



УДК 551.57:556.12+551.582

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.74>

## **Пространственное распределение осадков по климатическим зонам верховья трансграничной реки Пяндж**

С. О. Мирзохонова

*Таджикский национальный университет, Душанбе*

Б. А. Маркаев

*Институт водных проблем, гидроэнергетики  
и экологии АН Республики Таджикистан, Душанбе*

П. И. Норматов

*Таджикский национальный университет, Душанбе*

Р. У. Эшанкулова

*Институт водных проблем, гидроэнергетики  
и экологии АН Республики Таджикистан, Душанбе*

**Аннотация.** Представлены результаты мониторинга процессов накопления снежного покрова в верховьях трансграничной реки Пяндж Центральной Азии. С учетом наличия четырех климатических зон в Горно-Бадахшанской автономной области, включающей Памир и являющейся зоной формирования трансграничной реки Пяндж, мониторинг формирования снежного покрова проводился по метеорологическим станциям, расположенным в соответствующих климатических зонах. В ходе изучения зависимости значений высоты снежного покрова от высоты расположения метеорологических станций над уровнем моря обнаружено, что формирование снежного покрова и пространственное распределение атмосферных осадков в горном Памире в основном определяются орографией местности и видами проникающих воздушных масс. Установлено, что соотношение годовой суммы атмосферных осадков к глубине снежного покрова выявляется температурным режимом и высотой местности. Существование эффекта влияния орографии на продвижение воздушных масс в горных местностях способствует тому, что происходит смещение периодов накопления снежного покрова в разные климатические зоны. Предполагается, что между периодами выпадения максимального количества снега в западной, центральной климатических зонах Памира, характеризующихся более обильными осадками, и восточной сухой климатической зоне должен наблюдаться промежуток времени, связанный с тем фактом, что сухая воздушная масса, перевалившаяся через горные хребты, должна насыщаться парами воды.

**Ключевые слова:** снежный покров, Пяндж, орография, Памир, атмосферные осадки, температура.

**Для цитирования:** Мирзохонова С. О., Маркаев Б. А., Норматов П. И., Эшанкулова Р. У. Пространственное распределение осадков по климатическим зонам верховья трансграничной реки Пяндж // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 23. С. 74–82. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.74>

## **Введение**

Данные последних десятилетий свидетельствуют об усилении сокращения площадей оледенения и снежного покрова в горах как южного, так и северного полушария Земли [IPCC. Climate change ... , 2007]. Ожидается, что географические районы, в водных циклах которых доминирует гидрология таяния ледников и снега, будут более восприимчивыми к изменению климата, т. е. изменению сезонности стока речной системы [Adam, Hamlet, Lettenmaier, 2009].

Эти климатические реакции горной речной гидрологии в сочетании с потенциальными изменениями на поверхности Земли, ростом численности населения и уже существующим дефицитом водных ресурсов могут создавать серьезные проблемы для горных регионов. Региональные климатические прогнозы МГЭИК (2007) показывают, что к концу XXI в. ожидается потепление Центральной Азии на 3,7 °С с наибольшим значением на более высоких террасах, особенно на Тибетском плато и в Гималаях [Bhattachai, Dhananjay, 2011].

Накопление снега обычно возрастает с увеличением высоты из-за комбинированного эффекта преобладающих низких температур и повышенной частоты осадков, вызванных орографическими эффектами [Kuchment, Gelfan, 2001].

Данные о распределении глубины снега, плотности и его водного эквивалента с высоким пространственным и временным разрешением необходимы для проверки и/или ввода данных в модели дрейфа снега [Sensitivity analysis and ... , 2015] и модели снег-стока [Sensitivity analysis and ... , 2008]. Таким образом, существует большая потребность в данных по распределению снега, в основном для определения водного эквивалента снега. Значения пространственного распределения водного эквивалента важны для многих заинтересованных сторон. Например, их можно использовать в качестве вклада в новое поколение гидрологических моделей, прогнозирующих стоки при снеготаянии [Development and test ... , 2008; Kolberg, Gottschalk, 2006; Udnaes, Alfnes, Andreassen, 2007].

В бассейнах Амударьи и Сырдарьи ресурсы талой воды составляют соответственно 69 и 79 %, т. е. доля сезонного снеготаяния в водный сток намного превышает долю ледниковых.

