

УЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ВНУТРИПОЧВЕННОГО СТОКА ПРИ ВОДОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТАХ НА СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ

И. А. РОМАНОВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: solder748@gmail.com

(Поступила в редакцию 14.04.2021)

Неустойчивая естественная влагообеспеченность с переменными периодами избыточного и недостаточного естественного увлажнения характерна для территории Беларуси. При избытках влаги, возникает такое явление как внутрипочвенный сток, учет которого особенно важен в орошаемом земледелии. Потери влаги на сток ведут к повышению затрат на орошение и увеличению себестоимости продукции.

В статье выполнено оценка внутрипочвенного стока на супесчаных почвах путем расчета водного баланса за 37 лет с использованием метеоданных по метеостанции Минск.

Установлено, что величина внутрипочвенного стока на вариантах с орошением при предполивных порогах 60 % от наименьшей влагоемкости и 70 % от наименьшей влагоемкости практически не зависит от поливной нормы. На варианте с предполивным порогом 60 % от наименьшей влагоемкости величина стока увеличивается в среднем на 4 мм при увеличении поливной нормы с 10 мм до 20 мм, на варианте 70 % от наименьшей влагоемкости величина стока увеличивается в среднем на 14 мм. На варианте 80 % от наименьшей влагоемкости средний рост величины стока более значительный и составляет 23 мм. Анализ зависимости величины внутрипочвенного стока от предполивного порога показывает почти двукратный рост среднего значения стока при поливе нормой 20 мм с предполивными порогами 60 % от наименьшей влагоемкости и 80 % от наименьшей влагоемкости. Анализ данных позволил получить уравнение, которое позволяет определить величину стока в зависимости от обеспеченности по осадкам.

Ключевые слова: орошение, внутрипочвенный сток, поливная норма, наименьшая влагоемкость, водный баланс.

Unstable natural moisture supply with variable periods of excessive and insufficient natural moisture is typical for the territory of Belarus. With excess moisture, such a phenomenon arises as subsurface runoff, the accounting of which is especially important in irrigation agriculture. Water loss to runoff leads to higher irrigation costs and higher production costs.

The article evaluates the intra-soil runoff on sandy loam soils by calculating the water balance for 37 years using meteorological data from the Minsk meteorological station.

It has been established that the value of subsurface runoff in the variants with irrigation at pre-irrigation thresholds of 60 % of the lowest moisture capacity and 70 % of the lowest moisture capacity practically does not depend on the irrigation rate. In the option with a pre-irrigation threshold of 60 % of the lowest moisture capacity, the runoff value increases by an average of 4 mm with an increase in the irrigation rate from 10 mm to 20 mm, in the option with 70 % of the lowest moisture capacity, the runoff value increases by an average of 14 mm. In the case of 80 % of the lowest moisture capacity, the average increase in the runoff value is more significant and amounts to 23 mm. Analysis of the dependence of the value of subsurface runoff on pre-irrigation threshold shows an almost twofold increase in the average flow value when irrigated at a rate of 20 mm with pre-irrigation thresholds of 60 % and 80 % of the lowest moisture capacity. Analysis of the data made it possible to obtain an equation that allows one to determine the amount of runoff depending on the availability of precipitation.

Key words: irrigation, subsurface runoff, irrigation rate, lowest moisture capacity, water balance.

Введение

Территория Республики Беларусь относится к зоне рискованного земледелия. Для нее характерны частые экстремальные погодные явления, которые затрудняют получение стабильных урожаев. Так, увеличение сумм максимальных температур воздуха и рост частоты таких экстремальных явлений, как засухи и обильные осадки, требуют контроля над водным режимом почвы [1]. В условиях орошаемого земледелия выполняется регулирование водного режима с целью недопущения снижения запасов влаги в почве ниже оптимальной для выращиваемых растений границ. Контроль динамики влажности для определения даты очередных поливов может производиться различными способами. Одни из них опираются на определение влажности почвы (термостатно-весовой способ, почвенные датчики влажности), другие – на физиологию растений (орошение по фазам развития растений, по температуре листа), третьи опираются на водный баланс почв, который учитывает приходные и расходные части водного баланса, физиологию растений, почвы и микроклимат орошаемого участка [2]. Определение потребности растений в орошении с помощью водного баланса обладает большой гибкостью, что позволяет не только рассчитать текущий водный режим, но и проанализировать его динамику за прошлые годы.

