

Я.С. Яров, асп.

Одесский государственный экологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УТОЧНЕННОГО МЕТОДА РАСЧЁТА ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ РАСТВОРЁННЫХ ВЕЩЕСТВ НА РЕКАХ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

В статье сделан обзор существующих методов подсчёта стока растворённых веществ речными водами, приведено обоснование и уточнение метода кубической сплайн-интерполяции расчёта ежедневных расходов растворённых веществ на примере карпатских рек, имеющих низкую информативность данных наблюдений по гидрохимическим показателям.

Ключевые слова: сток растворённых веществ, метод кубической сплайн-интерполяции.

Вступление. В настоящее время антропогенное воздействие на окружающую среду достигло угрожающего уровня. Для Карпатского региона особенно актуальна проблема качественной и количественной деградации речных систем, что проявляется в ухудшении качества речных вод и росте ущерба, причиняемого народному хозяйству паводками.

Все эти проблемы требуют скорейшего решения, для чего в первую очередь нужно усилить всестороннее изучение водного и гидрохимического режима карпатских рек. Это позволит выработать комплекс мер по их охране и рациональному использованию.

По ряду экономических, научно-методических причин карпатские реки имеют низкую информативность данных наблюдений по гидрохимическим показателям. Это является препятствием для корректной оценки их гидроэкологического состояния. Поэтому целью настоящей работы является расчёт суточных расходов выноса растворённых веществ речным стоком при малой частоте наблюдений по гидрохимическим показателям и при большом числе паводков в году (отличительная черта водного режима карпатских рек). В задачи статьи входит разработка и адаптация для рек Карпатского региона метода уточнения временной сплайн-интерполяции показателей концентрации речной воды на основе данных отбора единичных проб воды на химический анализ.

Материалы и методы исследований. Подсчёт выноса растворённых веществ с речных водосборов производится на основе химических анализов проб воды в течении года. Однако, эти данные имеют малую информативность, вызванную низким числом сроков наблюдений за химическим режимом. Согласно действующим стандартам [1] для рек с паводочным режимом отбор проб на химический анализ рекомендуется проводить не менее 8 раз в году в следующие сроки наблюдений: во время половодья - на подъёме, пике и спаде, при наименьших расходах летней межени, при прохождении дождевых паводков, осенью - перед ледоставом и во время зимней межени. Анализ данных кадастровых изданий [2,3] показывает, что это требование выполняется далеко не на всех постах мониторинговой сети Гидрометслужбы Украины, где количество проб чаще всего составляет 2-5, которые к тому же не всегда согласуются с фазами водного режима и чаще всего представляют меженный сток.

В связи с тем, что сведения о выносе химических веществ имеют важное значение при решении научно-практических задач, связанных с экологической оценкой и прогнозом качества речных вод, а также представляют интерес при проектировании и реализации водоохранных мероприятий, возникает необходимость расчёта

ежедневного, декадного, месячного и годового расходов растворённых элементов и установления зависимости между значениями стока химических веществ и влияющих на него гидрометеорологических факторов (расходов воды, атмосферных осадков, температур и др.)

Существует несоответствие между временным масштабом главных величин, которые являются основой для различного рода практических расчётов. Так, основные метеорологические и гидрологические характеристики (температура воздуха, осадки, расходы воды) в кадастровых изданиях представлены ежесуточными значениями, а гидрохимические показатели – эпизодическими результатами анализов отобранных проб воды. Это нарушает требования комплексности наблюдений по гидрохимии, гидрологии и гидробиологии, которые являются основными составляющими организации наблюдений за окружающей природной средой [4].

В настоящее время в научной литературе имеется описание различных методов расчёта выноса растворённых веществ и установления внутригодовых связей химического состава со стоком воды в реках. Большинство из них эффективны в том случае, если измерения выполнялись во все фазы водного режима в течении года и установлены удовлетворительные связи между концентрациями веществ и стоковыми характеристиками воды, позволяющие определить вынос ионов [5]. В некоторых работах предложен другой, статистический подход, решения поставленной проблемы, основанный на построении кривых продолжительности и обеспеченности измеренных концентраций ионов и суточных расходов воды (или их обратных величин) и других вариантов статистического анализа, итогом которого являются различные графики зависимости между гидрохимическими и гидрологическими характеристиками [6].

Первая группа методов была в своё время успешно апробирована на примере рек бассейна Балтийского моря [7], в [8] приводятся графики связей $Q=f(C)$ для рек исследуемого региона, построенные по данным до 1966 г. Методы второй группы для рек Карпат частично применены в работе [6].

Однако эти методы в полной мере не учитывают динамичный характер гидрологического, гидробиологического режима рек, что особенно характерно для карпатских рек, характеризующихся сложным паводочным режимом в течении всего года.

