

9. Davis H.H. Donigian j. Simulation nutrient movement. Trans. ASAE, 1979. Vol.22. - N 5. - P.1081-1086.

Kinematic model of water runoff and chemical substances

Ivanenko A. G., Zakharova M. V.

The brief description of a channel runoff model, hillslope water and chemical substances runoff model, and also result of verifying calculation on the basis of Moldavian water-balance station database is given in the article.

Поступила 31.03.2003

УДК 556.16:54

Иваненко А.Г., д.г.н, Гриб О.Н., асп.

Одесский государственный экологический университет

Расчёт стока воды и смыва химических веществ с малых водосборов в районе юго-восточной части горного Крыма

В статье приводится обоснование методов расчёта стока воды и смыва химических веществ с водосборов временных водотоков и малых рек в районе юго-восточной части горного Крыма.

Основные задачи исследования стока воды и смыва химических веществ малыми реками юга Украины в прибрежную зону Чёрного моря и загрязнение ими рекреационной зоны являются исключительно актуальными. Сведения, полученные в результате исследований, необходимы для эффективного ведения различных отраслей хозяйства, а именно зоны развития промышленности и сельского хозяйства в степной части и рекреационных зон на побережье Крымского полуострова. Особенно большое влияние на качество вод поверхностного стока оказывают обширные его площади, занятые садами и виноградниками. Выносимые остатки применяемых в садоводстве удобрений и ядохимикатов являются источником смыва биогенных веществ [1]. Формируемый поверхностным стоком смыв химических веществ влияет на экологическое состояние прибрежных вод. Контроль этого стока представляет интерес при проектировании и реализации водоохраных мероприятий [2].

Анализ исследований смыва загрязняющих веществ с водосборов юго-восточной части Крыма. Изучение стока химических веществ с

поверхности водосборов в основном базируется на данных наблюдений за составом химических веществ на сети речных створов. К сожалению, эти данные для юго-восточной части горного Крыма в научной литературе представлены недостаточно полно, что связано с малым количеством и частотой наблюдений над химическим составом воды на стоковых станциях и постах [2,3,4]. Это связано с тем, что гидрологический режим рек района имеет чётко выраженный паводочный характер, поэтому принятая в гидрометслужбе методика отбора проб на химический состава речных вод в количестве 5-7 измерений в году, не позволяет в полном объёме анализировать гидрохимический режим рек, состав которых изменяется в течении паводка, а также в зависимости от периода года, рис.1. Сведения о смыве химических веществ, выносимых поверхностным стоком, играют важную роль при проектировании водоохраных мероприятий и сооружений для очистки вод, поэтому нуждаются в более полном представлении и печати в соответствующих изданиях [2].

В настоящее время, трудно разрешимой задачей исследований по данной теме является отсутствие достаточных данных о стоке и смыве химических и загрязняющих веществ с водосборов юго-восточной части горного Крыма.

Целью данного исследования является разработка метода расчёта и анализа стока химических веществ и моделирование процессов смыва на малых реках и временных водотоках в горных и предгорных районах юго-восточной части Крыма, а также определение влияния на формирование химического состава гидрометеорологических и геоморфологических условий территорий водосборных бассейнов.

Изложение основного материала исследования. Метод вычисления суточных расходов стока химических веществ. В статье исследуются малые реки юго-восточной части горного Крыма, а именно: Ускут, Арпат, Шелен, Ворон и Ай-Серез [3]. Расчёт суточных данных по этим рекам проводился по методу хронологической интерполяции модульных коэффициентов концентрации заданного химического вещества, который позволяет рассчитать суточные расходы стока химических веществ, выносимых в прибрежную зону юго-восточного Крыма за период с 1965 по 1975 гг.

