

качестве движущей силы также является технически правильным способом предотвратить возникновение таяния ледников, сохранить водный баланс и очистить атмосферу нашей страны.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, серый водород, зеленый водород, синий водород, электролиз, электрохимический процесс, компрессор, давление.

## HYDROGEN ENERGY. PART 2. HYDROGEN ENERGY DEVELOPMENT PERSPECTIVES IN TAJIKISTAN

**Annotation:** *Tajikistan has large hydropower resources, and there is an opportunity to transport idle water from reservoirs in the form of hydrogen fuel to any distance during the summer. The article examines the research on the development of new methods and ways of storing and obtaining substances for the collection of H<sub>2</sub>, taking into account the use of local types of raw materials within the framework of the "Hydrogen Energy in Tajikistan" program. Transferring the country's economy to the use of hydrogen as a driving force is also a technically correct way to prevent the occurrence of melting glaciers, maintain the water balance and clean the atmosphere of our country.*

**Keywords:** *hydrogen energy, gray hydrogen, green hydrogen, blue hydrogen, electrolysis, electrochemical process, compressor, pressure.*

## ГЕНЕЗИС ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАХШ

Абдушукуров Д.А.<sup>1,2</sup>, Ян Лентсчке<sup>3</sup>, Шаймурадов Ф.И.<sup>1</sup>, Эмомов К.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. С.У. Умарова  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>3</sup>*Институт Географии Берлинского Университета имени Гумбольта*

**Аннотация:** Проведено исследование генезиса поверхностных вод в горной части реки Вахш, начиная с Рогунского водохранилища и до образования реки Сурхоб. Исследования проводились методом изучения стабильных изотопов воды на спектрометре «Picarro L2110-I». Получено уравнение локальной линии метеоритных вод для бассейна реки Вахш. Показано, что локальная линия лежит выше глобальной линии метеоритных вод, что связано с тем, что бассейн реки лежит довольно далеко от Средиземного моря и Атлантического Океана, где зарождается основная часть влаги, переносимая на восток. Изотопически самая тяжелая вода обнаружена в Рогунском водохранилище, а самая легкая вода в реке Муксу. Основное питание Муксу получает из ледника Федченко. Ледник находится на дальней и самой высокой точке водосборного бассейна реки Вахш. При перемещении тучевых облаков вдоль реки из-за гравитационных законов в первую очередь выпадают тяжелые изотопы воды, а облака обогащаются легкими изотопами. Таким образом до ледника долетают в основном легкие изотопы. Вода в реке Кызылсу тяжелее, чем вода в Муксу, связано это с тем, что в составе питания реки присутствуют подземные (до 75%) воды. Боковые притоки Вахша приносят дождевые и снежные воды, собираемые с невысоких гор, которые бывают более тяжелыми.

**Ключевые слова:** стабильные изотопы, дейтерий, тяжелая вода, легкая вода, река Муксу, река Кызылсу.

**Введение.** Вахш - особо важная для энергетики Таджикистана река совместно с Пянджем образует Амударью. Длина реки — 524 км, площадь

водосборного бассейна — 39 100 км<sup>2</sup>, среднегодовой расход воды в нижнем течении 666 м<sup>3</sup>/с. В бассейне реки Вахш насчитывается 569 горных озёр общей площадью 1737 км<sup>2</sup>, в основном они расположены на высотах 2800—3500 м. В устье Вахша находится заповедник «Тигровая балка».

Вахш берёт начало при слиянии рек Кызылсу и Муксу. Большая часть бассейна расположена в пределах Памиро-Алайской горной системы. В верховье называется Сурхоб и течёт на запад; приняв слева реку Обихингоу, получает название Вахш и поворачивает на юго-запад. Вахш течёт преимущественно в узкой долине, местами превращающуюся в глубокое ущелье; в 170 км от устья выходит в Вахшскую долину, где разбивается на рукава, вода которых используется для орошения и водоснабжения.

