

2. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

И.И. Бондаренко, Ю.М. Нестеренко, В.В. Влацкий

I.I. Bondarenko, Y.M. Nesterenko, V.V. Vlatsky

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН

Geoecology Department Urals Branch RAS

РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА ВОДОСБОРЕ Р. САМАРА ПО ДАННЫМ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

CALCULATION OF SURFACE RUNOFF IN THE WATERSHED OF THE RIVER SAMARA ACCORDING TO ROUTINE OBSERVATIONS

Аннотация. Сложность расчета величины поверхностного стока связана с большим набором природных и антропогенных факторов, определяющих его формирование и генезис. В настоящей работе представлен вариант расчета поверхностного стока, синтезирующий фундаментальные теоретические предпосылки (законы сохранения энергии и массы) с многолетними рядами гидрологических и актинометрических наблюдений изучаемой территории.

Abstract. The complexity of calculating the amount of surface runoff associated with a wide variety of natural and anthropogenic factors that determine its formation and genesis. This paper presents a variant of the calculation of surface runoff, synthesizing the fundamental theoretical premises (laws of conservation of energy and mass) with a long series of hydrological and actinometric observational study area.

Сложность расчета величины поверхностного стока связана с большим набором природных факторов, определяющих его формирование и генезис. Известны различные реализации этого расчета, опирающиеся на определенные математические модели: стохастические [1]; смешанные, включающие детерминированную и стохастическую части [2]; детерминированные [3]. Точность модели зависит от адекватности теоретических представлений и конкретных измерений на изучаемой территории. В идеальном случае, постоянно действующая служба мониторинга обеспечивает практически приемлемые результаты прогноза. На практике затруднительно обеспечить такой всеобъемлющий мониторинг, и поэтому исследователю приходится ограничиваться доступным набором измерений. В настоящей работе представлен компромиссный вариант расчета поверхностного стока, синтезирующий фундаментальные теоретические предпосылки (законы сохранения энергии и массы) с многолетними рядами гидрологических и актинометрических наблюдений на изучаемой территории.

Типичный для степной зоны водосбор р. Самара включает в основном земли сельскохозяйственного назначения – пашню, целину (в совокупности 98%) и лесополосы (2% территории). Режим наблюдения за основными гидрологическими параметрами на данной территории ведется с 1937 года, а по климатическим характеристикам имеются данные, начиная с 1893 года. Ниже, в качестве примера, приведены результаты наблюдений за гидрологическими и климатологическими характеристиками, определяющими поверхностный сток: в табл.1 представлены данные по гидрологическим параметрам [4], в табл. 2 данные по температуре почвы [5].

Таблица 1

Паводковый сток, зимние атмосферные осадки, распаханность водосбора и доля зяби на водосборе р. Самара до створа пгт Новосергиевка в 1951-1955 гг.

Годы	Осадки, мм	Слой стока, мм	Кoeffиц. стока	Распаханность (%)	Доля зяби (%)
1951	107	54	0,50	27	13
1952	163	95	0,58	28	12
1953	122	74	0,61	28	14
1954	125	59	0,47	30	14
1955	117	31	0,26	33	15

Температура почвы. Март, град С

Годы	Глубина (м)							
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2
1951	-5,0	-4,7	-4,0	-3,2	-2,0	-0,7	1,2	2,8
1952	-4,4	-3,5	-2,4	-1,5	-0,2	0,8	2,6	4,1
1953	-2,7	-2,4	-2,0	-1,4	-0,3	0,6	2,4	4,0
1954	-7,4	-7,1	-6,0	-4,8	-3,0	-1,3	1,4	3,5
1955	-3,1	-	-	-1,2	0,0	1,1	2,6	4,1

Закон сохранения массы записывается формулой (1)

$$A_3 = E_{\text{исп}} + \Phi_{\text{ин}} + Y_{\text{сток}} \quad (1)$$

где A_3 - интенсивность поступления талой воды на водосборе;

$E_{\text{исп}}$ - интенсивность испарения;

$\Phi_{\text{ин}}$ - интенсивность инфильтрации;

$Y_{\text{сток}}$ - интенсивность поверхностного стока.