Поэтому широко используются различные методы интерполяции измеренных концентраций веществ. Наиболее точным из них считается метод хронологической сплайн-интерполяции [9]. Чаще всего применяется кубическая сплайн-интерполяция модульных коэффициентов показателей гидрохимического стока, позволяющая определить ежедневные, декадные, месячные и годовые значения расхода растворённых веществ для двух генетически разнородных составляющих речного стока – поверхностной и подземной [10]. Такой способ расчёта выноса веществ в реке является наиболее обоснованным, так как отдельные виды стока имеют более однородный характер питания и временную динамику гидрохимических показателей.

Следует отметить, что при малом количестве данных измерений и сложном гидрологическом режиме в течении года определение выноса химических веществ этим методом происходит со снижением точности расчёта.

В основу уточнения метода сплайн-интерполяции положено установление зависимости между измеренными значениями концентраций химического вещества и расходами воды по материалам наблюдений для определённых фаз водного режима за многолетний период.

Результаты исследования и их анализ. Главные результаты расчёта химического стока методом кубической сплайн-интерполяции и методики его уточнения иллюстрируются на примере р.Рика - пгт.Межгорье (один из наиболее информационно

обеспеченных гидропостов в регионе) по данным о метеорологическом, гидрологическом, гидрохимическом режиме реки за период 1957-2001 гг. [2,3]

По этим данным был построен график связи между соответствующими значениями минерализации ($M_{изм}$, мг/л) и расходами воды ($Q_{изм}$, м³/с) при отборе проб (рис.1).

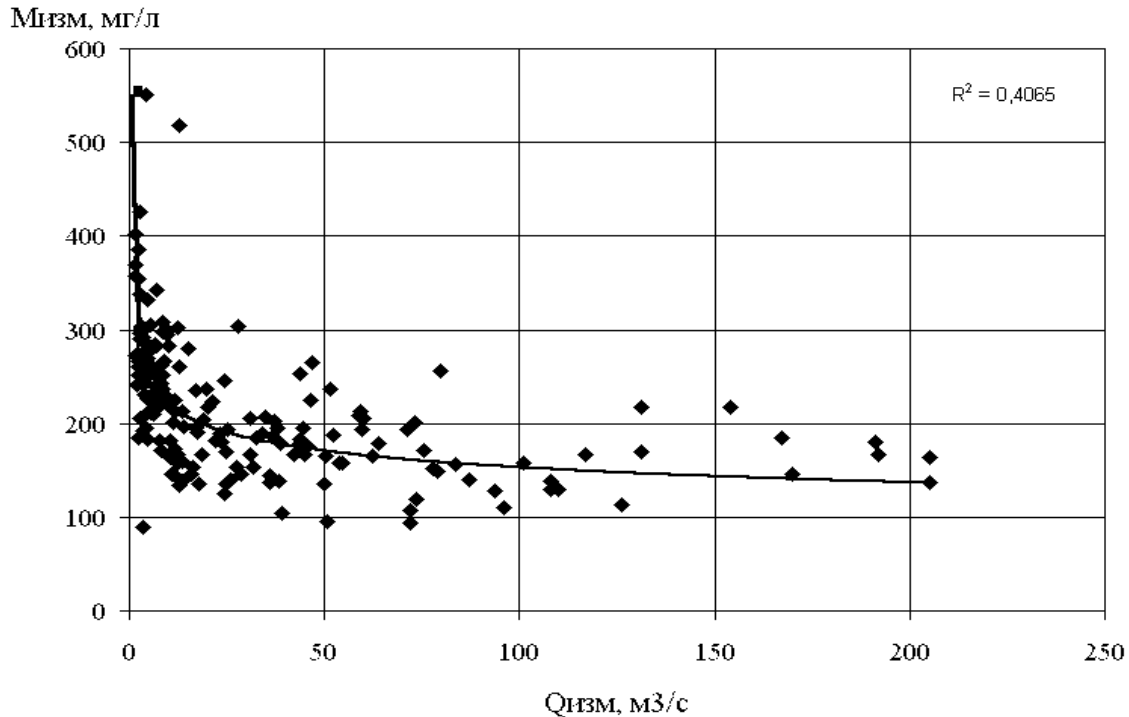


Рис. 1 – Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ р.Рика-пгт.Межгорье за 1957-2001 гг.

Связь между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ имеет обратный вид с коэффициентом корреляции $R = -0,406$, т.е. для практических расчётов связь непригодна.

На характере этой зависимости сказалось влияние особенностей формирования химического состава для различных типов режима стока, а также его видов при формировании паводков за счёт тало-дождевого или дождевого притока. Поэтому в дальнейшем для детального рассмотрения этой зависимости была выполнена работа по выявлению связей $M_{изм} = f(Q_{изм})$ для отдельных фаз водного режима в поверхностном стоке непосредственно для таких элементов половодья и паводков - чётко выраженных подъёмов, пиков и спадов. При этом различаются паводки в холодное и тёплое время года (в связи с разным механизмом формирования водного и ионного стока рек), половодье, меженный период (зимняя, летне-осенняя межень). Далее, была проведена тщательная сортировка и выборка данных наблюдений для различных фаз и видов стока, на их базе проведен графический анализ связей между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$. Эти связи иллюстрируются на рис.2 - рис.7, на которых указаны значения квадратов смешанной корреляции (R^2).