Питание реки преимущественно ледниково-снеговое, в меньшей степени дождевое. Половодье наблюдается в период интенсивного таяния ледников: с мая по сентябрь, межень в ноябре-апреле. Средний расход в среднем течении 660 м<sup>3</sup>/сек, наибольший (в июле) — 3120 м<sup>3</sup>/сек, наименьший (в феврале) — 130 м<sup>3</sup>/сек. Воды Вахша, отличались большой мутностью (4,16 кг/м<sup>3</sup>), но после постройки Нурекской ГЭС стали прозрачными, голубого цвета.

Река Кызылсу имеет площадь водосборного бассейна равную 8380 км<sup>2</sup> и длину 254 км. Практически весь сток реки Кызылсу формируется на территории Кыргызстана на южных склонах Алайского и северных склонах Заалайского хребтов.

Река Муксу является второй составляющей реки Сурхоб. Длина реки 88 км с площадью водосборного бассейна 7070 км<sup>2</sup>. Бассейн реки расположен в наиболее возвышенной части бассейна реки Вахш, при средней высоте бассейна 4540 м. Образуется Муксу при слиянии рек Сельдара и Сауксай. Река Сельдара берёт начало у самого большого в Центральной Азии ледника Федченко.

### Экспериментальные данные

В природе все воды гидросферы на суше подвержены круговороту и обновлению. В последнее время для изучения процессов формирования поверхностных и подземных вод, все чаще используют изотопные методы [2].

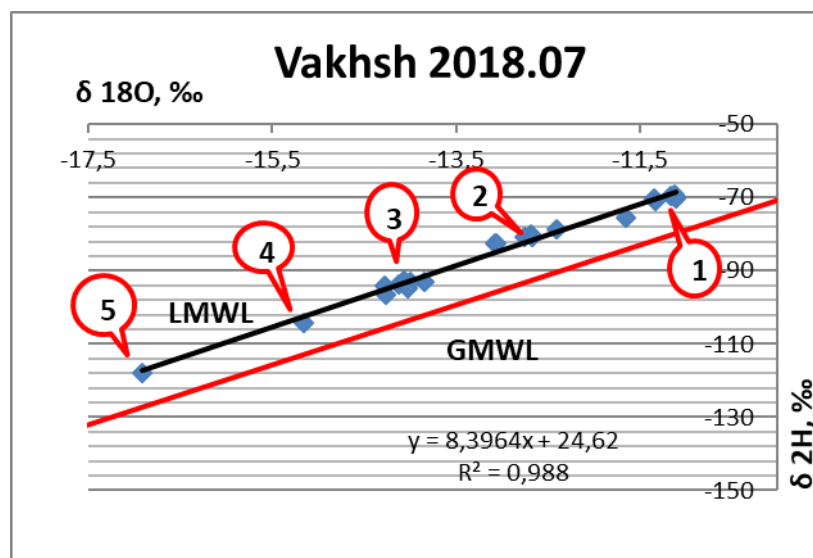
Содержание дейтерия и кислорода-18 в атмосферных осадках тесно коррелируют между собой [3-7]. Эта корреляция описывается уравнением:  $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10\text{‰}$  (SMOW), которое справедливо для поверхностей океанов и морей, и прибрежных зон, но не соблюдается для аридных и полуаридных зон. Распределение изотопного состава осадков в координатах  $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$  для поверхностей океанов называют глобальной линией метеорных вод (GMWL) или линией Крейга [3]. Для аридных и полуаридных зон необходимо применять локальные линии метеоритных вод (LMWL), которые могут заметно отличаться.

Целью наших исследований являлось изучение генезиса воды в горной части бассейна реки Вахш.

В таблице 1 приведены данные об изотопных измерениях. Указаны места отбора образцов воды. Образцы отбирались как в самой реке Вахш, так и в ее притоках. Притоки расположены с двух сторон Вахша, с левого берега, невысокие хребты, а с правого берега достаточно крутые склоны южной стороны Гиссарского хребта.