Исходя из (1), величина поверхностного стока рассчитывается по формуле

$$Y_{\text{сток}} = A_3 - E_{\text{исп}} - \Phi_{\text{ин}} \quad (2)$$

Переходя к бесконечно малым промежуткам времени в (1), получаем дифференциальные уравнения влагопереноса. Имея регулярные измерения характеристик процессов влагообмена, можно ограничиться балансовой моделью за конкретный временной лаг: месяцы, сутки, часы и т.д. Моментом начала отсчета поверхностного стока на рассматриваемом водосборе принимаем момент перехода среднесуточной температуры через 0 С. Для бассейна р. Самара таким моментом по данным Гидрометслужбы принимается 7 апреля. В этот период снежный покров и интенсивность радиации не обеспечивают оттаивание почво-грунтов. Рассмотрим расчет параметров правой части уравнения (2) подробно.

Осадки. Данные по запасам снега принимаются по наблюдениям Гидрометслужбы.

Суммарное испарение. В отмеченный период таяния снега при влажности земной поверхности равной НВ и более суммарное испарение допустимо принять равным испаряемости. На рис.1 по результатам наших исследований представлен график посуточной испаряемости на изучаемом водосборе в зависимости от дефицита влажности воздуха.

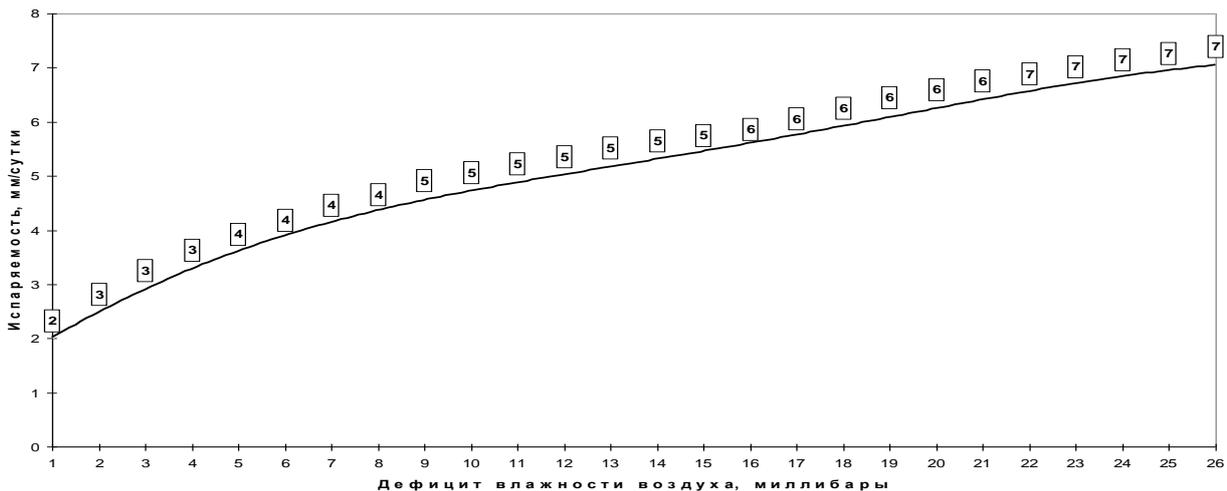


Рис.1. Испаряемость на водосборе р. Самара в зависимости от дефицита влажности воздуха.

Используя отмеченные выше многолетние ряды актинометрических и метеорологических наблюдений, график испаряемости установлены усредненные потенциальные посуточные значения интенсивностей таяния снега и суммарного испарения, приведенные в табл. 3.

Впитывание воды в почву. На исследуемом водосборе проведены наблюдения за скоростью впитывания талых вод в мерзлые суглинистые черноземы на различных видах угодий – лабораторные и полевые измерения (табл. 4).

Таблица 3.

Потенциальные посуточные значения интенсивностей таяния снега и суммарного испарения на водосборе р. Самара

Время (сутки)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Интенсивность таяния снега (мм/сутки)	4,5	7	9	11	13	15	17	17,5	18,5	19	19,5
Интенсивность испарения (мм/сутки)	1	1	1	1,5	2	2,5	3	3	3,5	4	4

Таблица 4

Скорость впитывания талых вод в мерзлые суглинистые черноземы Южного Предуралья на угодьях в зависимости от температуры при НВ, мм/мин.

