

## ВЕЛИЧИНА ТА ДИНАМІКА СУМАРНОГО СТОКУ НАНОСІВ У РІЗНОПОРЯДКОВИХ РІЧКОВИХ СИСТЕМАХ БАСЕЙНУ р. БОРЖАВА

**Ярослав Хомин**

Львівський національний університет імені Івана Франка

Продукти схилової денудації потрапляють у річкову мережу, перемішуються із продуктами руслового розмиву і відповідно до законів гідравліки потоків у вигляді твердого стоку переносяться у місцеві бази денудації. Твердим стоком наносів вважають сумарний стік зважених наносів і наносів, що перекочуються, а також стік розчинених речовин. Отож величина стоку може слугувати тим кількісним показником, за яким можна оцінювати відносну інтенсивність сучасних ерозійно-денудаційних процесів у річкових басейнах.

Відомо (Р. С. Чалов та інші 2004; М. І. Маккавєєв, 1998), що ступінь і інтенсивність прояву процесів сучасного рельєфотворення змінюється залежно від розміру басейнів, морфогенетичних і літологічних особливостей, а також пересікання ними різних висотних зон. Отож для вивчення просторово-часової мінливості твердого стоку обрано чотири різнопорядкових (за Штраллером-Філософовим) річкових басейни, розташованих у різних структурно-фаціальних зонах і з різним ступенем антропогенної трансформації (табл. 1).

Таблиця 1

Основні характеристики річкових басейнів

ГС	Басейн ріки	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Порядок ріки	Лісистість, %	Падіння ріки, м/км	Втрати води, л/сек	Модуль стоку, л/сек з км <sup>2</sup>
1	п.Безіменний	0,07	I	100	340	0,6	9,6
2	Р.Тросна	4,06	II	78	64	47,8	11,8
3	Р.Свинка	17,6	III	70	49	167,0	9,5
4	Р.Боржава	408,0	IV	67	29	4651,2	11,4

Під час досліджень проводились спостереження за кількістю і інтенсивністю опадів, а також режимні польові спостереження за висотою снігового покриву. На обладнаних гідрологічними приладами типу "Валдай" *гідростворах* (ГС) щоденно вимірювались і розраховувались усі гідрологічні характеристики стоку (швидкість течії, рівень і витрати води), а також здійснювався систематичний відбір проб на каламутність і хімічний аналіз води. Під час окремих зливових дощів і під час весняного сніготанення такі вимірювання виконувались інтервалом 10-15 хвилин, що дало змогу простежити часові зміни ходу витрат води і каламутності залежно від кількості,

тривалості й інтенсивності опадів і весняного сніготанення. Дослідження в гірських районах, а також результати наших спостережень засвідчують, що визначення величини стоку наносів, що перекочуються, із використанням батометрів дає значні похибки. Тому облік стоку цього виду наносів здійснювали за визначенням переміщення маркованих валунів та гальки, а також за визначенням об'єму акумульованого матеріалу у лотках-вловлювачах.

У геологічному відношенні досліджувані водозбори розміщені в зоні вулканогенного комплексу Вулканічних Карпат (ГС-1, 2, 3) і частково флішових відрогів Полонинського хребта (ГС-4) із різною потужністю четвертинних відкладів.

Як засвідчують результати дослідження, протягом року стік наносів збільшується з початком сніготанення, коли талі води інтенсивно змивають продукти вивітрювання, а також в осінні місяці, коли зменшується ґрунтозахисна роль рослинного покриву. Зокрема, під час сніготанення 1982 р. модуль стоку зважених наносів на ГС-2 становив 131 т/км<sup>2</sup>, або ж 53,5% від річної кількості (табл. 2).

Таблиця 2

Доля весняного стоку (%) у річному стоці зважених наносів

ГС	Р о к и				
	1981 <sup>■</sup>	1982	1983	1984	1985
ГС-1	-	31.0	39.3	7.5	29.2
ГС-2	-	53.5	55.0	4.3	26.3
ГС-3	-	25.5	44.9	4.2	28.6
ГС-4	-	44.9	23.6	3.6	24.7

<sup>■</sup>У 1981 році спостереження розпочато у червні місяці.

