

аналогичных рядов исходных данных, имеют обеспеченность 68% и 63% соответственно.

**Ключевые слова:** прогноз ледовых явлений, факторный анализ, дискриминантный анализ.

### **Use of methods of the multidimensional statistical analysis in hydrological forecasts of the ice phenomena (on an example of the rivers Dnestr and Tiligul)**

**Loboda N. S., Sirenko A. N.**

*Operative forecasts of occurrence of ice for the rivers are very important for an national economy. Techniques of forecasting which are recommended by standard documents, not completely meet existing requirements. It is proposed to use the algorithm of forecasting with use of methods of the multidimensional statistical analysis. Algorithm approbation is executed for the Dnestr river and Tiligul river. At the first stage the factorial analysis, the analysis of the received results and definition of the most influential factors are made. At the second stage the look-ahead equation with use of the discriminant analysis is constructed. Probability of forecasts has made 91 % for the river Dnestr and 80 % for the river Tiligul. Classical methods of forecasting for similar numbers of the initial data have probability of 68 % and 63% accordingly.*

**Keywords:** forecasts of the ice phenomena, the factorial analysis, the discriminant analysis.

*Надійшла до редколегії 27.09.2011*

УДК 556.16.047

**Мельник С.В.**

*Одесский национальный политехнический университет*

### **РАСЧЕТ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА ПОДОЛЬСКИХ ПРИТОКАХ ДНЕСТРА**

**Ключевые слова:** сток наносов, значимые факторы, влияние водоемов, регрессионное уравнение

**Актуальность.** Изучение современного стока наносов имеет практическое значение для разработки мероприятий по регулированию и стабилизации флювиальных геоморфологических процессов при разных видах хозяйственной деятельности.

В настоящее время используются три метода обобщения данных по стоку взвешенных наносов: метод построения карты мутности, метод построения карт эрозионных коэффициентов и метод получения эмпирических формул стока наносов, связывающих его с основными определяющими природными факторами.

Наиболее распространенным является метод построения карты мутности, предложенный в 1939 г. Г.В.Лопатиным. Метод картирования эрозионных коэффициентов использовал еще в 1935 г. Б.В.Поляков, а позднее К.Н.Лисицына для рек Северного Казахстана и Европейской территории СССР.

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)*

Третий метод предполагает разработку региональных эмпирических формул связи мутности, расхода или модуля стока взвешенных наносов с основными факторами, в числе которых главное внимание уделяется уклону реки или водосбора. В работах Н.Н. Бобровицкой [1] в качестве факторов, от которых может зависеть норма стока наносов, рассматривались: норма стока воды, средневзвешенный уклон, модуль расхода 1% обеспеченности, процент распаханности, лесистости, длина водотока, площадь водосбора, закарстованность, густота речной сети, процент зарегулированности стока и ширина водосбора. Только первые три фактора показали значимые коэффициенты корреляции со стоком наносов и использовались для составления регрессионных моделей. Далее автор определила, что расход 1% обеспеченности однозначно связан с уклоном, а учет уклона повышает корреляцию модели в пределах погрешности. В результате для территории среднего Днестра получено уравнение

$$M_R = 2,02 M_Q^{1,5} . \quad (1)$$

З.А. Горецкая [2] предлагает для равнинной территории Украины, за исключением Приднепровской низменности, формулу:

$$M_R = 10,6 M_Q + 6,96 I_P + 0,625 h - 41,7 , , \quad (2)$$

где  $M_R$ ,  $M_Q$  – среднегодовые модули стока наносов (т/км<sup>2</sup>) и стока воды (л/с км<sup>2</sup>),  $I_P$  – продольный уклон реки (‰),  $h$  – глубина речной долины (м).

