

REFERENCES

- [1] Pieńkowski, P. 2000. Disappearance of ponds in the younger Pleistocene landscape of Pomerania. - Journal of Water and Land Development 4: 55–68.
- [2] Downing, J.A., Prairie, Y.T., Cole, J.J., Duarte, C.M., Tranvik, L.J., Striegl, R.G., McDowell, W.H., Kortelainen, P., Caraco, N.F., Melack, J.M., Middelburg, J.J. 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. - Limnology and Oceanography 51: 2388–2397.
- [3] Stoate C., Baldi, A., Beja, P., Boatman, N.D., Herzon, L., van Doorn, A., de Snoo, G.R., Rakosy, L., Ramwell, C. 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. - Journal of Environmental Management 91: 22–46.
- [4] Kuczyńska-Kippen, N., Joniak, T. 2016. Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. - Hydrobiologia 774 (1): 39–51.
- [5] Joniak, T., Kuczyńska-Kippen, N., Gąbka, M. 2017. Effect of agricultural landscape characteristics on the hydrobiota structure in small water bodies. - Hydrobiologia 793 (1): 121–133.
- [6] APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th Ed. Washington, D.C.
- [7] Margalef, R. 1957. Information theory in ecology. - General Systems 3: 36–71.
- [8] Oksanen, J. 2011. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. R package ver.
- [9] Kuczyńska-Kippen, N., Joniak, T. 2010. Chlorophyll a and physical-chemical features of small water bodies as indicators of land use in the Wielkopolska region (Western Poland). - Limnetica 29: 163–169.
- [10] Scheffer, M. 2001. Alternative attractors of shallow lakes. - The Scientific World 1: 254–263.
- [11] Ryszkowski, L., Jankowiak, J. 2002. Development of agricultural and its impact on landscape functions. In: L. Ryszkowski (ed.), Landscape ecology in agroecosystems management. Press Taylor & Francis Group.
- [12] Joniak, T., Kuczyńska-Kippen, N. 2010. The chemistry of water and bottom sediments in relation to zooplankton biocenosis in small agricultural ponds. - Oceanological and Hydrobiol. Studies 39(2): 85–96.

Основная глава 7.4 Комбинированные исследования

Main Chapter 7.4 Combined Studies

Глава II/87: ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.

Chapter II/87: Water Resources Monitoring Using Remote Sensing Data in Central Asia

Аббор Гафуров^{*1}, Алия Нурбасина², Ольга Калашникова³

DOI 10.25680/9340.2018.70.35.184

*Эл. Почта: gafurov@gfz-potsdam.de

1. Секция 5.4 Гидрология, Гео-исследовательский Центр, Потсдам, Германия

2. Республиканское Государственное предприятие «Казгидромет»

3. CAIAG Центрально-Азиатский Институт Исследования Земли, Бишкек, Кыргызская Республика.

РЕЗЮМЕ. Водные ресурсы в Центральной Азии имеют важное значение для региона и широко используются в сельскохозяйственном производстве также для выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях. Таким образом, важно осуществлять контроль за использованием имеющихся водных ресурсов, а также знать их внутригодовое изменение в определенное время, для улучшения управления водными ресурсами. В этом исследовании мы используем данные дистанционного зондирования для мониторинга водных ресурсов в Центральной Азии. Наш анализ показывает возможность оценки водообеспеченности на основе спутниковой информации о снежном покрове. Более того, ежемесячная водообеспеченность может быть оценена в разное время, с использованием пространственного распределения данных снежного покрова. Такой анализ может быть полезен для сельского хозяйства и в электроэнергетики, а также для оценки эволюции ландшафтов, так как водные ресурсы оказывают влияние на растительность, которая является неотъемлемой частью ландшафта.