Характер изменения зависимостей $M_{изм} = f(Q_{изм})$ отражает динамику влияния главных гидрометеорологических факторов руслового стока, в частности, его взаимодействия с подземным притоком в русла. Действительно, почти на всех кривых минерализация вод редуцирует по мере повышения расходов воды (половодья, паводка) что может быть связано с известным явлением берегового регулирования стока, когда при подъёме уровня воды, в связи с гидравлическим подпором воды от

русла, уменьшается боковой приток подземных вод, имеющих большую минерализацию по сравнению с русловыми водами. Сложная форма кривой на рис. 3 для зимних паводков связана с уменьшением минерализации за счёт притока вод от таяния снега и разбавления ими имеющих более высокую минерализацию русловых вод. Некоторое повышение минерализации при расходах в интервале 10-30 м³/с связано со смывом и начале интенсивной части паводка веществ, накопленных на поверхности водосбора.

На рис. 6 кривая связи $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ построена в виде двух ветвей, верхняя из которых соответствует пикам первичных паводков (которые наступили после устойчивого меженного периода), нижняя ветвь – пикам вторичных паводков (которые идут сразу после первичных, т.н. серия паводков). В общем, разное положение ветвей отражает физические особенности смыва веществ с поверхности водосборов – в случае первичного паводка происходит массовый смыв накопившихся на поверхности водосбора веществ, основная масса вещества смывается первой волной, а интенсивность выноса вещества вторичными паводками гораздо меньшая по причине промытости поверхности водосбора и почво-грунтов к этому моменту.

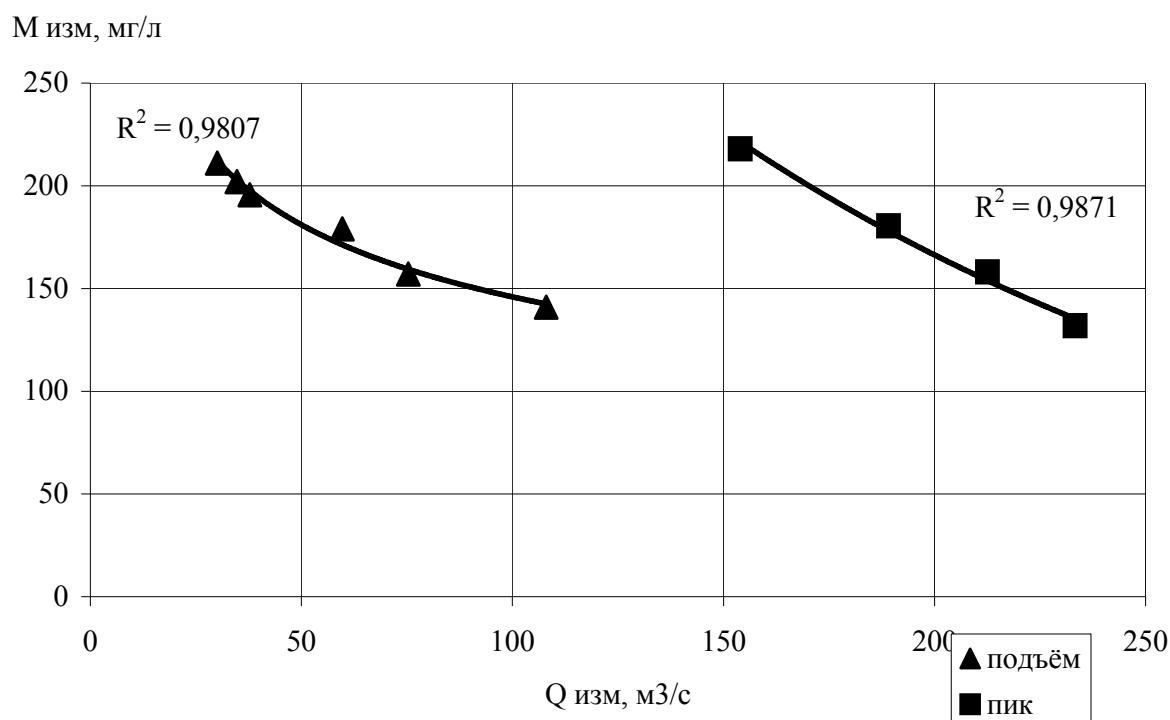


Рис. 2 – Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для подъёма и пика весеннего половодья, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