По мнению С.А. Антоновой [3] особенностью стока наносов в районе Подолии является то, что влияние уклона рек носит ограниченный характер. Это влияние “теряет свое значение для рек со значительным расходом воды и для рек с уклонами более 1 ‰” [3]. Для учета этой особенности она предлагает формулу:

$$R = \left( 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{1,35} \cdot \Pi^{2,25} \right)^{1,65 - 0,61 \cdot I_P} e^{2,54 \cdot I_P - 2,14} , , \quad (3)$$

где  $R$  – сток наносов за обобщенный период (1950-1980 гг.), (кг/с);  $\Pi$  – показатель внутригодовой неравномерности стока, ( $Q_{\max}/Q_{\text{средн}}$ );  $I_P$  – продольный уклон реки, (‰).

В книге А.В. Яцыка [4] для расчета наносов предлагается региональная формула (2) З.А. Горецкой, как более удобная для практического использования.

Представленные выше формулы созданы на основе данных до 1980 г. и не учитывают изменений климата, природных и антропогенных условий в бассейнах рек за последние десятилетия. Кроме того, эти формулы составлены для естественного стока без учета хозяйственной деятельности. Основным антропогенным фактором, влияющим на сток наносов, будут водохранилища и небольшие водоемы, в которых может оседать значительная часть естественных наносов. Изучая это явление Г.И. Швобс

[5] отметил, что водохранилища на больших реках могут уменьшать сток наносов на расстоянии до 20 км в 2–2,5 раза. Второй особенностью отмеченной в этой работе является зависимость расстояния, на котором восстанавливается естественный сток наносов, от уклона реки. Чем больше уклон, тем большее необходимо расстояние.

По данным [6] на бассейнах таких рек Подолии как Гнилая Липа (длина 84 км) находится 103 водоема, Золотая Липа – 46 водоемов, Коропец – 28, Серет – 55. Эти обстоятельства требуют уточнения формул расчета стока наносов с учетом одного из главных факторов хозяйственной деятельности – расстояния до водоема.

**Цель работы:** определение основных влияющих факторов для стока наносов Подольских притоков Днестра с учетом хозяйственной деятельности и получение региональных расчетных соотношений.

В качестве объекта изучения принят сток Подольских притоков Днестра. Предметом исследования является оценка влияния физико-географических и хозяйственных факторов на сток наносов.

**Изложение основного материала.** К Подольским притокам Днестра можно отнести его левые притоки от р.Свиждо р.Лядова. Верхняя часть этих притоков берет свое начало с Гологорской и Вороняжской возвышенностей. Средняя и нижняя с центральной и восточной части Подольской возвышенности. Все эти притоки имеют одинаковое направление течения, схожие климатические условия, подстилающую поверхность и густоту речной сети. Выделение ограниченного региона с аналогичными природными условиями позволит более надежно выявлять влияющие факторы.

На этих реках колебания стока наносов аналогичны колебаниям максимального стока, особенно в период 1997-2008 гг. (рис. 1). На кривой максимального стока и стока наносов выделяются две фазы: положительная с начала наблюдений до 1981 г. и отрицательная – с 1982 г. до 2008 г.

