

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ВЛАГООБМЕНА В ПОЧВАХ

Ю.Б.Кирста, Л.А. Хворова, Т.А. Белоторонина

Выполнена идентификация параметров модели, характеризующей влагообмен в почвах сельскохозяйственной зоны Сибири для всех сезонов года. Выделены значимые параметры модели, которые ответственны за значительные изменения характера влагообмена по территории Сибири. Охарактеризованы отвечающие этим параметрам свойства почв и процессов, требующие первоочередного учета при разработке моделей влагообмена в почвах.

ВВЕДЕНИЕ

Модели, описывающие динамику влажности почв, обычно имеют сложную структуру и содержат большое число функциональных зависимостей и неизвестных параметров. Определение численных значений этих параметров для конкретных почв представляет собой трудную задачу, так как лишь часть из входящих в модель параметров может быть найдена в результате прямых экспериментов. Остальные параметры приходится определять другим методом, известным как метод идентификации [1, 2].

Под идентификацией в широком смысле слова понимается определение структуры модели и входящих в нее функциональных зависимостей. Идентификацией в узком смысле слова является определение численных значений входящих в модель параметров на основе сопоставления значений выходных переменных модели с экспериментальными данными. Если параметры в модели подобраны правильно, то можно ожидать близкого соответствия рассчитанных и экспериментально измеренных величин. Отсутствие полного совпадения этих величин обусловлено рядом причин – это погрешности экспериментального измерения величин, изменение во времени и пространстве характеристик моделируемого объекта, а также неадекватность самой модели.

Выполнение идентификации в широком смысле позволило создать высокоадекватную модель влагообмена в почвах сельскохозяйственной зоны Сибири [3]. В основе модели лежат балансовые уравнения вида:

$$W'' - W' = \sum_{i=1}^n PRO_i(P, T, W, Par_1, \dots, Par_k), \quad (1)$$

где W' , W'' – запасы продуктивной влаги в верхнем метровом слое почвы на начало и конец текущего месяца соответственно, мм; PRO_i – процесс i , зависящий от аргументов P , T , W и параметров, мм/месяц; n – общее чис-

ло процессов, рассматриваемых в текущем сезоне (осеннем, зимнем, весеннем, летнем) года; P – месячные осадки, мм; T – средне-месячная температура воздуха, °C; W – среднемесячные запасы продуктивной влаги $W=(W'+W'')/2$, мм; $Par_1, \dots, Par_k$ – параметры модели, общее число которых равно k .

В данной работе проведена идентификация в узком смысле. Эта идентификация основывалась на специальных оптимизационных процедурах для определения значений параметров, минимизирующих дисперсию отклонений (невязку) рассчитываемых значений влажности почвы от наблюдаемых [3]. Для решения задачи идентификации параметров были использованы те же данные наблюдений, что и при идентификации структуры модели. При этом одновременно использовались около 6000 месячных характеристик влажности почвы, температур воздуха и осадков по 10 опорным станциям сельскохозяйственной зоны Сибири, входящим в комплексную воднобалансовую и агрометеорологическую сеть Госкомитета по гидрометеорологии и контролю природной среды [3].

Задача состояла в выделении наиболее значимых для идентификации параметров из большого числа (36) имеющихся параметров модели. Оценка значимости выполнялась по шагам. На 1-ом шаге из всех параметров был найден параметр № 1, в наибольшей степени уменьшающий (в среднем по всем станциям) рассчитываемые для отдельных станций невязки. При этом для каждой станции идентифицировался только один тестируемый параметр, а остальные параметры модели имели фиксированные средние значения. На втором шаге идентифицировались одновременно 2 параметра: установленный на предыдущем шаге и следующий тестируемый параметр. В качестве последнего проверялись поочередно все оставшиеся параметры. По наименьшей средней невязке, из полученных для разных пар параметров невязок,

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ВЛАГООБМЕНА В ПОЧВАХ СИБИРИ

выбирался параметр № 2. На третьем и последующих шагах процедура повторялась с 3-мя, 4-мя и т.д. одновременно идентифицируемыми параметрами, и по наименьшим средним невязкам устанавливались параметры № 3, № 4 и т.д. Указанным образом из имеющихся 36 параметров были выделены 7 значимых, которые уменьшали невязку более 1% - соответственно на 8.7; 4.8; 3.9; 2.5; 2.0; 2.0; 1.8%.