Таблица 1. Данные об изотопных измерениях

Место отбора образцов	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
Оби Гарм	-11,11	-70,1
Р. Вахш-3	-13,99	-92,9
Хакими	-11,17	-69,7
Мучахарфо	-11,12	-69,2
Приток-2	-11,11	-69,9
Приток-3	-11,35	-70,1
р. Вахш-2	-14,12	-93,7
р. Сурхоб-3	-14,28	-94,2
р. Оби Хингоу	-14,06	-92,7
Лангари Шох	-12,4	-78,8
Гулрез	-12,68	-80
Шураки Тапали	-12,76	-80,7
р. Муксу	-16,91	-117,9
Р. Кызылсу	-14,03	-94,8
Приток-1 р. Сурхоб	-14,26	-96,7
Приток-2 р. Сурхоб	-13,85	-92,9
р. Ярхич, кишлак Хаит	-12,67	-80,7
р. Сурхоб-2	-15,16	-104,4
Дараи Нушор, р. Шурак, после смешивания	-13,07	-82,6
Дараи Нушор, р. Шурак, до смешивания	-13,06	-82,5
Чашмаи намак, Дараи Нушор, р. Шурак		
р. Белги	-11,33	-70,8
МЧС В/Ч 45075, чашма Лояк, д. Бедак	-11,65	-75,6
дарёи Намак		
Вахш. 5-22	-13,55	-90,8
Приток Нурек. Рядом с ГЭС. 4-22	-11,07	-70,6



**Рис 1.** Изотопные отношения для воды Вахша и ее притоков.

Для изотопных анализов применялся анализатор стабильных изотопов «Picaro L2110-I» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Анализатор позволяет измерять стабильные изотопы воды ( $H_2O$ ) в твердых телах, жидкостях и парах. В качестве эталона использовался стандарт средней океанической воды – V-SMOW (Vienna Standard of the Mean Ocean Water), для которого  $\delta^2H=0\text{‰}$  и  $\delta^{18}O=0$  [2].

Как видно из рис. 1 распределение изотопов крайне неравномерно. Все измеренные отношение изотопов лежат гораздо выше глобальной линии метеоритной воды (GMWL), которая соответствует океанической воде.

Уравнение LMWL имеет вид  $\delta^{18}O = 8,3964 \delta^2H - 24,62$ . Коэффициент корреляции данных очень высок и равен  $R^2=0,98$ .

Это явление может быть объяснено тем, что Таджикистан расположен в глубине континента, вдали от мировых океанов. Тучевые облака, формируемые в основном над океанами, проходят длинные дистанции, прежде чем выпасть в качестве осадков в бассейне реки Вахш. В силу законов гравитации, в первую очередь выпадают тяжелые изотопы, а облака обогащаются легкими изотопами.

На локальной линии метеоритных вод обозначились пять точек, которые отличаются от окружающих. В этих аномальных зонах вода по своему изотопному составу более тяжелая, чем окружающие. В таблице 2 указаны реки и притоки в аномальных зонах. Наиболее тяжелая вода находится в точке 1, а в точке 5 наиболее легкая вода.