Мінливість стоку зважених наносів під час весняного сніготанення пояснюють передусім потужністю снігового покриву перед початком сніготанення та інтенсивністю власне сніготанення. Окрім того, при загальному аналізі результатів простежується закономірність збільшення мінливості весняного стоку зі збільшенням площі водозбору басейну і величини його вертикального розчленування, що пояснюють різкою зміною інтенсивності сніготанення на схилах з різною експозицією.

Найбільшою різноманітністю характеризується літній стік зважених наносів. Він у прямій залежності від кліматичного фактору, а головним чином, від опадів (їх кількості, інтенсивності, тривалості). Доволі зручним показником, що враховує основні показники стокоформуючих дощів є ерозійний індекс опадів, кий враховує їх кінетичну енергію за певний період їхнього випадання, запропонований Н.П. Тарабріним (Н.П.Тарабрин, 1976).

За весь період спостережень найвищий модуль твердого стоку на всіх гідропостах зафіксовано у серпні 1982 року. Місячна кількість опадів тоді становила 244,3 мм, а ЕІО - 53,2. Навіть за однакової кількості опадів за зливу,

проте за вищого ЕЮ інтенсивність змиву на водозборах, а, отже, і модуль стоку зважених наносів різко зростає. Під час зливових дощів у вересні 1981 року і червні 1982 року із кількістю опадів 106,7 мм та 110,1 мм (ЕЮ - 9,4 і 12,2) модуль стоку зважених наносів збільшився, відповідно, на ГС-2 з 8,0 до 11,4 т/км<sup>2</sup>, на ГС-3 з 7,9 до 15,7 т/км<sup>2</sup>. Аналогічні результати часової диференціації отримано і для процесів площинної ерозії, що підтверджує можливість використання показника модуля стоку зважених наносів як базового для відносної оцінки розвитку ерозійно-денудаційних процесів у басейнах. Середньорічна варіація модуля змиву за час спостережень коливається в межах 32% (ГС-4) - 84% (ГС-1), тобто зменшується зі збільшенням площі басейну.

За досліджуваний період шар змиву в басейнах, визначений за стоком зважених наносів, найменший на ГС-1 0,006 мм/рік (1981), а найбільший на ГС-2 - 0,159 мм/рік (1985). За підрахунками стік зважених наносів у весняно-осінній період становить 70-75% річного, водночас витрати води 62-65%. У загальному характері річного розподілу стоку зважених наносів встановлено такі закономірності: формування головного стоку зважених наносів починається в березні, а різке зменшення простежується у літній період з деякими підвищеними значеннями в літній період під час окремих зливових дощів із високим коефіцієнтом ЕЮ. Восени значний місячний стік зважених наносів простежується зрідка.

У територіальному відношенні максимальні значення модуля стоку зважених наносів характерні для басейнів рік II - III порядків. Стік і змив в басейнах I порядку в значній мірі визначається їх літологічними особливостями і характером ґрунтово-рослинного покриву. В басейнах рік IV порядку і вище спостерігається деяке відносне зменшення модуля стоку зважених наносів за рахунок зменшення енергії водних потоків і акумуляції матеріалу. Фізико-механічний аналіз одночасних проб зважених наносів, відібраних під час окремих паводків на всіх досліджуваних ГС, показав закономірне зменшення долі піщаної фракції у водотоці при збільшенні порядку басейну. Якщо під час зливи 28.07.1981 р. доля піщаної фракції на ГС-2 складала 64,5%, на ГС-3 - 51,4%, то на ГС-4 всього лише 27,5% від загальної кількості зважених наносів. Тобто, більше половини матеріалу акумулюється в руслах більш крупних водотоків. Тому, найбільший розмив характерний для зони контакту не руслових і тимчасових водотоків із постійними водотоками вищих порядків. Збільшення водотоків I порядку в басейнах рік III і IV порядку сприяє збільшенню енергії води в основному водотоці і тим самим зростанню його ерозійної здатності.

