

О. Н. Гриб, асп.

Одесский государственный экологический университет

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА МАЛЫХ РЕКАХ КРЫМА

В статье приводится уточнение методики расчётов ежедневных расходов минеральных веществ на малых реках и временных водотоках Крымского полуострова, имеющих низкую информативность данных наблюдений по гидрохимическим показателям.

Постановка проблемы и её связь с научными и практическими задачами. Подсчёт выноса растворённых веществ с речных водосборов производится на основе химических анализов проб воды в течении года. Однако, эти данные имеют малую информативность [1], вызванную низким числом сроков наблюдений за химическим режимом. Согласно действующему Наставлению гидрометстанциям и постам в разделе «Наблюдения за химическим составом и физическими свойствами воды» для рек, характеризующихся паводочным режимом, отбор проб на химический анализ рекомендовано 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 [2]. Тем не менее, следует отметить, что в реальности, и об этом свидетельствуют данные на большинстве постов, пробы воды отбираются не более, чем 3 –7 раз в течении года, которые к тому же не всегда согласуются с фазами водного режима и чаще всего представляют меженный сток [3, 4].

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, температуры и др.) [5 – 9].

Существует несоответствие между суточной частотой представления данных перечисленных выше гидрометеорологических факторов и данных о химическом составе речных вод. Это нарушает требования комплексности наблюдений по гидрохимии, гидрологии и гидробиологии, которые являются основными составляющими организации наблюдений за окружающей природной средой [10].

Анализ исследований и публикаций по решению данной проблемы. 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 эффективно в том случае, если измерения выполнялись на всех фазах водного режима в течении года и установлены удовлетворительные связи между концентрациями веществ и стоковыми характеристиками воды, позволяющие определить вынос ионов [11 – 13]. 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 [14]. Однако, эти методы дают положительный результат для равнинных рек лесной зоны, с чётко выраженными основными гидрологическими фазами, но не подходят для малых рек и временных водотоков горного и предгорного Крыма со сложным паводочным режимом [15, 16]. Широко используются и различные методы интерполяции измеренных концентраций веществ. Наиболее точным из них считается метод хронологической сплайн-интерполяции [17]. 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 [18 – 20]. 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 [21, 22]. Однако, при малом количестве данных измерений и сложном гидрологическом режиме в течении года определение выноса химических веществ этим методом происходит со снижением точности расчёта.

Целью данной работы является расчёт суточных расходов выноса минеральных веществ речным стоком при малом количестве наблюдений по гидрохимическим показателям и большом числе паводков в году. В задачи статьи входит разработка метода уточнения временной сплайн-интерполяции значений концентрации речной воды на основе данных отбора единичных проб воды на химический анализ.

Изложение основного материала исследования и обоснование полученных научных результатов. 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.

Главные результаты расчёта химического стока методом кубической сплайн-интерполяции иллюстрируются на примере р. Чёрная – с. Хмельницкое (с. Чернореченское).

В расчётах были использованы данные о гидрохимическом режиме реки и стоке воды за период с 1965 года по 2003 год [3, 4].