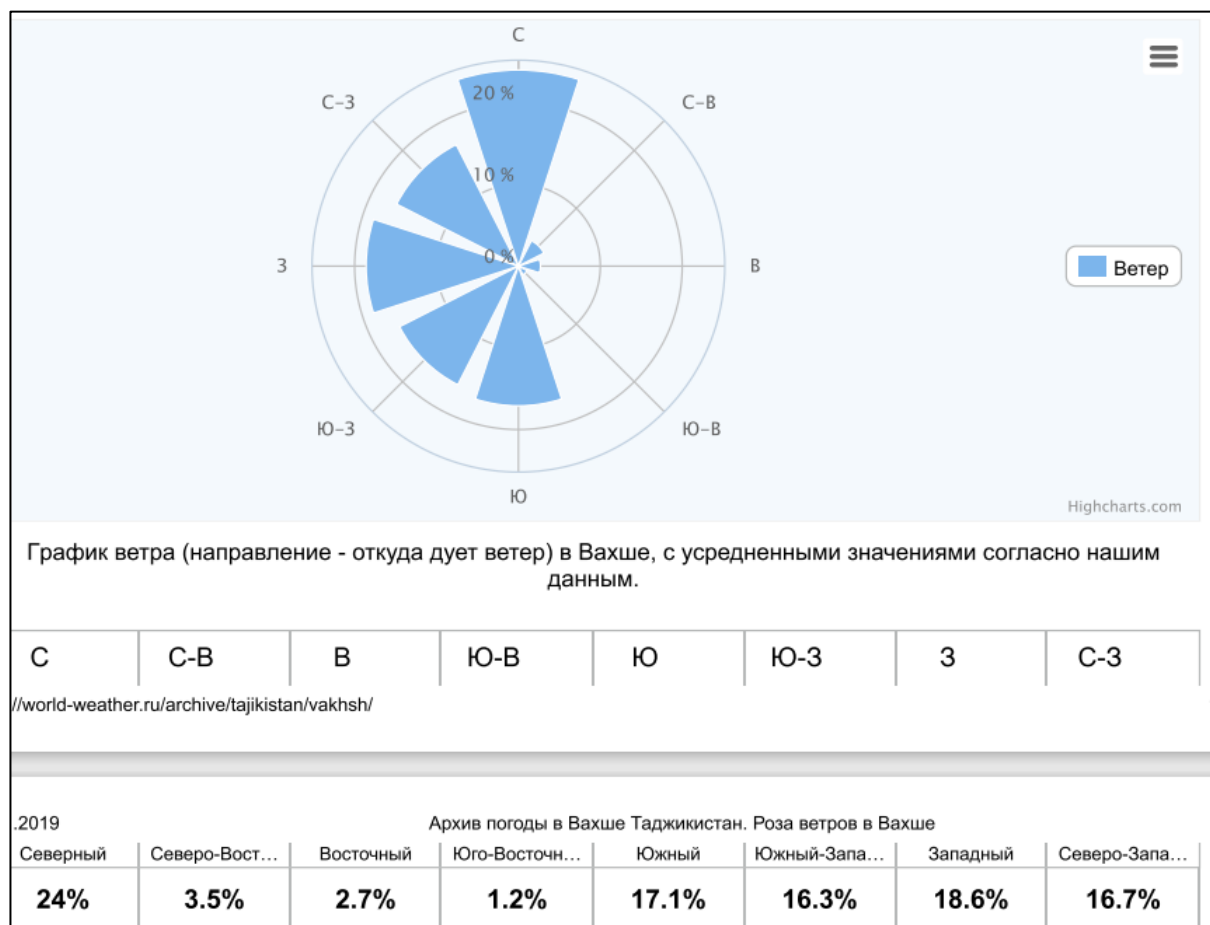
**Таблица 2.** Точки отбора образцов воды на реке Вахш и ее притоках, в которых обнаружено аномальное содержание стабильных изотопов воды

1	2	3	4	5
Хаками	Дарай Нушор 1	р. Сурхоб-3	р. Сурхоб	Муксу
Мучахарфо	Дарай Нушор 2	Приток-1 р.		

		Сурхоб		
Оби Гарм	Шураки Капали	р. Вахш-2		
Приток-2 р. вахш	Гулрез	р. Оби Хингоу		
	р. Ярхич	р. Кызылсу		
	Лангари Шох	Р. Вахш-3		
	родник д. Бедак	Приток-2 р. Сурхоб-2		
	Приток-3			
	р. Белги			

Аномальные точки: Точка 1 (рис.1) начало нашего наблюдения находится недалеко от плотины Рогунского водохранилища. Роза ветров для реки Вахш представленная ГосГидрометом РТ показана на рисунке 2. В точке 1 на рисунке 1 собирается вода с притоков Хакими, Мучахарфо, Оби Гарм и одного Притока 2 реки Вахш. Согласно розе ветров, в данной точке преобладают южные ветра (Ю) 17,1 %, и Юго-западные ветра (ЮЗ) 16,3%. Южные ветра приносят влагу с Нурекского водохранилища и южных направлений, в основном со Средиземного моря и Атлантического океана. Юго-западные ветра проникают через долину реки Элок из Гиссарской долины. Горы и холмы в долине Элок достаточно низки и на них собираются осадки в виде дождей и снега. Осадки из дождей и снега изотопически бывают более тяжелыми, так как собираются на низких высотах. Воды из притоков собираются в Вахше, внося свой вклад в изотопный состав воды в Вахше.

