

УДК 550.42:556.32

П.И. Норматов¹, Г.Т. Фрумин², А.О. Муминов¹, И.Ш. Норматов¹
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДЫ ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК
ЗЕРАВШАНА, ВАХША И ИХ ПРИТОКОВ

¹*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан,
Душанбе, Республика Таджикистан*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия*

Проанализированы различные аспекты использования водных ресурсов бассейнов двух притоков трансграничной реки Амударья: Зеравшан и Вахша. Показано, что химический состав воды рек в верховьях в основном формируется в результате вымывания горных пород, на него не влияет антропогенная нагрузка. Установлено, что притоки верхнего течения р. Зеравшан характеризуются легкими изотопными составами: $\delta^{18}\text{O}$ (-13,23: -13,43), $\delta^2\text{H}$ (-88,92: -88,32) и дейтериевым эксцессом 16,92–19,21 и по мере течения из зоны формирования в низовье подвергаются фракционированию благодаря испарению воды. Получены значения изотопного состава воды р. Вахш и ее притоков. Было установлено, что реки Сурхоб и Обихингоу характеризуются ледниковым питанием. Выявлен вклад притоков в облегчение изотопного состава воды р. Вахш. Исследование бассейна р. Муксу показывает, что резервуары подземных вод накапливают талые ледниковые воды и в период маловодья превращаются в источник водообеспечения реки.

Ключевые слова: изотопный анализ, Зеравшан, Вахш, притоки, бассейн реки.

P.I. Normatov¹, G.T. Frumin², A.O. Muminov¹, I. Sh. Normatov¹
THE WATER ISOTOPE COMPOSITION ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) OF THE TRANSBOUNDARY ZERAVSHAN
AND VAKHSH RIVERS AND THEIR TRIBUTARIES

¹*Institute of Water problems, Hydropower and Ecology of The Academy of Sciences of the Republic of
Tajikistan, Dushanbe, the Republic of Tajikistan*

²*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

Various aspects of the use of water resources in the basins of two tributaries of the Amudarya river - Zeravshan and Vakhsh rivers - have been analyzed. It is shown that the chemical composition of river waters on the upper reaches does not experience anthropogenic load and is formed mainly because of the washing out of rocks. The Zeravshan River upstream tributaries are characterized by light isotopic composition: $\delta^{18}\text{O}$ (-13, 23: -13, 43), $\delta^2\text{H}$ (-88, 92: -88, 32) and the deuterium excess of 16.92-19, 21. The Zeravshan river water, as it flows from the formation zone to the downstream, is subjected to fractionation due to evaporation. The results of isotopic analyses have demonstrated that the Surkhob and Obikhingou rivers have glacial feed. Tributaries contributed to the easiest isotopic composition of the Vakhsh river waters. In the basin of the Muksu River, it is observed that reservoirs of underground waters accumulate glacial melt water and turn into a source of water supply for the river during dry periods.

Key words: isotope analysis, Zeravshan, Vakhsh, tributary, river basin.

doi 10.17072/2079-7877-2017-4-97-104

Введение

В бассейне трансграничной р. Амударья в Центральной Азии две ее составляющие, реки Зеравшан и Вахш, находятся в центре интенсивных исследований [1–4].

По данным Министерства мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан водопотребление и водоотведение в бассейне р. Зеравшан составляют: водозабор из всех источников – 415,45 млн м³/год, в том числе на орошение – 332,19 млн м³/год, из них за счет подземных вод – 10,48 млн м³/год; водоотведение (сбросы в речную сеть) – 17,64 млн м³/год. Площадь орошаемых земель в бассейне Зеравшана в начале 1984 г. составляла 22,70 тыс. га; в начале 1988 г. – 24,01

тыс. га. По данным 2008 г. орошаемые земли в бассейне р. Зеравшан занимают 24584 га, фактический водозабор из источников орошения – 119,78 млн м³, или 84% от планового, фактическая водоподача – 100,6 млн м³. В бассейне реки наблюдается ежегодное снижение водозабора на орошение: от 332,19 млн м³/год (1984 г.) до 119,78 млн м³/год (2008 г.). Непосредственно в самой речной долине получение какого-либо дополнительного ирригационного эффекта в принципе невозможно – река протекает по узкому скалистому каньону, площади пригодных для хозяйственного использования земель очень незначительны и орошаемы в основном за счет боковых притоков.