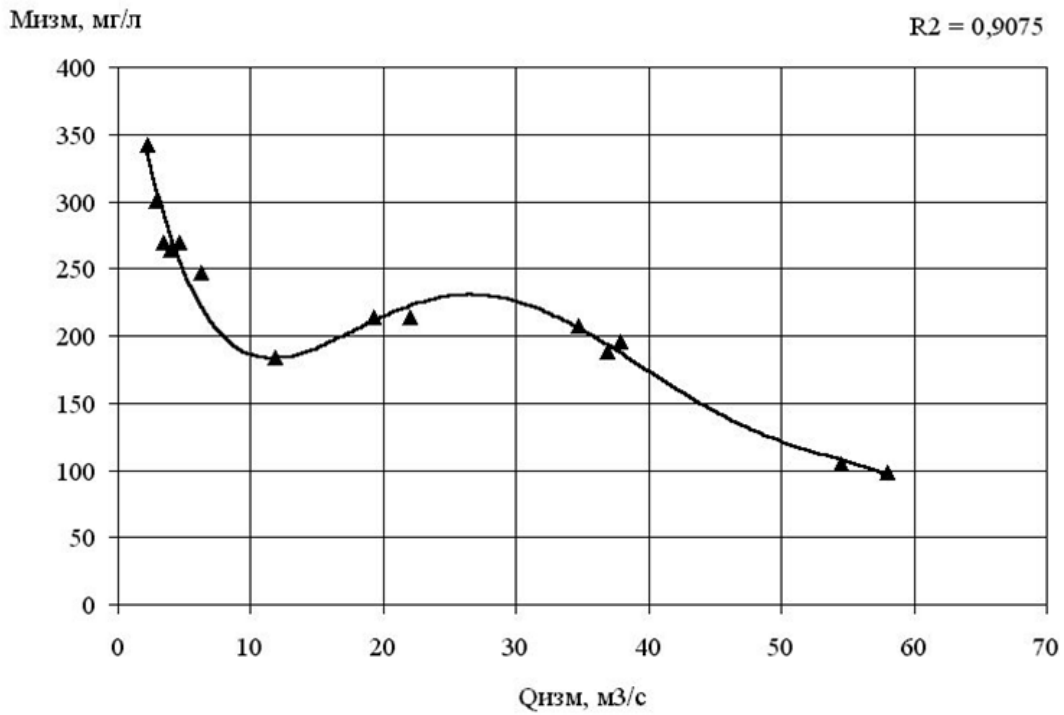


Рис. 3 - Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для подъёма зимних паводков, вызванных отепелями, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

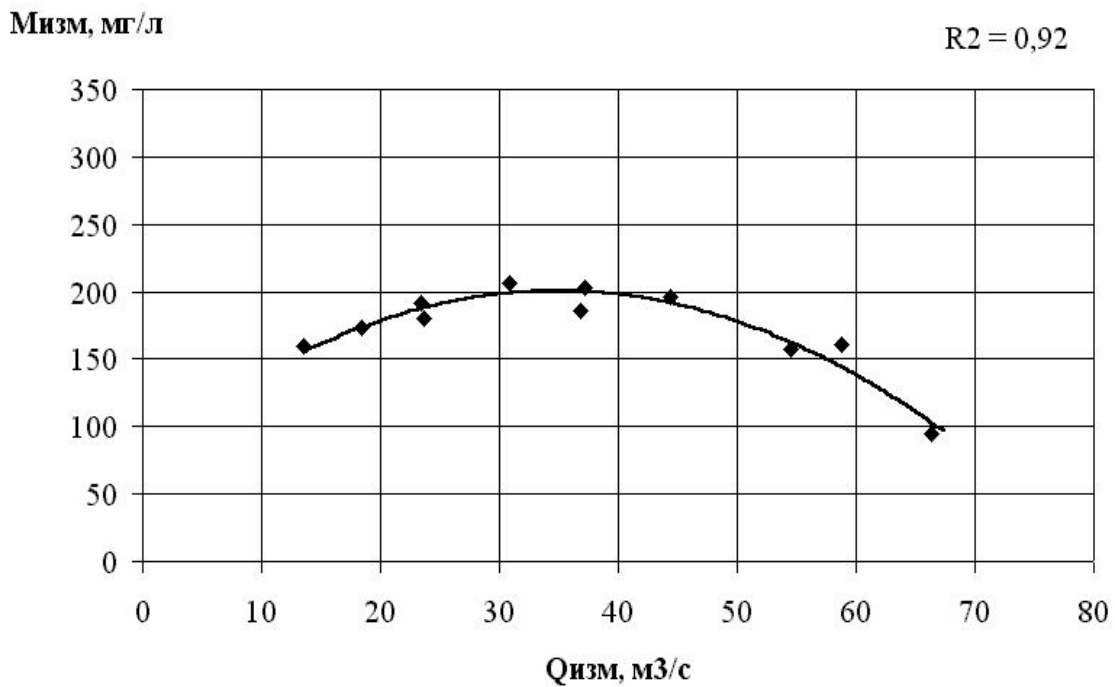


Рис. 4 - Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для подъёма летних паводков, вызванных ливневыми осадками, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

