

MAXIMUM RIVER FLOWS FOR FUTURE CLIMATES – SIMULATION USING SPATIAL WEATHER GENERATOR

МАКСИМАЛЬНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ДЛЯ БУДУЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ – МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГЕНЕРАТОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Leszek Kuchar^{1,2}, Ryszard Kosierb², Slawomir Iwanski¹, Leszek Jelonek², Wiwiana Szalinska²

¹Department of Mathematics, University of Environmental and Life Sciences, ²Institute of Meteorology and Water Resources, Poland

1. Introduction.

One of the key problems of future hydrology is the impact of climate change on catchment, maximum flow response, and prediction of extremes. The daily maximum river flow simulation, particularly annual, seasonal and monthly in the Kaczawa river catchment for future climate conditions given by different scenarios are presented in this paper.

2. Methodology.

On the basis of a 28-year data series (1981-2008) for 16 stations of meteorological network within or around the Kaczawa river catchment, basic climatological characteristics were computed (Iwanski and Kuchar, 2003; Wilby, 2007). Then, spatial correlations between variables and stations are added to the characteristics. On the basis of information coming from three climate change scenarios (GISS, GFDL and CCCMA) for years 2060-2080 basic climatological characteristics were modified (Wilks, 2010). Then, spatial weather generator SWGEN is used to produce 500 years of synthetic data on potentially possible weather course, 16 stations, given time horizon and scenario. The year 2000 as the background of the potential changes in catchments flow is used together with 500 years of synthetic data.

The SWGEN model generates precipitation by means of the first-order Markov chain to determine the occurrence of wet/dry days, and then for the amount of rainfall multidimensional two-parameter gamma distribution (Iwanski and Kuchar, 2003):

$$(\Gamma_m(\alpha_1, \beta_1), \dots, \Gamma_m(\alpha_k, \beta_k))$$

where m is the number of months ($m=1, \dots, 12$) and k is the number of locations, while daily values of solar radiation (SR), temperature maximum (T_{\max}) and minimum (T_{\min}) are considered as a multidimensional time series AR(1) in the following form:

$$X_t = \Phi_m \cdot X_{t-1} + \varepsilon_t$$

where X_t and X_{t-1} are vectors ($m \times 1$) of normalized values for all three variables for day t and $t-1$, ε_t is a vector ($m \times 1$) of independent random components normally distributed with vector of mean equal to zero and matrix of covariance Σ_m , and Φ_m (for $m=1, \dots, 12$) is a matrix of parameters. In the next stage, generated data were applied to hydrological rainfall-runoff model NAM to simulate maximum river flow for closing water-gauges. The catchment flows are evaluated with a different temporal step (one day, five days and ten days) and characterized by probability distribution functions. The Pareto pdf for daily maximum river flows within the year is used as the best distribution fitted.

3. Results.

The simulations of daily maximum flow in river catchment were done at discharge point for time of horizon 2040, 2060, 2080 and 2000 as a background. Three climate change scenarios (GISS Model E, GFDL Model R15 and CCCMA Model CGCM1), and number of generated years (500) for each case, with total of 5000 ($3 \times 3 \times 500 + 500$) years were considered. The NAM model computed for a given year (season, month), a daily flow at discharge point, and maximum value was chosen to estimate parameters of density function. It means that the parameters of Pareto probability distribution were estimated for 10 ($3 \times 3 + 1$) combinations, based on 500 computed maximum flow each (as well for seasons and months). Additionally, moment characteristics, confidence intervals and critical regions were computed.

4. Conclusion.

The application of spatial weather generator SWGEN combined with hydrological rainfall-runoff model (NAM) and climate change scenario, gives various possibilities to study changes in the river catchment coming up to 60–80 years. The probability distribution of the maximum river flow gives detailed information on the moment characteristics, confidence intervals and critical values. In case of maximum daily flow in the Kaczawa River, the catchment shows significant changes depending on the climate change scenario and time to lead.

References.

- Bergstrom S., Carlsson B., Gardelin M., Lindstrom G., Pettersson A., Rummukainen M., Climate change impacts on run-off in Sweden-assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modeling, *Clim. Res.*, 16, 101–112, 2001.
- Iwanski S., Kuchar L., Spatial generation of daily meteorological data, *Acta Scientiarum Polonorum - Formatio Circumiectus*, 2 (1), 113-121, 2003 (in Polish).