Ныне более 85% водных ресурсов бассейна р. Зеравшан используются Республикой Узбекистан на орошение, 11% – в гидроэнергетике и охлаждении теплоэлектростанций. Коммунальная система потребляет 1%, промышленность – 3%, а рыболовство и другие виды водопользования – менее 1%. Водные ресурсы реки в настоящее время используются полностью при среднемноголетнем водном дефиците в 1,3 км³. Разница между годовым стоком 5,91 км³ и ежегодным потреблением поверхностных вод в объеме 6,6 км³ «покрывается» вследствие повторного использования неочищенных возвратных стоков [5].

Земледелие в верховьях Зеравшана (на территории Республики Таджикистан) из-за ограниченности орошаемых территорий, определяемых орографическими особенностями местности, развито слабо. Следовательно, можно ожидать, что поступление стока коллекторно-дренажных вод с высокой степенью минерализации в реку является незначительным.

Проведенное нами комплексное физико-химическое исследование химического состава воды р. Зеравшан и ее притоков позволило установить, что верховья бассейна реки почти не испытывают антропогенную нагрузку, а происхождение катионов и анионов связано с вымыванием атмосферных аэрозолей осадками и процессами выветривания горных пород и минералов [3].

На территории бассейна р. Вахш формируется 1213 млн м³/год сточных и коллекторно-дренажных вод, из них на орошение используется 4 млн м³/год и сбрасывается в природные поверхностные водные объекты 1209 млн м³/год.

Самым крупным водопотребителем на данной территории является также орошаемое земледелие. Однако вода использовалась и продолжает использоваться крайне неэффективно. Нужно отметить, что промышленность развита слабо: расположены два крупных химических предприятия – Вахшский азотно-туковый завод и Яванский электрохимический комбинат. Количество воды, потребляемое на производственные нужды, составляет 13633,8 м³/сут., на хозяйственные нужды – 119,25 м³/сут.

Основными источниками питьевой воды в бассейне являются открытые водные источники (реки, ирригационные каналы, малые водоемы). Около 75% воды подается в системы именно из таких источников. Количество воды, потребляемое на производственные нужды (нормативное), составляет 13633,8 м³/сут.; потребляемое на хозяйственные нужды (нормативное) – 119,25 м³/сут. или 38947,9 м³/год. Хозяйственные сточные воды (75,4 м³/сут.) отводятся на существующие канализационно-очистные сооружения. Объем воды, используемой на коммунально-бытовые нужды населения, составляет около 6% общего водозабора (1,2 млрд м³). Половина населения, для которых источником водоснабжения являются река и ирригационные каналы, не пользуются услугами централизованного водоснабжения. Обеспеченность городского населения бассейна водопроводной водой составляет примерно 90%, а сельского – не превышает 45%. В верхней части бассейна р. Вахш используются родниковые воды для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Для районов, расположенных в нижней части бассейна реки, источником водоснабжения служат поверхностные воды Вахшского магистрального канала [7].

Мониторинг качества воды р. Вахш и ее основных притоков (Сурхоб и Обихингоу), результаты которых представлены в [8], демонстрирует, что содержание химических элементов не превышает максимально допустимую концентрацию. Указано, что на верховье реки отсутствуют стационарные источники загрязнения, а образование химического состава воды происходит за счет выщелачивания минеральных пород.

Целью настоящей работы является исследование динамики изменения изотопного состава с зоны водосбора до низовьев рек Зеравшан, Вахша и их притоков для определения типа питания рек и взаимодействия поверхностных и подземных вод.

Материалы и методы исследования

Объекты исследований – трансграничная р. Зеравшан, р. Вахш и их основные притоки. Для отбора проб воды из р. Зеравшан и ее притоков руководствовались схемой, представленной на рис.1, разработанной в [9].

