

2. Аношко Я. И., Унукович А. В., Варакса В. В. Минерально-сырьевые ресурсы в народнохозяйственном комплексе Республики Беларусь //Белорусский экономический журнал. – 2010, №. 4, с. 133–142.

3. Сапон Е. Г., Марцуль В. Н. Перераспределение фосфора между фазами суспензии из бытового активного ила при аэробной и анаэробной стабилизации //Труды БГТУ: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2015. №. 4. Т.177, с. 288–294.

4. Le Corre K. S. et al. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review //Critical Reviews in Env. Sci. and Tech. 2009. Vol. 39. №. 6. P. 433–477.

5. Сапон Е. Г., Марцуль В. Н. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов // Труды БГТУ: Химия и технология неорганических веществ. – 2015. №. 3. Т.176, с. 20–28.

УДК 556

Е.Е. Петлицкий, О.И. Процко

РУП «ЦНИИКИВР», Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО СТОКА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ ОТ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Формирование речного стока происходит водвоздействием большого количества факторов, которые можно выделить в три группы:

– факторы, определяющие увлажненность водосборов или его климатические особенности (гидрометеорологические особенности бассейна);

– факторы подстилающей поверхности (рельеф, лесистость, заболоченность, озерность, почвы, распаханность и т. д.). Влияние их на величину стока проявляется косвенно. Роль их сказывается в трансформации поступающих на водосбор осадков. Они определяют аккумулирующую способность водосбора, время добегания поверхностных и подземных вод к створу и разность запасов влаги на начало и конец расчетного периода;

– гидрогеологические условия, характеризующие подземное питание рек, особенно из зоны активного водообмена. Влияние этих факторов сказывается существенно на минимальном стоке, а в меньшей, степени на сезонном.

Эти три группы определяющих факторов в той или иной степени должны быть учтены при анализе условий формирования сезонного стока. Связь между стоком рек и этими явлениями настолько сложна и многообразна, что зависимость между ними не всегда четко проявляется, она приобретает приближенный статистический характер.

Выявление основных факторов и оценка их влияния на формирование летне-осеннего стока может быть объективно выполнена с использованием аппарата множественной линейной корреляции. Вычисленные коэффициенты корреляции позволяют судить о степени статистических связей между стоком и физико-географическими факторами.

Расчет парных коэффициентов корреляции выполнен для двух характеристик летне-осеннего стока:

средний сток за сезон – u_2 , л/с·км²;

минимальный средний месячный сток – u_2 , л/с·км².

В качестве аргументов, характеризующих условия формирования стока, использовано 10 физико-географических факторов:

0 – сумма годовых осадков, мм;

x – норма годового стока, л/с.км²;

h – глубина вреза русла, м;

λ – лесистость, %;

φ₁ – заболоченность, %;

J– средний взвешенный уклон, ‰;

Н – высота водосбора, м;
 F – площадь водосбора, км²;
 φ – коэффициент естественной зарегулированности.

Результаты расчетов парных коэффициентов корреляции приведены в таблице 1 в виде матрицы. Матрица парных коэффициентов корреляции симметричная и поэтому приведена до главной диагонали. В первых двух колонках приведены коэффициенты корреляции минимального (y_1) и среднего стока (Y_2) за летне-осенний сезон между собой и физико-географическими факторами. Как видно из этой таблицы влияние факторов на формирование стока проявляется неодинаково. Наиболее тесно характеристики летне-осеннего стока связаны с годовым стоком, коэффициентом естественной зарегулированности и глубиной вреза русла. Коэффициенты корреляции между минимальным средним месячным модулем стока и этими факторами соответственно равны:

$$r_{y_1x}=0,71\pm 0,06; r_{y_1\phi}=0,81\pm 0,04; r_{y_1h}=0,52\pm 0,12.$$

Для среднего модуля стока за сезон теснота связи характеризуется:

$$r_{y_2x}=0,77\pm 0,05; r_{y_2\phi}=0,67\pm 0,02; r_{y_2h}=0,38\pm 0,07.$$

Следует отметить существование статистических связей летне-осеннего стока с высотой водосбора, коэффициенты корреляции $r_{y_1h}=0,41$; $r_{y_2h}=0,36$. Объяснением может служить то, что высота водосбора находится в довольно тесной корреляционной зависимости от глубины вреза русла ($r_{hH}=0,69$) и косвенно характеризует степень дренирования территории речной сетью.

Как показал анализ корреляции связей, регулирующие влияние водосборной площади для данного района недостаточно четко выражено ($r_{y_1F}=0,24$, $r_{y_2F}=0,05$) и несколько теснее связь с площадью водосбора в логарифмическом виде. Коэффициенты корреляции $r_{y_1lgF}=0,16$ и $r_{y_2lgF}=0,27$ (в матрице не приведены).