Окрім дослідження стоку зважених наносів, систематично здійснювали спостереження за стоком наносів, що перекочуються. Головний стік цих наносів формується під час паводків. Отже, як засвідчили наші дослідження, чітко визначити у цей час витрати наносів, що перекочуються, існуючими сьогодні приладами практично неможливо. Тому на практиці доволі часто використовують емпіричні залежності між витратами води, стоком зважених

наносів і наносів, що перекочуються (О. В. Караушев, 1977; С. Г. Кочубей, 1971; К. М. Лісіцина, 1972). Однак порівняльний аналіз результатів, отриманих за розрахунковими формулами згаданих авторів і даних натурних спостережень, засвідчив значні відхилення (від 40 до 90%). За результатами наших досліджень можна стверджувати, що найдостовірнішою є методика розрахунку стоку наносів, що перекочуються, за зміною співвідношення стоку зважених наносів (R) і наносів, що перекочуються (P), від верхів'я до гирла. Якщо у верхів'ях гідрографічної мережі воно приблизно становить 1, то уже в середній частині водозаборів IV і вище порядків понижується до 0,8. Певний вплив на таке співвідношення мають зливові дощі, зокрема - величина ЕЮ. Дослідженнями встановлено, що розрахунки за цією методикою найдостовірніші у випадку зливових опадів з ЕЮ, що дорівнює 2 і вище, а також під час інтенсивного сніготанення. За менших значень ЕЮ стік наносів, що перекочуються, або відсутній, або ж його частка у загальному виносі твердого матеріалу незначна. Із використанням наведеної методики здійснено розрахунок середньорічних витрат наносів, що перекочуються (табл.5.11), на усіх досліджуваних гідростворах. Результати засвідчують, що частка наносів, що перекочуються, у середньорічному виносі твердого матеріалу коливається від 6,6% (ГС-1, 1983 р.) до 57% (ГС-3, 1983р.), а у середньомісячному - до 85% і тісно корелює із сумою опадів та величиною ЕЮ.

Одним із важливих компонентів сумарного стоку є хімічний стік, у якому О. А. Алексін та Л. В. Бражніков (1964) розрізняють стік колоїдів і стік розчинених речовин, а стік розчинених речовин поділяють на стік органічних і мінеральних речовин. Останній складається зі стоку головних іонів, мікроелементів і біогенних елементів. За їхніми дослідженнями частка різних складових у загальному хімічному стоці є такою: іонний стік - 79%; органічні речовини - 16%; мінеральні колоїди - 4%; мікроелементи - 1%. Тому стік розчинених речовин ми ототожнюватимемо з іонним стоком. Мінералізація річкових вод досліджуваного регіону відносно невисока - від 93,9 до 450,6 мг/л (табл. 3). Зв'язок між витратами води та її мінералізацією доволі складний і залежить від багатьох чинників.

Тому на основі численних даних по мінералізації (понад 150 проб для різних сезонів) і витрат води розраховано середньомісячний і середньорічний хімічний стік для досліджуваних ГС (табл.3). Результати засвідчують, що варіація показників стоку розчинених речовин є доволі високою і насамперед залежить від витрат води. Мінімальні показники стоку хімічних елементів співпадають із мінімальними витратами води, хоча мінералізація в цей час є доволі високою. Максимальний хімічний стік спостерігається у весняні місяці і під час паводків, коли, окрім значних витрат води, його збагачення проходить із верхнього шару ґрунтових горизонтів. Зазначено, що зі зменшенням абсолютної висоти басейнів загальна мінералізація знижується. Тому більшу потенціальну можливість для виносу розчинених речовин мають водотоки низьких порядків, оскільки вони безпосередньо беруть участь у руйнуванні гірських порід (ГС-1).

Таблиця 3

Мінералізація, витрати води та мутність стоку

ГС	Дата	Опади, мм	Мутність, кг/м <sup>3</sup>	Мінералізація, мг/л	Витрати води, м <sup>3</sup> /сек	-Витрати зважених наносів, (R) кг/сек	Витрати розчинених речовин, (S) кг/сек	S:R
1	17.03 1982	Сніго-танення	0,10	350,6	0,030	0,003	0,0105	1:3,5
2			0,15	332,9	2,15	0,323	0,716	1:2,2
3			0,20	244,8	4,95	0,99	1,212	1:1,2
4			0,15	231,6	44,0	6,60	10,190	1:1,5
1	15.07 1983	10,5	0,07	183,6	0,001	0,00007	0,00018	1:2,6
2			0,06	173,2	0,09	0,005	0,016	1:3,1
3			0,08	103,9	0,21	0,017	0,022	1:1,3
4			0,05	135,9	3,85	0,193	0,523	1:2,7
1	25.07 1983	3,0	0,01	235,4	0,0005	0,00005	0,00013	1:25,3
2			0,04	217,6	0,05	0,002	0,0109	1:5,4
3			0,05	185,9	0,112	0,006	0,0208	1:3,5
4			0,04	163,5	3,35	0,134	0,548	1:4,1
1	26.06 1984	31,4	0,20	123,8	0,04	0,08	0,049	1,6:1
2			0,25	93,9	0,57	0,143	0,0535	2,7:1
3			0,30	116,1	5,62	1,68	0,65	2,6:1
4			0,25	107,8	13,7	3,425	1,477	2,3:1
1	3.07 1984	-	0,10	135,6	0,0002	0,00002	0,00003	1:1,5
2			0,12	150,6	0,23	0,028	0,0345	1:1,2
3			0,10	101,9	0,84	0,084	0,085	1:1
4			0,08	108,5	9,11	0,729	0,984	1:13