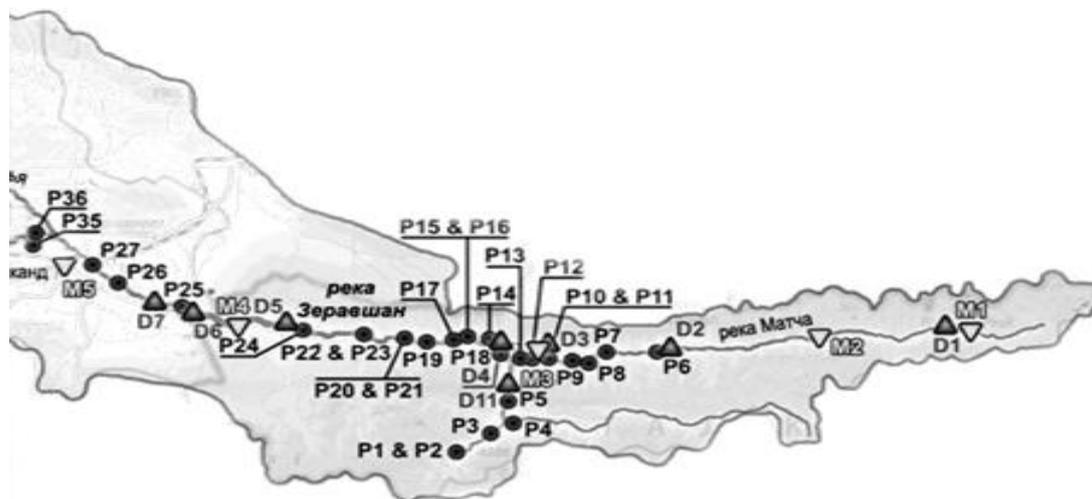


Рис.1. Схема отбора проб воды из р. Зеравшан и ее притоков

При отборе проб воды для изотопного анализа применялась методология, разработанная в университете Колорадо в Боулдере (США). Индивидуальность каждой реки, с точки зрения изотопного состава воды, соблюдалась путем отбора проб из притоков до слияния с потоком главной реки и до места слияния с другим притоком.

Изотопно-кислородный и дейтериевый составы, дейтериевый эксцесс считаются одними из информативных индикаторов гидрологических и гляциологических исследований установления закономерностей процессов льдообразования, снегонакопления и протекания взаимных агрегатных превращений. В статье представлены результаты изотопных анализов образцов вод из притоков р. Зеравшан: Сабаг, Ярм, Самджон, Тро, Дехавз, Дихаданг, Гузн и Даштибурдон.

Анализы образцов вод выполнялись на Wavelength-ScannedCavityRingdownSpectroscopy (WS-CRDS), изотопный состав водорода и кислорода выражались в относительных величинах $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$:

$$\delta = [(R_{\text{об}} / R_{\text{станд}}) - 1] \cdot 1000\text{‰},$$

где $R_{\text{об}}$ и $R_{\text{станд}}$ – отношения $^2\text{H}/^1\text{H}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в измеряемом образце и в стандарте. В качестве стандарта принята средняя океаническая вода (SMOW, Vienna, IAEA). Точность измерения составляла $\pm 0,05\text{‰}$.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных изотопных анализов было установлено, что притоки верхнего течения р. Зеравшан характеризуются легкими изотопными составами: $\delta^{18}\text{O}$ (-13,23: -13,43), $\delta^2\text{H}$ (-88,92: -88,32) и дейтериевым эксцессом 16,92-19,21 (рис. 2).

