

С. В. Мельник, к.т.н.

Одесский национальный политехнический университет

СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА КАРПАТСКИХ ПРИТОКАХ ДНЕСТРА

Восстановлены ряды среднемесячных и среднегодовых расходов взвешенных наносов на притоках Днестра, стекающих с Карпатской возвышенности. На основе статистической обработки рядов наблюдений получены две зависимости. Первая позволяет определять среднемноголетний расход взвешенных наносов на реках, где не велись наблюдения за стоком наносов, но имеются наблюдения за расходом воды. Вторая, на основе расчета порядка реки по системе А.Е. Шайдеггера, позволяет определять среднемноголетний расход взвешенных наносов на неизученных реках, где не велись никакие наблюдения.

Ключевые слова: *притоки Днестра, расход взвешенных наносов, уравнения регрессии, система А.Е. Шайдеггера.*

Введение. При проектировании и эксплуатации водохозяйственных и гидротехнических сооружений, систем водоснабжения, а также при разработке мероприятий по борьбе с наводнениями необходимо иметь достоверные сведения многолетних наблюдений по твердому стоку основных рек региона. Эти данные содержатся в «ресурсах поверхностных вод СССР» и гидрологических ежегодниках государственных водных кадастров СССР и Украины [1, 2]. Но в этих источниках иногда отсутствуют данные за один или два месяца наблюдений в какой-то год, а соответственно и среднее значение за год. Из-за этого прерывается ряд наблюдений, и колоссальный объем работ теряет свою значимость. Кроме того, в пределах одного региона существует большое количество рек, на которых либо вообще нет гидрометрических постов либо ведутся наблюдения только за расходом воды. Однако эти реки приносят в главный водоток большое количество взвешенных наносов. Количество этих наносов необходимо определять, хотя бы приблизительно для оценки сроков заиления водохранилищ. Поэтому целью настоящей работы является восстановление рядов взвешенного стока у правых притоков Днестра и создание методики определения взвешенного стока на притоках Днестра, стекающих с Карпат.

Сведений о режиме стока наносов значительно меньше, чем о стоке воды, как по количеству створов, так и по продолжительности наблюдений. В результате при решении различных практических задач очень часто прибегают к косвенным методам расчета характеристик твердого стока. В этом случае широко используется метод гидрологической аналогии и картирования.

Наиболее обширные и детальные исследования условий и общих закономерностей формирования стока взвешенных наносов проводились в 50-70 годы. К работам того периода относятся монографии Г.Н. Хмаладзе для различных регионов, например [3], и Ю.Н. Иванова [4] для бассейна Сыр-Дарьи. В этих работах рассмотрен комплекс вопросов связанных с условиями формирования стока взвешенных наносов, даны практические рекомендации по его расчетам. Приведено много результирующего материала, характеризующего величину и изменчивость расходов взвешенных наносов, внутригодовое распределение и гранулометрический состав наносов.

Вопросу формирования стока наносов рек Украины посвящены многолетние исследования Н.И. Дрозда. Он же первый предложил формулу для расчета среднегодовой мутности при отсутствии наблюдений. Позднее появились работы

Г.И. Швевса, Г.Н. Кубышкина и других авторов. Во всех этих работах не рассматривались взвешенные наносы конкретно на притоках Днестра, а давались обобщенные выводы по территории Украины.

Изучению твердого стока притоков Днестра посвящены работы С.Г. Кочубея [5]. В его работах, как и в работах Г.Н. Хмаладзе и Ю.Н. Иванова предлагается восстанавливать значения взвешенных наносов с помощью степенной зависимости $R = a \cdot Q^n$, где R - расход взвешенных наносов, Q - расход воды, a - традиционно называют коэффициентом размываемости. По данным С.Г. Кочубея значения коэффициента a изменяются от 0,03 до 0,5 и зависят от района водосбора реки. По результатам его районирования правый бассейн Днестра состоит из 5 зон. При переходе между которыми меняется только коэффициент a , а показатель степени остается постоянным и равным 1,06. Хотя по данным Г.Н. Хмаладзе показатель степени может меняться от 0,46 до 2,36. Кроме того, для расчета расхода взвешенных наносов по зависимости $R = a \cdot Q^n$ необходимо знать среднегодовые расходы воды, которые зачастую отсутствуют даже для крупных рек. Кроме того, во всех этих работах авторы использовали данные очень короткого ряда наблюдений, от 6 до 12 лет, на основе которых нельзя сделать достоверные статистические анализы и выводы. Уже после публикации этих работ была издан СНиП 2.01.14-83 [6], в котором установлены основные требования к расчету гидрологических характеристик и все выводы, сделанные указанными авторами требуют пересмотра и уточнений.