В данной работе мы с помощью моделирования водного баланса за 37 лет определим величины внутрипочвенного стока, который возникает при разных режимах орошения на супесчаных почвах. Супесчаные почвы составляют значительный процент сельскохозяйственных земель Республики Беларусь, они обладают достаточно высоким плодородием, однако имеют небольшую влагоемкость,

что делает их уязвимыми к засухам и потерям влаги на внутрипочвенный сток при избыточном увлажнении [3]. Внутрипочвенный сток возникает, когда влагозапасы почвы превышают наименьшую влагоемкость, это приводит к потерям продуктивной влаги из корнеобитаемой зоны растений, вымыванию питательных элементов и увеличению затрат на орошение. Анализ величины стока позволяет нам подобрать оптимальный режим орошения и организовать поливы так, чтобы повысить эффективность использования оросительной воды сельскохозяйственными культурами.

Основная часть

Расчет водного баланса почвы выполнен за период с 1980 по 2016 годы. Осадки и максимальная температура воздуха брались по метеостанции Минск (ВМО 26850), как характеризующие климатические условия центральной части Республики Беларусь. В качестве орошаемой культуры приняты многолетние травы трехукосного использования. Были рассмотрены следующие режимы орошения: при предполивных порогах в 0,6НВ, 0,7НВ, 0,8НВ и поливными нормами 10 мм, 15 мм, 20 мм. Почвы супесчаные рыхлые с наименьшей влагоемкостью для слоя 0-50 см равной 100 мм [4]. Расчетный интервал принят 1 сутки. Водобалансовый расчет велся с 21 апреля по 30 сентября по формуле (1). Начальные влагозапасы приняты равными наименьшей влагоемкости.

$$W_k = W_n + (P + m) - (\varphi E + C), \quad (1)$$

где W_k – конечные влагозапасы; W_n – начальные влагозапасы, P – осадки; m – поливная норма; φ – коэффициент учитывающий увлажненность почвы, E – эвапотранспирация культуры, C – внутрипочвенный сток.

Водопотребление многолетних трав определялась по формуле (2):

$$E = 0,1 K_m \cdot \sum t_m, \quad (2)$$

где E – эвапотранспирация культуры; K_m – биотермический коэффициент культуры, $\sum t_m$ – сумма максимальных суточных температур за последнее 10 суток.

Биотермические коэффициенты для многолетних трав взяты согласно литературным источникам [5].

Коэффициент, учитывающий увлажненность почвы, рассчитывался по формуле А. П. Лихацевича [5]:

$$\varphi = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{W_{нв}}{W_n} - 1 \right)^2 \right], \quad (3)$$

где $W_{нв}$ – наименьшая влагоемкость; W_n – влагозапасы на начало суток.

Внутрипочвенный сток определялся по формуле (4):

$$C = (W_n - E_m - W_{нв}) \left(\frac{t}{T} \right)^a + P \left(\frac{t}{T} \right)^b, \quad (4)$$

где C – внутрипочвенный сток; t – продолжительность расчетного интервала (одни сутки); T – количество суток до полного стекания гравитационной влаги из расчетного слоя (двое суток); a и b – эмпирические коэффициенты, для супесей равны 0,25 и 1 соответственно [5].

Обеспеченность определялась по общеизвестной формуле (5):

$$S = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} 100\%, \quad (5)$$

где m – порядковый номер члена убывающего ряда атмосферных осадков за вегетацию; n – число членов ряда.

Полученные результаты водобалансовых расчетов при разных режимах орошения отражены в таблице. В данной таблице также приведена обеспеченность выпадения осадков каждого года.