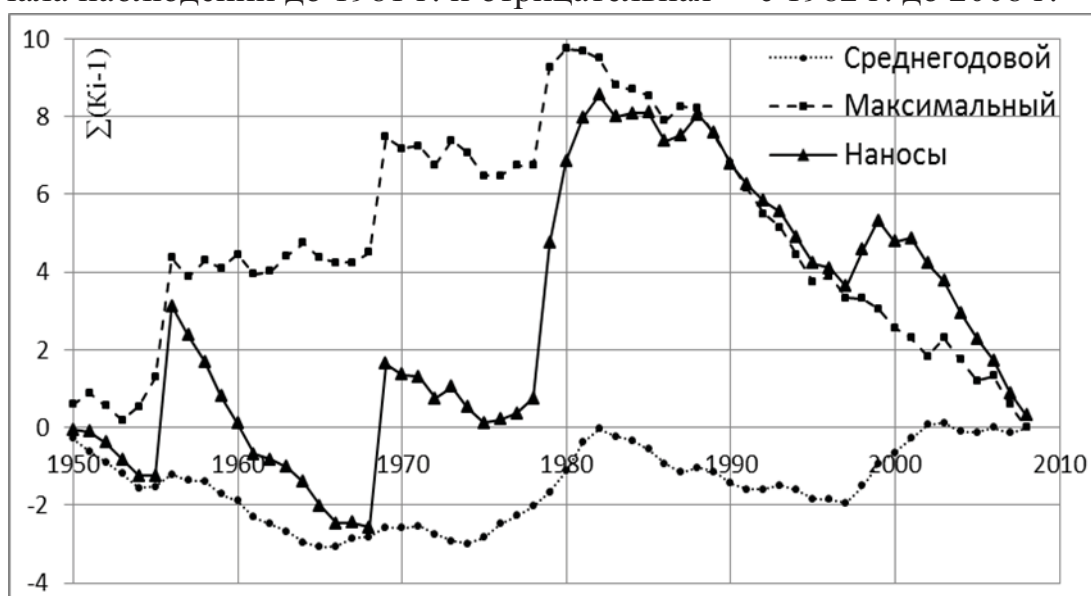


Рис.1. Разностные интегральные кривые среднегодового стока воды, максимального среднегодового стока наносов р. Серет-г.Чортков

Регулярные наблюдения за стоком наносов на реках региона начали проводиться с 1950 г. К 1963 г. уже установилась устойчивая сеть, которая с некоторыми изменениями существует и в нынешнее время.

Влияние разных факторов в разные периоды колебаний стока наносов может быть различно, потому выделим два различных периода: период повышенного стока наносов – 1963–1981 гг. и период пониженного стока – 1982–2008 гг.

Список факторов, которые могут оказывать влияние на сток наносов формировался исходя из обзора научной литературы. Изначально включались: среднегодовой модуль стока –  $M_{cp}$  (л/с\*км<sup>2</sup>), модуль максимального стока –  $M_{макс}$  (л/с\*км<sup>2</sup>), показатель внутригодовой неравномерности стока –  $\Pi$ , расстояние до ближайшего водоема выше по течению –  $L$  (км), площадь бассейна реки –  $S_{бас}$  (км<sup>2</sup>), площадь водоема –  $S_{вод}$  (км<sup>2</sup>), средняя высота водосбора –  $H_{вс}$  (м), средний уклон реки –  $I_p$  (‰), глубина речной долины –  $h_{pd}$  (м), коэффициент извилистости реки –  $K_{изв}$ , проценты лесистости водосбора –  $K_{лес}$ , распаханности –  $K_{pn}$ , заболоченности –  $K_{заб}$ .

