

УДК 628.394(001.57)

**С. Н. КОВАЛЕНКО**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»**РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НАТУРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РЕК, ПРИНИМАЮЩИХ СТОКИ С МЕЛИОРИРУЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Разработана и адаптирована методика статистического анализа экспериментальных хронологических многолетних рядов наблюдений концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водотоках на примере биогенного загрязнения малых рек Нечерноземной зоны РФ. Определение выборочных оценок статистических характеристик выполнено методом моментов. Получены оценки коэффициента автокорреляции.*

*Статистический анализ, многолетние ряды наблюдений, концентрация загрязняющих веществ, поверхностные водотоки, биогенное загрязнение малых рек, коэффициент автокорреляции.*

*The method of the statistic analysis of experimental chronological long-term observational series has been developed and adapted of concentrations of polluting matters in surface waterways on the example of the biogenic pollution of small rivers of the Non-black soil area (Nechernozemje) of RF. Determination of sample estimates of statistic characteristics was performed by a method of moments. There are obtained estimates of the autocorrelation coefficient, fulfilled testing on their significance.*

*Statistic analysis, long-term observational series, concentration of polluting matters, surface waterways, biogenic polluting of small rivers, coefficient of autocorrelation.*

Результатом статистического анализа натурной гидрологической и гидрохимической информации является получение аналитических кривых обеспеченности для математического моделирования концентрации биогенного загрязнения малой реки в створе полного смешения в результате поступления сточных вод с сельскохозяйственных территорий. Малые реки – это водотоки, протекающие в одной географической зоне, имеющие характерные особенности, связанные с климатическими, гидрогеологическими, гидробиологическими и гидрохимическими параметрами. К малым рекам относятся все водотоки с длиной русла до 200 км и площадью водосбора до 2000 км<sup>2</sup>. Следует отметить слабую изученность гидрохимических и гидрологических характеристик малых рек Нечерноземной зоны Российской Федерации.

С учетом возрастающего ухудшения экологического состояния поверхностных водотоков изучение процессов поступления, распределения и трансформации загрязняющих веществ в водотоках является актуальной задачей. В настоящей работе загрязнение поверхностных вод рассматривается как вероятностный процесс. Данный метод основан на предположении о случайности процесса формирования концентрации загрязнения. Стохастичность обусловлена множеством факторов – климатических, антропогенных, биологических, морфологических, определяющих величину концентрации загрязняющего вещества в контрольном створе. Определением расчетных гидрологических характеристик с учетом их стохастической природы занимались С. Крицкий, М. Мендель, А. Чеботарев, А. Рождественский, М. Михалев,

А. Резняковский, Е. Блохинов, Г. Сванидзе и др. В отличие от гидрологических характеристик гидрохимические параметры изучены слабо. Это обусловлено короткими сроками наблюдений, редким отбором проб, трудоемкостью определения количественной оценки величин концентраций загрязняющих веществ.

В настоящей работе процесс загрязнения малых водотоков рассматривается как стохастический. Математическое моделирование методом Монте-Карло (метод статистических испытаний) предусматривает расширение рядов на основе полученных статистических результатов обработки натурной информации. Удлинение экспериментальных рядов наблюдений математическими методами в настоящее время является наиболее доступным при изучении природных процессов.

В основу исследований положены результаты наблюдений государственной службы Росгидромет РФ. Вологодская область относится к его северному отделению. На территории области выбран ряд рек бассейна Северной Двины. Малые реки, типичные для этой природно-климатической зоны, являются притоками реки Сухоны: Лежа, Двинница, Верхняя Ерга; Кичменга – приток реки Юг. Река Лежа – левый приток, впадающий в реку Сухону в верхнем течении. Двинница и Верхняя Ерга – правые притоки Сухоны соответственно в среднем и нижнем течении. Река Кичменга впадает в Юг в среднем течении. Период наблюдений за водными объектами составляет 15–28 лет. Выбранные водные объекты относятся к водотокам четвертой категории. Четвертая категория предусматривает осуществление гидрологических и гидрохимических наблюдений лишь в определенные гидрологические фазы водотока. В среднем количество наблюдений за год по каждому ингредиенту составляет от 7 до 15 проб. На каждом водотоке оборудован один гидрометрический пост наблюдений,

совмещенный с гидрохимическим постом. Следует отметить, что в 90-е годы прошлого столетия число наблюдений было сокращено и часто носило выборочный характер.