Величина внутрипочвенного стока при разных режимах орошения и обеспеченности по осадкам за 1980–2016 г. на супесчаных почвах

Обеспеченность по осадкам, %	Атмосферные осадки, мм	Внутрипочвенный сток при разных режимах влагообеспеченности, мм									
		Без орошения	W _{III} = 0,6НВ			W _{III} = 0,7НВ			W _{III} = 0,8НВ		
			Поливная норма, мм								
			10	15	20	10	15	20	10	15	20
1,9	616,9	184,3	184,3	184,3	184,3	194,3	199,3	204,3	232,1	241,6	261,6
4,5	548,4	128,5	142,6	150,4	148,6	154,8	159,0	163,3	180,7	200,4	220,2
7,2	519,2	157,9	157,9	157,9	157,9	167,7	175,9	176,0	202,9	217,5	232,1
9,9	516,5	159,6	192,1	206,3	208,0	223,2	212,3	240,7	257,5	266,9	276,7
12,6	475,6	157,6	182,0	180,4	179,8	186,2	194,2	202,7	225,9	225,2	255,1
15,2	456,2	92,9	104,5	102,9	111,5	136,9	141,1	144,7	161,5	165,9	200,7
17,9	442,3	135,8	145,2	150,9	156,6	161,1	169,3	168,4	194,8	209,0	243,8
20,6	438,1	74,9	95,8	97,8	94,3	117,6	121,1	144,5	161,8	179,9	189,0
23,3	429,9	63,0	76,9	86,3	76,1	100,7	104,6	129,1	146,5	177,7	171,5
25,9	424,1	0,28	40,2	35,8	39,2	55,9	60,0	74,4	102,8	120,1	141,0
28,6	423,7	85,2	127,4	131,9	143,2	135,3	148,2	171,9	167,7	172,2	166,5
31,3	416,1	72,4	91,6	90,3	88,9	104,0	98,4	101,5	128,6	153,0	177,6
34,0	413,9	68,2	93,5	103,4	97,5	110,9	124,9	128,0	143,9	133,2	171,0
36,6	412,1	67,8	67,8	67,8	67,8	83,4	91,8	110,8	108,0	132,6	127,3
39,3	408,0	83,2	96,3	98,4	102,3	114,4	117,2	130,6	156,3	170,5	205,0
42,0	406,1	42,4	58,3	56,8	70,8	67,0	83,1	71,1	98,2	122,4	127,2
44,7	395,1	27,9	52,2	65,1	67,9	81,5	70,0	98,8	105,7	109,9	139,5
47,3	369,1	8,8	38,4	44,5	55,3	66,4	65,1	64,0	99,9	104,4	138,8
50,0	365,8	20,9	51,9	64,4	55,9	78,2	96,7	84,8	101,0	120,3	119,6
52,7	365,0	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	60,1	76,0	79,4
55,3	360,2	41,2	68,3	80,0	61,1	84,0	82,2	91,1	105,8	105,1	104,5
58,0	356,4	54,1	73,3	74,0	76,1	88,2	91,2	105,1	117,7	111,2	136,1
60,7	350,8	29,3	29,3	29,3	32,0	45,7	48,6	63,7	68,6	103,0	97,6
63,4	348,2	7,4	15,5	11,7	14,1	28,8	33,7	47,1	63,8	74,4	109,5
66,0	347,4	44,3	62,3	64,4	65,8	78,6	81,7	95,5	102,1	106,2	113,0
68,7	345,0	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	77,7	75,5	88,1	87,2	95,2
71,4	340,7	62,3	82,3	76,3	87,8	85,2	99,0	103,6	111,1	110,5	129,6
74,1	340,6	9,4	26,1	29,8	26,7	40,3	43,3	58,7	65,0	69,4	79,5
76,7	325,8	12,8	27,2	33,5	30,5	37,6	57,3	45,7	57,6	62,3	85,3
79,4	289,9	13,6	15,3	22,2	21,3	38,8	48,2	57,1	54,4	59,2	53,6
82,1	286,4	0,0	14,8	13,1	13,7	36,0	38,0	41,2	66,1	74,8	94,2
84,8	264,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	13,3	12,8	22,0
87,4	257,5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	9,8	19,3	12,5	25,2
90,1	255,1	9,9	18,2	18,0	18,5	33,3	25,0	36,9	41,4	44,8	49,3
92,8	248,6	1,9	25,5	41,0	40,9	47,2	51,7	49,8	83,8	81,7	81,1
95,5	232,2	0,0	0,0	1,4	6,2	1,8	4,0	17,4	12,7	27,4	31,6
98,1	219,3	20,9	20,9	21,5	20,9	20,9	20,9	26,0	30,0	39,3	38,5
Среднее	-	56,7	70,5	73,6	74,4	84,8	88,9	97,1	111,8	121,1	134,9