Точка 2 охватывает притоки и Вахш в окрестностях поселка Нуробод это притоки Дараи Нушор, Шураки Купали и др. с левого берега Вахша и Ярхич с правого берега Вахша. Левобережные притоки протекают среди неогенных отложений, обладают повышенной минерализацией и формируются на незначительных высотах [9], а приток Ярхич истекает из известняков и гранитных скал в долине Хаит. Питание левобережных притоков составляют снега и дожди, а правобережных притоков ледники и многолетние снежники.



**Рис. 2.** Роза ветров на реке Вахш [9].

Точка 3 охватывает значительную территорию, начиная с точки образования реки Вахш, место слияния рек Сурхоб и Оби Хингоу и до места слияния Кызылсу и Муксу и образования реки Сурхоб. Место слияния рек Сурхоб и Оби Хингоу представляет собой двух слияние двух высокогорных ущелий, которые делят воздушные потоки на две части. В соответствии с розой ветров Гидромета в поселке Гарм, расположенным выше слияния по реке Сурхоб, в основном ветра дуют с Юго-западного (ЮЗ) направления 59,9% и южного (Ю) направления 38% [8], а в поселке Тавильдара выше слияния по реке Оби Хингоу ветра дуют также, как и в Гарме с (ЮЗ) 59,9 %, а с (З) ветер дует в 38% [8]. Слияние рек делят воздушные потоки и влагу практически на две равные составляющие. Воздушные потоки и соответственно влага, переносимая ими в точке 3 подобна потокам в точке 2 и похожа на точку 1, то распределение изотопов также подобно воздушным потокам. Изотопный состав воды в точке отбора Оби Хингоу содержит значительное количество тяжелых изотопов и отличается от точки отбора воды в точке Муксу. Точка отбора Кызылсу находится выше точки Сурхоб, в которой смешиваются воды Кызылсу и Муксу, в тоже время вода в ней более легкая по сравнению с Кызылсу. Утяжеление воды в Кызылсу происходит за счет питания Кызылсу. Питание Кызылсу состоит из ледникового (12%) и снегового (13%) таяния. Большая часть стока формируется за счёт подземных вод (75%), которые образуются в результате повышенной фильтрации поверхностного стока в водопроницаемых породах, слагающих бассейн реки

(известняки, сланцы, пески, конгломераты, галечники, крупнообломочные ледниковые отложения). Наличие значительного количества подземных вод приводит к утяжелению воды.

Точка 4. Точка отбора проб на реке Сурхоб, ниже кишлака Домбрачи. Точка лежит ниже слияния рек Кызылсу и Муксу, хотя вода в ней изотопически легче, чем в Кызылсу. Это объясняется влиянием Муксу, которая выносит самую легкую воду в бассейне реки Вахш, смешиваясь воды становятся немного легче. Исток Кызылсу находится на склонах Заалайского (Каюмарского) хребта. Река протекает по Алайской долине, до впадения реки Айляма называется *Карасу*. Сливаясь с рекой Мугсу (Муксу) образует реку Сурхоб. Высота устья — 1834 м над уровнем моря.

Точка 5 находится на реке Муксу, выше слияния с Кызылсу. Муксу протекает с востока на запад к югу от Западного Заалая (западной части Заалайского хребта). Образуется на высоте 2745 м около селения Алтын мазар при слиянии Сельдары (левый исток Муксу), Каинды (центральный исток) и Сауксая (правый исток). Южный борт долины образуют северные отроги хребтов Академии Наук и Петра Первого.

Длина Муксу 88 км, площадь бассейна 7070 кв. км. Питание ледниково-снеговое, половодье с конца мая до начала октября. Средний расход воды около 100 куб.м/сек. Средний уклон – около 10 м/км. В бассейне реки Муксу находится крупнейший ледник Памира – ледник Федченко. Ледник находится на дальней и самой высокой точке водосборного бассейна Вахша. При перемещении тучевых облаков вдоль реки из-за гравитационных законов в первую очередь выпадают тяжелые изотопы воды, а облака обогащаются легкими изотопами. Таким образом, до ледника долетают в основном легкие изотопы.