Стік розчинених речовин слугує опосередкованим показником розвитку хімічної денудації. Завдяки вилугованню ґрунтів гірські породи розпушуються, що зумовлює значне механічне руйнування і збільшення дисперсності. Під час поверхневого стоку цей матеріал переноситься у водотоки, тим самим збільшуючи каламутність води. Водночас збільшення каламутності води за незмінних природних умов сприяє зростанню її мінералізації завдяки збільшенню кількості зіштовхувань поверхонь твердих частинок із розчинником. Максимум стоку розчинених речовин припадає на найбагатоводніші періоди, тобто весну і літо. Середнє співвідношення стоку розчинених речовин і зважених наносів становить 1:2-2:1. В окремих випадках воно може сягати 25:1 (ГС-1, 1983 р.).

Темп денудації розраховано шляхом перетворення вагових одиниць у лінійні з урахуванням об'ємної ваги гірських порід, яку ми вважаємо рівною 1,8 т/м<sup>3</sup>. Аналіз даних таблиці 4 засвідчує, що темп денудації досліджуваних

водозборів коливається від 0,0176 мм/рік (ГС-1, 1981 р.) до 0,2846 мм/рік (ГС-2, 1985 р.). У зміні темпу денудації простежуються чіткі просторово-часові закономірності. Сумарний об'єм винесеного водотоками матеріалу зменшується зі збільшенням площі басейнів, хоча співвідношення його складових (витрати розчинених речовин, зважених наносів і наносів, що перекочуються) може змінюватися залежно, передусім, від літолого-геологічних особливостей території. У часовому аспекті інтенсивність виносу матеріалу обумовлюється гідрометеорологічними умовами, серед яких головна роль належить інтенсивності весняного сніготанення, кількості зливових літніх опадів і величині їхнього ерозійного індексу. Тому у досліджуваних басейнах максимальне винесення матеріалу припадає на період весняного сніготанення і літніх паводків, сягаючи 60-70% від усієї кількості винесеного матеріалу за рік.

Таблиця 4

Показники стоку і змиву в басейнах (ГС) за період спостереження

Рік	ГС	Опади, мм	Стік зважених наносів, т/км <sup>2</sup>	Стік наносів, що перекочуються, т/км <sup>2</sup>	Стік розчинених речовин, т/км <sup>2</sup>	Сумарний стік, т/км <sup>2</sup>	Шар змиву, мм
1981	1	473,2	10,4	1,73	19,48	31,61	0,0175
	2		54,27	13,1	25,67	93,74	0,0521
	3		57,1	13,6	18,3	89,0	0,0494
	4		60,5	9,9	14,2	84,6	0,0470
1982	1	783,0	32,3	3,36	61,7	97,36	0,0541
	2		245,0	86,4	103,0	434,4	0,2413
	3		112,8	49,4	85,6	247,8	0,1377
	4		130,4	50,5	39,6	220,4	0,1224
1983	1	525,8	17,3	1,15	42,8	61,25	0,0340
	2		173,7	49,5	55,9	279,1	0,1551
	3		152,5	59,9	55,4	267,8	0,1488
	4		111,7	46,7	47,3	205,7	0,1143
1984	1	768,8	32,1	2,96	27,9	62,96	0,03498
	2		148,6	55,6	66,8	271,0	0,1506
	3		105,2	59,9	46,8	211,9	0,1166
	4		87,2	46,1	46,8	180,1	0,1000
1985	1	802,0	67,7	15,23	32,9	115,83	0,0644
	2		286,2	129,5	96,6	512,3	0,2846
	3		207,5	103,7	98,3	409,5	0,2275
	4		194,6	94,4	101,9	390,9	0,2172