Проанализировав табл. 1, можно сделать вывод, что величина внутрипочвенного стока на вариантах с орошением при предполивных порогах 0,6НВ и 0,7НВ практически не зависит от поливной нормы. На варианте с предполивным порогом 0,6НВ величина стока увеличивается в среднем на 4 мм при увеличении поливной нормы с 10 мм до 20 мм, на варианте 0,7НВ величина стока увеличивается в среднем на 14 мм. На варианте 0,8НВ средний рост величины стока более значительный и составляет 23 мм. Анализ зависимости величины внутрипочвенного стока от предполивного порога показывает почти двукратный рост среднего значения стока при поливе нормой 20 мм и предполивными порогами 0,6НВ и 0,8НВ. Данная закономерность на супесчаных почвах, сопоставимо с показателями величины стока на суглинистых почвах [6].

Рассмотрим также динамику стока на варианте без орошения. Как видно из таблицы, при увеличении обеспеченности по осадкам величина внутрипочвенного стока снижается, однако имеется сильный разброс значений. Например, на варианте без орошения, в засушливый год ($S=71,4\%$) величина стока на варианте составляет 62,3 мм, а это больше чем во влажный год ($S=25,9\%$), где сток составил 28 мм.

Углубленный анализ зависимости стока от обеспеченности атмосферных осадков показывает, что отношение приращения стока к приращению обеспеченности по осадкам подчиняется закономерности:

$$\frac{dC}{dS} = C_0 \frac{S_{\max} - S}{S_{\max}^2}, \quad (6)$$

где C – величина внутрипочвенного стока, мм; S – обеспеченность атмосферных осадков, %; C_0 – условная величина внутрипочвенного стока при минимально возможной обеспеченности атмосферных осадков, мм; S_{\max} – максимально возможная обеспеченность атмосферных осадков, при которой внутрипочвенный сток отсутствует, %.

В качестве начального примем условие, что внутрипочвенный сток отсутствует при максимальной обеспеченности атмосферных осадков, равной 100 %.

Решим дифференциальное уравнение (6) с учетом сформулированного начального условия, в соответствии с которым:

$$\int_0^C \frac{dC}{C_0} = \int_{S_{\max}}^S \frac{S_{\max} - S}{S_{\max}^2} dS, \quad (7)$$

В результате получим:

$$C = C_0 \left(1 - \frac{S}{S_{\max}} \right)^2, \quad (8)$$

На рисунке приведены точки (Ряд1) с координатами, соответствующими по горизонтальной оси обеспеченности по осадкам (%), а по вертикальной оси – величине внутрипочвенного стока для варианта «без орошения», мм (табл. 1). Аппроксимация точек выполнена также по линейной и полиномиальной зависимостям.