Целью настоящей работы является исследование метеорологических условий климатических зон Памира, динамики накопления снежного покрова на террасах, расположенных на различных высотах и в различных климатических зонах.

## **Объекты и методы исследования**

Настоящая работа охватывает результаты мониторинга распределения атмосферных осадков и снежного покрова верховья трансграничной реки Пяндж. Для этого использованы данные о высоте снежного покрова метеорологических станций Хумроги (N 38°17'; E 71°20'), Рушан (N 37°57'; E 71°33'), Хорог (N 37°30'; E 71°30'), Ирхт (N 38°10'; E 72°38'), Булункул (N 37°42'; E 72°57') и Шаймак (N 37°32'; E 74°49') бассейна р. Пяндж и статистический метод обработки данных.

### Результаты исследования

Особенность распределения высоты снежного покрова и количество атмосферных осадков по высоте расположения местности в горных террасах показаны на рис. 1.

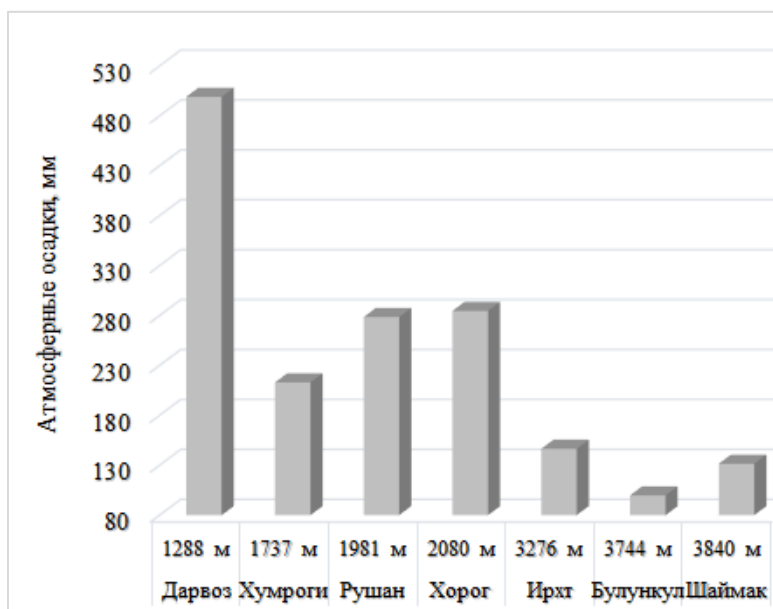


Рис. 1. Распределение атмосферных осадков в зависимости от высоты расположения местности

Из рис. 1 видно, что влияние высоты расположения на формирование снежного покрова, а также зависимость количества атмосферных осадков от высоты не описываются известной закономерностью.

Например, значение атмосферных осадков по метеорологической станции Шаймак, расположенной на высоте более 3800 м над у. м., мало отличается от значений, характерных для местности расположения метеорологической станции Ирхт на высоте 3276 м над у. м. То же самое можно обнаружить и при сравнении значений высоты снежного покрова и атмосферных осадков по другим метеорологическим станциям.

Процентное соотношение среднемноголетних значений высоты снежного покрова и атмосферных осадков в зависимости от высоты расположения местности варьируется в широких пределах (рис. 2).

Для метеорологической станции Рушан, расположенной на высоте 1981 м над у. м., процентное соотношение снежного покрова к атмосферным осадкам составляет около 27, для Шаймак – 20, а для Хумроги – не более 5 %.

Как было указано в [Meteorological Features of ... , 2017], пространственная неоднородность атмосферных осадков в горных местностях прежде всего обусловлена влиянием орографии местности на распространение влажных воздушных масс. На более умеренных высотах (Дарваз) среднегодовое увеличение температуры происходит с более ощутимой скоростью, чем в верховьях.