Начальным этапом обработки натурной информации является формирование банка данных натуральных наблюдений (БДНН). Натурная гидрометрическая и гидрохимическая информация, предоставленная Росгидрометом, преобразована в электронные таблицы в системе Microsoft Office Excel. Банк данных натуральных наблюдений представляет собой набор файлов, содержащих исходную информацию по каждой реке. Каждый файл БДНН состоит из следующих совместных характеристик: расход реки, азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор минеральный и фосфор общий. Гидрохимические и гидрологические параметры располагаются в хронологической последовательности, общий период наблюдений – с 1978 по 2006 г. Натурная информация связана с датой отбора проб.

При выборе методов оценки натурной информации проведен литературный анализ возможных способов расчета выборочных оценок статистических параметров. В основу обработки данных натуральных наблюдений положен метод моментов, широко используемый в практических расчетах. Результаты основных статистических параметров совместных многолетних гидрологических и гидрохимических характеристик натуральных данных приведены в таблицах 1...4.

Расчеты выполнены согласно приведенному списку литературных источников [1–5] с использованием результатов натурального эксперимента (Государственный водный кадастр. Разд. 1. : Поверхностные воды. – Сер. 2. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод. – Ч. 1. Реки и каналы. – Т. 1 (28)РФ. Бассейны рек на территории Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми).

По результатам статистической обработки натуральных наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими

Таблица 1

**Результаты статистической обработки данных природных наблюдений по реке Леже**

Показатель	Расход, м <sup>3</sup> /с	Азот аммонийный, мг/л	Азот нитритный, мг/л	Азот нитратный, мг/л	Фосфор минеральный, мг/л	Фосфор общий, мг/л
Количество значений	63	63	63	62	61	61
Максимальное значение	301	1,32	0,107	1,31	0,166	0,214
Минимальное значение	0,52	0	0	0,01	0	0,01
Среднее арифметическое значение	42,43	0,24	0,013	0,23	0,032	0,06
Коэффициент асимметрии $C_s$	1,89	2,5	3,09	2,61	2,45	1,84
Коэффициент эксцесса $C_e$	2,67	8,55	9,41	8,23	7,63	3,98
Дисперсия $D$	5302	0,05	0,0005	0,066	0,0009	0,002
Стандартное отклонение $\sigma$	72,81	0,23	0,022	0,26	0,03	0,042
Коэффициент вариации $C_v$	1,72	0,96	1,69	1,11	0,94	0,7
Отношение $C_s/C_v$	1,1	2,6	1,83	2,34	2,6	2,64
Коэффициент автокорреляции	-0,19	0,48	-0,12	0,08	0,12	0,15
Отношение Неймана	2,37	1,03	2,24	1,82	1,75	1,65

Таблица 2

**Результаты статистической обработки данных природных наблюдений по реке Двиннице**

Показатель	Расход, м <sup>3</sup> /с	Азот аммонийный, мг/л	Азот нитритный, мг/л	Азот нитратный, мг/л	Фосфор минеральный, мг/л	Фосфор общий, мг/л
Количество значений	157	160	160	159	158	134
Максимальное значение	336	6,23	0,15	0,92	0,475	0,59
Минимальное значение	0,09	0	0	0	0	0
Среднее арифметическое значение	40,10	0,57	0,01	0,15	0,04	0,06
Коэффициент асимметрии $C_s$	2,40	4,76	4,74	2,3	4,43	4,58
Коэффициент эксцесса $C_e$	5,49	36,93	30,25	6,55	25,86	29,85
Дисперсия $D$	5318,29	0,42	0,0003	0,031	0,003	0,0045
Стандартное отклонение $\sigma$	72,93	0,65	0,017	0,18	0,057	0,067
Коэффициент вариации $C_v$	1,82	1,13	2,08	1,15	1,63	1,07
Отношение $C_s/C_v$	1,78	1,65	1,73	1,65	1,77	1,88
Коэффициент автокорреляции	0,08	0,13	-0,11	0,16	0,11	0,05
Отношение Неймана	1,32	4,21	2,28	2	2,73	4,28

Таблица 3

**Результаты статистической обработки данных природных наблюдений  
по реке Верхняя Ерга**

Показатель	Расход, м <sup>3</sup> /с	Азот аммонийный, мг/л	Азот нитритный, мг/л	Азот нитратный, мг/л	Фосфор минеральный, мг/л	Фосфор общий, мг/л
Количество значений	147	153	156	152	148	131
Максимальное значение	304	1,92	0,092	0,45	0,092	0,302
Минимальное значение	0,15	0	0	0	0	0
Среднее арифметическое значение	13,11	0,45	0,003	0,09	0,01	0,04
Коэффициент асимметрии $C_s$	7,16	1,14	6,89	1,69	1,92	4,03
Коэффициент эксцесса $C_e$	65,42	0,34	53,06	2,99	5,27	22,15
Дисперсия $D$	878,99	0,21	0,0001	0,01	0,0002	0,001
Стандартное отклонение $\sigma$	29,65	0,46	0,01	0,09	0,02	0,04
Коэффициент вариации $C_v$	2,26	1,01	3,07	1,02	1,00	0,90
Отношение $C_s/C_v$	3,16	1,13	2,25	1,65	1,91	4,48
Коэффициент автокорреляции	-0,03	0,36	0,11	0,09	0,24	-0,02
Отношение Неймана	2,05	1,26	1,78	1,77	1,50	1,92