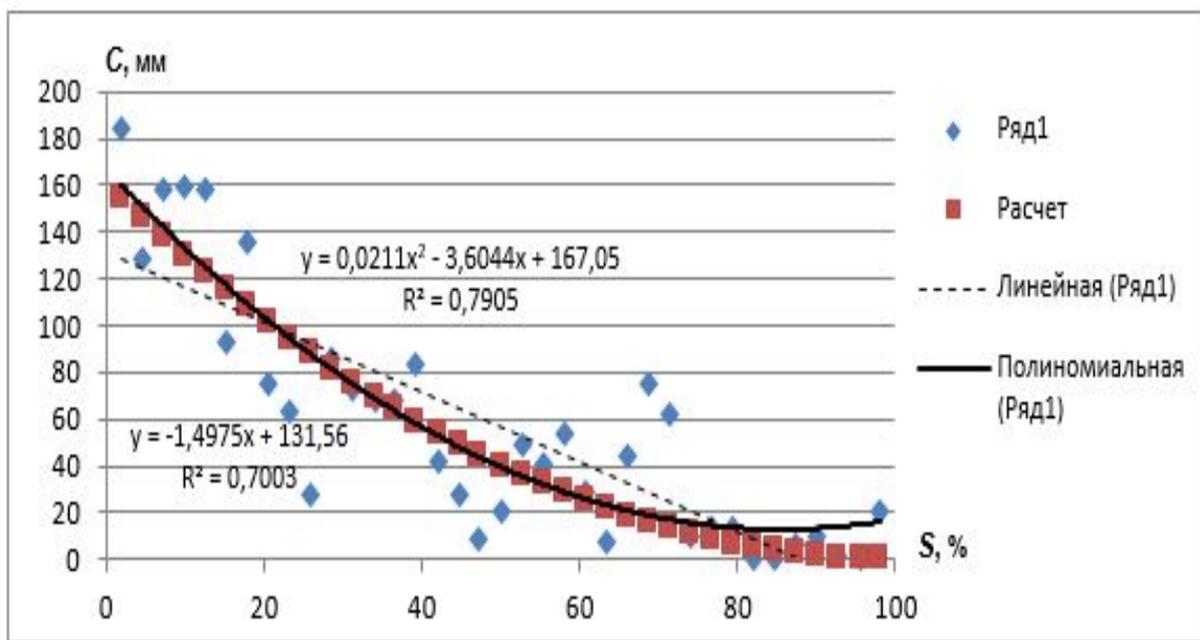


Рис. Зависимость величины внутрипочвенного стока от обеспеченности по осадкам для варианта «без орошения»: Ряд 1 – данные таблицы 1; Расчет – результаты расчета по формуле (8); Линейная (Ряд1) – линейная аппроксимация ряда 1; Полиномиальная (Ряд1) – полиномиальная аппроксимация ряда 1

Результаты математического моделирования зависимости величины внутрипочвенного стока от обеспеченности по осадкам для варианта «без орошения», представленные на рис. 1, подтверждают справедливость дифференциального уравнения (6). Расчетная формула (8) при $C_0=160$ мм и $S_{\max}=100$ % достаточно точно соответствует данным таблицы 1, повышая коэффициент детерминации от 0,7 (полученный для линейной аппроксимации) до не менее, чем 0,79 (полученный для полиномиальной аппроксимации).

Заключение

Расчет величины внутрипочвенного стока в годы с разным количеством атмосферных осадков показало, что на супесчаных почвах сток уменьшается с увеличением обеспеченности по осадкам, однако часто может быть значительным даже в засушливый год. При планировании орошения с предполивным порогом в $0,8HВ$ требуется оставлять резерв для впитывания атмосферных осадков и отдавать предпочтение поливам небольшой нормой. Предложенное уравнение (8) позволяет определить величину стока в зависимости от обеспеченности по осадкам, что может быть полезно при разработке проектов оросительных систем, а также в других гидрологических расчетах.

Таким образом, величина внутрипочвенного стока на супесчаных почвах достигает значительных величин, особенно в условиях орошаемого земледелия. Уменьшение стока за счет оптимизации предполивных порогов и поливных норм, является существенным резервом повышения экономической эффективности орошения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: учеб. пособие / В. Ф. Логинов [и др.] – М.: Мещер. ф-л ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2016. – 58 с.
2. Лихацевич, А. П. Сельскохозяйственные мелиорации: учебник для студ. высш. учеб. завед. по спец. «Мелиорация и водное хозяйство» / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко, Г. И. Михайлов; под ред.: А. П. Лихацевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 319 с.
3. Почвы Беларуси: учеб. пособие для студентов агрономических специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / А. И. Горбылева [и др.]; под ред. А. И. Горбылевой. — Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 184 с.
4. Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов, С. В. Набздоров // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 19–20 октября 2017 г.) / Национальная академия наук Беларуси, Институт мелиорации; ред.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 30–40.
5. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур: рекомендации / А. С. Анженков [и др.]. – Минск: РУП «Институт мелиорации», 2020. – 38 с.
6. Романов, И. А. Анализ потерь внутрипочвенной влаги на сток при разных режимах орошения многолетних трав / И. А. Романов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 196–201.