

Усовершенствованный способ оптимизации параметров и некоторых входных данных моделей формирования стока рек

Постановка многих задач разработки методов прогнозов относится к классу обратных, когда по входным данным (аргументам) и выходным данным (функциям) в моделях той или иной сложности, представляющих прогнозируемое явление, необходимо определить величины параметров, играющих роль характеристик известных или неизвестных физических законов, связывающих входные и выходные данные.

Специфика решения таких задач сводится к двум основным способам : решение обратной задачи находится точным методом ; искомые параметры определяются приближенным способом путем их подбора при многократном решении вместо обратной прямой задачи. И в первом и во втором случаях задача решается таким образом, чтобы разность между рассчитанными и фактическими выходными данными стремилась к минимуму. Достижение минимума этой разности осуществляется обычно при использовании точных методов решения уравнения, представляющего изучаемое явление. При многократном решении прямой задачи путем большого числа итераций искомые параметры находятся приближенно.

Существуют различные варианты точных методов. К наиболее распространенным из них относится метод наименьших квадратов (МНК) и метод компонентного анализа, в котором используются все без исключения собственные числа и собственные вектора корреляционной матрицы аргументов.

Один из приближенных методов близок по содержанию к выше - названному второму точному. Но при этом для решения поставленной задачи удерживается лишь часть собственных векторов и собственных чисел (как правило, среди первых). Связано это со следующими обстоятельствами. Если среди собственных чисел найдется хотя бы одно, равное нулю, то решение может стать как угодно большим, т. к. собственные числа находятся в знаменателе решения. Более подробно с особенностями описанных способов решения обратных задач можно ознакомиться в работе [1].

Задачи, связанные с гидрологическими прогнозами, и задачи, аппроксимирующие природные процессы, как правило, представляются конечно-разностными уравнениями, которые часто оказываются плохо обусловленными математически из-за связности природных процессов. Так, например, существует сильная скоррелированность между высотой снега, запасами воды в нем и глубиной промерзания почвы. Однако эти факторы входят в линейные модели в качестве самостоятельных стокоформирующих факторов, вследствие чего искомые параметры уравнения могут возрасти в очень большое число раз из-за любой ошибки в наблюдениях или из-за неадекватности модели описываемому явлению.

Другой, названный выше, приближенный метод, заключающийся в многократном решении прямой задачи, чаще применяется при решении нелинейных и трансцендентных уравнений, представляющих гидрологические модели формирования стока.

Одним из важных моментов при решении обратных задач является априорная информация об искомым параметрах модели и входящих в нее составляющих. Эта информация может заключаться в знании погрешностей исходных данных, примерной количественной оценки величины искомым параметров, границ между которыми может находиться величина каждого из параметров и других их специфических характеристик.

В последнее десятилетие все шире применяются нелинейные трансцендентные модели формирования стока с большим числом неизвестных параметров. В таких моделях нередко вместо действительных факторов стока используются их косвенные показатели.

Например, в известной модели, в которую входят показатели запасов воды в снежном покрове, жидких осадков в период половодья, глубины промерзания почвы, характеристики потерь стока, показатели влажности почвы, максимальная влагоемкость бассейна. В этой модели часто вместо влажности почвы используется средний за какой-либо период, предшествующий моменту составления прогноза, расход воды. Однако расходы воды характеризуют увлажненность бассейна до определенной ее величины, т. к. влагоемкость бассейна имеет естественный предел, а расходы могут превышать этот предел, после достижения которого точность решения задачи будет снижаться.

Оказалось, что необходимо оптимизировать не только параметры, но и сами аргументы, накладывая на них ограничения путем подбора и следя за снижением разницы между фактическими и рассчитанными выходными данными. В данном случае рассчитывался прогноз объема стока за второй квартал р.Оби у г. Барнаула. Вместо данных об осенней влажности почвы применялись данные о расходах воды за осенние месяцы, при этом пришлось путем подбора в процессе оптимизации параметров модели ограничить этот расход величиной 500 м³/с, хотя в отдельные годы он достигал величины 1500 м³/с, но они ухудшали точность прогностического уравнения. Таким способом удалось повысить точность прогнозов примерно в 1,5 раза.

О необходимости описанного подхода к оптимизации не только параметров модели, но и некоторых входящих в нее данных (аргументов) говорит и следующий эмпирический прием, применяемый гидрологами. Данные об осенней влажности почвы бассейна реки заменяют, как уже говорилось, средним расходом воды не за осенний период, а за осенне-зимний, хотя величины зимних расходов при отсутствии оттепелей уже не являются показателем осеннего увлажнения. Величины зимних расходов в этом случае лишь снижают величину среднего расхода за осенние месяцы.

Второй пример представляет собой вычисление параметра, входящего в уравнение, описывающее неравномерность распределения снега в горах и равного среднему запасу, при котором высотная зона полностью (100%) покрывается снегом. При достижении этого критерия теряет смысл известная зависимость между средним по площади запасом воды в снежном покрове и степенью (%) ее покрытости снегом.

Наиболее интересным представляется третий пример. В моделях формирования стока горных рек присутствует гипсографическая кривая – функция распределения площадей высотных зон в зависимости от их высоты. Эта кривая определяется по картам крупного масштаба. Выполненная под руководством автора работа Федоровой Ю.В. показала, что существенное влияние на результаты расчета гидрографа стока реки Риони оказывал масштаб карт, по которым рассчитывалась гипсографическая кривая.

Автором статьи разработан способ определения названной выше гипсографической кривой на примере верховьев бассейна р. Оби. Он заключается в том, что задается полученная по карте того или иного масштаба кривая распределения площадей высотных зон. Далее ее параметры (площади высотных зон) с шагом по высоте 500 м подвергаются оптимизации наряду с другими параметрами модели формирования стока горной реки. На величину площади каждой зоны накладываются предварительные ограничения в разумных границах. При оптимизации производится контроль уменьшения разницы (критерия качества) между фактическими и рассчитанными гидрографами за несколько лет. Далее результаты проверяются на независимых данных, которые не оказывали влияние на величину параметров модели при их оптимизации.

Проведенные расчеты для снего-дождевых паводков р.Оби показали – разработанный способ значительно улучшает расчет гидрографов.

Принято считать, что гипсографическую кривую необходимо определять только по картам. Но, как уже говорилось, результаты зависят от масштаба карты и от других факторов. Автор считает, что оптимизированная кривая включает в себя дополнительную информацию, которую невозможно получить из непосредственных наблюдений (например,

изменение коэффициента стока с высотой и корректировка зависимости осадков и температуры воздуха от высоты)

Таким образом, на трех независимых примерах показано, что метод калибровки гидрологических моделей имеет смысл в отдельных случаях применять совместно с решением обратной задачи по определению не только параметров модели, но и некоторых входных данных, служащих аргументами. Однако такой подход требует особой осторожности при обязательной проверке реальности получаемых результатов и проверке на независимых рядах наблюдений на исследуемом и аналогичных объектах.

Литература

1. Мухин В.М. Решение некоторых обратных задач в гидрологии при помощи регуляризирующих алгоритмов // Труды ГМЦ. – Вып. 55.- 1969. –с. 12-36.