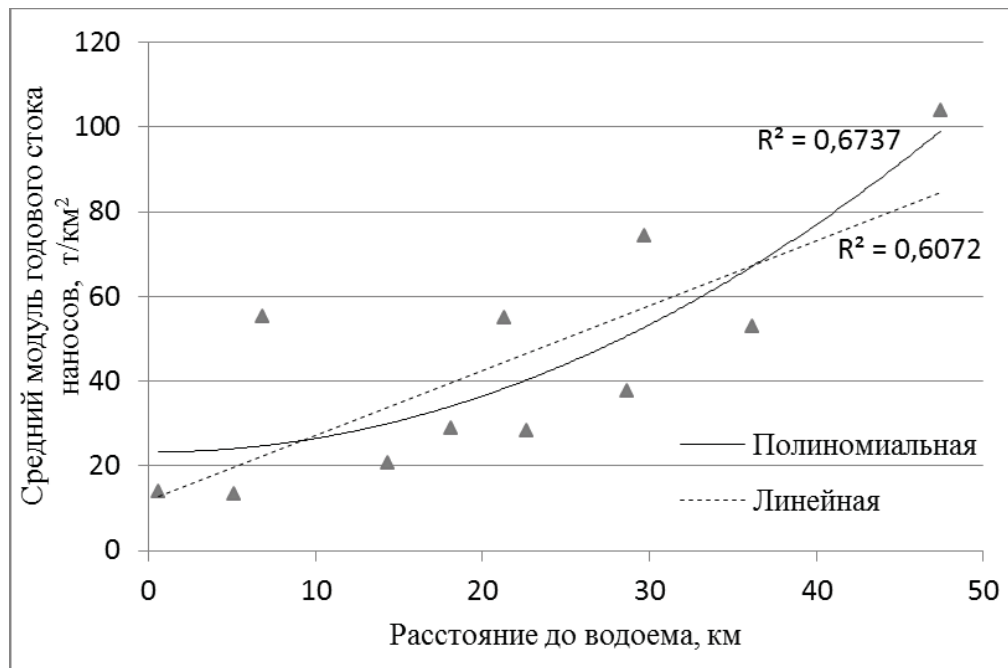
Наличие водоемов перед постом наблюдений, расстояние до них и площадь водоема определялись изначально по картам масштаба 1:100000, а затем уточнялись с помощью сервиса GoogleEarth на наличие новых и относительно мелких водоемов, не нанесенных на карту. Глубина речной долины определялась аналогично, остальные данные по справочнику [7].

В расчет принимались все, в том числе и малые водоемы, поскольку они также способны оказывать существенное влияние на количество наносов в реке ниже по течению.

В некоторых работах, например [3], используются нелинейные уравнения для расчета стока наносов. Использование многофакторных моделей позволяет надежно получать только линейные модели. Это положение заложено в большинстве стандартных программных комплексов, которые позволяют получать многофакторные модели (например в комплексе Statistica который использовался в настоящей работе). Для предварительной оценки рассмотрим зависимость стока наносов от расстояния до ближайшего водоема выше по течению (рис.2).

Как видно из графика, хотя и полиномиальная аппроксимация дает большее значение достоверности, но линейная также имеет приемлемое значение. Подобные расчеты для других факторов показывают еще меньшую разницу между полиномиальными и линейными зависимостями. Более обоснованный вывод можно сделать после сравнения результатов расчета по различным моделям.

**Методика обработки результатов.** В изложении методики приведем лишь основные моменты. Более подробно методика выделения основных факторов и составление множественной линейной регрессионной модели широко описана в литературе, например [8].



**Рис. 2. Зависимость среднего модуля годового стока наносов (за период повышенного стока) от расстояния до водоема и величина достоверности аппроксимации –  $R^2$**

На первом этапе определялся фактор (оптимальный предиктор), который дает наиболее значимый коэффициент линейной парной корреляции с модулем твердого стока (предиктантом). Далее используя уравнение линейной парной регрессии, определяем регрессионную и остаточную дисперсии, рассчитываем критерий Фишера –  $F_{расч}$ , сравниваем его с критическим значением –  $F_{кр}$ .

На втором этапе при увеличении количества предикторов определялись частные корреляции (с учетом влияния оптимального предиктора отобранного на первом этапе). С учетом частных корреляций выбирался второй оптимальный предиктор и т.д.

Результаты расчетов по выбору факторов приведены в табл. 1.

В обоих периодах оказывается статистически значимый параметр внутригодовой изменчивости стока. Этот параметр для расчета стока наносов широко использовался еще в работах Г.И. Швевса [5] и Н.Н. Бобровицкой [1].

Для периода повышенного стока первым оптимальным предиктором выбрано расстояние до водоема. В этот период большая часть наносов оседает в водоемах и только по мере удаления от них речной поток вновь увеличивает содержание наносов (рис. 2). Интенсивность накопления этих наносов в свою очередь зависит от уклона реки (третий фактор). Эта зависимость прослеживается также в работах Г.И. Швевса [5] и др.