Метод разработан на кафедре «Гидроэкологии и водных исследований» ОГЭКУ и представляет собой реализацию уравнения кубического сплайна (1), представленного ниже:

$$K(t) = m_{i-1} \frac{(t_i - t)^3}{6h_i} + m_{i-1} \frac{(t - t_{i-1})^3}{6h_i} + (K_{i-1} - \frac{m_{i-1}h_i^2}{6}) \frac{t_i - t}{h_i} + (K_i - \frac{m_{i-1}h_i^2}{h_i}) \frac{t - t_{i-1}}{h_i}. \quad (1)$$

Здесь: t - число суток от начала года до расчетного дня, а индекс при t показывает число суток до i -го отбора пробы для определения концентрации заданного вещества; h_i - число дней между отбором i -й и $i-1$ -й проб; а K_i и K_{i-1} - модули концентрации заданного вещества по пробам на эти даты; $K(t)$ - интерполированное значение модульного коэффициента концентрации вещества на заданные сутки t ; m_i и m_{i-1} - коэффициенты сплайна в узлах интерполяционной кривой на сутки, указанные индексами.

Метод позволяет вычислить расходы ионного стока за время дождевых паводков, а также для стока с подземным питанием (рис.2).

Модель склонового стока воды и химических веществ. Вычисление гидрографов водных и химических паводков производилось по модели склонового стока воды и химических веществ на ЭВМ по программе, которую также можно использовать для неизученных водосборов.

Для этого применяется модель кинематической волны [5,6], учитывающая факторы выноса загрязняющих веществ со склонов, а также расходы склоновых вод, начальную концентрацию веществ в почве, их растворимость в воде и сорбционную способность.

Водообразование вычисляется по формуле:

$$h_t = a_t - (k_0 + A/t^b), \quad (2)$$

где h_t и a_t - соответственно, интенсивности водообразования и дождя на момент времени t от его начала; k_0 - установившаяся интенсивность впитывания, при очень большом времени t ; A и b - параметры формулы, зависящие от свойств почвы и её влажности.

Далее идёт дифференциальное уравнение склонового стока [7]:

$$(n + 1) m I^n y^n dy/dx + dy/dt = h_t, \quad (3)$$

где y - глубина склонового фиктивного (равномерно распределённого по ширине склона) потока в момент времени t от начала его движения на расстоянии x от водораздела; I - уклон поверхности склона; m, u и n - параметры формулы скорости течения, зависящие от шероховатости поверхности склона и его микрорельефа.

В правой части уравнения h_t - интенсивность водообразования, равная для периода выпадения дождя разности a_t и k_t . Для периода спада, то есть когда $a_t = 0$, в правой части уравнения (3) вместо k_t принимаются потери воды на впитывание в дно ручейков, равные βk_0 , где k_0 - коэффициент затопления, показывающий долю площадки склона, занятую ручейками; β - коэффициент затопления.