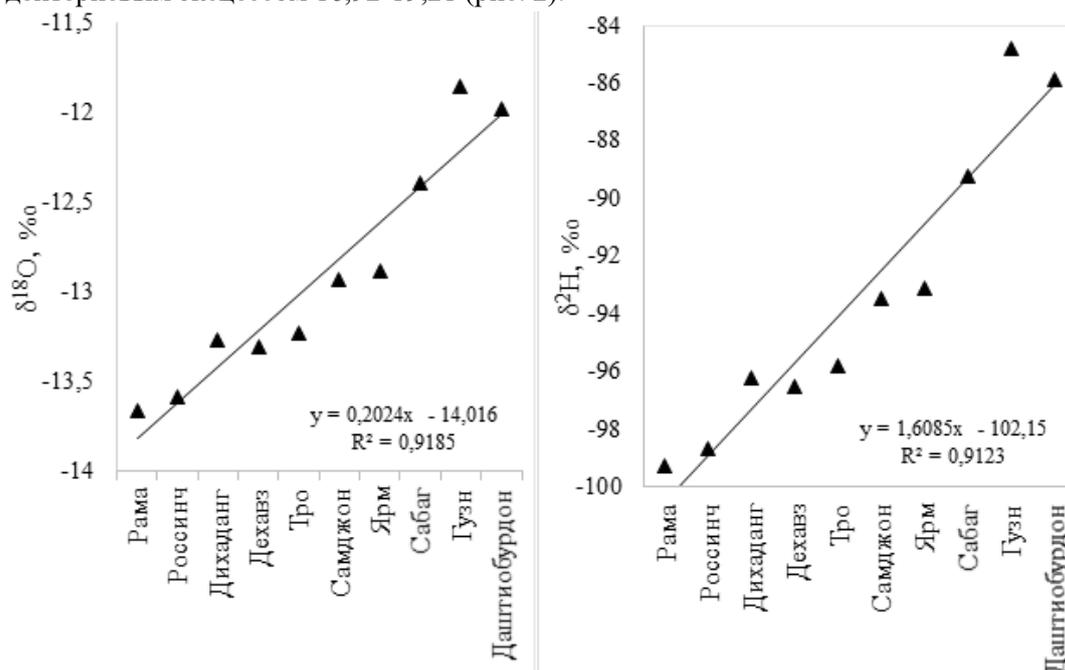


Рис. 2. Изотопный состав воды р. Зеравшан и ее притоков

Это дает основание предполагать, что наблюдаемое фракционирование происходит в зимний период в результате замерзания и снегонакопления. В свою очередь, притоки нижнего течения имеют следующий изотопный состав: $\delta^{18}\text{O}$ (-11, 98: -11,61) и $\delta^2\text{H}$ (-78,45: -75,80). Полученные результаты дают основание предполагать наличие сезонных вариаций изотопного состава атмосферных осадков и их влияние на изотопный состав реки, т.е. внутригодовое изменение структуры питания, другими словами, на изменение соотношения дождевых, талых вод сезонных снегов и подземных вод. На рис. 3 приведена схема расположения притоков р. Зеравшан.

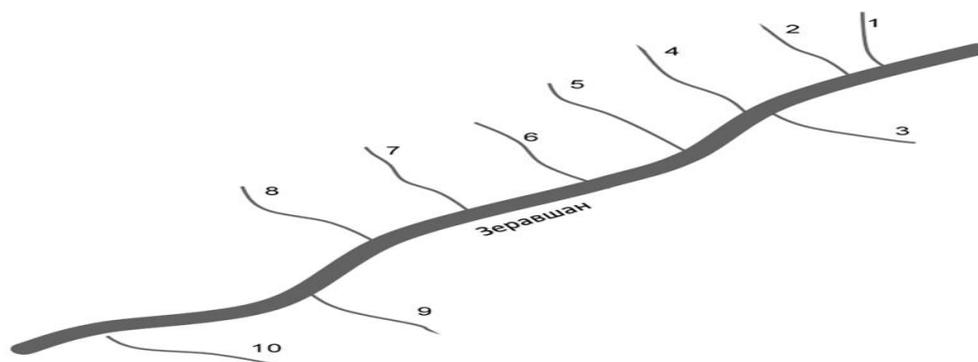


Рис. 3. Схема расположения притоков р. Зеравшан: 1 – Рама; 2 – Россинч; 3 – Дехадаг; 4 – Дехавз; 5 – Тро; 6 – Самджон; 7 – Ярм; 8 – Сабаг; 9 – Гузн; 10 – Даштиобурдон

Сопоставление результатов изотопных анализов со схемой рис. 3 показывает, что по мере перемещения из верховья в низовья происходит утяжеление изотопного состава воды соответствующих притоков р. Зеравшан. Следовательно, можно утверждать, что основным фактором данного процесса является повышение температуры и, соответственно, испарение воды рек.

Для изотопного анализа воды р. Вахш и ее притоков отборы проб осуществлялись в точках, указанных на рис. 4. Индивидуальность притоков, как и в случае притоков Зеравшана, обеспечивалась отбором проб до слияния с потоком главной реки и до места слияния с другим притоком.