Таблица 1. Значения парных и частных корреляций для различных параметров

Предикторы	Период повышенного стока наносов – 1963-1981 гг.			Период пониженного стока наносов – 1982-2008 гг.		
	Парная корреляция с модулем стока наносов	Частная корреляция с учетом влияния первого фактора	Частная корреляция с учетом влияния двух факторов	Парная корреляция с модулем стока наносов	Частная корреляция с учетом влияния первого фактора	Частная корреляция с учетом влияния двух факторов
$M_{cp}$	0,11	0,33	0,04	0,34	0,07	0,42
$M_{макс}$	0,47	-0,21	-0,1	<b>0,83</b>		
$П$	0,35	<b>-0,62</b>		0,48	-0,24	<b>-0,59</b>
$L$	<b>0,8</b>			0,58	0,41	-0,30
$S_{бас}$	0,004	0,01	0,08	-0,16	0,33	0,07
$S_{вод}$	-0,31	0,09	-0,08	-0,07	0,46	0,05
$H_{вс}$	0,12	0,49	0,14	0,50	0,24	0,08
$I_{вс}$	0,24	0,03	<b>0,52</b>	0,23	0,30	-0,05
$h_{pd}$	0,6	0,34	0,34	0,55	<b>0,92</b>	
$K_{изв}$	-0,31	0,39	0,48	-0,016	-0,026	0,09
$K_{лес}$	0,07	0,52	0,4	0,22	0,28	-0,01
$K_{распах}$	0,02	-0,34	-0,21	-0,36	0,047	0,03
$K_{забол}$	0,2	0,4	0,04	0,04	0,28	0,02
$F_{расч}/F_{кр}$	<b>2,29/3,13</b>	<b>3,56/3,34</b>	<b>4,75/3,63</b>	<b>2,88/3,13</b>	<b>20,2/3,34</b>	<b>31/3,63</b>

Для периода пониженного стока первым оптимальным предиктором выбран модуль максимального стока. Зависимость стока наносов от максимального стока для рек данного региона находила свое подтверждение и в других работах [9]. Вторым оптимальным предиктором определена глубина речной долины, которая также встречается у различных авторов [2]. Для периода пониженного стока определяющими являются процессы, которые не существенно зависят от наличия водоемов.

При составлении уравнений использовался программный комплекс Statistica, модуль которого “множественная регрессия” строит модель по методу наименьших квадратов и минимизирует остаточные статистики. Уравнение расчета  $M_R$  (т/км<sup>2</sup>\*год) полученное таким способом, для периода повышенного стока наносов имеет вид

$$M^B_R = 2,595 \cdot L - 5,122 \cdot П + 9,18 \cdot I_p + 22,87. \quad (4)$$

Для периода пониженного стока наносов

$$M^H_R = 0,9 \cdot M_{макс} - 0,732 \cdot П + 0,1447 \cdot h_{pd} - 20,27. \quad (5)$$

Уравнение (4) позволяет получить регрессионную часть дисперсии 82 %, а уравнение (5) - 97 %. Уравнения (4) и (5) являются региональными, поэтому их использование справедливо только для выбранной территории в

диапазоне изменения факторов:  $L - 1-48$  (км);  $П - 3-13$ ;  $I_p - 0,9-4,0$  (‰);  $M_{\text{макс}} - 13-80$  (л/с\*км<sup>2</sup>);  $h_{pd} - 23-150$  (м).

Качество полученных уравнений можно оценить из табл. 2.