### **Заключение**

Проведено исследования генезиса поверхностных вод в горной части реки Вахш, начиная с Рогунского водохранилища и до образования реки Сурхоб. Исследования проводились методом изучения стабильных изотопов воды на спектрометре «Picarro L2110-I» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Получено уравнение локальной линии метеоритных вод для бассейна реки Вахш. Показано, что локальная линия лежит выше глобальной линии метеоритных вод, что связано с тем, что бассейн реки лежит довольно далеко от Средиземного моря и Атлантического Океана, где зарождается основная часть влаги, переносимая на восток.

Изотопически самая тяжелая вода обнаружена в Рогунском водохранилище, а самая легкая вода в реке Муксу. Основное питание Муксу получает из ледника Федченко. Ледник находится на дальней и самой высокой точке водосборного бассейна Вахша. При перемещении тучевых облаков вдоль реки из-за гравитационных законов в первую очередь выпадают тяжелые изотопы воды, а облака обогащаются легкими изотопами. Таким образом до ледника долетают в основном легкие изотопы.

Вода в реке Кызылсу тяжелее, чем вода в Муксу, связано это с тем, что в составе питания реки присутствуют подземные (до 75%) воды. Боковые притоки Вахша приносят дождевые и снежные воды, собираемые с невысоких гор, которые бывают более тяжелыми. Притоки, впадающие в Рогунское водохранилище, такие как Оби Гарм и другие, также поставляют более тяжелую воду. Влияние легкой воды (ледниковой) ощущается вплоть до водохранилищ. К сожалению, единичные пробы, отобранные в рамках экспедиции, не дают основания для оценки влияния распределения осадков, речного стока и подземных вод на системы водопользования. Для этого нужно проводить регулярно отборы проб и анализы стабильных изотопов в четыре сезона года, в сезоне половодья в период интенсивного таяния ледников и в межень. Чтобы получить более детальную картину состояния водных ресурсов в этом регионе, необходимо развивать данное направление исследований.

### Список литературы

1. Реки и озера Таджикистана, Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой, Министерства охраны природы Республики Таджикистан, Душанбе, 2003, стр. 1-23.
2. Вахш (река в Тадж. ССР) // Брасос — Веш. — М.: Советская энциклопедия, 1971. — ([Большая советская энциклопедия](#): [в 30 т.] / гл. ред. [А. М. Прохоров](#); 1969-1978, т. 4).
3. Stable Isotope. Hydrology. Deuterium and oxygen-18 in water cycle. 1981, IAEA TRS-210. Vienna: IAEA, 439 p.
4. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Science, 1961. N 133. P. 1702–1703.
5. Ферронский В. И., Поляков В. А., 2009, Изотопы гидросферы Земли. М.: Недра, 632 с.
6. Международное агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), 2018, «Global Network Isotopes in Precipitation» (GNIP). URL: [http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS\\_resources\\_gnip.html](http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html) (дата обращения 10.07.2018).
7. Gat J. R. 1980, The isotopes of hydrogen and oxygen in precipitation // eds P. Fritz, J.-Ch. Fontes. Handbook of environmental isotope geochemistry. The Terrestrial Environment. A. Elsevier, Amsterdam, 1980. Vol. 1. P. 21–48.
8. Архив погоды, Таджикистан, Вахш, роза ветров // [world-weather.ru/archive/Tajikistan/vakh/](http://world-weather.ru/archive/Tajikistan/vakh/)
9. Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, А.С. Кодиров «Первоначальное засоление рек в верховьях реки Вахш», Известия Академии Наук РТ, отд. Физ-мат, хим, гео. и тех. наук., №2 (171), 2018. -С. 98-106.

### ГЕНЕЗИСИ ОБҲОИ РӯИЗАМИНИ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ВАХШ

*Аннотатсия:* Оид ба генезиси обҳои рӯизаминии қисмати кӯҳии дарӢи Вахи аз обанбори Рогун ва то пайдоиши дарӢи Сурхоб тадқиқот гузаронида шуд. Тадқиқот тавассути омӯзиши изотопҳои устувори об бо истифода аз спектрометри Picarro L2110-I гузаронида шуд. Муодилаи хатти локалии обҳои метеории барои ҳавзаҳои дарӢи Вахш ба даст оварда шуд. Нишон дода шудааст, ки хатти локалӣ аз хатти глобалӣ