Abstract. Water resources in Central Asia are important in this region and used for agricultural production but also for energy production through hydropower plants. Thus, it is important to monitor available water resources and their timing of arrival in lowlands for better water resources management. In this study we use remote sensing snow cover data to monitor water resources in Central Asia. Our analysis shows the possibility of assessing water resources availability based on satellite snow cover information. Moreover, monthly water availability can be assessed at different times by identifying their origin using spatially distributed remote sensing snow cover data. Such analysis can be helpful, among for agricultural and energy production, also for landscape evolution, since water resources have an impact on vegetation, which is an integral part of the landscape.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные ресурсы, Центральная Азия, дистанционное зондирование снежного покрова, ландшафт, сельскохозяйственное производство

Keywords: water resources, Central Asia, remote sensing snow cover, landscape, agricultural production

ВВЕДЕНИЕ

На реках Центральной Азии в летние месяцы существенную роль играет снеготаяние в высокогорных районах, где снег накапливается и хранится в виде снежников и ледников. Снег, накопленный в горах в холодный период, тает с начала весны и до конца лета. В летние месяцы водные ресурсы крайне необходимы для орошения сельскохозяйственных полей или заполнения водохранилищ для выработки электроэнергии в зимние месяцы, а также для эволюции (развития) ландшафтов с произрастающей растительностью. Развитие сельского хозяйства, производство электроэнергии или произрастание растительности напрямую связано с имеющимися водными ресурсами. Из-за высокой засушливости региона, особенно в регионах, расположенных ниже по течению рек, сельскохозяйственное производство невозможно без орошения.

Методологии, имеющиеся в настоящее время в Центральной Азии для оценки имеющихся водных ресурсов в высокогорьях в течение летних месяцев, основаны только на информации с метеорологических станций. Однако в высокогорьях имеются ограниченное число метеорологических станций, из-за экстремальных погодных условий или проблем с доступностью. Кроме того, доступная информация с метеорологических станций имеет характер точечных наблюдений и не имеет пространственного распределения. Поэтому эти методологии имеют ограничение в надежности.

Тем временем развиваются технологии дистанционного зондирования, с помощью которых можно оценить состояние снежного покрова в отдаленных и труднодоступных районах. Данные дистанционного зондирования обладают своим преимуществом с пространственно распределенной функцией. Это позволяет с надежной точностью получать информацию о снежном покрове из отдаленных районов. Более того, высокое временное разрешение данных дистанционного зондирования позволяет контролировать изменения, связанные со снежным покровом в горах, что может дать своевременную информацию о снеготаянии и, соответственно, об ожидаемых водных ресурсах.

МЕТОДОЛОГИЯ

В этом исследовании мы используем данные снежного покрова Spectroradiometer (MODIS) с умеренным разрешением (MOD10A1 - Terra, MYD10A1 - Aqua, версия 5 и 6). Данные снежного покрова MODIS имеют пространственное временное разрешение 500 метров. Эти данные доступны с 2000 и 2002 годов по настоящее время со спутников Terra и Aqua, соответственно и выпускаются на территорию всего земного шара [3,4]. Данные снежного покрова MODIS представляют собой информацию о наличии или отсутствии снежного покрова, не имея информации о глубине или эквиваленте воды снега. Недостатком продукта снежного покрова MODIS является нехватка данных из-за облачного покрова. Поскольку MODIS является оптическим датчиком, наблюдения за снежным покровом в условиях облачности невозможны. Чтобы преодолеть это ограничение в данных о снежном покрове, ранее были разработаны несколько алгоритмов устранения облачного покрова [1,2,5,6].

Ежедневные данные снежного покрова MODIS являются ценной информацией для оценки водобез обеспечности в горных районах. Однако обработка данных о снежном покрове спутниковых снимков MODIS не является прямой задачей конечных пользователей этих данных и требует специфических знаний по корректной обработке спутниковых изображений. Чтобы преодолеть это

ограничение, а также и ограничения, связанные с облачным покровом, была разработана программа MODSNOW [1], который удобен для пользователя и может использоваться для автоматической обработки данных снежного покрова MODIS, включая удаление облачного покрова (оценка фактического охвата пикселя под облачным покровом). Этот инструмент может быть установлен на локальном компьютере, который может обновлять ежедневное состояние снежного покрова заранее определенных бассейнов без какого-либо взаимодействия с пользователем. Для каждого из речных бассейнов полный временной цикл ежедневных данных о снежном покрове с 2000 по 2017 год обрабатывается с использованием MODSNOW-Tool (пример бассейна р.Нарын на рисунке 1). Такие данные временных рядов дополнительно анализируются с временными рядами речного стока для каждого речного бассейна. Для этого был проведен простой линейный регрессионный анализ.