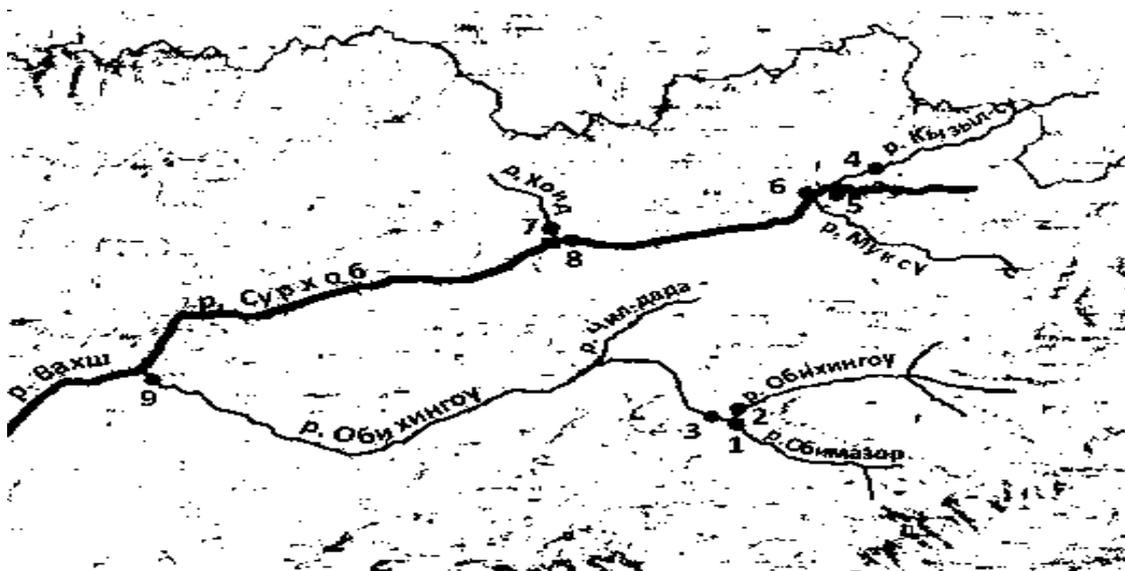


Рис. 4. Схема отбора проб воды из р. Вахш и ее притоков

На рис. 5 представлены результаты изотопного анализа р. Вахш и ее притоков.

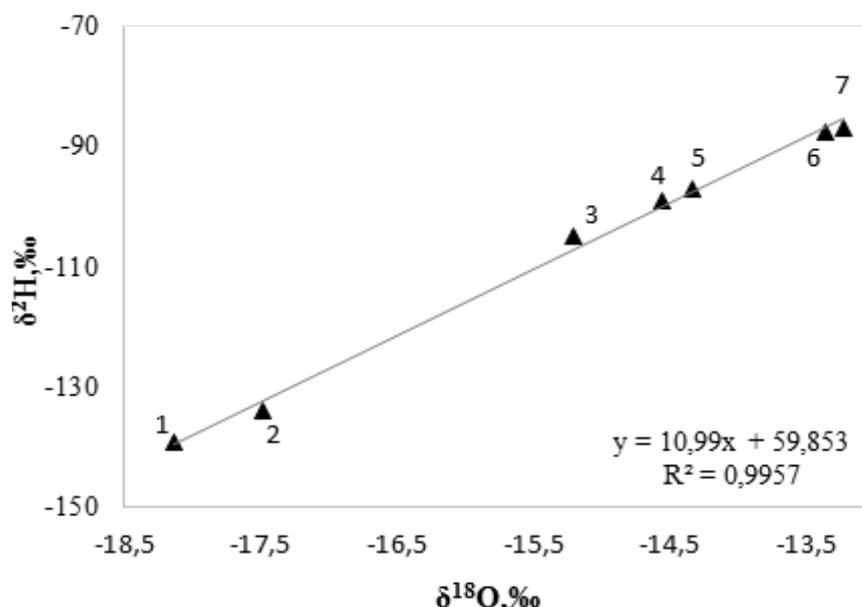


Рис. 5. Изотопный состав ледника Гармо и воды р. Вахш и притоков: 1, 2 – ледник Гармо; 3 – р. Сурхоб; 4 – р. Вахш; 5 – р. Обихингоу; 6 – р. Кызылсу; 7 – р. Муксу

