

УДК 519.6

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛИ СКЛОНОВОГО СТОКА ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДОСБОРА РЕЧНОЙ СЕТИ

В. М. Конюхов, А. А. Савельев, М. Г. Храмченков, А. Н. Чекалин, Н. Е. Галуллина  
(КФУ, г. Казань)

В рамках модели двумерной кинематической волны дается математическое описание склонового стока дождевых осадков на поверхности водосбора речной сети с учетом впитывания воды в зону неполного насыщения почвы. Для определения содержания влаги в этой зоне предложен приближенный подход, основанный на модели капиллярной проницаемости. Показано, что в начальный момент появления жидких осадков склоновый сток не образуется. *Запаздывающий* аргумент и момент появления склонового стока вычисляются из системы алгебраических уравнений.

Разработаны численная и алгоритмическая модели, реализованные в программном комплексе, позволяющем проводить расчеты поверхностного стока. Проведено исследование склонового стока на данных по бассейну реки Меша Республики Татарстан.

*Ключевые слова:* численное моделирование, кинематическая волна, склоновый сток, поверхность водосбора, зона неполного насыщения, капиллярная проницаемость.

### Введение

Моделирование процессов, формирующих сток осадков на поверхности водосбора регионального масштаба, традиционно представляет значительный интерес для гидрологии, гидрогеологии, метеорологии и других смежных наук, включая геоэкологию. Сложность и многофакторность процессов, формирующих сток осадков в течение года, предпосылает интенсивное применение математического моделирования [1–3].

Под склоновым стоком понимают движение воды по поверхности, имеющей уклон к речной сети, а также в толще почвогрунтов склона. Склоновый сток – это важнейший элемент процесса формирования речного стока, который определяется впитыванием и испарением воды, поступившей на водосбор, по всей его площади [4–6]. Он может быть представлен в виде трех составляющих: поверхностный сток (сплошной или ручейковый), подповерхностный и подземный, или грунтовый (для больших склонов). Термин *подповерхностный сток* близок по смыслу к часто используемому понятию *интритильный сток*, которое применяется при моделировании сравнительно быстрого движения воды в верхних слоях почвы вдоль склона (фильтрация воды и сквозной сток по макропорам и трещинам). При этом скорость движения воды вдоль склона под поверхностью водосбора, с одной стороны, заметно меньше, чем на его поверхности, а с другой стороны, превышает скорость движения грунтовых вод в водоносном горизонте. Грунтовый сток, т. е. движение воды к речной сети в насыщенных водоносных слоях, формируется слабо изменяющуюся составляющую гидрографа, хотя часть воды из насыщенных водоносных горизонтов может поступать в речное русло сразу после выпадения осадков. В различных физико-географических районах [7–9], даже в пределах сравнительно небольших водосборов, формирование склонового стока может определяться разнообразными механизмами. Часто различные виды склонового стока переходят друг в друга, изменяясь в зависимости от состояния поверхности, предшествующего увлажнения, интенсивности и общего количества осадков разного типа, выпавших на склоновую поверхность [10–17].