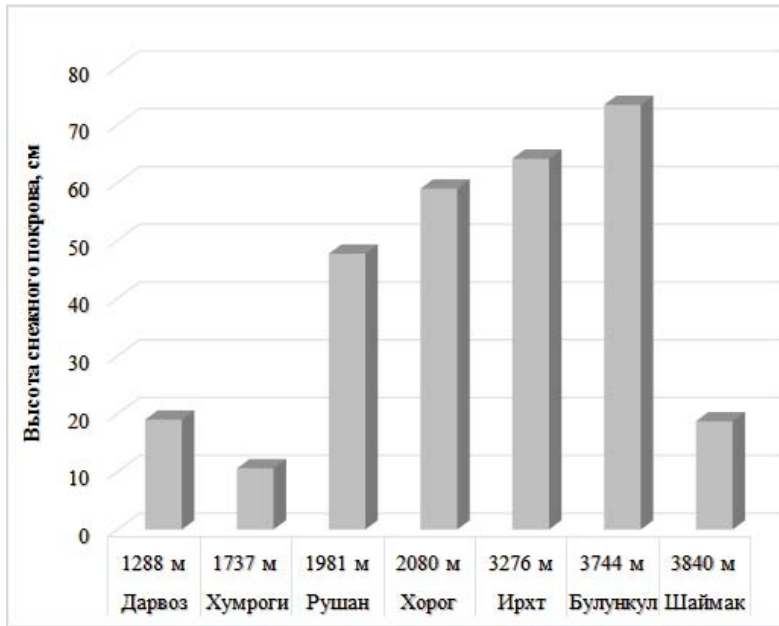


Рис. 2. Среднегодовые значения снежного покрова по данным метеостанций бассейна р. Пяндж

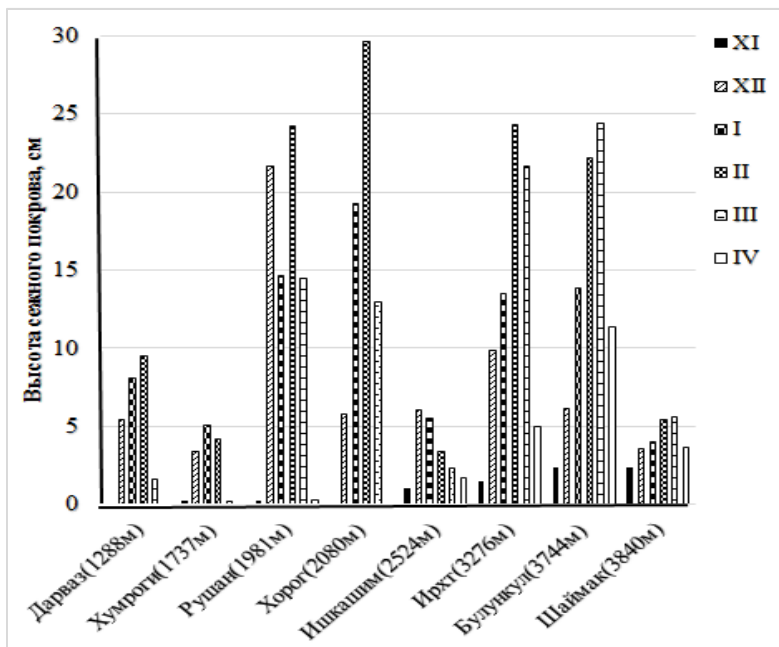


Рис. 3. Среднемесячные значения высоты снежного покрова по метеорологическим станциям бассейна р. Пяндж

Исходя из этого, на террасах расположения метеорологической станции Дарваз атмосферные осадки чаще выпадают в жидкой фазе, и формирующийся слой снежного покрова при благоприятных температурных условиях характеризуется коротким временем существования.

На границе южной и центральной зон Памира вертикальный градиент составляет около 40 мм на 100 м поднятия, что свидетельствует о более влажных предгорьях и существовании широких котловин, имеющих открытый выход на запад, навстречу влажным воздушным потокам. По мере продвижения воздушного течения вглубь горной области и переваливания через хребты влажный воздух конвертирует влагу и становится сухим.

Среднегодовое количество атмосферных осадков в Восточном Памире незначительное и варьируется в пределах 40–140 мм со средним многолетним значением около 76 мм. Дефицит осадков в Восточном Памире обусловлен тем, что на Западном Памире, характеризующемся высокими горными хребтами (5000–6000 м над у. м.), происходит разгрузка влажного воздуха с выпадением обильных осадков, а переваливший через хребты Западного Памира воздух становится сухим [Meteorological Features of ... , 2017].

