

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ БАССЕЙНОВ НЕДОСТАТОЧНО  
ОБЕСПЕЧЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ МЕТОДОМ  
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Айзель Г.В., Гусев Е.М., Насонова О.Н.

Институт водных проблем РАН, Россия

Проблема расчетов речного стока при недостаточности (или полном отсутствии) материалов гидрометрических наблюдений является одной из наиболее актуальных в современной гидрологии. Подтверждением тому служит организованная в период с 2003 по 2012 годы Международной ассоциацией гидрологических наук (International Association of Hydrological Sciences, IAHS) декада исследований, направленных на качественное улучшение методов расчетов речного стока для недостаточно обеспеченных гидрометеорологической информацией бассейнов (Prediction in Ungauged Basins initiative, PUB). В контексте представленной проблемы отдельное место занимает задача определения суточного гидрографа для таких бассейнов. Одним из наиболее распространенных решений данной задачи является использование моделей формирования речного стока. В нашей работе при решении указанной задачи мы используем разработанную в Лаборатории физики почвенных вод Института водных проблем РАН модель тепло- и влагообмена поверхности суши с атмосферой SWAP, представляющую собой физико-математическую модель формирования речного стока с сосредоточенными параметрами. Модельные параметры являются физически обоснованными величинами, но в силу недостаточности информации о почвенном и растительном покрове, определение части модельных параметров осуществляется на основе их калибровки. Калибровка параметров модели происходит посредством сопоставления модельного и наблюдаемого гидрографов стока на основе двух критериев – эффективности по Нэш-Сатклиффу и среднеквадратичному отклонению и реализуется на основе немного модифицированного алгоритма поиска глобального минимума SCE-UA. Однако для водосборов, не обеспеченных рядами измерения суточного расхода воды, произвести калибровку модельных параметров не представляется возможным. Поэтому задача расчета суточного гидрографа стока для необеспеченных гидрометрическими наблюдениями бассейнов является в первую очередь задачей нахождения для них адекватных модельных параметров другими методами.

Общий методологический блок по нахождению модельных параметров для необеспеченных данными наблюдений бассейнов интенсивно разрабатывался участниками PUB и получил название «regionalization techniques» (методы районирования). Наибольшую популярность

получили методы, основанные на близости (пространственной или физико-географической) «водосбора-мишени» и «водосбора-донора». При использовании данной группы методов весь набор модельных параметров переносится с «водосбора-донора» на «водосбор-мишень» при условии минимального их различия по выбранным факторам. Другую же группу представляют регрессионные методы, характеристикой которых является установление достоверной зависимости между дескрипторами водосбора (его природными характеристиками) и модельными параметрами на группе обеспеченных материалами наблюдений бассейнов, и последующий перенос полученных зависимостей на водосборы, наблюдения за расходом воды на которых отсутствуют. Из итогов работы PUB следует, что использование регрессионных методов для нахождения модельных параметров редко дает приемлемые результаты. В предложенных работах, исследователи при использовании регрессионных методов нередко ограничивались лишь применением одиночной и множественной линейной регрессии для связи ландшафтных и модельных параметров, оставляя без внимания современные методы множественной нелинейной регрессии. Одним из таких методов является построение искусственных нейронных сетей (ИНС). В самом простом определении ИНС – это математическая модель поиска связи заданных входных и выходных параметров посредством обучения на некоторой выборке. Модель позволяет установить указанную связь на основе многопараметрической нелинейной оптимизации.

В работе были использованы данные с 323 водосборов, расположенных на территории США. Для каждого из водосборов была проведена калибровка параметров и расчеты суточного слоя стока (гидрографа) за период с 1986 по 1995гг. В качестве предикторов ландшафтных условий были использованы данные по 17 параметрам подстилающей поверхности, полученные из глобальной базы данных проекта GSWP (Global Soil Water Project) с разрешением  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Для проверки эффективности применения ИНС для нахождения модельных параметров бассейнов не обеспеченных информацией о стоке, все водосборы были разделены на две группы по 210 и 113 единиц. Первая группа бассейнов использовалась для построения зависимостей между ландшафтными и модельными параметрами, вторая группа являлась «мишенью» для транспонирования найденных зависимостей. Всего для получения искомым зависимостей было использовано семь стандартных архитектур ИНС – четыре модели на основе многослойного персептрона и три на основе радиальной базисной функции. В ходе исследования получены удовлетворительные результаты по использованию метода ИНС для нахождения модельных параметров гидрологической модели для водосборов с недостаточным информационным обеспечением.