С другой стороны имеется ряд работ, в которых происходят поиски определенной связи морфологических параметров водотока с рядом его основных показателей. В частности Б.В. Киндюку и Е.В. Средницкой [7] удается установить корреляционные зависимости длин рек, среднегодовых расходов от различных численных критериев. В этом случае логично предположить о наличии связи расхода наносов от критериев идентификации речных систем.

Таким образом, имеющиеся методики расчета стока наносов требуют модификаций и уточнений на основе новых рядов наблюдений.

Материалы и методы исследования. Важной особенностью Днестра является большой сток наносов, которые транспортирует река. В первую очередь это обусловлено горным характером питания. Верхние правые притоки Днестра – Стрый, Свича, Ломница, Быстрица и др. – берут начало на северо-восточных склонах Карпат, где находится основная область питания этих рек наносами. По выходе из гор реки вступают в полосу предгорий и низменностей, сложенных с поверхности песчано-известняковыми отложениями являются элювиально-делювиальные, сформировавшиеся из местных коренных пород. Транзитные наносы горных рек частично в этой зоне аккумулируются, местные же водотоки обладают небольшой транспортирующей способностью, потому мутность водотоков здесь ниже, чем в прилегающих горных районах. Горные реки юго-восточных склонов Карпат, несмотря на бурный паводочный режим переносят относительно мало взвешенных наносов. Местами этому препятствует значительная облесенность склонов речных долин и недостаток в продуктах водной эрозии.

Днестр относится к числу тех рек, сток которых изучен достаточно хорошо. Регулярные наблюдения за уровнем реки начались еще в 1850 году. В разное время на самой речке функционировало около 30 постов наблюдений. Общее их количество более 100. Некоторые данные отсутствуют (за 30-40 е годы), когда бассейн Днестра частично принадлежал другим государствам и период военных действий.

Для рек стекающих с Карпатских склонов был отобран ряд постов, по которым имелся наиболее продолжительный период наблюдений за стоком взвешенных наносов [1, 2]. Более подробные данные в табл. 1.

Таблица 1 – Изученность стока взвешенных наносов на Карпатских притоках Днестра

Река	Пункт	Период наблюдений за твердым стоком *	Месяц и год, за который отсутствуют значения твердого стока *
Быстрица	Озимина	1958-2003	январь, август 1959; август 1966; июнь 1969; октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
Быстрица-Надворнянская	Пасечна	1968-2003	ноябрь 1973; май 1980.
Головчанка	Тухля	1965-2003	январь, февраль, март 1965; июль 1971; октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
Ломница	Перевозец	1962-2003	все есть
Лужанка	Гошев	1966-2003	июнь 1966; май, июнь 1969; декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
Опор	Сколе	1960-2003	январь, февраль 1960; июнь, июль 1969; май 1971; январь 1972; август-декабрь 1991; январь - апрель 1992.
Орава	Святослав	1976-2003	октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь-июль 1992.
Свича	Заречное	1964-2003	январь, февраль 1964; январь, февраль 1965.
Славска	Славское	1964-1977	январь, февраль 1964; весь 1968; январь-май 1969; весь 1972.
Стрый	Матков	1964-1977	февраль 1964; Январь, февраль, ноябрь, декабрь 1965; ноябрь 1966; январь-февраль 1967; август 1969; 1971; январь, февраль, ноябрь 1974; август 1975.
Стрый	Завадовка	1962-2003	август-декабрь 1991; январь-май 1992.
Стрый	Верхнее-Синевидное	1963-2003	октябрь-декабрь 1991; январь-апрель 1992.
Сукель	Тисов	1966-2003	ноябрь 1966; октябрь- декабрь 1991; январь- апрель 1992.