Угодье	Температура почвы, град			Коэффициент фильтрации при 20 град С
	0	-5	-10	
Зябь	1,2	0,02	0,004	1,7
Лесная полоса	1	0,05	0,04	2,8
Целина невыбитая	0,9	0,03	0,01	1,8
Целина выбитая	0,5	0,01	0,005	0,8
Стерня яровой пшеницы	0,7	0,01	0,005	1,2
Плужная подошва	0,2	0,01	0,002	0,3

На основе табличных данных построена интерполяционная кривая зависимости коэффициента влагопроводности от температуры мерзлых суглинистых грунтов (рис.2).

Имея усредненные посуточные значения интенсивностей поступления талой воды на водосбор, испарения и инфильтрации, рассчитываемой как произведение коэффициента фильтрации на время просачивания влаги, рассчитывается значение поверхностного стока.

Практически таяние снега, испарение, сток наблюдаются лишь в период инсоляции. Для рассматриваемой территории в первой половине апреля этот период в сутках составляет 13 часов 40 минут. В [3] при решении аналогичной задачи авторы ограничивают продолжительность активного периода снеготаяния за сутки 10 часами.

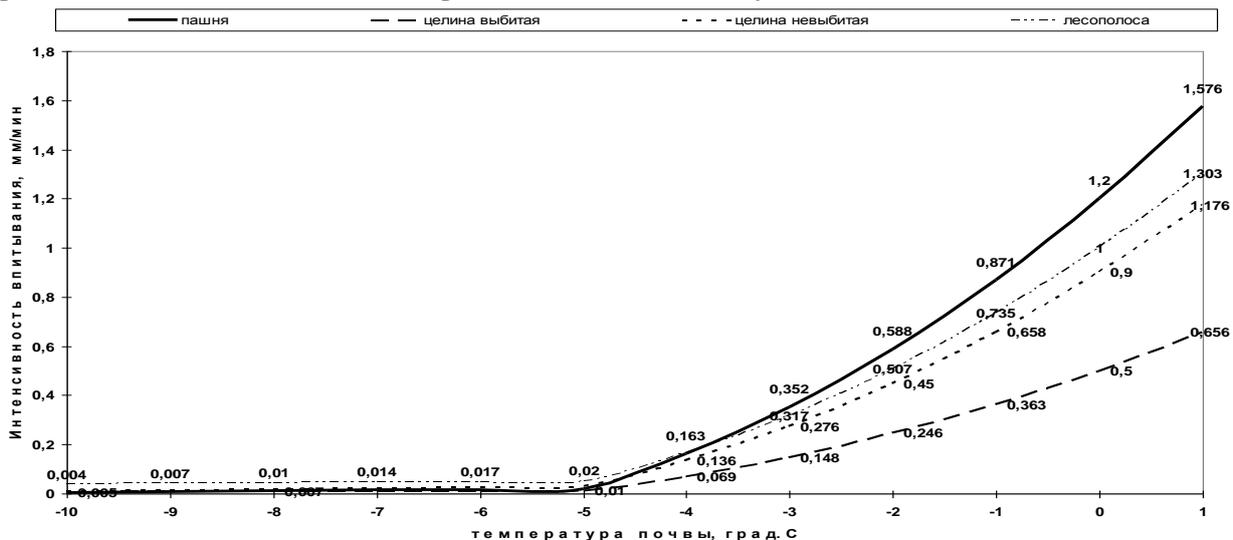


Рис.2 Зависимость коэффициента влагопроводности от температуры суглинистых почв на различных угодьях при влажности почвы, равной наименьшей влагоёмкости.

В связи с короткой продолжительностью таяния снега в степной зоне и расходе энергетических ресурсов в основном на таяние снега и испарение, полного оттаивания почвы

к его окончанию не происходит. По этой причине инфильтрационные свойства почвогрунтов принимаются неизменными.

Введем коэффициент суточной неравномерности таяния снега $K=24/13,67 = 1,75$. Разбиваем сутки на 3 временных периода: от 0 часов до 7 часов и от 19 часов 40 минут до 24 часов включительно – периоды пренебрежимо малого радиационного баланса и от 7 часов до 19 часов 40 минут – период эффективной инсоляции. Интенсивность поступления воды на водосбор и испарение в период инсоляции превосходит среднесуточные значения в K_1 раз. На графике (рис.3) в качестве примера представлены постатейные величины водного баланса в период таяния снега на водосборе реки Самары в 1954 году по данным табл. 5 .