Как показано на рисунке 1, гидрологический год 2006/2007 был самым малоснежным годом в бассейне. Следовательно, лето 2007 года было чрезвычайно засушливым, намного ниже нормального уровня водообеспеченности. Тем не менее, 2008 год также был одним из маловодных в Центральной Азии, хотя данные по снежному покрову указывают на «нормальный» снежный покров в бассейне.

Однако это «нормальное» состояние снежного покрова не может быть оценено с использованием только данных SCA, так как продолжительность заснеженных дней в каждом бассейне также играет важную роль и может указать сумму накопленного снежного покрова. Чтобы рассмотреть пространственную и временную изменчивость снежного покрова в бассейне, мы вводим индекс снежного покрова (SCI), который представляет собой суммарную площадь снежного покрова для гидрологического года (уравнение 1).

$$SCI_t = \sum_{n=1}^{n=365/366} SCA_i \quad (\text{Eq. 1})$$

где SCI_t – индекс снежного покрова (Snow Cover Index) за год t и SCA_n – площадь снежного покрова (Snow Cover Area) для дней n , начиная с 1 сентября по 31 августа предстоящего года.

Уравнение 1 рассматривает степень покрытия снежного покрова и продолжительность залегания снега в гидрологическом году, и мы считаем его показателем для оценки снегозапасов в целевом районе.

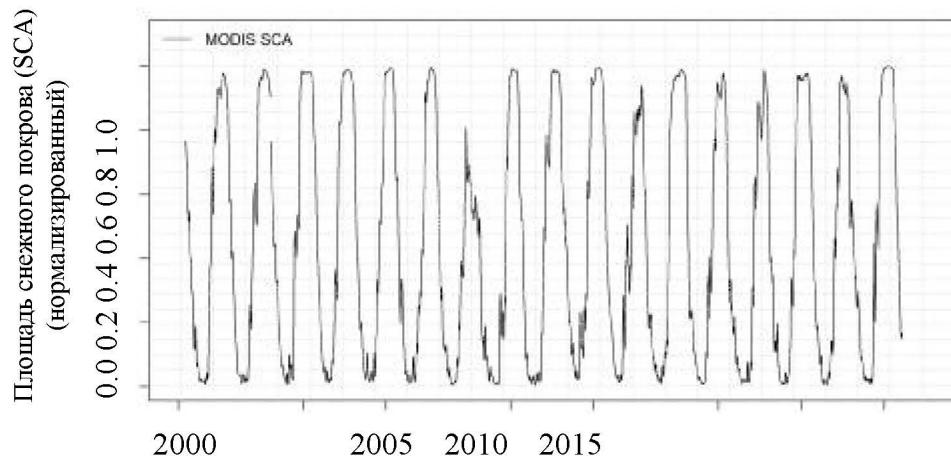


Рис.1- Временные ряды суточной динамики снежного покрова для Нарынского бассейна с 2000 по 2017 гг.

Однако это «нормальное» состояние снежного покрова не может быть оценено с использованием только данных SCA, так как продолжительность заснеженных дней в каждом бассейне также играет важную роль и может указать сумму накопленного снежного покрова. Чтобы рассмотреть пространственную и временную изменчивость снежного покрова в бассейне, мы вводим индекс

снежного покрова (SCI), который представляет собой суммарную площадь снежного покрова для гидрологического года (уравнение 1).

$$SCI_t = \sum_{n=1}^{n=365/366} SCA_i \quad (\text{Eq. 1})$$

где SCI_t - индекс снежного покрова (Snow Cover Index) за год t и SCA_n – площадь снежного покрова (Snow Cover Area) для дней n , начиная с 1 сентября по 31 августа предстоящего года.

Уравнение 1 рассматривает степень покрытия снежного покрова и продолжительность залегания снега в гидрологическом году, и мы считаем его показателем для оценки снегозапасов в целевом районе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Временные ряды обработанных данных о снежном покрове использовались для расчета SCI для каждого бассейна. Затем значения SCI для каждого года использовались для проверки зависимости водообеспеченности от SCI с использованием метода простого регрессионного анализа. На рисунке 4 показан пример регрессионного анализа SCI и расходов воды для Верхней Амудары до расходов воды на гидропосту Керки.