В принципе, между периодами выпадения максимального количества снега в западной, центральной климатических зонах Памира, которым свойственны более обильные осадки, и восточной сухой климатической зоне должен наблюдаться промежуток времени. Это прежде всего связано с тем фактом, что сухая воздушная масса, перевалившаяся через горные хребты, должна насыщаться парами воды.

Из рисунка 3, где представлено среднемноголетнее месячное значение снежного покрова по метеорологическим станциям бассейна р. Пяндж, видно, что на восточных метеорологических станциях Булункул и Шаймак формирование максимального значения снежного покрова соответствует марту.

Появление максимального значения снежного покрова на метеорологической станции Ишкашим в декабре связано, по нашему мнению, с проникновением воздушных масс со стороны Ирана и Афганистана (рис. 4).

При сравнении гистограмм на рис. 2 становится явным, что западная и центральная климатические зоны (Хорог, Ирхт, Рушан и Булункул) характеризуются достаточным количеством атмосферных осадков, а температурный режим способствует формированию снежного покрова достаточной высоты.

В бассейне р. Гунт на высотах более 4300 м над у. м. снежный покров (более 50 %) сохраняется с ноября по март. Учитывая это, а также обильные атмосферные осадки в бассейне реки, предполагают [Pu, Xu, Salomonson, 2007; Large-scale monitoring ... , 2009; Identifying Changing Snow ... , 2014; Sensitivity analysis and ... , 2015], что снеготаяние может внести существенный вклад в водный баланс и формирование стока рек бассейна.

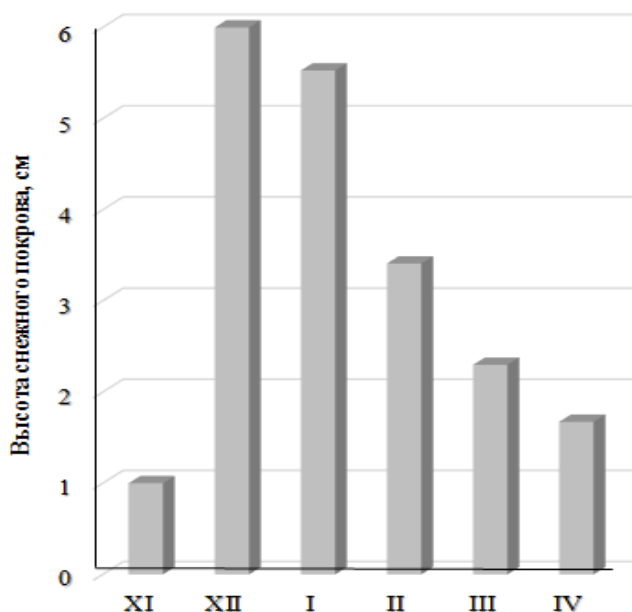


Рис. 4. Среднемесячные значения высоты снежного покрова по данным метеостанции Ишкашим (2524 м над у. м.)

## Выводы

Обнаружена пространственная неоднородность распределения атмосферных осадков и глубины снежного покрова по климатическим зонам Памира в верховье р. Пяндж, обусловленная орографией горной местности и особенностью продвижения воздушных масс. Более обильные атмосферные осадки свойственны западной климатической зоне по сравнению с восточной, характеризующейся дефицитом осадков. Предполагается, что продолжительность сохранения снежного покрова главным образом определяется температурным режимом местности.

## Список литературы

- Adam J. C., Hamlet A. F., Lettenmaier D. P.* Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century // *Hydrological Processes*. 2009. N 23. P. 962–972.
- Bhattarai B. Ch., Dhananjay R. D.* Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin // *Nepal. J. Hydrol & Meteorol*. 2011. Vol. 9, N 1. P. 75–84.
- Comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow depth distribution on slopes / A. Prokop [et al.] // *Ann. Glaciology*. 2008. Vol. 49, N 1. P. 210–216.
- Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications / B. Arheimer [et al.] // *Proc. XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik, August 11–13. 2008*. P. 105–111.
- Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales / G. Lindström [et al.] // *Hydrol. Res*. 2010. Vol. 41, N 3, 4. P. 295–319.

Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data / A. Dietz, C. Conrad, C. Kuenzer, G. Gesell, S. Dech // *Remote Sens.* 2014. Vol. 6. P. 75–77.

