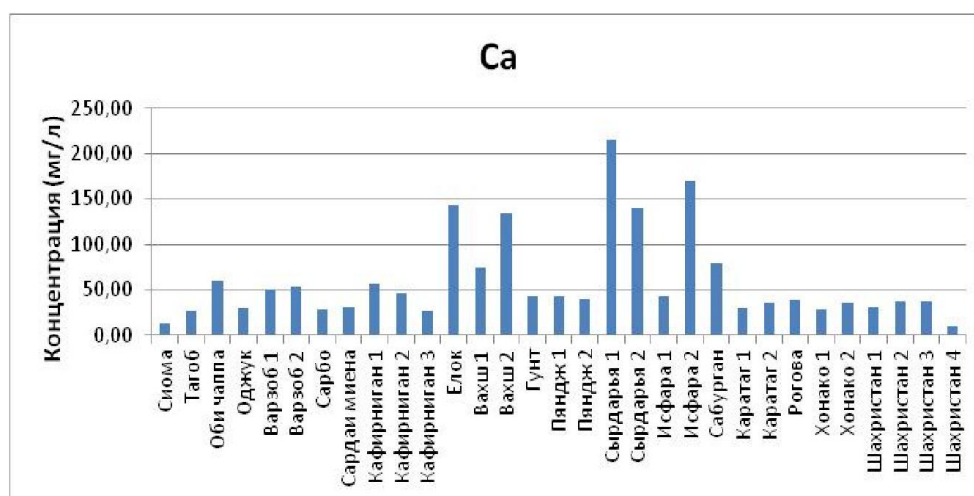


Рис. 3. Распределение концентрации кальция в водах рек.

Среднее значение концентрации кальция в реках Таджикистана около 60 мг/л. Наибольшая концентрация кальция наблюдается в точке Сырдарья 1 (214,6 мг/л), наименьшая - в реке Сиома (12,8 мг/л).

Сопоставление концентрации солей в водах с кальцием показало достаточную взаимосвязь,  $R^2=0,7784$  (рис.4).

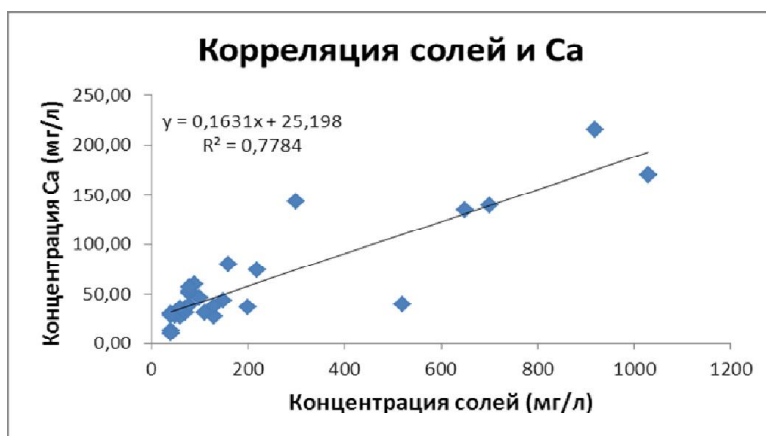


Рис. 4. Корреляция концентраций растворенных солей и кальция.

Среднее значение концентрации натрия в реках Таджикистана равно 14,3 мг/л с крайними значениями в реках (р. Сырдарья 1 - 100,5 мг/л, в р. Сиома - 1,01 мг/л) и с высокой степенью корреляции с общим содержанием солей,  $R^2=0,9314$  (рис. 5, 6).