**Таблица 2. Отклонения предсказанных значений модуля стока наносов от фактических вычисленных по разным регрессионным уравнениям, %**

Река и пост	(1), Н.Н. Бобровицкая [1]	(3), С. А. Антонова [3] *	(2), З.А. Горецкая [2]	Уравнения (4, 5)
<b>Повышенный период стока наносов (1963-1981 гг.).</b>				
р.Гнилая Липа-пгт.Большовцы	53	108	310	6,7
р.Золотая Липа-г.Бережаны	63	2041	463	-1,8
р.Коропец-пгт.Коропец	-222	2477	-10	-0,5
р.Серет – г.Чертков	0,4	-71	310	-30
р.Золотая Липа-г.Бережаны (1973-1981)	22	1862	-681	24
<b>Пониженный период стока наносов (1982-2008 гг.).</b>				
р.Гнилая Липа-пгт.Большовцы	77	427	826	6,1
р.Золотая Липа-г.Бережаны	75	2338	825	16
р.Коропец-пгт.Коропец	-73	5402	105	0,3
р.Серет – г.Чертков	44	-87	694	8
р.Золотая Липа-г.Бережаны (1982-1995)	62	2146	202	18

\* С учетом пересчета среднегодового стока наносов (3) в модуль стока.

За исследуемые периоды, модуль стока наносов на левых притоках верхнего Днестра изменялся от 4 до 104 (т/км<sup>2</sup>×год). Хотя предложенные уравнения в некоторых случаях дают отклонения до 30%, они позволяют более точно рассчитать сток наносов на реках региона (табл.2). Использование нелинейных регрессионных моделей типа (3), усложняет их получение, но не повышает качество и надежность.

**Выводы.** На территории Подольских притоков Днестра русла рек подвергнуты значительным водохозяйственным преобразованиям. В этом случае при расчете количества наносов необходимо учитывать не только физико-географические условия образования стока, но и факторы характеризующие степень антропогенных преобразований бассейна и русла. Региональные регрессионные уравнения для определения стока наносов целесообразно составлять отдельно для периодов пониженного и повышенного стока, поскольку модули стока существенно отличаются. В исследуемых условиях для периода повышенного стока наносов значимое влияние оказывают: расстояние от ближайшего водоема, показатель внутригодовой неравномерности стока и средний уклон реки. В этот период большая часть наносов оседает в водоемах и только по мере удаления от них речной поток вновь увеличивает содержание наносов.

Для периода пониженного стока значимые факторы: модуль максимального расхода, глубина речной долины и показатель внутригодовой неравномерности. Для этого периода определяющими являются процессы которые несущественно зависят от наличия водоемов.

Предложенные уравнения позволяют более точно и достаточно надежно рассчитать сток взвешенных наносов на рассматриваемой территории.

### Список литературы

1. Бобровицкая Н.Н. Зависимость среднего многолетнего стока взвешенных наносов рек Европейской территории СССР от физико-географических факторов / Н.Н. Бобровицкая // Тр. ГГИ. – 1972. – Вып. 191. – С.68-84. 2. Горецкая З.А. Сток взвешенных наносов рек Украины и способы его расчета: дис. ... канд. геогр. наук / З. А. Горецкая. – К., 1974. – 149 с. 3. Антонова С.А. Условия формирования и расчет стока взвешенных наносов рек (на примере Украины): дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук / С.А. Антонова ; ОГМИ. – Одесса, 1984. – 242 с. 4. Яцик А.В. Водогосподарська екологія : [у 4 т., 7 кн.] / А.В.Яцик. – К. : Генеза, 2004. – Т.2, кн. 3-4. – 384 с. 5. Швебс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии) / Г.И. Швебс. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 180 с. 6. Паламарчук М.М. Водний фонд України: довідковий посібник / М.М. Паламарчук, Н.Б. Закорчевна. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 392 с. 7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 884 с. 8. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах/ Н.С. Лобода. – Одеса : Екологія, 2010. – 184 с. 9. Мельник С.В. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Подолії / С.В. Мельник, Н.С. Лобода // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т 17. – С.55-62.