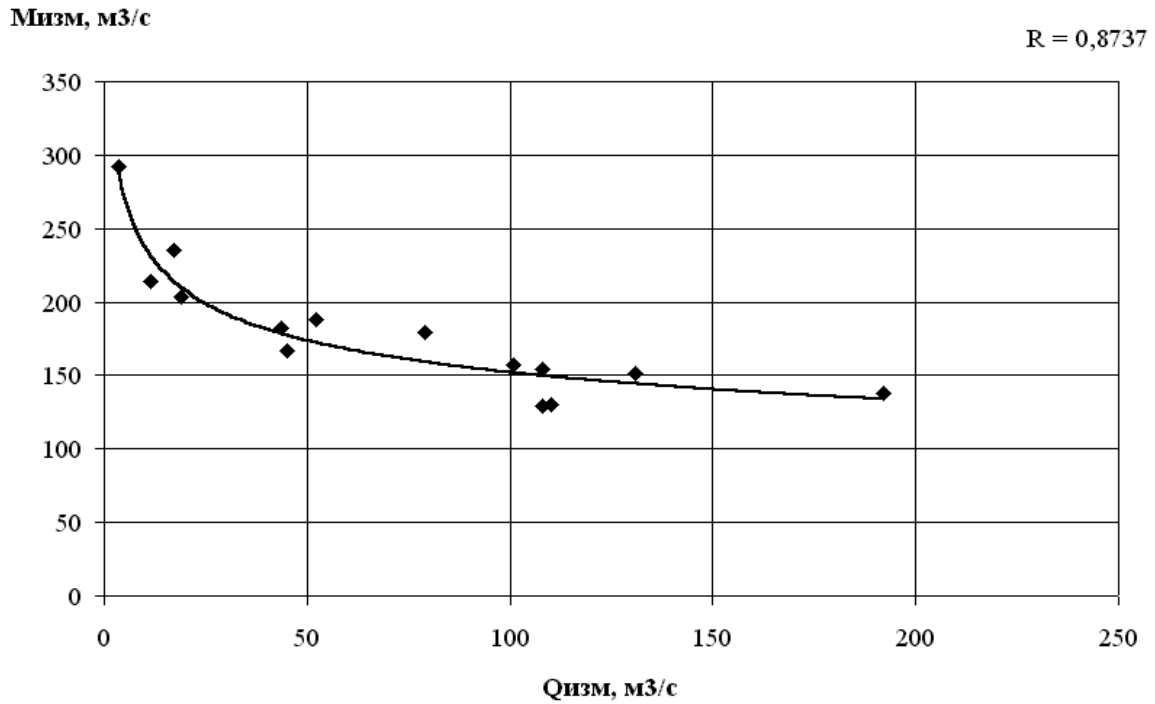


Рис. 5 - Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для пика зимних паводков, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