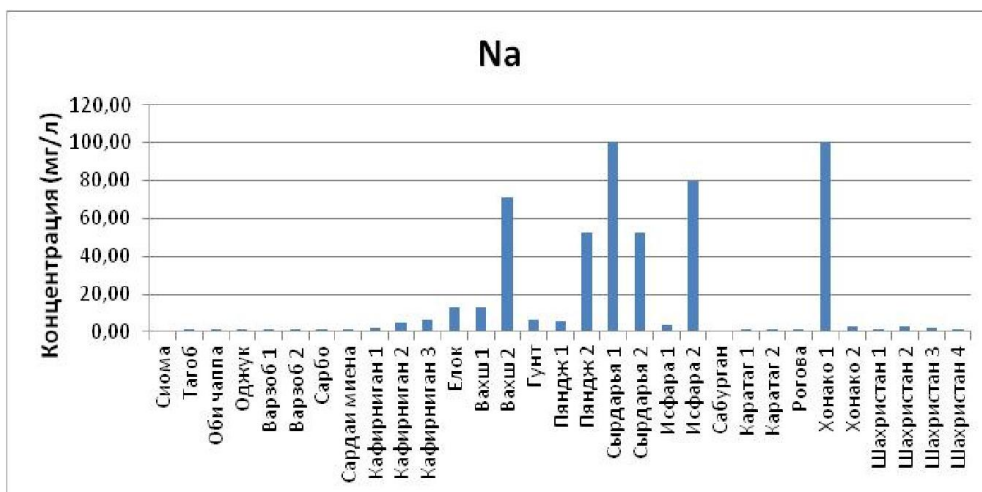


Рис. 5. Распределение концентрации натрия в водах рек.

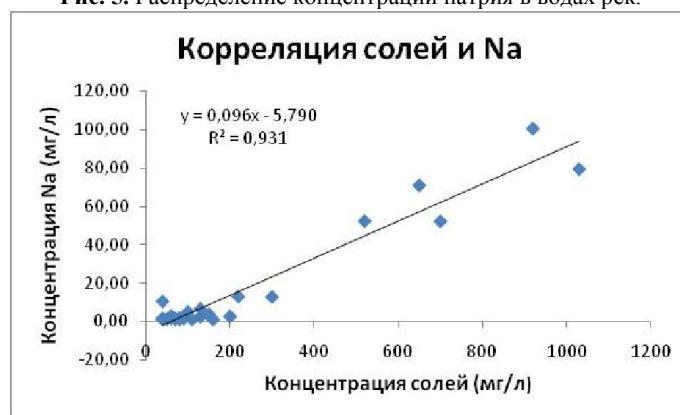


Рис. 6. Корреляция концентраций растворенных солей и натрия

Среднее значение концентрации железа в реках Таджикистана равно 0,27 мг/л. Наибольшая концентрация наблюдается в Шахристане 3 (0,8 мг/л), наименьшая - в р. Гунт (0,07 мг/л), рис. 7.

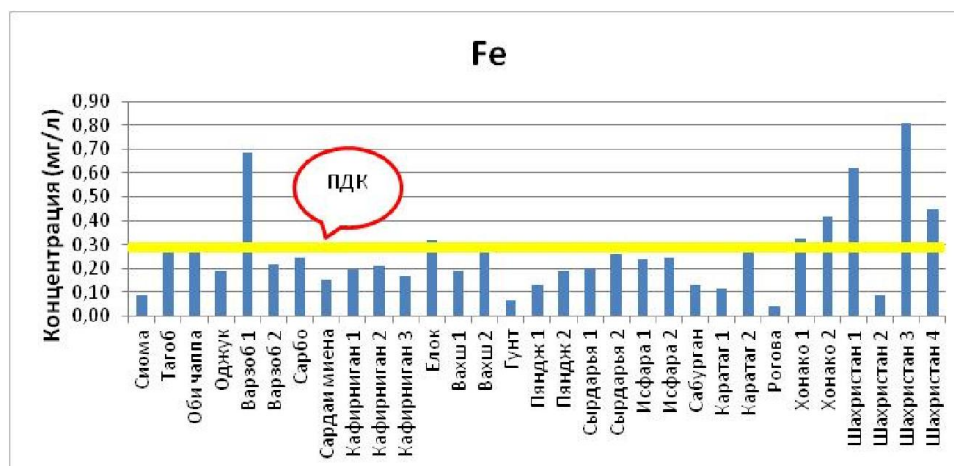


Рис. 7. Распределение концентрации железа в водах рек.

Среднее значение концентрации марганца 0,006 мг/л, наибольшая концентрация в Варзобе 1, Кафирнигане 2 и Шахристане 2, равная 0,012 мг/л, наименьшая - в Исфаре 2 (до впадения в Ферганский канал), где обнаружены лишь следы марганца.