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

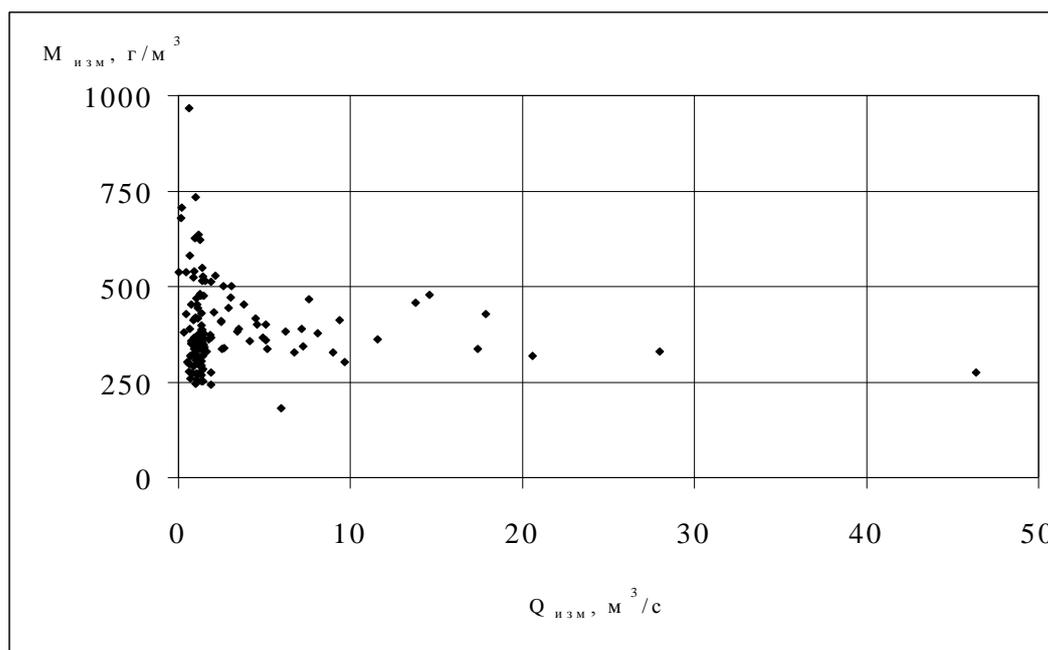


Рис. 1 – Зависимость между $M_{\text{изм}}$ и $Q_{\text{изм}}$, р. Чёрная–с. Хмельницкое

Из этого графика видно, что чёткая связь между $M_{\text{изм}}$ и $Q_{\text{изм}}$ отсутствует, хотя заметна некоторая тенденция уменьшения $M_{\text{изм}}$ от $Q_{\text{изм}}$.

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 выполнена работа по выявлению связей $M_{\text{изм}}=f(Q_{\text{изм}})$ для отдельных фаз водного режима в поверхностном стоке непосредственно для таких элементов половодья и паводков – чётко выраженных подъёмов, пиков и спадов. Проведена тщательная сортировка и выборка данных наблюдений для различных фаз и видов стока, на их базе проведен графический анализ связей между $M_{\text{изм}}$ и $Q_{\text{изм}}$. Эти связи иллюстрируются на рис. 2 – рис. 6, в правых верхних углах которых указаны значения квадратов смешанной корреляции (R^2).

