ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭКОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ян Япин, Ван Хунчжи

Институт географии и природных ресурсов Китайской академии наук, Пекин, КНР

STUDY ON RELATIONSHIP AND CHARACTERISTICS OF ECO-HYDROLOGICAL PROCESSES AND CLIMATE CHANGE OF THE LAKE BAIKAL BASIN

Yang Yaping, Wang Hongzhi

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing, China

wanghz@lreis.ac.cn

The eco-hydrological changes can lead to a possible shift in hydro climatic parameters, ecology, ecosystem and environmental conditions of Lake Baikal basin. The most sensitive areas for climate change are the arid and semi-arid regions of central Asia. Central Asia especially Lake Baikal basin area is spatially extensive, with pronounced environmental gradients driven primarily by precipitation and air temperature on large scales. Therefore, the Lake Baikal basin is an ideal region to control hydro-climatic parameters and environmental conditions. Determination of the change of precipitation, air temperature, river discharge, land cover, and vegetation cover is a powerful tool which can be used to explore and analyze the linkage associated with human activities, and natural process. Therefore, it is important to study the eco-hydrological conditions in the Lake Baikal basin.

This study investigated the annual precipitation, air temperature, and river discharge variability at the selected stations of the basin by using Mann-Kendall (MK), Innovative trend analysis method (ITAM), Sen's slope estimator test and statistical analysis. It also used remote sensing, GIS analysis, land cover classification, and vegetation detection methods to assess the land cover, and vegetation in the Lake Baikal basin. The investigated lateral flow estimation of the permafrost was done by applying statistical analysis, modeling, and mathematical analysis. The study investigated the water and environmental management of the basin by applying statistical analysis and analytical and synthesis methods.

The selected sub-basins parameters are compared in the Russian Federation and the Mongolian part. In the Russian part of Lake Baikal basin, the result showed that the trend of annual precipitation was significantly increased in Nizhneangarsk ($Z=1.06$) station. However, precipitation showed a decreasing trend in other stations. The trend of air temperature was increased in Hamar Daban ($Z=1.60$), Bolshoe Goloustnoe ($Z=1.41$), Nizhneangarsk ($Z=2.18$), Ust Barguzin ($Z=2.26$), and Ulan Ude ($Z=3.47$). In the Mongolian's Selenga river sub-basin of Lake Baikal basin, the result showed that the trend of annual precipitation was relatively low in the Ulaanbaatar ($Z = 0.71$), Erdenet ($Z = 0.13$), and Tsetserleg ($Z = 0.26$) stations. Murun ($Z = 2.45$) and Sukhbaatar ($Z = 1.06$) stations showed a significant increasing trend. The trend of annual air temperature in Ulaanbaatar ($Z = 5.88$), Erdenet ($Z = 3.87$), Tsetserleg ($Z = 4.38$), Murun ($Z = 4.77$), and Sukhbaatar ($Z= 2.85$) was sharply increased. Precipitation affects long-term fluctuations in river discharge to a greater extent than the other elements in the water balance. The air temperature has increased significantly in all stations, creating a fundamental condition that affects other eco-hydrological processes.

The river discharge showed an increasing trend in Utulik River ($Z = 1.98$), Upper Angara River ($Z = 2.12$), and Barguzin rivers ($Z = 2.71$). The Selenga River ($Z = -2.14$) and Khara Murin River ($Z = -0.73$) discharge trends decreased in the determined study periods. In the Mongolian's Selenga river sub-basin of Lake Baikal basin, the result showed that the trend of river discharge was a high change. The MK curve annual river discharge (changing parameters) shows a sharp decreasing trend in Ulaanbaatar 1994 to 2016 ($Z = -3.32$), a statistically sharp decreasing trend in Tsetserleg ($Z = -3.84$), a significant decreasing trend in Murun ($Z = -1.28$), a significant decreasing trend was observed with ($Z = -2.05$) in Sukhbaatar and finally a significant decreasing trend was observed in all (five stations) ($Z = -2.05$). The result indicated that the discharge of the Selenga river showed a significant decreasing trend since 1995.

The identification of spatial and temporal patterns of changes in climate, land cover and vegetation in Lake Baikal basin was an investigation in the analysis. During the past 40 years, there was little increase in

precipitation while air temperature has increased by 1.6 °C. This is very high in the semiarid zone of central Asia. During the past 10 years, the land cover has changed significantly. Herein grassland, water bodies, permanent snow, and ice decreased by 485.40 km², 161.55 km², and 2.83 km², respectively. However, forest and wetland increased by 111.40 km² and 202.90 km², respectively. About 83.67 km² area of water bodies has been converted into the wetland. Also, there was a significant change in Normalized difference vegetation index (NDVI). The NDVI maximum value was 1 in 2000, decreased to 0.9 in 2010. Evidently, it was in the mountainous areas and in the river basin that the vegetation shifted. The findings of this section have implications for predicting the safety of water resources and water eco-environment in Lake Baikal basin under global climate change. Such changes are coinciding with the climate change and human activity process in the Lake Baikal basin.

Keywords: Climate change; River discharge; Land cover; Eco-hydrological; Mongolia.