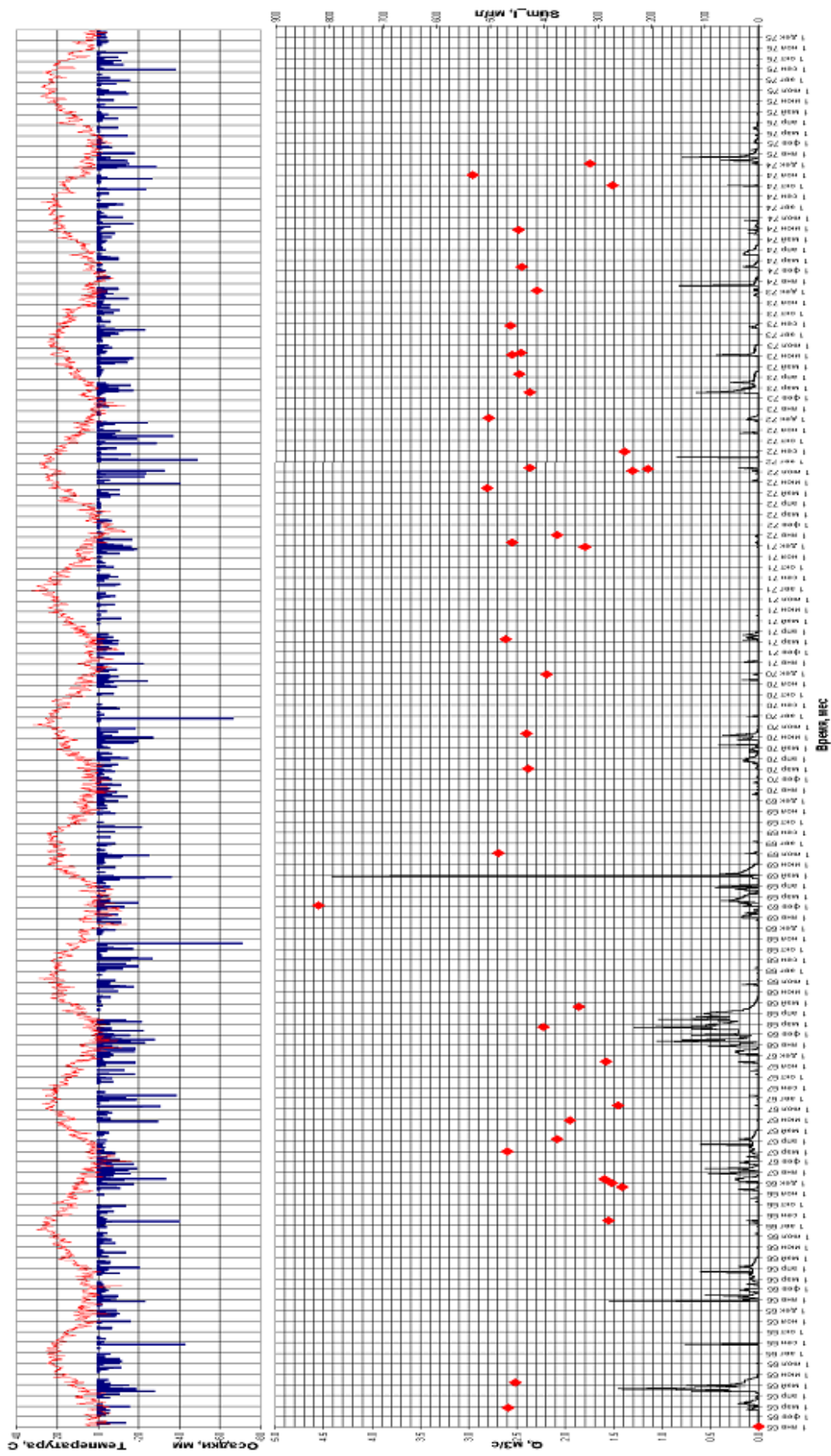


Рис. 1 – Комплексный график результатов многолетних гидрометеорологических и гидрохимических наблюдений
 р.Шелен-с.Громовка, 1965-75 гг.