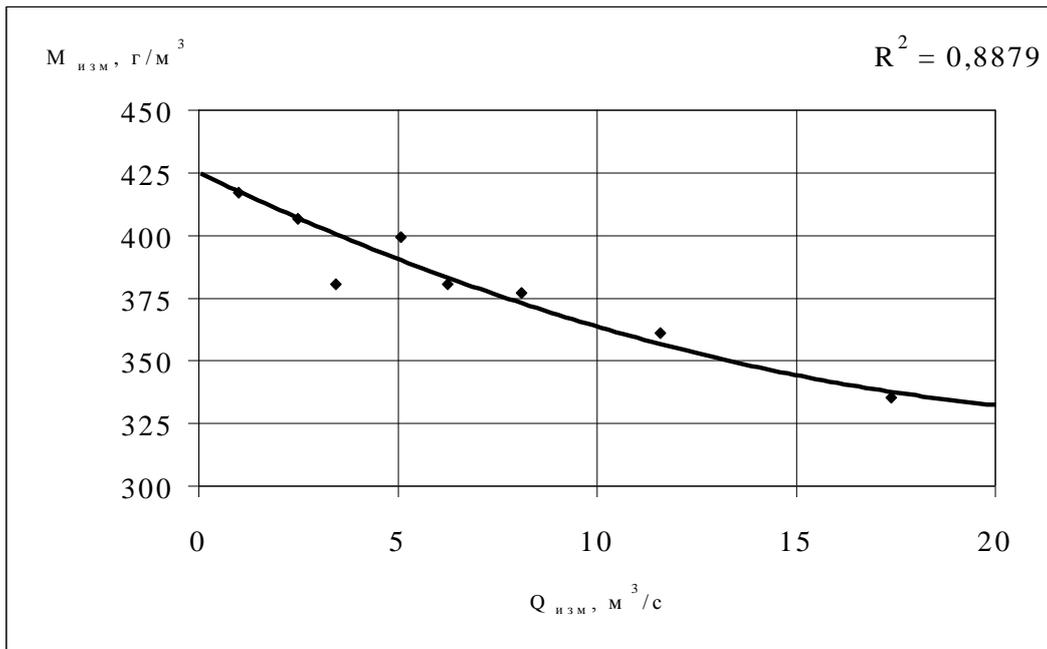


Рис. 2 – Зависимость между $M_{\text{изм}}$ и $Q_{\text{изм}}$, для подъёма половодья, р. Чёрная–с. Хмельницкое

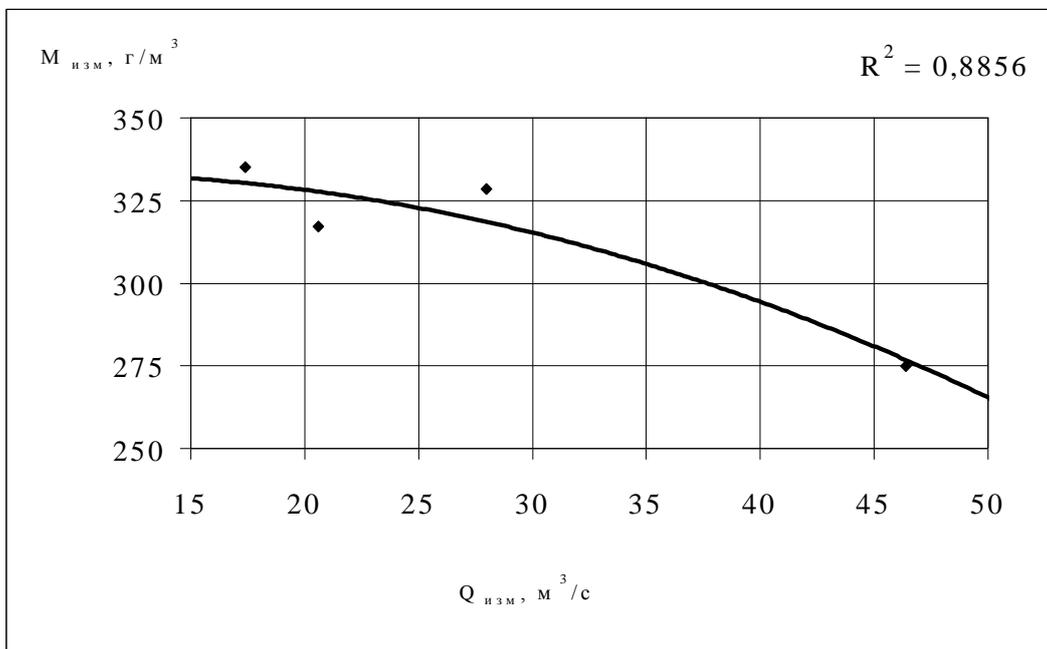


Рис. 3 – Зависимость между $M_{\text{изм}}$ и $Q_{\text{изм}}$, для пика половодья и паводков с $Q_{\text{изм}} > 20 \text{ м}^3/\text{с}$, р. Чёрная–с. Хмельницкое