обҳои метеоритӣ болотар аст, ки ин аз он сабаб аст, ки ҳавзаи дарё аз баҳри Миёназамин ва уқёнуси Атлантик хеле дур ҷойгир аст, ки қисми зиёди намӣ ба шарқ интиқол дода мешавад. Аз ҷиҳати изотопӣ аз ҷама вазнинтарин об дар обанбори Рогун ва сабуктарин об дар дарёи Муқсу пайдо шудаанд. Муқсу гизои асосии худро аз пирихи Федченко мегирад. Пирих дар дуртарин ва баландтарин нуқтаи ҳавзаи заҳкаиҳои Вахи ҷойгир аст. Вақте ки абрҳо дар канори дарё ҳаракат мекунад, аз рӯи қонунҳои ҷозиба, аввал изотопҳои вазнини об меафтанд ва абрҳо аз изотопҳои сабук бой мешаванд. Ҳамин тариқ, асосан изотопҳои сабук ба пирих меоянд. Оби дарёи Қизилсу назар ба оби Муқсу вазнинтар аст, ин аз он иборат аст, ки дар таркиби дарё оби зеризаминӣ (то 75%) мавҷуд аст. Шохҳои паҳлуи Вахи обҳои борону барфиро, ки аз куҳҳои паст ҷамъ шуда, вазнинтаранд, меоранд.

**Калидвожаҳо:** изотопҳои устувор, дейтерий, оби вазнин, оби сабук, дарёи Муқсу, дарёи Қизилсу.

### GENESIS OF SURFACE WATERS IN THE VAKHSH RIVER BASIN

**Annotation:** Research on the genesis of surface waters in the mountainous part of the Vakhsh River, starting from the Rogun reservoir and before the formation of the Surkhob River has been carried out. The research was carried out by studying stable isotopes of water using a Picaro L2110-I spectrometer. The equation of the local line of meteoric waters for the Vakhsh River basin was obtained. It is shown that the local line lies above the global line of meteorite waters, which is due to the fact that the river basin lies quite far from the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean, where the bulk of the moisture transported to the east originates. Isotopically, the heaviest water is found in the Rogun reservoir, and the lightest water is in the Muksu River. Muksu receives its main nutrition from the Fedchenko glacier. The glacier is located at the farthest and highest point of the Vakhsh drainage basin. When clouds move along a river, due to gravitational laws, heavy isotopes of water fall out first, and the clouds become enriched by light isotopes. Thus, mainly light isotopes reach the glacier. The water in the Kyzylsu River is heavier than the water in Muksu, this is due to the fact that underground (up to 75%) water is present in the river's nutrition. The side tributaries of the Vakhsh bring rain and snow waters collected from low mountains, which are heavier.

**Keywords:** stable isotopes, deuterium, heavy water, light water, Muksu River, Kyzylsu River.

### ТАРКИБИ ХИМИЯВИИ ОБҲОИ ЗЕРИЗАМИНӢ ДАР НОҲИЯҲОИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ

**Толибова У.О., Нажмудинова Ф.И.,**

*Институти масъалаҳои об гидроэнергетика ва экологияи  
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон*

**Аннотатсия:** Чунин ба назар мерасад, ки таҳлили обҳои зеризаминии Тоҷикистон басо актуалӣ буда, мароқи илмию амали дорад. Қайд кардан мумкин аст, ки сарфи назар аз он, ки дар Ҷумҳури обҳои зеризаминӣ ҳамчун манбаи об барои таъминоти хоҷагӣ истифода шавад. Инчунин дар натиҷаи тадқиқот муайян гардид, ки консентратсияи As ва Pb дар обҳои зеризаминӣ аз меъёрҳои оби ошомиданӣ пасттар аст. Барий бошад дар обҳои зеризаминӣ дар бисёр нуқтаҳо аз меъёри оби ошомиданӣ дар Тоҷикистон зиёд аст. Консентратсияи уран низ дар обҳои зеризаминии атрофи Душанбе баланд аст. Гарчанде ки ин як ҳодисаи табиӣ ба назар мерасад, барои беҳтар фаҳмидани вазъи кунунӣ ҷамъовариш маълумоти иловагӣ лозим аст.