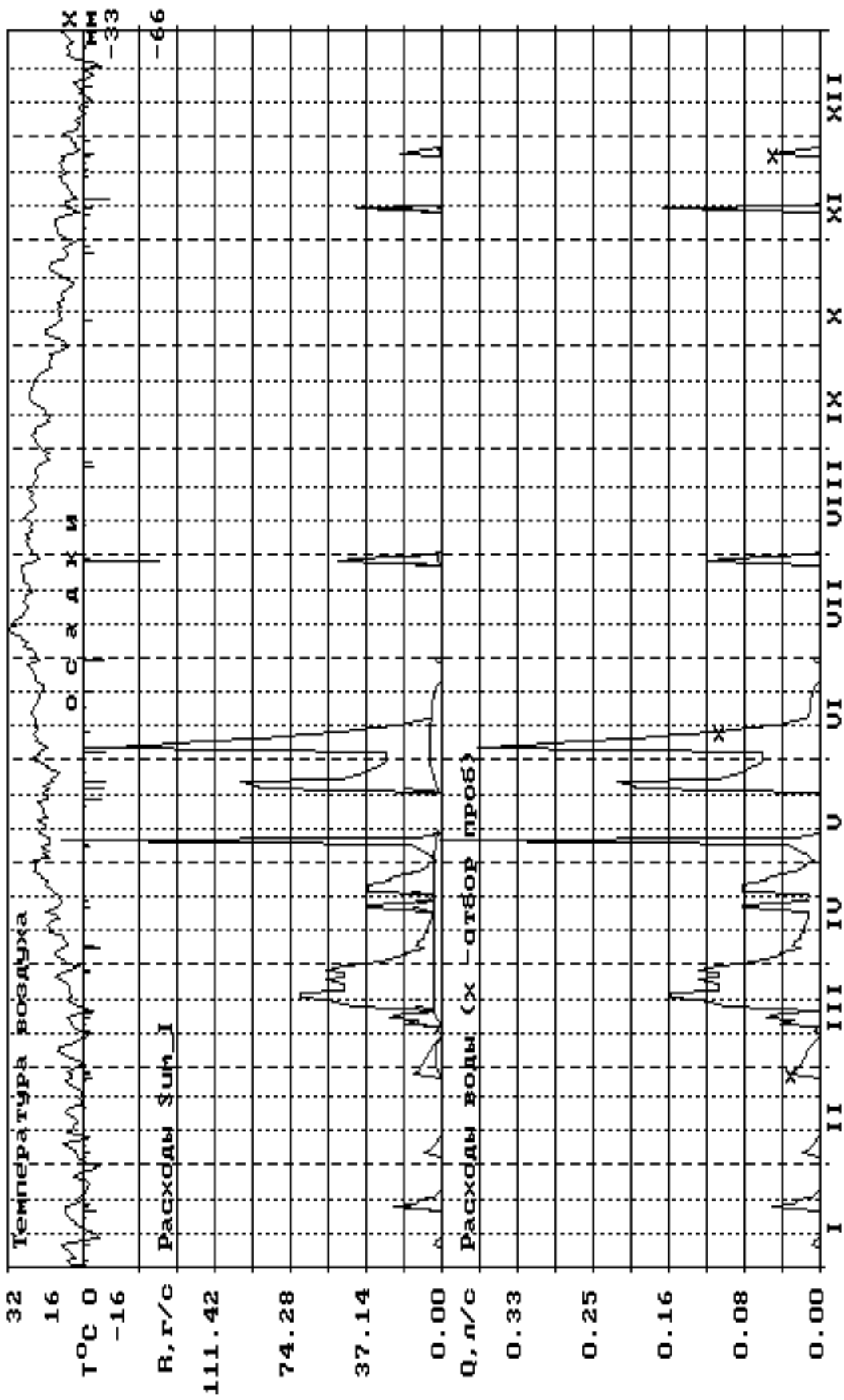


Рис. 2 – Комплексный график выноса Sum_1 речным стоком Шелен у с. Громовка за 1970 г.

Уравнение связи глубины y сплошного потока с коэффициентом затопления β и средним сечением микрорельефа H показано в (4) [6]:

$$y = H((\sin \pi \beta) / \pi - \beta \cos \pi \beta) / 2. \quad (4)$$

Коэффициент затопления β определяется через y подбором из (4).

Глубина склонового потока y_t замыкающего створа склона вычисляется для различных моментов времени t из уравнения (3) с учётом (2) для заданных условий орошения, потерь и геоморфологических показателей склона. Предварительно уравнение (3) записывается в конечно-разностной форме, и решается при помощи итерационного метода.

По значениям глубин склонового потока y_t вычислялся расход стока q_t с полосы склона единичной ширины:

$$q_t = m I^n y_t^{n+1}. \quad (5)$$

Расходы воды, наряду с показателями начальной концентрацией веществ в почве, их растворимостью в воде и сорбционной способностью, являются основными факторами выноса загрязняющих веществ со склонов. Все эти факторы учитываются моделью кинематической волны для выноса загрязняющих веществ склоновым потоком воды. Форма записи этой волны соответствует уравнению (5). В качестве основной переменной уравнения принимается концентрация химического вещества C , а в правой части уравнения учитываются функции источников - стоков для заданного вещества:

$$d(Ch)/dt + d(Cq)/dx = F_i + N, \quad (6)$$

где C - концентрация выносимого вещества; F_i - функция, учитывающая поступление загрязнений в воды склонового стока из активного поверхностного слоя почвы в форме раствора или со взвесями твёрдых частиц в поток, при плоскостной эрозии и взмучивании потока от ударного воздействия капель дождя, а также при уменьшении загрязнений в воде с фильтрационными потерями воды в дно склоновых ручейков, осаждения наносов с загрязнениями на почву; N - функция преобразования вещества внутри поверхностного склонового потока под влиянием химических реакций, может не учитываться в связи с быстротечностью процесса стока, который развивается в зависимости от интенсивности и длительности дождя и продолжается от нескольких минут до 1-2 часов.