Таблица 4

**Результаты статистической обработки данных природных наблюдений  
по реке Кичменге**

Показатель	Расход, м <sup>3</sup> /с	Азот аммонийный, мг/л	Азот нитритный, мг/л	Азот нитратный, мг/л	Фосфор минеральный, мг/л	Фосфор общий, мг/л
Количество значений	165	156	163	162	152	131
Максимальное значение	820	1,72	0,132	0,66	0,184	0,394
Минимальное значение	0,1	0	0	0	0	0,005
Среднее арифметическое значение	66,93	0,38	0,004	0,11	0,02	0,05
Коэффициент асимметрии $C_s$	3,36	1,55	7,27	1,73	3,35	4,41
Коэффициент эксцесса $C_e$	17,06	2,49	59,36	3,41	15,06	29,67
Дисперсия, $D$	10983	0,12	0,0002	0,01	0,001	0,002
Стандартное отклонение $\sigma$	104,8	0,34	0,01	0,12	0,03	0,04
Коэффициент вариации $C_v$	1,57	0,91	3,21	1,09	1,23	0,94
Отношение $C_s/C_v$	2,15	1,70	2,27	1,58	2,74	4,68
Коэффициент автокорреляции	0,10	0,21	-0,02	0,13	0,10	0,15
Отношение Неймана	1,74	1,54	2,03	1,62	1,18	1,66

показателями малых рек можно сделать следующие выводы:

все рассматриваемые ингредиенты имеют положительную асимметрию;

высокие значения  $C_s$  обуславливают смещенность случайных величин относительно центра распределения, причем в большинстве случаев отклонение максимальных значений превышает диапазон разброса в  $3\sigma$ ;

большие значения дисперсии и соответствующие ей средние квадратические отклонения (стандартные отклонения) получены для расходов воды;

в большинстве случаев величины коэффициента автокорреляции имеют положительное значение;

значения  $C_v$  в некоторых случаях близки к единице, а в большинстве случаев превышают ее;

при определении значимости автокорреляционных связей по критерию Андерсона можно утверждать ее наличие при количестве значений в выборке 150...180, если коэффициент автокорреляции превышает 0,15 при 5% -м уровне значимости, а при количестве 60 значений – 0,19;

по отношению Неймана для уровня значимости 5 % коэффициент автокорреляции значим в выборке: для 60 значений – при величине меньше 1,6; для 160...180 значений – при величине меньше 1,7...1,8.

Значимость коэффициента автокорреляции установлена для аммонийного азота – реки Лежа, Верхняя Ерга и Кичменга, для фосфора общего – реки Лежа и Кичменга, фосфора минераль-

ного – река Верхняя Ерга. Для остальных ингредиентов значимость автокорреляции не подтверждается или носит противоречивый характер.

Наибольшие значения отношения  $C_s/C_v$  получены для фосфора общего. В большинстве случаев оно приближается к двум и выше.

Резюмируя полученные результаты статистической обработки многолетних экспериментальных гидрологических и гидрохимических характеристик, следует предположить неоднородность данных натуральных наблюдений в выборках, обусловленную годовой неравномерностью формирования случайных величин. Для ликвидации неоднородности случайных величин следует разделить выборку на сезоны и месяцы.

#### Список литературы

1. **Бронштейн, И. Н.** Справочник по математике [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семенов. – М. : Наука, 1980. – 977 с.
2. **Максимов, Ю. Д.** Математическая статистика [Текст] / Ю. Д. Максимов. – СПб. : СПбГПУ, 2004. – 100 с.
3. **Михалев, М. А.** Инженерная гидрология [Текст] / М. А. Михалев. – СПб. : СПбГПУ, 2003. – 360 с.
4. Гидрологические основы гидротехники [Текст] / А. Ш. Резняковский [и др.]. – М. : Энергия, 1979. – 232 с.
5. Общая теория статистики / Т. В. Ряпушкин [и др.]. – М. : Изд-во «Финансы и статистика», 1981. – 279 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

**Коваленко Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, докторант

Тел.: 8 (812) 535-46-10

E-mail: kovalenko03@mail.ru