Таблица 5

Посуточные значения статей водного баланса на водосборе р. Самары

Сутки	Часы суток	Температура воздуха градусы С	Таяние снега при инсоляции мм	Посуточная инфильтрация мм	Испарение при инсоляции мм	Сток при инсоляции мм
1	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	4,5	4,5	0,7	1,0	2,8
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
2	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	5,5	7,0	1,3	1,0	4,7
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
3	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	6	9,0	2,0	1,0	6,0
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
4	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	6,5	11,0	2,7	1,5	6,8
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
5	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	7	13,0	3,3	2,0	7,7
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
6	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	7,5	15,0	4,0	2,5	8,5
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
7	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	8	17,0	4,7	3,0	9,3
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
8	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	8,5	17,5	5,3	3,0	9,2
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
9	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	9	18,5	6,0	3,5	9,0
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
10	0ч-7ч		0,0		0,0	0,0
	7ч-19ч 40м	9	12,5	6,7	4,0	1,8
	19ч 40м-24ч		0,0		0,0	0,0
Итого			125	36,7	22,5	65,8

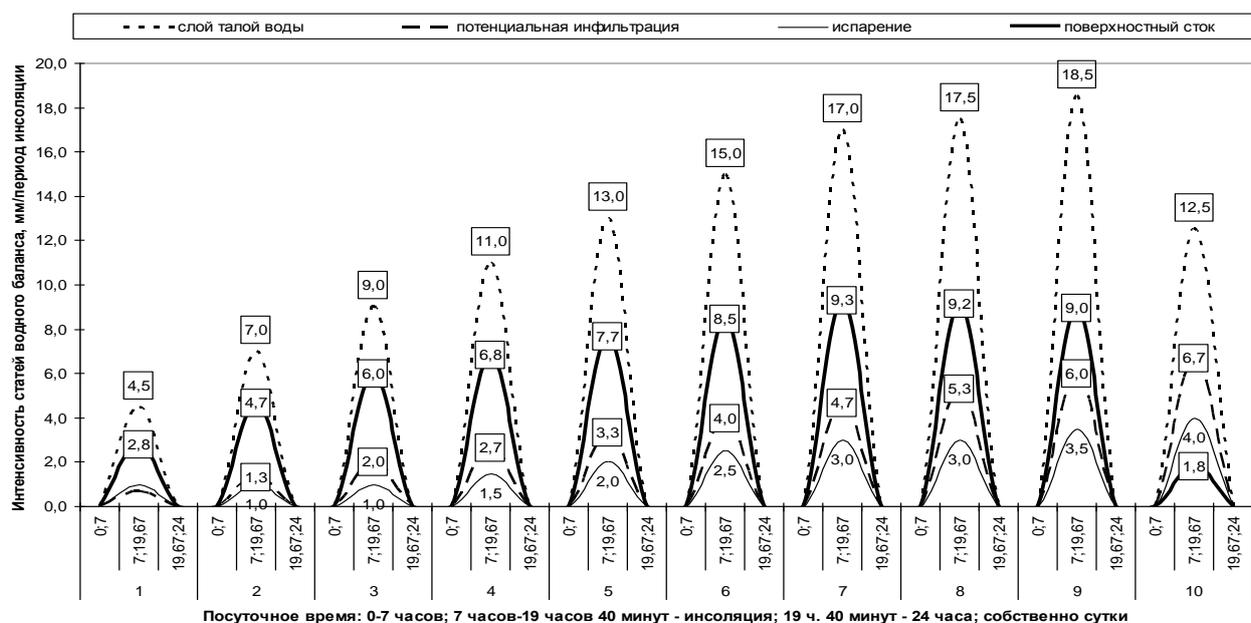


Рис.3. Интенсивность статей водного баланса на водосборе р. Самары в период таяния снега.

Сравнение с результатами режимных наблюдений поверхностного стока 59мм [табл. 1] дает относительную погрешность порядка 12 %, что характеризует расчет стока как практически применимый.

Таким образом, переход от среднесуточных величин статей водного баланса к учету хода радиации в течение суток позволяет повысить точность расчета поверхностного стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003.М.: Госстрой России, 2004
2. Гельфан А.Н. Динамика – стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука. – 2007. – 279 с.
3. Гусев, Насонова. Моделирование тепло - и влагообмена поверхности суши с атмосферой: научное издание. - М.: Наука, 2010. – 327 с.
4. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон.- Екатеринбург. Уральский центр академического обслуживания. – 2006. – 286 с.
5. Климатологический справочник СССР. Выпуск 12. Гидрометеиздат, Ленинград, 1958.