Установленные значимые параметры модели позволяют провести их идентификацию и достигнуть наилучшей точности описания влагообмена в конкретных почвах даже при недостатке экспериментальных данных по влажности почвы. При отсутствии экспериментальных данных процедура идентификации параметров выполняться не может. В этом случае точность описания влагообмена моделью будет определяться общим для почв Сибири стандартным отклонением 28 мм [3]. При нормировании последнего на величину среднегодовых запасов влаги (116 мм) мы получаем $28/116 \times 100 \approx 24\%$. Эта точность отвечает теоретически наилучшей точности 24% у моделей такого класса [4].

При идентификации модели для конкретных почв ее стандартное отклонение может быть лучше 24%. Например, идентификация одновременно всех ее параметров по каждой станции в отдельности дала в среднем стандартное отклонение 22 мм. Это отклонение определяется уже специфическими особенностями влагообмена в конкретных почвах, которые в модели не учитываются. Разработка моделей с учетом таких локальных особенностей влагообмена, очевидно, нецелесообразна из-за практически неограниченного разнообразия почв, хотя вклад этих особенностей в погрешность расчетов достаточно велик.

ВЫВОДЫ

Установленные 7 значимых параметров модели влагообмена [3] отвечают степени важности для влагообмена в целом характеризующимся ими свойств почв и процессов. Укажем эти свойства.

Параметр № 1 характеризует максимальную диффузию влаги вниз в весенние и летние месяцы через нижнюю границу верхнего метрового слоя, когда происходит оттаивание почв. Эта диффузия, согласно данным идентификации параметров по отдельным опорным станциям, составляет для почв Сибири порядка 30 мм/месяц.

Параметр № 2 отвечает пороговому значению влажности почвы (меняющемуся в диапазоне 50-80 мм), при котором диффузия влаги из нижележащей толщи почв в иссушаемый летом верхний метровый слой почвы достигает максимальной величины (порядка 30 мм/месяц).

Параметр № 3 соответствует количеству влаги, поступившей из глубоких почвенных горизонтов за счет диффузии в верхнюю метровую толщу почв при образовании непроницаемой для воздуха ледяной прослойки в приповерхностном слое почвы. Появление такой прослойки приводит к вакуумному разрежению в нижележащей толще почвы, что и вызывает указанную диффузию. Такая вакуумная конденсация влаги составляет 30-40 мм/месяц.

Параметр № 4 характеризует снижение суммарного испарения влаги в атмосферу (испарение с поверхности почвы + транспирация растений) после жатвы или увядания растений. Это имеет место, когда исчезает естественный биологический насос (растения), работающий за счет фотосинтеза и перекачивающий влагу из почвы в атмосферу. Данное уменьшение составляет по территории Сибири 20-50%.

Параметр № 5 соответствует максимальной влагоемкости оттаявшей почвы в полевых условиях. В условиях Сибири эта влагоемкость, как показали расчеты, в большинстве случаев находится в диапазоне 150-250 мм продуктивной влаги в верхней метровой толще почв.

Параметр № 6 используется для описания процесса конвекции-конденсации влаги из почвы в атмосферу (конвекция) и из атмосферы в почву (конденсация, подобная выпадению росы, инея). Ежедневный процесс конвекции-конденсации идет в осенний период до момента установления устойчивого снежного покрова. Согласно проведенному анализу [3], в условиях Сибири при значительном иссушении почв к началу осеннего периода конденсация влаги преобладает над ее конвекцией. В таких случаях происходит насыщение почвы влагой с интенсивностью 5 мм/месяц. При достаточном увлажнении почв конвекция преобладает над конденсацией и пропорциональна влажности почвы. Это приводит к потерям влаги из почвы до 15 мм/месяц.

Параметр № 7 представляет собой долю осадков (60-80 %), достигающих почвы в агроценозах пшеницы. Другая меньшая доля

перехватывается надземными частями растений и идет на их смачивание.

В заключение отметим, что использованный метод оценки значимости параметров моделей достаточно объективен и применим для различных моделей природных систем.

Работа поддержана грантами Министерства образования РФ (УР 08.01.017) и РФФИ (02-05-81013 Бел 2002а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. - М., Наука, 1991. – 431 с.
2. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. - Л., Гидрометеиздат, 1991. – 321 с.
3. Кирста Ю.Б. Моделирование влагообмена в почвах Сибири // Ползуновский вестник, 2004.
4. Kirsta Yu.B. Exchange of information in natural hierarchical systems // Ecological Modelling, 1994, v.73, –p. 269-280.