Для того, чтобы интерпретировать полученные результаты изотопного анализа р. Вахш и ее притоков, обратимся к состоянию оледенений в бассейнах рек. Справа в Сурхоб впадает большой приток – р. Ярхыч, в бассейне которой имеется 177 ледников общей площадью 107 км². На северном склоне хребта Петра Первого находятся 52 небольших ледников общей площадью 19,4 км². В настоящее время они интенсивно тают, сокращаются. Правый приток Сурхоба – р. Сорбог длиной 81 км и площадью бассейна 1760 км². В бассейне р. Сорбог насчитывается 246 ледников общей площадью 105,6 км².

Левая составляющая Вахша – р. Обихингоу имеет длину 196 км, площадь бассейна 6660 км² и перепад высот между истоком и устьем – 2020 м. В ее бассейне находится 756 ледников общей площадью 712 км². В истоках Обихингоу располагается один из крупнейших ледников Памира – Гармо, дающий начало одноименной реке. Его длина – 34 км, площадь – 114 км². В настоящее время этот ледник, имеющий западную экспозицию, интенсивно отступает, его поверхность оседает, от ледника отделяются большие ледяные блоки. Ледник Гармо в течение прошлого столетия сократился на 7 км, потеряв более 6 км² площади. Ныне ледник отступает со скоростью 9 м/год с уменьшением площади 4 м/год.

Итак, реки Сурхоб и Обихингоу имеют ледниковое питание и можно предположить, что зимние атмосферные осадки по изотопному составу являются более легкими.

В долине р. Вахш погодно-климатические условия теплее, чем в долинах своих притоков Сурхоб и Обихингоу и, следовательно, Вахш, благодаря процессу испарения, должна была бы характеризоваться более тяжелым изотопным составом. Однако вследствие влияния притоков вода р. Вахш характеризуется легким изотопным составом.

Из рис. 5 видно, что изотопный состав р. Кызылсу характеризуется значениями $\delta^{18}\text{O} = -13,36 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H} = -87,88 \text{ ‰}$, что близко к значениям изотопного состава воды территорий со среднегодовой температурой выше 0 °С.

Ранее [6] исследованиями химического состава речной воды и подземных вод бассейна реки было установлено, что происходят процессы обогащения подземных резервуаров воды химическими элементами состава речной воды. Именно такой механизм имеет место, но в обратную сторону, т.е. превращение резервуаров подземных вод в источник подпитки реки.

На рис. 6 приведены результаты изотопного анализа родниковых и подземных вод бассейнов рек Муксу, Кызылсу, Сурхоб, Обихингоу.

Из рис.6 видно, что подземные и родниковые воды бассейна р. Муксу характеризуются значениями изотопного состава, которые существенно легче среднего состава речной воды и ближе к значениям талых ледниковых вод. В период весеннего снеготаяния, благодаря протеканию процессов инфильтрации, подземные резервуары накапливают талые воды и с наступлением маловодья они

превращаются в источник формирования речного стока. Естественно, это приводит к облегчению изотопного состава речной воды.