#### **Расчет стока взвешенных наносов на подольских притоках Днестра Мельник С.В.**

*Получены региональные регрессионные уравнения для определения стока наносов, которые составлялись отдельно для периодов пониженного и повышенного стока. Определяющими в период повышенного стока являются процессы оседания части наносов в водоемах и восстановления транспортирующей способности потока за водоемом. Для периода пониженного стока определяющими являются процессы образования и движения наносов, которые не существенно зависят от наличия водоемов. Предложенные уравнения позволяют достаточно надежно рассчитать сток взвешенных наносов на рассматриваемой территории.*

**Ключевые слова:** сток наносов; влияющие факторы; регрессионные уравнения.

#### **Розрахунок стоку зважених наносів на подільських притоках Дністра Мельник С.В.**

*Отримані регіональні регресійні рівняння для визначення стоку наносів які склалися окремо для періодів зниженого й підвищеного стоку. Визначальними в період підвищеного стоку є процеси осідання частини наносів у водоймах і відновлення транспортуючої здатності потоку за водоймою. Для періоду зниженого стоку визначальними є процеси утворення й руху наносів, які не суттєво залежать від наявності водойм. Запропоновані рівняння дозволяють досить надійно розрахувати стік зважених наносів на розглянутій території.*

**Ключові слова:** стік наносів; фактори, що впливають; регресійні рівняння.

#### **Calculation of the sediment yields on Podolsk inflows of Dnestr Melnyk S.V.**

*Are gained regional regression the equations for definition of a sediment yields which were made separately for phases of the downgraded and raised runoff. In the raised runoff processes of subsidence of a part of sediment yields in ponds and recoveries of carrying ability of a stream behind a pond are defining. For phase of the downgraded runoff processes of*



*formation and driving of sediment yields which not essentially depend on presence of ponds are defining. The offered equations allow counting reliably enough a sediment yields load in observed territory.*

**Keywords:** *sediment yields; significant factors; regression equations.*

*Надійшла до редколегії 12.10.2011*

УДК 556.06+556.048

**Дутко В.О., Сосєдко М.М.**

*Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ*

## **ІЗ ДОСВІДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОЩОВОГО СТОКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОРОГРАФІЇ МІСЦЕВОСТІ**

**Ключові слова:** *дощовий стік, математична модель; ідентифікація параметрів; оптимізація параметрів*

**Актуальність питання.** Зростання потреб до якості гідрологічних розрахунків і прогнозів стимулює розвиток досліджень по математичному моделюванню процесів формування стоку [6].

Математична модель в науках про Землю – наближений опис природних явищ та процесів за допомогою математичних правил та математичної символіки. Математичне моделювання – це спосіб дослідження об’єктів, явищ та процесів заснований на використанні математичних моделей.

На сучасному етапі розвитку гідрології дослідження гідрологічних об’єктів, явищ та процесів в дійсності ефективно тільки у межах методології математичного моделювання. При цьому для успішного моделювання необхідно добре знати сам об’єкт моделювання – процеси формування стоку.

**Попередні дослідження.** Найпростіша теоретична схема (модель) формування схилового стоку була розроблена М.А. Велікановим в 30-х роках минулого століття. На її основі була встановлена генетична формула стоку, яка використовується в області гідрологічних розрахунків і прогнозів до сьогоднішнього часу. Однак математичне моделювання в широкому сенсі цього поняття стало розвиватися лише в 60-х роках. Головним чином цьому сприяв накопичений гідрологією значний фактичний матеріал. Поступово здійснюється перехід від опису окремих процесів стокоутворення до створення замкнених моделей, які описують весь цикл формування стоку від надходження води на водозбір до проходження стоку в замикальному створі. Найбільш детальна схема розрахунку гідрографа стоку показана в роботах А.Н. Бефані, однак вона допускає широкі межі зміни параметрів.

Найбільш відомою моделлю формування дощового стоку являється Стенфордська модель, побудована в 1962 р. Н.Г. Крауфордом і Р.К. Лінслеєм

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)*