Эколого-гидрологические изменения могут привести к возможному изменению гидроклиматических параметров, экологии, экосистемы и состояния окружающей среды бассейна озера Байкал. Наиболее чувствительными к изменению климата являются аридные и полупустынные регионы Центральной Азии. Территория Центральной Азии, особенно бассейна озера Байкал, характеризуется пространственной протяженностью с ярко выраженными экологическими градиентами, определяемыми в основном осадками и температурой воздуха в крупных масштабах. Поэтому бассейн озера Байкал является идеальным регионом для контроля гидроклиматических параметров и состояния окружающей среды. Определение изменения количества осадков, температуры воздуха, речного стока, почвенного и растительного покрова является важным инструментом, который может быть использован для изучения и анализа взаимосвязей, касающихся деятельности человека и природных процессов. В связи с этим важно изучить экогидрологические условия в бассейне озера Байкал.

В данной работе исследовалась изменчивость годовых осадков, температуры воздуха и речного стока на выбранных станциях бассейна с помощью методов Манна-Кендалла (МК), инновационного метода анализа трендов (ИТАМ), теста оценки наклона Сена и статистического анализа. Также использовались методы дистанционного зондирования, ГИС-анализа, классификации почвенно-растительного покрова и обнаружения растительности для оценки почвенно-растительного покрова и растительности в бассейне озера Байкал. Исследуемая оценка бокового потока вечной мерзлоты была выполнена с применением статистического анализа, моделирования и математического анализа. В ходе исследования изучалось управление водными ресурсами и окружающей средой бассейна с применением статистического анализа и методов анализа и синтеза.

Параметры выбранных суббассейнов сравниваются в российской и монгольской частях. В российской части бассейна озера Байкал результаты показали, что тренд годового количества осадков значительно увеличился на станции Нижнеангарск ($Z=1.06$). Однако на других станциях осадки имели тенденцию к уменьшению. Тренд температуры воздуха увеличился в Хамар-Дабане ($Z=1.60$), Большом Голоустном ($Z=1.41$), Нижнеангарске ($Z=2.18$), Усть-Баргузине ($Z=2.26$) и Улан-Удэ ($Z=3.47$). В монгольском суббассейне реки Селенга бассейна озера Байкал результат показал, что тенденция годового количества осадков была относительно низкой на станциях Улан-Батор ($Z = 0.71$), Эрдэнэт ($Z = 0.13$) и Цэцэрлэг ($Z = 0.26$). На станциях Мурун ($Z = 2.45$) и Сухэ-Батор ($Z = 1.06$) наблюдалась значительная тенденция к повышению. Тренд годовой температуры воздуха в Улан-Баторе ($Z = 5.88$), Эрдэнэте ($Z = 3.87$), Цэцэрлэге ($Z = 4.38$), Муруне ($Z = 4.77$) и Сухэ-Баторе ($Z = 2.85$) значительно увеличился. Осадки влияют на многолетние колебания речного стока в большей степени, чем другие элементы водного баланса. Температура воздуха значительно повысилась на всех станциях, создавая основные условия, влияющие на другие эколого-гидрологические процессы.

Речной сток показал тенденцию к увеличению в реках Утулик ($Z = 1.98$), Верхняя Ангара ($Z = 2.12$) и Баргузин ($Z = 2.71$). В реках Селенга ($Z = -2.14$) и Хара-Мурун ($Z = -0.73$) тренды стока уменьшились в установленные периоды исследования. В монгольском суббассейне реки Селенга бассейна озера Байкал результат показал, что тренд речного стока был сильно изменен. Кривая МК годового речного стока (изменение параметров) показывает резкий тренд снижения в Улан-Баторе с 1994 по 2016 год ($Z = -3.32$), статистически резкий тренд снижения в Цэцэрлэге ($Z = -3.84$), значительный тренд снижения в Муруне ($Z = -1.28$), значительный тренд снижения наблюдался с ($Z =$

-2,05) в Сухэ-Баторе и, наконец, значительный тренд снижения наблюдался на всех (пяти станциях) ($Z = -2,05$). Результаты показали, что сток реки Селенга показал значительную тенденцию к снижению с 1995 года.

Выявление пространственно-временных закономерностей изменений климата, почвенно-растительного покрова и растительности в бассейне озера Байкал было целью проведенного анализа. За последние 40 лет наблюдалось незначительное увеличение количества осадков, в то время как температура воздуха повысилась на 1,6 °C. Это очень высокий показатель для семиаридной зоны Центральной Азии. За последние 10 лет значительно изменился почвенно-растительный покров. Здесь луга, водоемы, постоянный снег и лед уменьшились на 485,40 км², 161,55 км² и 2,83 км² соответственно. Однако площадь лесов и водно-болотных угодий увеличилась на 111,40 км² и 202,90 км² соответственно. Около 83,67 км² площади водных объектов было преобразовано в водно-болотные угодья. Также произошло значительное изменение индекса NDVI. Максимальное значение NDVI, равное 1 в 2000 году, снизилось до 0,9 в 2010 году. Очевидно, что растительность изменилась именно в горных районах и в бассейне реки. Полученные в данном исследовании результаты имеют значение для прогнозирования сохранности водных ресурсов и водной экологии в бассейне озера Байкал в условиях глобального изменения климата. Подобные изменения сопутствуют процессу изменения климата и деятельности человека в бассейне озера Байкал.

Ключевые слова: Изменение климата; речной сток; почвенно-растительный покров; экогидрологический; Монголия.