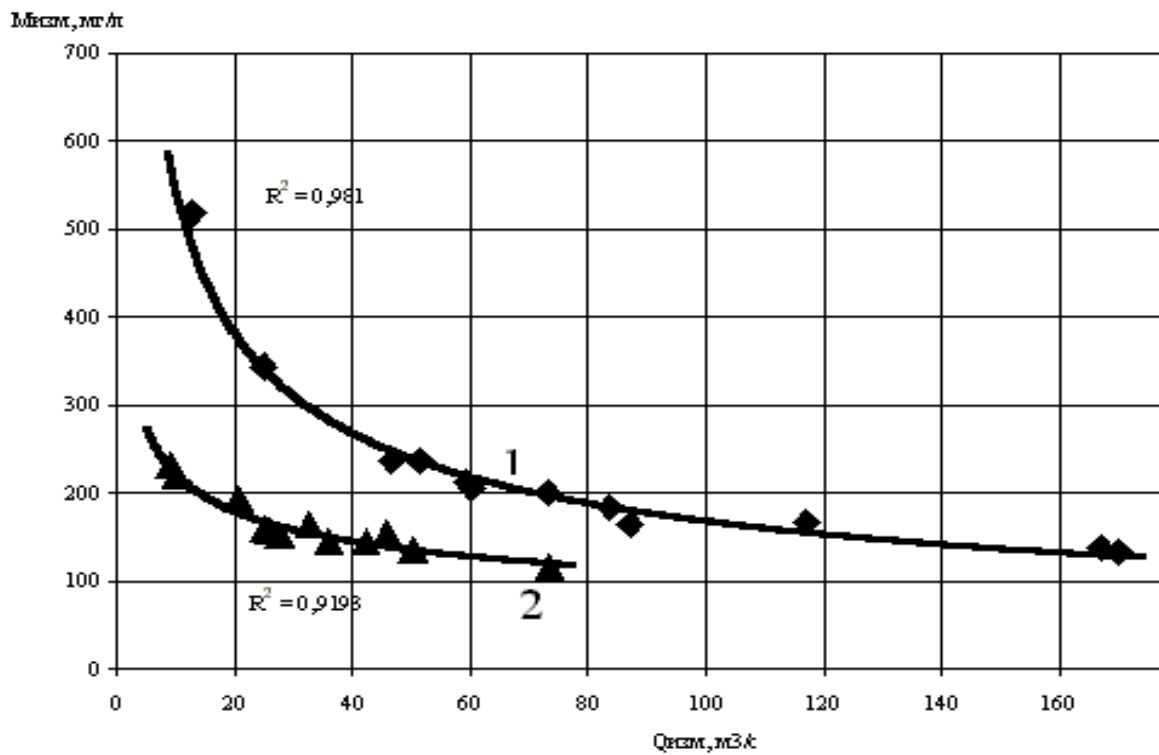


Рис. 6 - Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для пика первичных (1) и вторичных (2) летних паводков, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

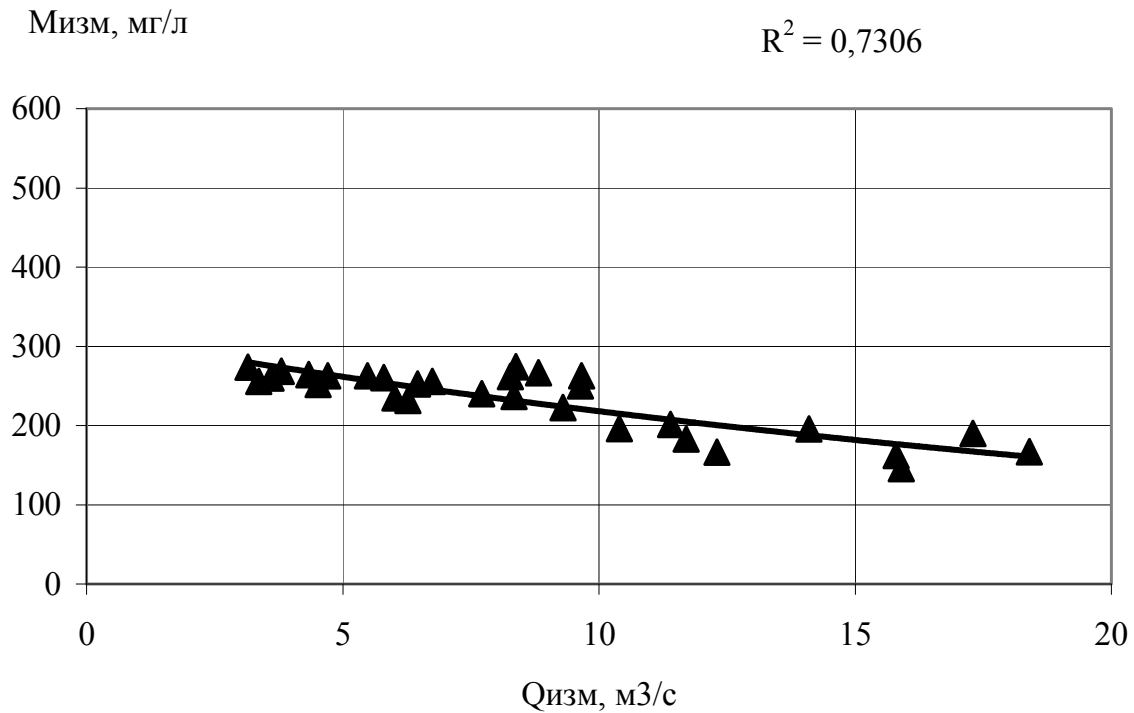


Рис. 7 - Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$ для спада половодий и паводков с $Q_{изм} > 3$ м³/с, р. Рика-пгт. Межгорье за 1957-2001 гг.

В целом, анализ графиков связей (рис. 2-7) показывает соответствие полученных зависимостей реальным данным, подтверждением чего являются квадраты смешанной корреляции, значения которых находятся в пределах от 0,72 до 0,98, что свидетельствует о достаточно высокой тесноте связей $M_{изм} = f(Q_{изм})$.

Для меженного стока установление связей между расходами воды и концентрациями веществ не проводилось в связи с достаточно полной освещенностью такого стока данными проб воды.

Найденные связи применены для восстановления значений минерализации, соответствующих расходам воды при поверхностном стоке, которые не освещены данными химического анализа отобранных проб.

Эти данные были использованы при расчётах расходов методом хронологической сплайн-интерполяции, что позволило с удовлетворительной точностью получить годовую таблицу уточнённых ежедневных расходов минеральных веществ (табл.1), согласованную с комплексом данных гидрометеорологических наблюдений в створе реки (комплексный график водного и ионного стока реки приведен на рис. 9).

Эта таблица кроме среднесуточных данных содержит средние значения расходов минеральных веществ за декады, месяцы и за год, а также наибольшие и наименьшие расходы для каждого месяца и для всего года.