Wilby R.L., A daily weather generator for use in climate change studies, *Environ. Modelling and Software*, 22 (12), 1705–1719, 2007.

Wilks D.S., Use of stochastic weather generator for precipitation downscaling, *Climate Change*, 1, 898–907, 2010.

Введение. Одной из ключевых проблем гидрологии является влияние изменений климата на водные ресурсы бассейна, максимальные расходы, а также возникновение чрезвычайных ситуаций. Представлены результаты моделирования максимальных расходов для реки Качава с суточным шагом в годовом, сезонном и месячном исчислении для будущих климатических условий, проектируемых согласно избранным сценариям изменений климата.

Методология. Основная климатическая характеристика была подсчитана на основе 28-летних последовательностей данных (1981-2008), полученных с 16 метеорологических станций, расположенных на территории бассейна реки Качава (Iwanski and Kuchar, 2003; Wilby, 2007). Затем набор данных был дополнен пространственными корреляциями. Используя результаты трех сценариев изменений климата (GISS, GFDL и CCCMA) на годы 2060-2080, климатическая характеристика была модифицирована (Wilks, 2010). На очередном этапе использован пространственный генератор метеорологических данных для получения 500-летних синтетических последовательностей суточных метеорологических данных во всех 16 станциях для актуальных климатических условий (2000 год) и потенциальных климатических условий, прогнозируемых согласно данному сценарию изменения климата и горизонту времени. 2000 год использовался в качестве фона для потенциальных изменений расходов.

Модель SWGEN генерирует атмосферные осадки, используя цепь Маркова I ряда, для определения состояния дня (день с осадками/день без осадков), а затем при помощи многомерного гамма-распределения дает величину осадков (Iwanski and Kuchar, 2003):

$$(\Gamma_m(\alpha_1, \beta_1), \dots, \Gamma_m(\alpha_k, \beta_k));$$

где m обозначает месяц ($m=1, \dots, 12$), k является номером станции. Суточные величины солнечного излучения (SR), температуры максимальной ($T_{\text{макс}}$) и минимальной ($T_{\text{мин}}$) генерируются как многомерный временной ряд AR(1):

$$X_t = \Phi_m \cdot X_{t-1} + \varepsilon_t$$

где X_t и X_{t-1} являются векторами ($m \times 1$) стандартизованных величин для всех трех переменных для дня t и $t-1$, ε_t является вектором ($m \times 1$) независимых величин с нормальным распределением со средней величиной равной нулю и ковариационной матрицей Σ_m , а также Φ_m (для $m=1, \dots, 12$) является матрицей параметров.

На очередном этапе, используя генерированные данные и гидрологическую модель осадки-сток NAM, получен максимальный расход в замыкающем створе. Расходы были оценены для разных периодов времени (один день, пять дней и десять дней), а также охарактеризованы при помощи распределений вероятности. Для суточных максимальных расходов в году использовано распределение Парето как наиболее подходящее.

Результаты. Моделирование максимальных расходов для бассейна было выполнено на уровень 2060г и 2080г, а также для актуальных условий (2000 г) в качестве фона изменений. Использованы три сценария изменений климата (GISS Model E, GFDL Model R15 и CCCMA Model CGCM1), выполнено генерирование 500-летних последовательностей суточных данных для каждого случая. Модель NAM оценила суточные максимальные величины расходов, среди которых максимальные величины в году (сезоне, месяце) были отобраны для оценки параметров распределения вероятностей. Параметры распределения Парето были оценены для 10 ($3 \times 3 + 1$) комбинаций на основе 500 наблюдаемых максимальных расходов. Дополнительно подсчитаны основные моменты, интервалы доверия и критические величины.

Выводы. Применение пространственного генератора метеорологических данных SWGEN в сочетании с гидрологической моделью осадки-сток NAM, а также сценариями изменений климата, обеспечивает проведение исследований потенциальных изменений в водных ресурсах бассейна в перспективе на период 2060-2080 гг. Распределение вероятностей максимальных расходов дает полную информацию о моментах, интервалах доверия и критических величинах. В случае максимального расхода для реки Качава, отмечено существенное изменение распределений в зависимости от выбранного сценария изменений климата и прогнозируемого временного уровня.