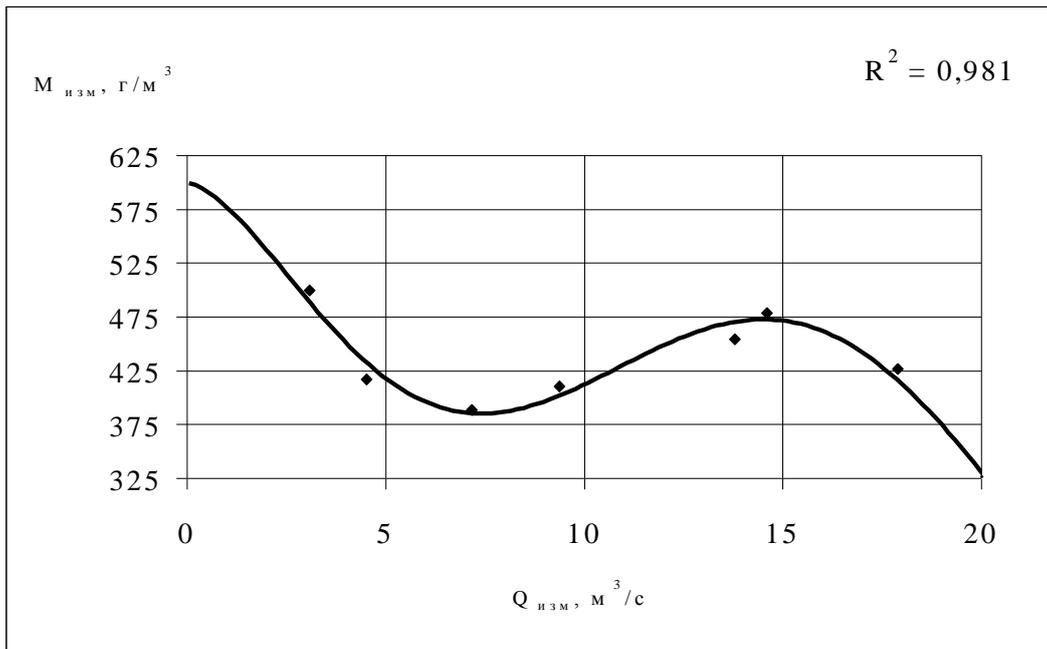


Рис. 4 – Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$, на подъёме зимних паводков, вызванных оттепелями, р. Чёрная–с. Хмельницкое

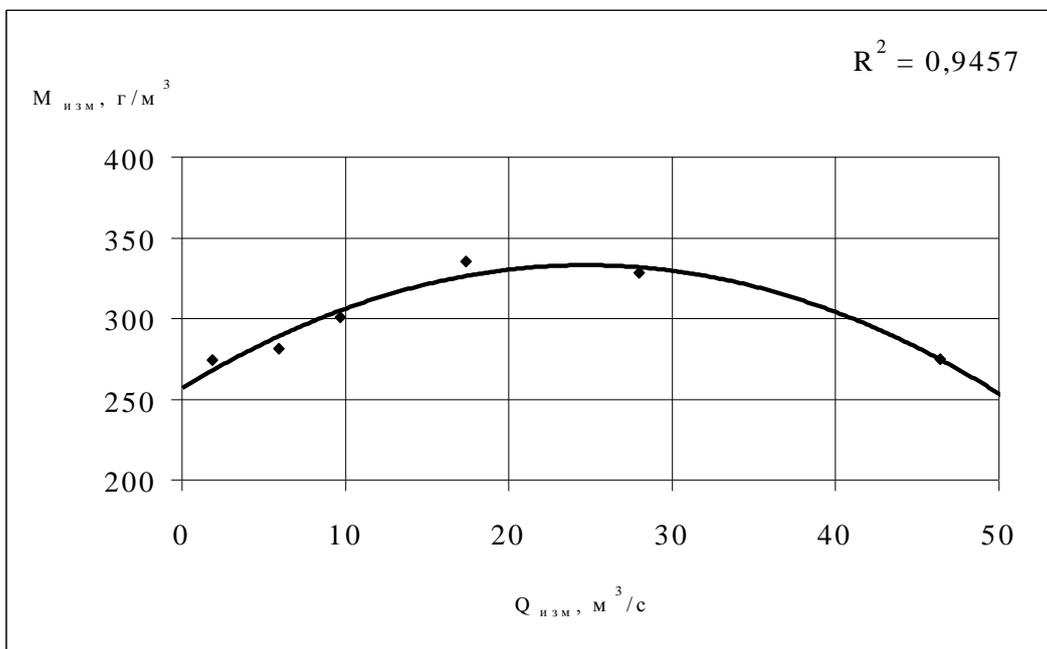


Рис. 5 – Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$, на подъёме летних паводков, вызванных дождями, р. Чёрная–с. Хмельницкое