*Поскольку в [1, 2] указывается на отсутствие данных по влекомым наносам, то приведенные данные по твердому стоку практически соответствуют расходу взвешенных наносов.

Для восстановления пропущенных значений взвешенного стока использовался метод прямой линии связи рек аналогов. Более подробно рассмотрим на примере р. Стрый пост Матков. Схема расположения постов, которые имелись в разные годы в бассейне реки, показана на рис.1.



Рис. 1. Пункты наблюдений в бассейне р.Стрый

Одному из главных требований СНИПа «возможная географическую близость водосборов» отвечают два пункта. Сравнительные характеристики и коэффициенты корреляции (r) их расходов взвешенных наносов с расходом взвешенных наносов в п. Матков, приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Река	Пункт	Раст. до Маткова (км)	Площадь водосбора (км ²)	Средняя высота (м)	Средний уклон (‰)	r
Стрый	Матков		106	860	15,3	
Стрый	Завадовка	28	840	800	6	0,73
Головчанка	Тухля	25	130	810	21	0,75

Хотя оба пункта отвечают требованиям реки-аналога, но наиболее удачно подходит (по площади, коэффициенту корреляции) п.Тухля на р.Головчанка. Для восстановления среднемесячных расходов взвешенных наносов, значения которых отсутствуют в литературе (см. табл.1), построим график прямой линии связи (рис.2). Уравнение регрессии имеет вид $R_M = 0,337 \cdot R_T + 0,0892$, где R_M и R_T - расход взвешенных наносов соответственно на

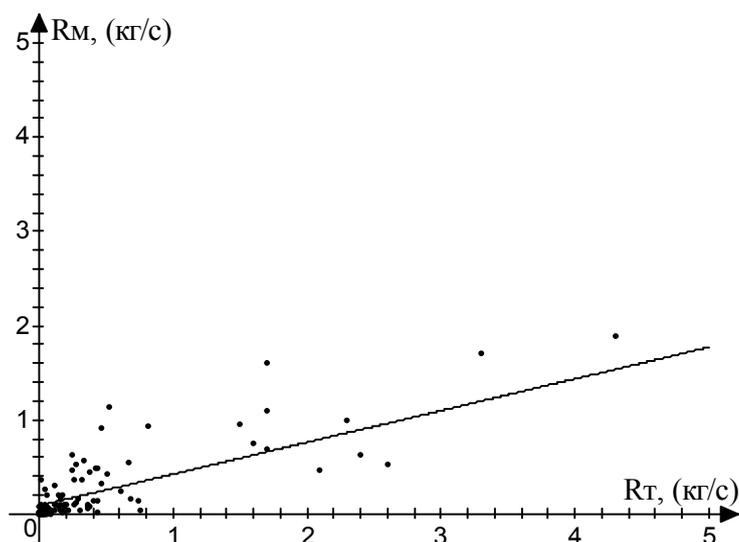


Рис. 2. Связь расходов взвешенных наносов на р.Головчанка (Тухля) и на р.Стрый (Матков).

р.Стрый (Матков) и на р.Головчанка (Тухля). Отношения коэффициентов регрессии к их среднеквадратической ошибке равны соответственно 8,14 и 2,42, что также удовлетворяет требованиям СНИПа.

Результаты исследования и их анализ. Восстанавливаем, с помощью уравнений регрессии, пропущенные значения за отдельные месяцы. За счет того, что восстановлены только некоторые члены годового ряда, удается добиться максимальной достоверности при получении среднегодовых значений. Восстановленные среднегодовые значения приведены в табл.3.