Таблица 1 – Ежедневные расходы растворённых веществ, г/с,
р.Рика-пгт.Межгорье, 2000 г.

Число	Месяцы											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1	1480	883	1470	13700	2910	1230	816	2930	830	744	539	829
2	1480	913	1580	13200	2730	1110	974	2200	891	723	1090	642
3	1390	1980	1620	14200	2510	1060	1370	1860	2890	723	759	745
4	1380	1620	1540	12800	2330	963	1130	1600	1490	722	615	857
5	1360	1450	1510	15400	2140	963	847	1450	1020	676	1910	795
6	1340	1330	1430	23400	2000	870	785	1390	801	677	1140	767
7	1340	1050	1510	10500	1880	839	756	1310	744	613	826	767
8	1300	1590	1490	7540	1840	778	671	1210	682	613	3120	704
9	1280	11100	13800	5670	1840	799	1250	1160	651	614	2430	727
10	1260	5820	15400	4470	1810	778	1530	1070	589	615	1910	815
11	1230	4080	5410	4520	1880	778	1030	1030	590	616	3710	1120
12	1190	3000	4360	5930	1750	778	1220	990	591	617	2100	1130
13	1190	2660	3820	10100	1570	720	1130	968	592	618	1510	1180
14	1190	2630	2820	10700	1460	936	1870	1010	593	574	1230	1300
15	1240	2050	4540	10100	1420	1060	1170	924	775	574	1110	7350
16	1210	2010	3570	10500	1350	1100	1250	904	594	575	1020	5220
17	1220	2050	3030	8770	1320	873	3690	847	1310	552	972	3130
18	1250	1730	2650	8280	1350	873	5760	814	2070	553	951	2430
19	1290	1670	2610	8050	1290	780	3780	754	1050	554	910	2010
20	1240	1620	2420	7170	1990	695	2570	755	2260	554	890	1590
21	1240	1430	2320	6760	1760	695	2070	756	1570	555	871	1060
22	1300	1430	2260	5870	1420	783	2000	729	1400	556	852	994
23	1330	1410	2740	5280	1890	725	1810	699	1420	557	832	996
24	1250	1400	3550	4730	1450	696	1600	700	1140	545	807	1010
25	1210	1520	3790	4190	1280	1080	1410	700	1010	534	795	1050
26	1180	1530	6010	4190	1210	1180	1310	732	916	534	840	13500
27	1140	1450	7560	3730	1170	1200	2170	872	849	560	1440	24700
28	1110	1580	14500	3610	1100	1070	1500	703	849	675	1030	11800
29	1070		17900	3250	1100	815	9710	642	828	586	975	16100
30	979		18400	3060	1390	938	9370	612	805	562	868	7780
31	892		17500		1230		4000	581		538		5070
Дек.1	1360	2780	4140	12080	2200	939	1010	1620	1060	672	1430	765
Дек.2	1220	2420	3520	8410	1540	859	1250	899	1040	579	1440	2640
Дек.3	1150	1490	8780	4470	1360	918	3350	702	1080	564	931	7650
Сред.	1240	2250	5590	8320	1690	905	2280	1060	1060	604	1270	3810
Наиб.	1480	11100	18400	23400	2910	1230	9710	2930	2890	744	3710	24700
Наим.	892	883	1430	3060	1100	695	671	581	589	534	539	642