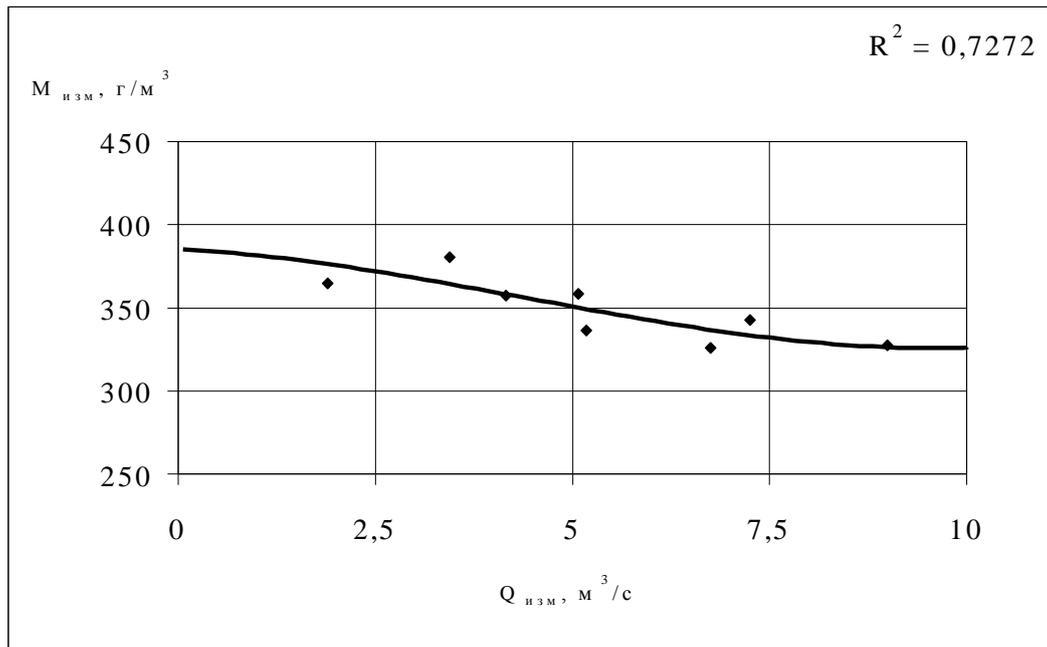


Рис. 6 – Зависимость между $M_{изм}$ и $Q_{изм}$, для спада половодий и паводков с $Q_{изм} > 20 \text{ м}^3/\text{с}$, р. Чёрная–с. Хмельницкое

В случае, если расходы воды на пиках не превышают $20 \text{ м}^3/\text{с}$, спад половодий и паводков проходит по той же кривой, что и подъём.

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 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. 4 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 $10 - 20 \text{ м}^3/\text{с}$ связано со смывом в начале интенсивной части паводка веществ, накопленных на поверхности водосбора [12, 13].

Анализ графиков связей показывает соответствие полученных зависимостей с реальными данными, подтверждением чего являются квадраты смешанной корреляции, значения которых находятся в пределах от 0,73 до 0,98, что свидетельствует о высокой тесноте связей $M_{изм}=f(Q_{изм})$.

Для меженного стока установление связей между расходами воды и концентрациями веществ не проводилось в связи с освещённостью меженного стока большим числом данных измерений.

Найденные связи применены для восстановления значений минерализации соответствующих расходам воды, при поверхностном стоке, кото-

рые 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.

Таблица 1 – Ежедневные расходы минеральных веществ, г/с,
р. Чёрная–с. Хмельницкое (с. Чернореченское), 2000 г.