Таблица 3 – Значения восстановленных среднегодовых расходов взвешенных наносов

Река, пункт	Год	Восстановленные среднегодовые значения R, (кг/с)	Река, пункт	Год	Восстановленные среднегодовые значения R, (кг/с)		
Быстрица, Озимина	1959	0,186	Свича, Заречное	1964 1965	1,51 4,49		
	1966	0,512					
	1969	1,514					
	1991	0,624					
	1992	0,295					
Быстрица- Надворнянская, Пасечна	1973 1980	1,20 1,84	Славска, Славское	1964	0,14		
				1968	0,12		
				1969 1972	0,15 0,12		
Головчанка, Тухля	1965 1971 1991 1992	0,321 0,627 0,541 0,763	Стрый, Матков	1964	0,238		
				1965	0,178		
				1966	0,211		
				1967	0,188		
				1969	0,215		
				1971	0,30		
				1974 1975	0,39 0,177		
Лужанка, Гошев	1966 1969 1991 1992	0,212 0,909 0,902 0,214	Стрый, Завадовка	1991	2,0		
				1992	3,2		
Опор, Сколе	1960 1969 1971 1972 1991 1992	1,02 2,31 1,13 1,08 2,38 1,86	Стрый, Верхнее- Синевидное	1991 1992	9,03 10,3		
Орава, Святослав	1991 1992	0,291 0,314	Сукель, Тисов	1966	0,12		
				1991 1992	5,14 0,38		

Непрерывные ряды наблюдений для р.Быстрица и р.Опор представлены на рис. 3. На обоих графиках явно выделяются пики 1998 г. Расход взвешенных наносов на р.Быстрица в том году был наибольшим за весь период наблюдений.

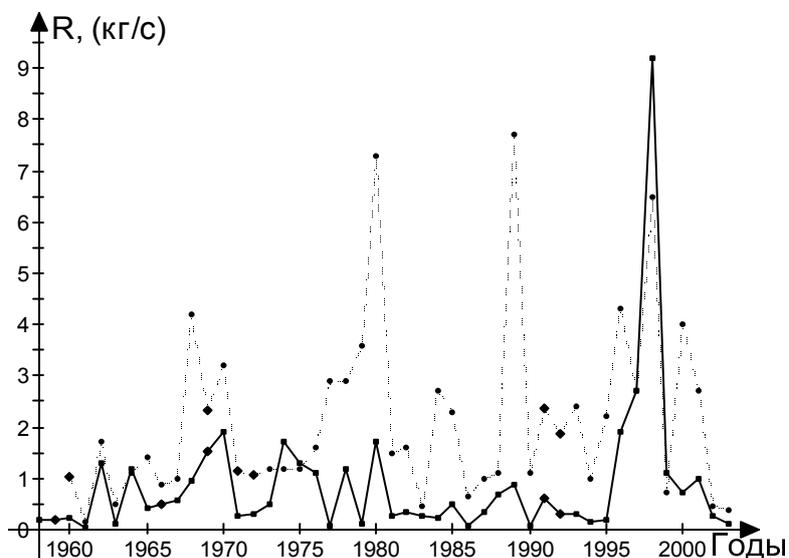


Рис. 3 Изменение среднегодового расхода взвешенных наносов — на р.Быстрица (Озимина), - - - - на р. Опор (Сколе).

Вторым этапом данной работы является задача систематизировать данные по стоку наносов для получения расчетных зависимостей.

Первый вариант — когда имеется достаточно длинный ряд расходов воды, но полностью отсутствуют данные по стоку наносов. Такие наблюдения проводились на р. Быстрица-Солотвинская в районе с. Гута, на р. Луква (Боднар), на р.Тысьменица (Дрогобыч) и Чечва (Спас).

Для определения среднемноголетнего расхода наносов на этих реках обобщим данные по рекам, где имелись сведения о расходах воды и взвешенных наносов (табл.4). Коэффициент корреляции между этими величинами 0,96. Уравнение регрессии в общем виде $R = 0.22 \cdot Q - 0.38$. Коэффициент 0,38 не является статистически значимым, поэтому в окончательном виде уравнение приобретает вид $R = 0.22 \cdot Q$. (1) График такой зависимости представлен на рис. 4. С помощью этого графика или уравнения регрессии можно определять среднемноголетнее значение стока взвешенных наносов. Так, например среднемноголетнее значение расхода воды (с 1956 по 2003 гг.) на р. Чечва (Спас) составляет $4,95 \text{ м}^3/\text{с}$ подставив это значение в уравнение регрессии получаем среднемноголетнее значение стока взвешенных наносов $1,08 \text{ кг/с}$.