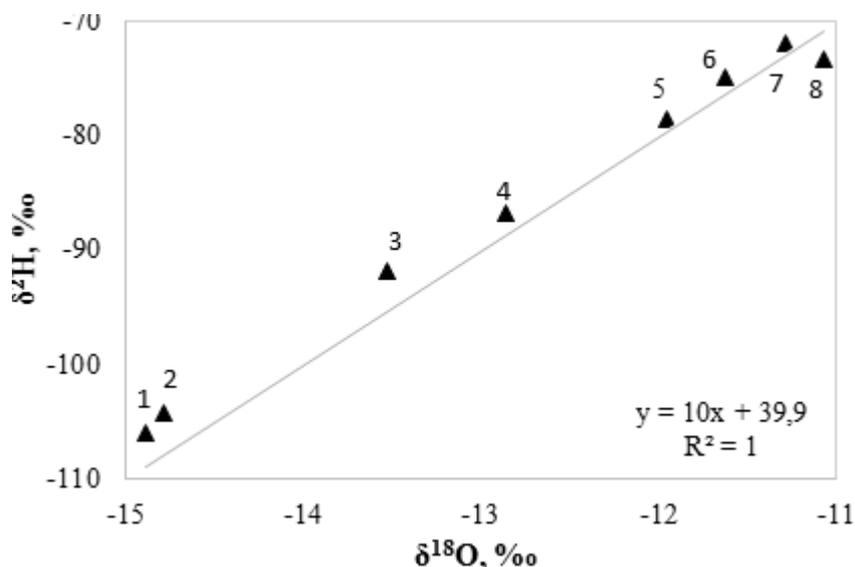


Рис. 6. Изотопный состав родниковых (1,3,4,5) и подземных вод (2,6,7,8) бассейнов рек Муксу, Кызылсу, Сурхоб, Обихингоу соответственно

Выводы

Результаты исследований изотопного ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) состава р. Зеравшан и ее притоков свидетельствуют о наличии сезонных вариаций изотопного состава атмосферных осадков и их влиянии на изотопный состав рек. Обнаружено фракционирование воды по мере течения из зоны формирования до низовья рек благодаря процессу испарения.

Анализируя результаты изотопных анализов р. Вахш и ее притоков с точки зрения состояния оледенения бассейнов рек, установлено, что основные притоки р. Вахш (Сурхоб, Обихингоу) характеризуются талым ледниковым питанием.

Итак, резервуары подземных вод бассейна р. Муксу в период снеготаяния аккумулируют талые ледниковые воды и с наступлением маловодья превращаются в источники водообеспечения р. Муксу.

Библиографический список

1. *Норматов П.И.* Качество воды реки Зеравшан и химический анализ сезонных снегов на ледниках бассейна реки Зеравшан // Вестник Таджикского национального университета. 2015. Т.1. №1(102). С. 306–310.
2. *Норматов П.И., Армстронг Р., Норматов И.Ш.* Изменение гидрологических характеристик р. Зеравшан и ее притоков в зависимости от метеорологических условий // Метеорология и гидрология. 2016. №9. С. 91–96.
3. *Норматов П.И., Армстронг Р., Норматов И.Ш., Нарзуллоев Н.* Мониторинг чрезвычайных водных факторов и исследование антропогенной нагрузки промышленных объектов на качество воды в бассейне р. Зеравшан // Метеорология и гидрология. 2015. №5. С. 89–97.
4. *Норматов И.Ш., Петров Г.Н.* Экономические аспекты развития гидроэнергетики Таджикистана. Душанбе: Дониш, 2006. 74 с.
5. *Норматов П.И.* Геоэкологическая оценка загрязненности поверхностных вод и снегов бассейна трансграничной реки Зеравшан: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2016. 143 с.
6. *Холмирзоева М.О., Буранова С., Норматов И.Ш.* Мониторинг и физико-химические исследования подземных и поверхностных вод Республики Таджикистан // Вода: Химия и Экология. 2012. №6. С. 92–96.
7. *Normatov I.Sh.* Country paper on regions of Tajikistan // G- WADI Asia-Global Network for Water and Development Information in Arid and Semi-Arid Regions of Asia / Proc. Intern. G - WADI Modeling Workshop. Roorkee, India. 2006. P. 101–137.

8. Normatov P., Armstrong R., Normatov I., Wilson A. Hydrology and hydrochemistry of the Vakhsh River and its tributaries // Abs. 3rd Intern. Conf. Mountain Hydrology and Meteorology for the Sustainable Development. Kathmandu, Nepal. 2017. P.234

9. Groll M., Opp Ch., Normatov I. Sh. et al. Water quality, potential conflicts and solutions – an upstream-downstream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan) // Env. Earth Sci. 2015. V. 73. №2. P. 743–764.

References

1. Normatov, P.I (2015), “Kachestvo vody reki Zeravshan i chimicheskiy analiz sezonnikh snegov na lednikakh basseyna reki Zeravshan”, *Vestnik Tadzik. natc.univ.*, vol.1, no. 1(102), pp. 306–310.