На рисунке 2 показана явная зависимость водообеспеченности от индекса снежного покрова для каждого года. Для анализа на рисунке 4 использовался средний расход воды за вегетационный период (апрель-сентябрь) на гидропосту Керки и SCI за период с 2000 по 2015 годы. Полученные результаты показывают возможность оценки водообеспеченности с использованием метода простой регрессии. Аналогичная эффективность регрессионного анализа была также получена для других бассейнов. Такой анализ может быть полезен при планировании сельскохозяйственного производства или наполнении водохранилищ для выработки электроэнергии в зимние месяцы.

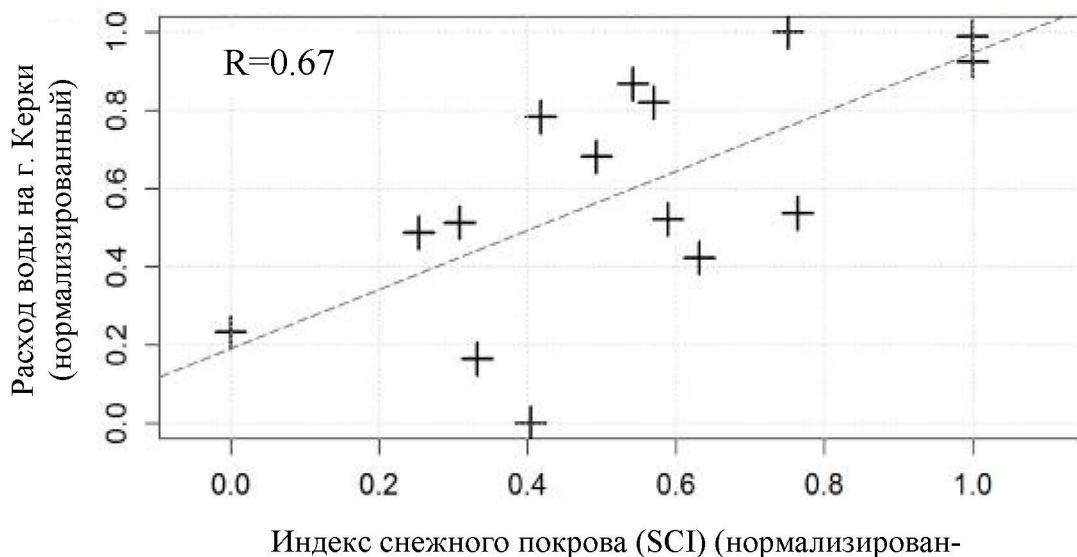


Рис.2- Зависимость между расходами воды на гидропосту Керки и SCI для Верхней Амудары.

Данные дистанционного зондирования о снежном покрове были дополнительно использованы для оценки ежемесячных водных ресурсов в Центральной Азии. Как уже ранее упоминалось, снеготаяние является доминирующим гидрологическим компонентом рек Центральной Азии, а речной сток в разные временные промежутки напрямую зависит от таяния снега с различных высотных зон. Снеготаяние начинается с самых низких мест и постепенно продвигается выше, как изотермическая линия, когда снег начинает таять, поднимаясь выше с потеплением в летние месяцы. Поэтому оценка состояния снежного покрова в горах в разных высотных зонах может служить хорошим предиктором для оценки ежемесячной водообеспеченности. Чтобы проверить эту гипотезу, мы проанализировали среднемесячный расход воды для бассейна Карадары (имеющий диапазон высот от 651 м над уровнем моря до 4717 м над уровнем моря), второго по величине прито-

ка реки Сырдарья, разделяя речной бассейн на высотные зоны через 1000 метров и вычисляя значения для каждой высотной зоны. Здесь мы рассчитали SCI от начала гидрологического года до отдельных месяцев (например, в марте, апреле ...) и проверили его зависимость с расходами воды на предстоящие месяцы. На рисунке 3 показана зависимость притока воды в Андижанское водохранилище в июне, июле, августе и сентябре от SCI высотных зон 3500-4500 метров над уровнем моря от 1 сентября до конца мая.