Второй вариант — когда на реках вообще не велось регулярных наблюдений, но есть необходимость в расчетах стока наносов. Поскольку все выбранные водотоки относятся к территории Карпатской возвышенности, то предположим, что они находятся в одинаковых климатических условиях с равным количеством осадков выпадающих на их водосбор. Тогда удельные показатели стока наносов будут зависеть от морфологической структуры водосбора. Для количественной оценки строения исследуемых водотоков приве-

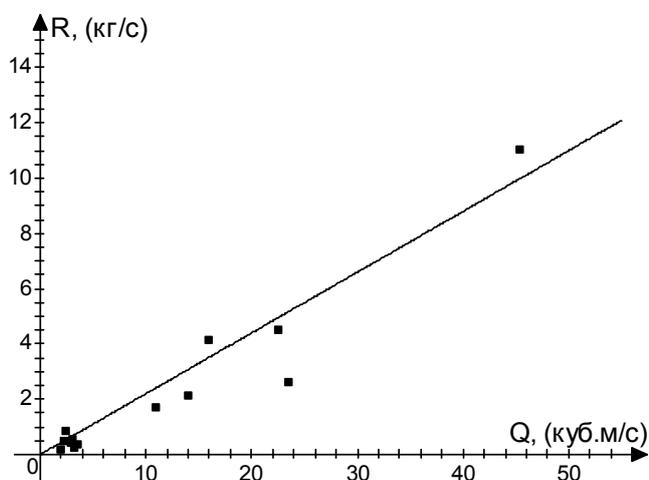


Рис. 4 Зависимость стока взвешенных наносов от расхода воды на Карпатских притоках Днестра

дены результаты бонитировки выполненной по схеме Р. Е. Хортон и А.Е. Шайдеггера [8]. Эти и другие характеристики, выбранных водотоков, приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Основные характеристики исследуемых водотоков

Река	Пункт	Q, м ³ /с	R, кг/с	Порядок Хортону	Порядок по Шайдеггеру	Мутность, г/м ³	Уклон, ‰
Быстрица	Озимица	2,44	0,862	5	6,033	353,3	9,1
Быстрица- Надворн	Пасечна	10,88	1,69	5	6,801	155,3	19,5
Головчанка	Тухля	2,93	0,416	4	4,858	141,9	21,1
Ломница	Перевозец	23,5	2,6	5	7,160	110,6	10,6
Лужанка	Гошев	2,33	0,471	4	4,322	202,1	26,7
Опор	Сколе	14	2,121	6	7,409	151,5	13,8
Орава	Святослав	3,6	0,363	5	5,807	100,8	15,2
Свича	Заречное	22,5	4,51	5	8,06	200,4	10,2
Славска	Славское	1,88	0,16	4	4,087	85,7	38,1
Стрый	Верхн.- Синев.	45,4	11,04	6	8,945	243,2	4,7
Стрый	Завадовка	15,86	4,17	5	6,614	262,9	6
Стрый	Матков	3,137	0,234	5	5,189	74,6	15,3
Сукель	Тисов	3,01	0,55	4	5,443	182,7	26

Наиболее устойчивая зависимость выбиралась на основании расчетов коэффициентов корреляции между показателями стока наносов (расход, мутность, модуль) и характеристиками структуры водотока (порядок по Хортону, порядок по Шайдеггеру, уклон бассейна средний).

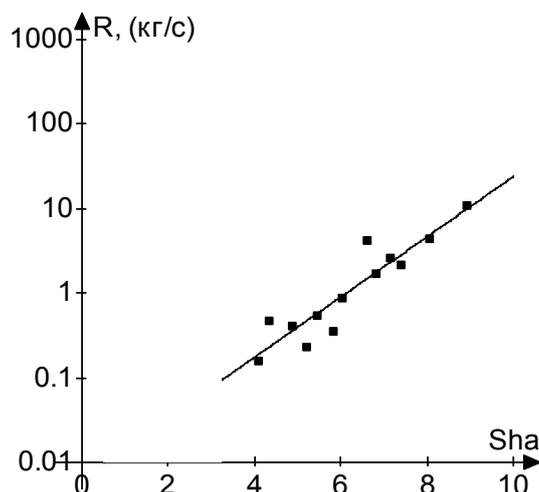


Рис. 5. Расход наносов от порядка водотока по Шайдеггеру

Sha - порядок по Шайдеггеру. В полулогарифмических координатах график этой зависимости представлен на рис. 5.