Все измеренные макроэлементы являются биогенными, но их превышение над предельно допустимой концентрацией (ПДК) бывает токсичным. В соответствии с гигиеническими

нормативами РФ ПДК для химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [10], разделяются на три класса опасности. ПДК для кальция в гигиенических нормах не нормировано. Натрий отнесен ко второму классу опасности, и его ПДК в водах 200 мг/л. Концентрации макроэлементов в исследованных объектах и их нормы ПДК приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Концентрации макроэлементов в водах и их ПДК, (мг/л)

	Значение	Точка отбора	Концентрация в воде	ПДК в воде	Класс опасности
Са	Среднее		59,2		
	Максимальное	Сырдарья 1	215		
	Минимальное	Шахристан 4	10,3		
Fe	Среднее		0,26	0,3 (1)	3
	Максимальное	Шахристан 1	0,81		
	Минимальное	Рогова	0,04		
Mn	Среднее		0,006	0,1	3
	Максимальное	Шахристан 3	0,012		
	Минимальное	Исфара 2	Следы		
Na	Среднее		14,26	200	2
	Максимальное	Сырдарья 1	100,47		
	Минимальное	Сиома	0,75		

Из таблицы 3 видно, что воды в реках Таджикистана в среднем чисты, содержание макроэлементов, за исключением железа, меньше ПДК. Содержание железа в двух реках - Шахристан (в начале перевала со стороны г. Шахристан) и Варзоб (в 18 км выше г. Душанбе) превышает ПДК.

**Закключение.** Проведена обработка и интерпретация ранее полученных данных по физико-химическим характеристикам вод в 31 точке отбора основных рек Таджикистана в период половодья. Измерения проведены в рамках международного проекта «НАВРУЗ» по изучению радиэкологической и геохимической чистоты трансграничных рек Центральной Азии.

Показано, что воды во всех основных реках Таджикистана являются слабощелочными, вода всех

горных рек является пресной. Минерализация трансграничных рек Таджикистана повышается от верховьев к низовьям. Измеренные концентрация общих растворенных веществ в водах и удельная проводимость вод достаточно хорошо согласуются с картиной распределения концентрации солей в речных водах.

Все реки Таджикистана в достаточной степени насыщены кислородом.

Полученные данные о содержании макроэлементов (натрий, кальций, железо и марганец) свидетельствуют в целом о чистоте речных вод Таджикистана, за исключением рек Шахристан и Варзоб, содержание железа в которых превышает нормы ПДК.

**Литература:**

1. Radioecological monitoring of Transboundary Rivers of the Central Asian Region / B.S. Yuldashev [et al.] // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005. -V. 5. - № 1. - P. 219-228.
2. Radioecological Situation in river Basins of Central Asia, Syrdaria and Amudaria According to the Results of the international project "NAVRUZ" / D.S. Barber [et al.] // NATO Science Series IV, 2003. -V. 33. -P. 39-51.
3. Руководство по отбору проб воды и донных отложений на станциях мониторинга качества поверхностных вод бассейна Аральского моря / Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаенко (САНИГМИ). - Ташкент, 2000. – 45 с.
4. Буриев Н.Т., Абдушукуров Д.А., Джураев А.А. Методические указания по отбору проб воды, атмосферных осадков, сточных вод и других жидкостей, их упаковке, маркировке, транспортировке, подготовке к исследованиям и хранению, Душанбе: ООО «Котра», 2009. – 14 с.
5. hydrolab. [Электронный ресурс]. [http://www.hachhydromet.com/web/ott\\_hach.nsf/id/pa\\_hydrolab.html](http://www.hachhydromet.com/web/ott_hach.nsf/id/pa_hydrolab.html)
6. Д.А.Абдушукуров, Х.Пасселл, З.Н.Салибаева. Оценка качества воды в реке Кафирниган и её основных притоках // Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук. – 2014. -1/3 (134) - С. 164-170.
7. Д.А.Абдушукуров, Х.Пасселл, З.Н.Салибаева. Эколого-аналитическая оценка качества воды в реке Варзоб и ее притоках // Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук. – 2015.–1/1 (156) – С. 141-147.
8. Исследования, проведенные в рамках проектов «НАВРУЗ» / [А.А. Джураев, Д.А. Абдушукуров, Т. Давлатшоев и др.] // Ядерная физика в Академии Наук Республики Таджикистан; под ред. Д.А. Абдушукурова и И. Бободжанова. - Душанбе, 2013. - С. 254-287.
9. [Электронный ресурс]. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Солоноватая\\_вода](http://ru.wikipedia.org/wiki/Солоноватая_вода)
10. ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования согласно Гигиеническим нормативам РФ (ГН 2.1.5.1315-03). [Электронный ресурс]. [http://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/41/41363/index.php](http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/41/41363/index.php)

**Рецензент: д.с/х.н., профессор Пулатов Я.**