На рисунке 3 показана тесная взаимосвязь SCI для разных высотных зон со среднемесячным стоком. Например, на рисунке 3а показаны коэффициенты корреляции среднемесячного стока за период с апреля по сентябрь и SCI за период с 1 сентября по 31 марта. Наиболее высокий коэффициент корреляции (0,52) оказался для SCI со среднемесячным стоком за апрель в зоне 2,5 -3,5 км. На рисунке 3б SCI рассчитывался с использованием данных SCA за период с 1 сентября до конца апреля. Коэффициент корреляции в мае также показал хорошие результаты (0,59) для высотной зоны 2,5-3,5 км. На рисунках 3с и 3д где SCI рассчитывался с использованием SCA за период с 1 сентября до конца мая и июня, соответственно, были получены более высокие коэффициенты корреляции предстоящего стока для высотной зоны 3,5-4,5 км., с коэффициентами корреляции 0,71 и 0,76 соответственно. Чтобы не расширять текст и графики, другие рисунки в этой рукописи не отображаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Представлена методика оценки водообеспеченности с использованием данных дистанционного зондирования снежного покрова в Центральной Азии
- Представлена индекс СЦИ для оценки снегозапасом в горных районах
- Разделение речного бассейна на высотные зоны дает возможность использовать данные дистанционного зондирования снежного покрова для ежемесячной оценки водных ресурсов.
- Инструмент MODSNOW позволяет обрабатывать данные снежного покрова для применения в исследованиях, связанных с климатом и водных ресурсов