Среднее значение за год – 2510 г/с

Наибольшее значение за год – 24700 г/с

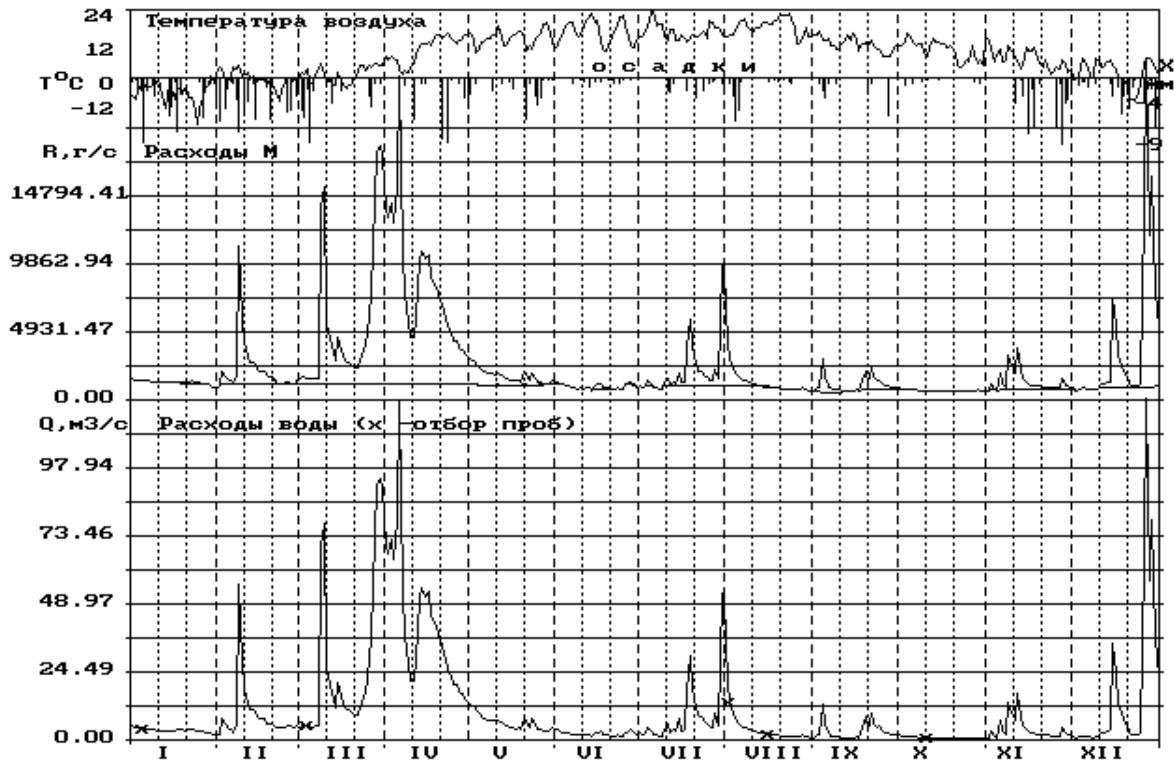


Рис. 8 – Комплексный график выноса М речным стоком р.Рика у пгт.Межгорье за 2000 г.

Выводы исследований. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) современные методы наблюдений по гидрохимическим показателям обладают низкой информативностью в связи с малой частотой измерений, которая не соответствует частоте комплекса гидрометеорологических наблюдений на реках;

2) разработаны способы уточнения временной сплайн-интерполяции путём увязки данных измерения минерализации вод с расходом воды различных элементов водного режима реки, подтверждением чего являются значения квадратов смешанной корреляции полученных зависимостей, изменяющихся в пределах от 0,78 до 0,98;

3) результаты выполненных исследований позволяют обосновать методы вычисления ежедневных расходов минеральных веществ для решения широкого круга научных и практических задач;

4) полученные зависимости дают возможность доработки предложенного метода временной сплайн-интерполяции для его использования в практике анализа и прогнозирования качества речных вод.

Список литературы

1. *Наставления* гидрометстанциям и постам.– Вып. 6.-ч.1.-Л.:Гидрометеиздат, 1978.- 384с.
2. *Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.* – Том 2, вып. 0-1, (1957-2003 гг.)
3. *Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши.* Вып. 1 (1984-2003гг.)
4. *Беккер А.А., Агаев Т.Б.* Охрана и контроль загрязнения природной среды.- Л.:Гидрометеиздат, 1989.-288с.

5. Карасёв И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия.-Л.:Гидрометеиздат, 1991.-376с.
6. Горев Л. И. Пелешенко В.И. Гидрохимия Украины. Київ: Наукова думка, 1995.-307 с.
7. Фадеев В.В., Тарасов М.Н., Павелко В.Л. Исследование взаимосвязи между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек в условиях избыточного увлажнения // Гидрохимические материалы, 1971.- т. 26.- с. 19- 30
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. т. 6 вып.1, Ленинград: Гидрометеиздат ,1969.-598 с.
9. Константинова.Г.С, Химин Н.М. Применение сплайнов и метода остаточных отклонений в гидрометеорологии.-Л.: Гидрометеиздат, 1983, -183с.
10. Розробка методів дослідження гідроєкосистем північно-західного Причорномор'я на базі дистанційної інформації і ГІС-технології її обробки.-Звіт про науково-дослідну роботу (заключний)/ Під ред. д.г.н., проф. Іваненко О.Г.- Одеса: ОДЕКУ, 2003.-120с.

Використання уточненого методу підрахунку щоденних витрат розчинених речовин на річках Українських Карпат. Яров Я.С.

У статті наведений огляд існуючих методів підрахунку стоку розчинених речовин річковими водами, наведено обґрунтування та уточнення методу кубічної сплайн-інтерполяції розрахунку щоденних витрат розчинених речовин на прикладі карпатських річок, що мають низьку інформативність даних спостережень по гідрохімічним показникам.

Ключові слова: *стік розчинених речовин, метод кубічної сплайн інтерполяції.*

Use of the specified method of calculation of daily charges of the dissolved matters on the rivers of Ukrainian Carpathians. Yarov Y.S.

The review of existent methods of count of flow of the dissolved matters by river waters is done in the article, the ground and clarification of method of cube spline-interpolation of calculation of daily charges of the dissolved matters on the example of the Carpathians rivers having the low informing of the given supervisions on hydrochemical indexes is resulted.

Keywords: *flow of the dissolved matters, the method of cube is the spline of interpolation.*