IPCC. Climate change 2007: Synthesis Report / eds. C. W. Team, R. K. Pachauri, A. Reisinger. Geneva, Switzerland, 2007.

Kolberg S. A., Gottschalk L. Updating of snow depletion curve with Remote sensing data // *Hydrological Processes.* 2006. Vol. 20, N 11. P. 2363–2380.

Kuchment L. S., Gelfan A. N. Statistical self-similarity of spatial variations of snow cover: verification of the hypothesis and application in the snowmelt runoff generation models // *Hydrological Processes.* 2001. Vol. 15, N 18. P. 3343–3355.

Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing / W. Immerzeel, P. Droogers, S. de Jong, M. Bierkens // *Remote Sens. Environ.* 2009. Vol. 113. P. 40–49.

Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj / P. I. Normatov, B. A. Markaev, I. Sh. Normatov, A. O. Muminov // *J. Bull. Irkutsk St. Univ.* 2017. Vol. 21. P. 106–113.

Pu Z., Xu L., Salomonson V. V. MODIS / Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau // *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34. P. 106–112.

Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains / E. Pohl [et al.] // *Earth Surf. Dynam.* 2015. Vol. 3. P. 333–362.

Udnaes H. C., Alfnes E., Andreassen L. M. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area // *Nordic Hydrology.* 2007. Vol. 38, N 1. P. 21–32.

## The Spatial Distribution of Precipitation by Climatic Zones of the Upstream of the Transboundary Pyanj River

S. O. Mirzokhonova

*Tajik National University, Dushanbe*

B. A. Markaev

*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology AS Republic of Tajikistan, Dushanbe*

P. I. Normatov

*Tajik National University, Dushanbe*

R. U. Eshankulova

*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology AS Republic of Tajikistan, Dushanbe*

**Abstract.** The monitoring results of the snow cover accumulation processes in the upstream of the transboundary Pyanj River are presented. With the availability of four climatic zones in Gorno-Badakhshan Autonomous region that covers the Pamir and which is the formation area of the Pyanj River the snow cover monitoring was carried out at the meteorological stations located in appropriate climatic zones. By the study of the dependence of the snow depth vs the height values of the meteorological stations a.s.l it was observed that the snow cover formation and spatial distribution of precipitation in the mountainous Pamir is mainly determined by the orography of the terrain and types of penetrating air masses. It is found that the ratio of the atmospheric precipitation annual amount and the snow cover depth is determined by the temperature regime and elevation. The existence of the orography effect on the promotion of air

masses in mountain areas promotes to ensure that there is a shift of periods of the snow cover accumulation in different climate zones. Suggested that between the deposition periods of the maximum amount of snow in Western, Central climate zones of the Pamir mountains, characterized by more abundant rainfall and a dry Eastern climate zone shall be the period of time associated with the fact that the dry air mass, that is passed through the mountains, must be saturated by water vapor.

**Keywords:** Pyanj River, snow cover, orography, Pamir, atmospheric precipitation, temperature.

**For citation:** Mirzokhonova S.O., Markaev B.A., Normatov P.I., Eshankulova R.U. Development Factors and Intensity of Heavy Rains Erosion on the Arable Land of the Tom-Yaya Interfluvium. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 23, pp. 74-82. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.74>. (in Russian)