Число	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	5,95	5,69	1,64	5,77	0,58	0,51	0,58	0,65	0,75	0,77	0,78	0,82
2	5,80	3,76	1,42	5,83	0,56	0,54	0,58	0,65	0,76	0,77	0,78	0,81
3	3,56	3,35	1,36	5,72	0,56	0,51	0,58	0,65	0,71	0,77	0,78	0,84
4	1,66	3,31	1,58	5,89	0,56	0,51	0,59	0,70	0,77	0,77	0,81	0,84
5	1,45	3,49	1,69	5,90	0,56	0,51	0,55	0,80	0,81	0,78	0,81	0,83
6	1,15	3,18	2,36	5,91	0,56	0,51	0,55	0,71	0,78	0,78	0,81	0,83
7	0,93	2,61	2,90	5,74	0,56	0,57	0,55	0,67	0,82	0,78	0,81	0,83
8	0,84	1,87	2,64	5,24	0,56	0,55	0,52	0,68	0,78	0,78	0,81	0,82
9	0,81	1,59	2,60	3,28	0,56	0,55	0,48	0,68	0,79	0,78	0,80	0,82
10	0,72	1,83	3,56	2,53	0,61	0,55	0,48	0,69	0,75	0,78	0,80	0,81
11	0,73	2,47	7,08	1,44	0,67	0,57	0,45	0,69	0,80	0,78	0,80	0,81
12	0,60	3,14	7,36	1,12	0,62	0,48	0,45	0,58	0,80	0,78	0,80	0,80
13	0,64	2,56	7,63	1,02	0,58	0,45	0,49	0,53	0,80	0,79	0,80	0,80
14	0,48	2,40	3,72	1,09	0,54	0,49	0,54	0,53	0,71	0,79	0,79	0,80
15	0,44	2,10	2,46	2,10	0,54	0,49	0,54	0,54	0,66	0,82	0,73	0,79
16	0,48	1,48	2,06	2,56	0,54	0,42	0,58	0,54	0,61	0,79	0,79	0,79
17	0,37	1,11	1,98	2,02	0,54	0,45	0,67	0,59	0,61	0,79	0,76	0,78
18	0,44	0,99	2,29	1,33	0,52	0,45	0,63	0,60	0,67	0,79	0,75	0,75
19	0,48	1,10	2,74	1,47	0,52	0,49	0,59	0,65	0,67	0,79	0,72	0,75
20	0,37	1,92	2,78	1,78	0,48	0,46	0,64	0,74	0,74	0,79	0,72	0,74
21	0,86	3,39	2,54	1,57	0,51	0,46	0,64	0,66	0,74	0,82	0,75	0,74
22	1,37	4,25	3,05	1,26	0,48	0,46	0,69	0,66	0,74	0,79	0,75	0,65
23	1,50	4,31	3,00	1,19	0,51	0,46	0,65	0,62	0,75	0,75	0,77	0,46
24	2,18	3,38	2,35	0,84	0,51	0,46	0,65	0,72	0,75	0,75	0,77	0,46
25	7,72	2,09	2,43	0,76	0,51	0,53	0,61	0,68	0,69	0,75	0,77	0,46
26	6,15	1,72	2,89	0,63	0,51	0,53	0,58	0,68	0,80	0,75	0,73	0,45
27	6,89	2,26	2,51	0,69	0,51	0,61	0,62	0,73	0,80	0,75	0,73	0,49
28	2,68	1,94	2,77	0,71	0,51	0,57	0,63	0,69	0,76	0,75	0,69	0,53
29	1,76	1,75	5,14	0,64	0,51	0,58	0,68	0,70	0,76	0,75	0,71	0,53
30	1,75		4,55	0,60	0,51	0,58	0,68	0,60	0,77	0,75	0,76	0,52
31	4,45		5,23		0,51		0,60	0,70		0,78		0,52
Дек. 1	2,29	3,07	2,18	5,18	0,56	0,53	0,55	0,69	0,77	0,78	0,80	0,82
Дек. 2	0,50	1,93	4,01	1,59	0,55	0,47	0,56	0,60	0,71	0,79	0,77	0,78
Дек. 3	3,39	2,79	3,31	0,89	0,51	0,52	0,64	0,68	0,76	0,76	0,74	0,53
Сред.	2,10	2,59	3,17	2,55	0,54	0,51	0,58	0,66	0,74	0,78	0,77	0,70
Наиб.	7,72	5,69	7,63	5,91	0,67	0,61	0,69	0,80	0,82	0,82	0,81	0,84
Наим.	0,37	0,99	1,36	0,60	0,48	0,42	0,45	0,53	0,61	0,75	0,69	0,45

Среднее значение за год – 1,31 г/с; Наибольшее значение за год – 7,72 г/с.