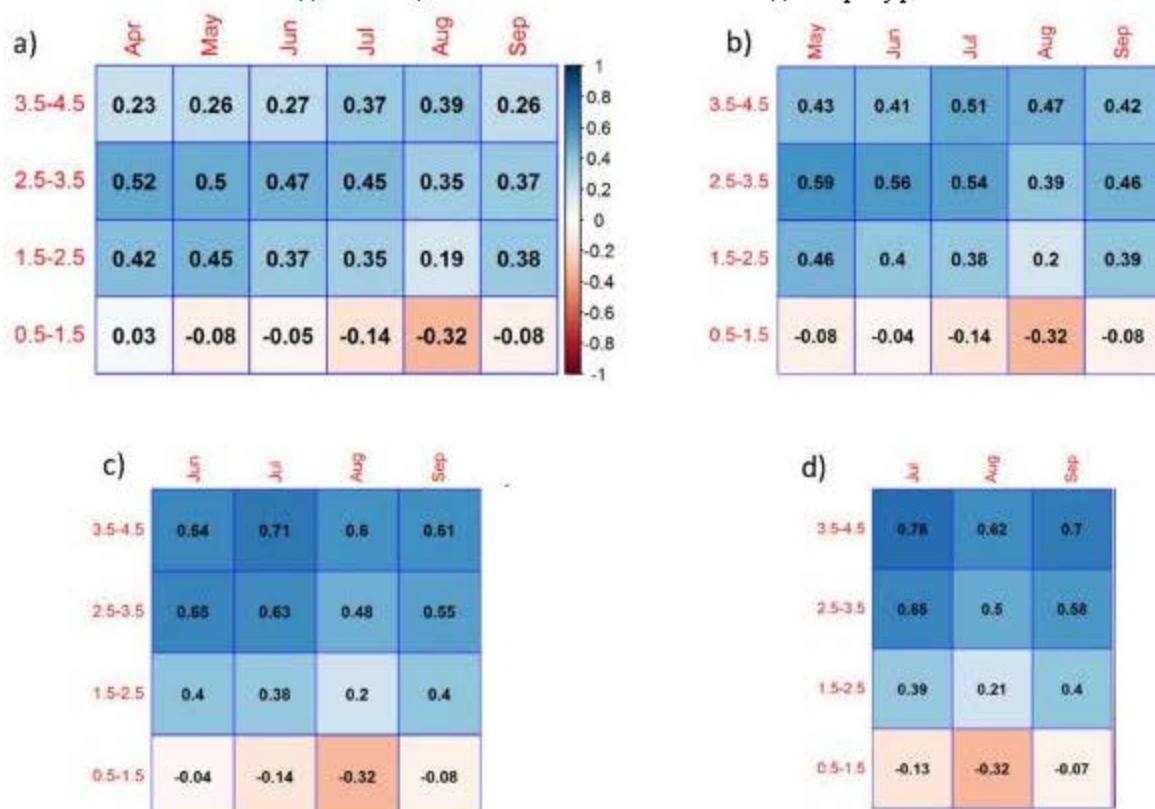


Рис.3- Регрессионный анализ среднемесячного расхода воды и SCI для высотных зон 3500-4500 м.н.у.м.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]Gafurov, A., Lüdtke, S., Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., Schöne, T., Schmidt, S., Kalashnikova, O., and Merz, B.: MODSNOWTool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data, *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-15, 10.1007/s12665-016-5869-x, 2016.
- [2]Gafurov, A., and Bárdossy, A.: Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1361-1373, 2009.
- [3]Hall, D. K., V. V. Salomonson, and G. A. Riggs. 2006. *MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid, Version 5*. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <http://dx.doi.org/10.5067/63NQASRDPDB0>.
- [4]Hall, D. K. and G. A. Riggs. 2016. *MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid, Version 6*. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.006>.
- [5]Hall D, Riggs G, Foster J, Kumar S (2010) Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product. *Remote Sens Environ* 114:496–503
- [6]Parajka J, Bloeschl G (2008a) Spatio-temporal combination of MODIS images—potential for snow cover mapping. *Water Resour Res* 44:1–13

Глава II/88: ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЛЕДНИКОВЫХ БАССЕЙНАХ Р.ТАРИМ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ: НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ И ОЦЕНКА БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Chapter II/88: Hydrological Change in Glacier Covered Headwater Catchments of the Tarim River,
Central Asia: Observed Streamflow Changes and Future Projections

Doris Duethmann^{*1,2}, Sergiy Vorogushyn¹, Daniel Farinotti^{1,3,4}, Christoph Menz⁵, Bruno Merz¹,
David Kriegel^{1,6}, Tobias Bolch^{7,8}, Tino Pieczonka⁷, Tong Jiang^{9,10}, Buda Su^{9,10,11}, Andreas Güntner¹
DOI 10.25680/6851.2018.53.99.185

*Email: duethmann@hydro.tuwien.ac.at

- 1.GFZ German Research Centre for Geosciences, Section Hydrology, Potsdam, Germany
- 2.Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management, Vienna University of Technology, Vienna, Austria
- 3.Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland
- 4.Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland
- 5.Potsdam Institute for Climate Impact Research, Telegrafenberg, Potsdam, Germany
- 6.IBGW GmbH, Leipzig, Germany
- 7.Technische Universität Dresden, Institute for Cartography, Dresden, Germany
- 8.University of Zurich, Department of Geography, Zurich, Switzerland
- 9.National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing, China;
- 10.Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, People's Republic of China
- 11.University of Information Science & Technology, Nanjing, China; Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, China

РЕЗЮМЕ. Целью данного исследования является анализ наблюдаемых изменений стока в двух горно-ледниковых бассейнов р. Тарима на северо-западе Китая за последние 50 лет, а также оценка возможных будущих изменений ледников и водного баланса, вызванные изменением климата. Для этой цели использовалась гидрологическая модель. Чтобы повысить надежность результатов, модель была откалибрована многоцелевым методом на основе ежедневных данных расходов воды, долгосрочных трендах и балансе массы ледников. Результаты показывают, что увеличение расходов за последние 50 лет во многом связано с увеличением температуры и связанным с этим усилением таяния ледников. Моделирование по климатическим сценариям показывает сперва дальнейшее увеличение талого стока связанного с повышением температуры в XXI веке, однако в дальнейшем с уменьшением ледниковой массы, результаты указывают на значительное снижение ледникового стока. Вместе с увеличением испарения это приводит к уменьшению общего расхода в 2070-2099 гг. по сравнению с 1971-2000 гг.