### References

- Adam J.C., Hamlet A.F., Lettenmaier D.P. Implications of global climate change for snow-melt hydrology in the twenty-first century. *Hydrological Processes*, 2009, no. 23, pp. 962-972.
- Bhattarai B.Ch., Dhananjay Regmi D. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin, Nepal. *J. Hydrol. & Meteorol.*, 2011, vol. 9, no. 1, pp. 75-84.
- Prokop A., Schirmer M., Rub M., Lehning, M., Stocker, M. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow depth distribution on slopes. *Ann. Glaciology*, 2008, vol. 49, no. 1, pp. 210-216.
- Arheimer B. et al. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications. *Proc. XXV Nordic Hydrological Conference*, Reykjavik, 2008, August 11-13, pp. 105-111.
- Lindström G. et al. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales. *Hydrol. Res.*, 2010, vol. 41, no. 3-4, pp. 295-319.
- Dietz A. et al. Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data. *Remote Sens*, 2014, Vol. 6, pp. 75-77.
- Team C.W., Pachauri R.K., Reisinger A. (eds.). *IPCC. [Climate change 2007: Synthesis Report]*. Geneva, Switzerland, 2007.
- Kolberg S.A., Gottschalk L. Updating of snow depletion curve with Remote sensing data. *Hydrological Processes*, 2006, vol. 20, no. 11, pp. 2363-2380.
- Kuchment L.S., Gelfan A.N. Statistical self-similarity of spatial variations of snow cover: verification of the hypothesis and application in the snowmelt runoff generation models. *Hydrol. Processes*, 2001, vol. 15, no. 18, pp. 3343–3355.
- Immerzeel W., Droogers P., de Jong S., Bierkens M. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. *Remote Sens. Environ*, 2009, vol. 113, pp. 40-49.
- Normatov P.I., Markaev B.A., Normatov I.Sh., Muminov A.O. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj. *J. Bull. Irkutsk St. Univ.*, 2017, vol. 21, pp. 106-113.
- Pu Z., Xu L., Salomonson V.V. MODIS/Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau. *Geophys. Res. Lett.*, 2007, vol. 34, pp. 106-112.
- Pohl E., Knoche M., Gloaguen R., Andermann C., Krause P. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains. *Earth Surf. Dynam.*, 2015, vol. 3, pp. 333-362.
- Udnes H.C., Alfnes E., Andreassen L.M. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area. *Nordic Hydrology*, 2007, vol. 38, no. 1, pp. 21-32.

Мирзохонова Ситора Олтибоевна  
ассистент, кафедра метеорологии  
и климатологии  
Таджикский национальный университет  
Республика Таджикистан, 734025,

Mirzokhonova Sitora Oltinboevna  
Assistant, Department of Meteorology  
and Climatology  
Tajik National University  
17, Rudaki av., Dushanbe, 734025,



г. Душанбе, пр. Рудаки, 17  
тел.: (992) 98-534-1991  
e-mail: umarova52@gmail.com

Republic of Tajikistan  
tel.: (992) 98-534-1991  
e-mail: umarova52@gmail.com

Маркаев Бахтиер Абдузжаборович  
научный сотрудник  
Институт водных проблем,  
гидроэнергетики и экологии АН  
Республики Таджикистан  
Республика Таджикистан, 734042,  
г. Душанбе, ул. Айни, 14а  
тел.: (992) 93-525-5134  
e-mail: zar.rakhimov@mail.ru

Markaev Bakhtiyor Abduzhaborovich  
Researcher  
Institute of Water Problems, Hydropower and  
Ecology AS Republic of Tajikistan  
14a, Ajni st., Dushanbe, 734042, Republic of  
Tajikistan  
tel.: (992) 93-525-5134  
e-mail: zar.rakhimov@mail.ru

Норматов Парвиз Иномович  
кандидат географически наук,  
научный сотрудник  
Таджикский национальный университет  
Республика Таджикистан, 734025,  
г. Душанбе, пр. Айни, 17  
тел.: (992) 98-828-0500  
e-mail: norparviz89@gmail.com

Normatov Parviz Inomovich  
Doctor of Sciences (Geography)  
Scientific Researcher  
Tajik National University  
17, Rudaki av., Dushanbe, 734025,  
Republic of Tajikistan  
tel.: (992) 98-828-0500  
e-mail: norparviz89@gmail.com

Эшанкулова Рано Убайдуллоевна  
кандидат технических наук  
главный научный сотрудник  
Институт водных проблем,  
гидроэнергетики и экологии АН  
Республики Таджикистан  
Республика Таджикистан, 734042,  
г. Душанбе, ул. Айни, 14а  
тел.: (992) 93-445-0453  
e-mail: ranoeshonkul60@gmail.com

Eshankulova Rano Ubaydulloevna  
Candidate of Sciences (Technics)  
Main Scientific Researcher  
Institute of Water Problems, Hydropower  
and Ecology AS Republic of Tajikistan  
14a, Ajni st., Dushanbe, 734042, Republic  
of Tajikistan  
tel.: (992) 93-445-0453  
e-mail: ranoeshonkul60@gmail.com

**Дата поступления:** 16.02.2018  
**Received:** February, 16, 2018