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.

Выводы исследований и перспективы дальнейшего использования полученных в статье результатов. Итогом данной работы являются следующие выводы:

1) современные методы наблюдений по гидрохимическим показателям обладают низкой информативностью в связи с малой частотой измерений, что 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 0,73 до 0,98;

3) результаты выполненных исследований позволяют обосновать методы вычисления ежедневных расходов минеральных веществ для решения вопросов организации водоохранных мероприятий и прогнозирования качества речных вод.

Литература

1. Ратушняк Г.К. Топографія з основами картографії. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2002. – 179 с.
2. Наставления гидрометстанциям и постам. – Вып. 6. – Ч. 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 384 с.
3. Гидрологические ежегодники. - Вып. 6. - Том 2. - 1965 – 1975 гг. – Киев, 1967 – 1977.
4. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. – Вып. 3. – Ч. 1 и 2. - 1984 – 2002 гг. – Киев, 1985 – 2003.
5. Романенко В.Д., Жулинський В.М., Оксіюк О.П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: Символ - Т, 1998. – 28 с.
6. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.
7. Сніжко С.І., Орлов О.О., Закревський Д.В. та ін. Гідрохімія та радіогеохімія річок і боліт Житомирської області. – Житомир: Волинь, 2002. – 264 с.
8. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Підручник. – К.: Обереги, 2001. – 728 с.
9. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. – К.: Либідь, 1997, с. 303-378.
10. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 288 с.
11. Наставления гидрометстанциям и постам. – Вып. 6. – Ч. 3. – Л.: Гидрометеоздат, 1958. – 292 с.

12. *Лучишева А.А.* Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 424 с.
13. *Карасёв И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С.* Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.
14. *Поляков М.М.* Проблемы управления водопользованием. – Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2002. – 236 с.
15. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Крым.* – Т. 6. – Вып. 4. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 347 с.
16. *Константинов А.Р., Химин Н.М.* Применение сплайнов и метода остаточных отклонений в гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 183 с.
17. *Алёкин А.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.
18. *Иваненко А.Г., Гриб О.Н.* Расчёт стока воды и смыва химических веществ с малых водосборов в районе юго-восточной части горного Крыма // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Вип. 47. – Одеса: ОДЕКУ, 2003. – С. 178 – 185.
19. *Иваненко А.Г., Гриб О.Н.* Вынос химических веществ поверхностным и подземным стоком с водосборов малых рек. - Матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції «Україна наукова – 2003». – Т. 26. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. – С. 30 – 32.
20. *Розробка методів дослідження гідроекосистем північно-західного Причорномор'я на базі дистанційної інформації і ГІС-технологій її обробки.* - Звіт про науково-дослідну роботу (заключний) / Під ред. д.г.н., проф. Іваненко О.Г. – Одеса: ОДЕКУ, 2003. – 120 с.
21. *Соколовский Д.Л.* Речной сток. Методы исследований и расчётов. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 492 с.
22. *Горев Л.М., Пleshенко В.И., Курничный В.В.* Методика оптимизации природной среды обитания. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.

SUMMARY

O. N. Grib

THE DEFINITION OF CALCULATION THE DAILY CHARGES OF MATTERS ON THE SMALL CRIMEAN'S RIVERS METHOD

The methods of computation of substances daily consumption according to the data of the observations of the water chemical composition on the rivers of the Crimea have been developed. Effective means of improvement of accuracy of temporary splayn-interpolation by means of coordination of mineralization with consumption of water for different elements of the operating water conditions of the rivers are proposed. The results of the investigation can be used in the substations of the projects of water-protecting measures and forecasting of the quality of the river water.

Поступила 18.01.2005