Стік розчинених речовин виступає опосередкованим показником розвитку хімічної денудації. Завдяки вилуговуванню ґрунтів гірські породи розпушуються, що призводить до значного механічного руйнування і збільшення дисперсності. При поверхневому стоці цей матеріал переноситься у водотоки, тим самим збільшуючи мутність води. Разом з тим збільшення мутності води при незмінних природних умовах сприяє зростанню її

мінералізації за рахунок збільшення числа зіткнень поверхонь твердих частинок із розчинником. Максимум стоку розчинених речовин припадає на найбільш багатоводні періоди, тобто весну і літо. Середнє співвідношення стоку розчинених речовин і зважених наносів складає 1:2 – 2:1. В окремих випадках воно може доходити до 25:1 (ГС-1, 1983 р.).

Визначення інтенсивності ерозії за об'ємом переміщеного матеріалу на сьогоднішній день є найбільш точним методом реальної оцінки кількості винесеного матеріалу із різних річкових басейнів. Величина твердого стоку служить тим кількісним показником, по якому можна оцінювати ступінь інтенсивності сучасних геоморфологічних процесів в басейнах рік, розташованих вище точок спостереження.

Темп денудації розраховувався шляхом перетворення вагових одиниць у лінійні з урахуванням об'ємної ваги гірських порід, яку було прийняли рівною  $1,8 \text{ т/м}^3$ . Аналіз даних таблиці 4 показує, що темп денудації досліджуваних водозборів коливається від  $0,0176 \text{ мм/рік}$  (ГС-1, 1981 р.) до  $0,2846 \text{ мм/рік}$  (ГС-2, 1985 р.).

У зміні темпу денудації простежуються чіткі просторово-часові закономірності. Сумарний об'єм винесеного водотоками матеріалу зменшується по мірі збільшення площі басейнів, хоч співвідношення його складових (витрати розчинених речовин, зважених наносів і наносів, що перекочуються) може змінюватися в залежності, головним чином, від літолого-геологічних особливостей території.

У часовому аспекті інтенсивність виносу матеріалу обумовлюється гідрометеорологічними умовами, серед яких головна роль належить інтенсивності весняного сніготанення, кількості зливових літніх опадів і величині їхнього ерозійного індексу. Тому у досліджуваних басейнах максимальний виніс матеріалу припадає на період весняного сніготанення і літніх паводків, складаючи до 60-70% всієї кількості винесеного матеріалу за рік.

#### Список літератури:

1. Алекин О. А., Бражников Л. В. Сток растворенных веществ с территории СССР. – М. : Наука, 1964. -144 с.
2. Караушев О. В. Теория и методы расчета речных наносов. – Л.: Гидрометеоздат. 1977. – 272 с.
3. Кочубей С.Г. Исследование формирования твердого стока рек Украинских Карпат. Автореф. дис. канд. геогр. наук. – К., 1971. – 24 с.
4. Лисицина К. Н. Сток наносов Европейской территории СССР. // Тр. ГГИ. - 1972. –Вып. 191. – С.23-51.
5. Маккавеев Н. И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки. Избранные труды. М.: Изд-во МГУ, 1998. – 285 с.
6. Чалов Р. С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. – 371 с.

## **VALUES AND DYNAMICS OF THE TOTAL SEDIMENT RUN-OFF IN THE DIFFERENT ORDER STREAM SYSTEMS OF THE BORZHAVA RIVER BASIN**

**J. Khomya**

The issues are considered the spatio-temporal dynamics and intensity of integral sediment run-off (suspended, bed, soluted) in different-order river systems. The attention is paid to the complex of physical-geographical factors. The results are gained via many-year stationary observations.

*Key words:* river systems, integral sediment run-off, denudation pace, recent geomorphic processes.

## **ВЕЛИЧИНА И ДИНАМИКА СУММАРНОГО СТОКА НАНОСОВ В РАЗНОПОРЯДКОВЫХ РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ БАССЕЙНА РЕКИ БОРЖАВА**

**Я. Хомин**

Рассматриваются вопросы пространственно-временной динамики и интенсивности суммарного стока наносов (взвешенных, влекомых и химической стока) в разнопорядковых речных системах. Их обусловленность влиянием комплекса физико-географических факторов. Результаты получены на основе многолетних стационарных исследований.

*Ключевые слова:* речные системы, процессы современного рельефообразования, твердый сток, сток растворенных веществ, химическая денудация, темп денудации.