Выводы. Восстановленные значения среднемесячных и среднегодовых расходов взвешенных наносов ряда притоков Днестра, которые отсутствуют в гидрологических ежегодниках, позволяют получить непрерывный ряд наблюдений. С помощью

Наилучшие показатели дала пара: расход взвешенных наносов – порядок реки по Шайдеггеру. Сочетания расхода взвешенных наносов с другими показателями из табл. 4, давали коэффициенты корреляции от 0,64 до 0,72. Уравнение регрессии, для выбранной пары, имеет экспоненциальный вид с коэффициентом множественной корреляции 0,93.

Само уравнение $R = 0.00657 \cdot e^{0.8203 \cdot Sha}$, (2) где

зависимости (1), на Карпатских притоках Днестра, можно определять, среднемноголетние расходы взвешенных наносов в зависимости от расхода воды в реке. Функциональная зависимость (2) или график рис. 5, позволяют определять среднемноголетние расходы наносов взвешенных частиц на неизученных Карпатских притоках Днестра в зависимости от порядка реки по Шайдеггеру. Полученные результаты представляют несомненный интерес при расчете заиления водохранилищ и эксплуатации водохозяйственных объектов, находящихся в пределах зоны исследования.

Список литературы

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Т.6, вып. 1. Западная Украина и Молдавия. – Л.: Гидрометеиздат, 1970-1980.
2. *Государственный водный кадастр*. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии природной среды. Обнинск ВНИИГМИ-МНД-1981-1991.
3. *Хмаладзе Г.Н.* Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 168 с.
4. *Иванов Ю.Н.* Сток взвешенных наносов рек бассейна Сыр-Дарья. //Труды Среднеазиатского НИГМИ. Вып 36(51). – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 310 с.
5. *Кочубей С.Г.* Исследование формирования твердого стока рек украинских Карпат // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. - К., 1971. – 20 с.
6. *Определение расчетных гидрологических характеристик*. СНИП 2.01.14-83. Москва 1985. – 47 с.
7. *Кіндюк Б.В., Средницька Є.В.* Методи ідентифікації річкових систем на прикладі р. Збруч//Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія. – 2005. - №2. – С. 247-252.
8. *Шайдеггер А.Е.* Теоретическая геоморфология. – М.:Прогресс, 1964. – 450 с.

Стік зважених наносів на карпатських притоках Дністра. Мельник С.В.

Відновлено ряди середньомісячних і середньорічних витрат зважених наносів на притоках Дністра що стікають з Карпатської височини. На основі статистичної обробки рядів спостережень отримані дві залежності. Перша дозволяє визначати середньобагаторічну витрату зважених наносів на ріках, де не велися спостереження за стоком наносів, але є спостереження за витратою води. Друга, на основі розрахунку порядку по системі А.Є. Шайдегера, дозволяє визначати середньобагаторічну витрату зважених наносів на невивчених ріках, де не велось ніяких спостережень.

Ключові слова: притоки Дністра, витрата зважених наносів, рівняння регресії, система А.Є. Шайдегера.

Drain of the weighed deposits in carpathians inflows of Dnestr. S. Melnyk

Lines of averages for a month and averages for a year of charges of the weighed deposits on the inflows of Dnestr which are flowing down with a height of Carpathias are restored. On the basis of statistical processing lines of supervision two dependences are received. The first allows determining average for many years the charge of the weighed deposits on the rivers where supervision over a drain of deposits were not ordered, but there are supervision over the charge of water. The second, on the basis of calculation of the order of the river on system of A. Shaydegger, allows to determine average for many years the charge of the weighed deposits on not investigated rivers where no supervision were ordered.

Keywords: inflows of Dnestr, the charge of the weighed deposits, the equations of regress, system of A. Shaydegger.