Таким образом, функция F_i является основной, определяющей поступление вещества i из почв в водный поток. Для расчёта функции F_i можно использовать следующую формулу [8]:

$$F_i = k_i(C_{p,i} - C_i) bq, \quad (7)$$

где b - глубина действующего слоя, принимаемая равной толщине слоя контакта поверхностных вод с водами почвенного раствора, обычно берётся 1 см; q - расход воды с полосы склона единичной ширины; k_i - коэффициент сорбции-десорбции заданного вещества i ; $C_{p,i}$ - равновесная концентрация.

Равновесная концентрация химических веществ вычисляется по формуле вида:

$$C_{p,i} = a_i C_{Vi} / (d_i - C_{Vi}), \quad (8)$$

где a_i и d_i - числовые значения коэффициентов, устанавливаемые в лабораторных опытах по данным о растворимости конкретных веществ, например, для азота $a_i = 0,625$, $d_i = 351$, а для фосфора $a_i = 1,538$, $d_i = 7300$.

В данном случае химические паводки были вычислены методом интерполяции по трём точкам: в начале подъёма, на пике и в конце спада поверхностного стока, по суточным расходам химических веществ.

Расчёты были выполнены по данным паводков на трёх постах: с.Зеленогорье, с.Приветное, с.Ворон.

Также были получены средние характеристики склонового стока воды и выноса химических веществ (суммы ионов), в период паводков (табл.1).

Таблица 1 - Результаты по рассчитанным паводкам

Название поста	Дата паводка	X , мм	Q_{max} вычисленный, м ³ /с	Q_{max} измеренный, м ³ /с	I_w , мм	R_{sum_i} , г/с	P_{sum_i} , кг (за паводок)
р. Зеленогорье	14.05.66	26.3	0.26	0.25	0.30	1.60	138
	03.08.66	18.6	1.88	1.50	0.60	4.90	423
	12.08.66	27.4	0.65	0.85	0.63	1.74	150
	19.08.66	27.7	2.12	2.43	0.37	7.89	682
р. Ворон	09.07.67	47.1	2.54	2.42	0.18	87.9	7595
	09.08.67	28.9	0.78	0.75	0.07	32.6	2817
	02.06.72	47.8	0.81	0.73	0.04	92.5	7992
	08.07.72	43.8	0.44	0.45	0.03	25.1	2169
р. Приветное	11.06.66	15.1	0.25	0.20	0.25	53.1	4588
	09.07.67	17	4.01	4.20	0.16	91.1	7871
	01.08.67	10.4	2.02	2.42	0.19	55.2	4770

Выводы. При проведении анализа смыва веществ, для всех рек были выявлены такие особенности:

- применение метода сплайн-интерполяции позволяет обоснованно рассчитать общие значения смыва, а также установить динамику процесса смыва во времени;

- концентрации химических веществ в целом отражают период водности реки, однако конкретной зависимости между ними и расходами воды явно не наблюдается;

- для установления этих зависимостей необходимо применять более частые отборы проб для установления контроля речных вод как в течение отдельных паводков, так и определенные периоды.

Литература

1. Горев Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України. – К.: Вища школа, 1995. – С.274-277.

2. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. – К.: Либідь, 1997. – С.303-378.

3. Материалы наблюдений Крымской ССР. - Вып.1, 1965-1975гг., под ред. Бойко В.Н., Киев, 1976. – 305 с.

4. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – С.336-344.

5. Кондратьев С.А. О построении модели склонового стока и смыва // Метеорология и гидрология, 1983. - №11. - С.76-83.

6. Иваненко А.Г. Расчёт дождевых паводков на основе учёта полей факторов дождевого стока. - Водные ресурсы, 1986. - №4. - С.38-46.

7. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958. – 309 с.

8. Методические материалы по оценке выноса биогенных веществ поверхностным стоком. - М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. – 32 с.

Calculation of a water drain and washout of chemical substances from the small rivers of a southeast part of mountain Crimea

Ivanenko A.G., Grib O.N.

The method of calculation of a water drain and washout of chemical substances on the small rivers of mountain Crimea is proved.

Поступила 25.03.2003