2. Normatov, P.I (2016), “Izmenenie gidrologicheskikh kharakteristik r. Zeravshan i ee pritokov v zavisimosti ot meteorologicheskikh usloviy”, *Met. I Gidrol.*, no. 9. pp. 91–96.

3. Normatov, P.I., Armstrong, R., Normatov, I. Sh. and Narzullov, N (2015), “Monitoring chrezvichaynikh vodnikh faktorov i issledovanie antropogennoy nagruzki promishlennikh obektov na kachestvo vodi v basseyne r. Zeravshan”, *Met. i Gidrol.*, no.5. pp. 89–97.

4. Normatov, I. Sh. and Petrov, G.N. (2006), *Economicheskie aspekt razvitiya gidroenergetiki Tajikistana [Economical aspects development of the Tajikistan hydropower]*, Donish, Dushanbe, Tajikistan.

5. Normatov, P. (2016), “Geoecological assessment of pollution of surface waters and snows in the transboundary Zeravshan river basin”, Abstract of Ph. D. dissertation, Geography, Russian State Hydrometeorology University, S. Petersburg, Russia.

6. Kholmirezova, M.O., Buranova, S., Normatov, I. Sh. (2012), “Monitoring i fiziko-chimicheskie issledovaniya podzemnikh i poverkhnostnikh vod Respubliki Tajikistan”, *Voda: Chim and Ecologiya*, no.6. pp.92–96.

7. Normatov I. Sh. Country paper on regions of Tajikistan. G- WADI Asia Global Network for Water and Development Information in Arid and Semi-Arid Regions of Asia// Proc. Intern. G - WADI Modeling Workshop. Roorkee, India. 2006. pp.101–137.

8. Normatov, P., Armstrong, R., Normatov, I. Sh., Wilson A. Hydrology and hydrochemistry of the Vakhsh River and its tributaries, Abs. 3rd Intern. Conf. Mountain Hydrology and Meteorology for the Sustainable Development, 10–11 April 2017, Kathmandu, Nepal.

9. Groll, M., Opp, Ch., Normatov, I. Sh., et al. (2015), “Water quality, potential conflicts and solutions – an upstream-downstream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan)” // Env. Earth Sci. 2015. vol.73. no. 2. P. 743–764.

Поступила в редакцию: 08.07.2017

Сведения об авторах

Норматов Парвиз Иномович

кандидат географических наук,
научный сотрудник, Институт водных проблем,
гидроэнергетики и экологии Академии наук
Республики Таджикистан;
Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а;

About the authors

Parviz I. Normatov

Candidate of Geographical Sciences, Researcher,
Institute of Water Problems, Hydropower and
Ecology, The Academy of Sciences of the
Republic of Tajikistan;
14a, Ayni st., Dushanbe, 734042, Tajikistan;

e-mail: amparviz@bk.ru

Фрумин Григорий Тевелович

доктор химических наук, профессор, заведующий
лабораторией, Российский государственный
гидрометеорологический университет;
Россия, 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский
пр., д.98;

Grigoriy T. Frumin

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of
Laboratory, Russian State Hydrometeorological
University;
98, Malookhotinsky prospekt, St-Petersburg,
195196, Russia;

e-mail: gfrumin@mail.ru

Муминов Абулкосим Омонкулович

научный сотрудник, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан;

Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а;

e-mail:abulqosim97@mail.ru

Abulqosim O. Muminov

Researcher, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan;

14a, Ayni str., Dushanbe, 734042, Tajikistan;

Норматов Ином Шерович

доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан;

Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а;

e-mail:inomnor@mail.ru

Inom Sh. Normatov

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan;

14a, Ayni st., Dushanbe, 734042, Tajikistan;

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Норматов П.И., Фруммин Г.Т., Муминов А.О., Норматов И.Ш. Исследование изотопного состава воды ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) трансграничных рек Зеравшана, Вахша и их притоков // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №4(43). С.97–104. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-97-104

Please cite this article in English as:

Normatov P.I., Frumin G.T., Muminov A.O., Normatov I. Sh. The water isotope composition ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) of the transboundary Zeraвшan and Vakhsh rivers and their tributaries // Geographical bulletin. 2017. №4(43).P. 97–104. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-97-104