Таблица 1 – Парные коэффициенты корреляции между характеристиками летне-осеннего стока и физико-географическими факторами.

	y_1	y_2	x	h	φ	λ	φ ₁	J	H	J _{ср}	O	F
y_1	1											
y_2	0.83	1										
x	0.71	0.77	1									
h	0.52	0.38	0.14	1								
φ	0.81	0.67	0.40	0.57	1							
λ	-0.11	-0.02	0.18	-0.27	-0.16	1						
φ ₁	-0.28	-0.42	-0.25	-0.38	-0.21	0.05	1					
J	0.11	0.14	0.18	0.04	0.02	-0.34	-0.22	1				
H	0.41	0.36	0.04	0.69	0.37	-0.55	0.40	0.44	1			
J _{ср}	0.23	0.32	0.30	0.16	0.12	-0.23	-0.34	0.88	0.50	1		
O	0.14	0.16	0.33	-0.33	-0.12	0.28	-0.05	-0.02	-0.48	-0.05	1	
F	0.24	0.05	-0.11	0.42	0.39	0.01	0.04	-0.10	-0.04	-0.30	-0.21	1

Обращает на себя внимание, что связь характеристик летне-осеннего стока с лесистостью и заболоченностью является обратной, коэффициенты корреляции имеют отрицательный знак, т.е. с увеличением заболоченности заселенности происходит уменьшение модулей стока летне-осеннего сезона, как среднего, так и минимального. Такие же результаты получены для рек Полесской низменности [1].

Таким образом, оценка влияния комплекса физико-географических факторов на формирование летне-осеннего стока методом множественной линейной корреляции показала, что в процессах формирования сезонного стока ощутимо сказываются такие факторы:

- а) норма годового стока, которая принята в качестве показателя увлажненности водосбора;
- б) коэффициент естественной зарегулированности, интегрально учитывающий условия подстилающей поверхности;

в) глубина вреза русла, характеризующая гидрологические условия бассейна. Чем больше глубины вреза русла, тем большая величина водоотдачи в русла рек. Глубина вреза до створа определялась как разница между средней высотой водосбора и средней отметкой дна реки.

В пределах бассейна Припяти выделено 5 гидрологических районов: на территории части бассейна — Припятский и Центрально-Березинский районы, включающие северные притоки Припяти; на украинской части бассейна – Западнополесский, Восточнополесский и Волыньские районы. Для каждого выделенного района условия формирования речного стока отличаются своими особенностями, неоднородны условия подстилающей поверхности.

Однако физическим обоснованием этого явления может служить то, что привлеченные к анализу условий формирования летне-осеннего стока такие факторы, как норма стока и коэффициент естественной зарегулированности по существу отражают комплексные условия территории. Норма годового стока является зональной характеристикой. Величина ее определяется водным балансом водосбора.

Как показали исследования, коэффициент естественной зарегулированности находится в прямой зависимости от факторов подстилающей поверхности. Коэффициент корреляции R с величиной водосборной площади, средневзвешенным уклоном, озерностью, лесистостью, заболоченностью, с закарстованностью, распаханностью водосбор адовольно высок. Коэффициент естественной зарегулированности определяется этими факторами. Новсе эти факторы так же являются существенными и при формировани и летне-осеннего стока. Поэтому не случайно коэффициент корреляции летне-осеннего стока с этим комплексным показателем, характеризующим перераспределение влаги в бассейне имеет высокую величину.

Общий коэффициент корреляции равен: для среднего стока за сезон $0,87 \pm 0,03$; для минимального среднего месячного $0,92 \pm 0,02$.

Вычисление определителя корреляционной матрицы производилось по методу Гаусса, основы которого изложены в работе [2].

Корреляционные уравнения, связывающие характеристики летне-осеннего стока с расчетными факторами после соответствующих преобразований имеет следующий вид:

$$y_1 = 0,38x + 3,43\varphi + 0,006h - 2,59. (1)$$

$$y_2 = 0.51x + 2,61\varphi + 0,0021h - 1,42. (2)$$

Следует отметить, что сток летне-осеннего сезона прежде всего определяется двумя первыми переменными (годовой модуль стока и коэффициент естественной зарегулированности). Влияние глубины вреза весьма не значительно. Коэффициент множественной корреляции при исключении этой переменной уменьшается очень незначительно, величина его минимального среднегомесячного стока составляет 0,91.

Таким образом, включение в расчетную формулу дополнительной переменной (глубина вреза русла) невносит существенного уточнения и почти не меняет коэффициента множественной корреляции, но значительно усложняет расчеты. Тем более, что погрешность расчета глубины в резару сладо вольно высока и сопряжена с трудоемкими работами по расчетам средней высоты водосбора и отметки дна реки.

Уравнения множественной регрессии после исключения этого аргумента примет следующий вид:

$$y_1 = 0,37x + 4,10\varphi - 2,73. (3)$$

$$y_2 = 0.50x + 2,92\varphi - 1,48. (4)$$

Сопоставление расчетных величин, полученных по формулам (1) и (2) с фактическими данными по 65 водосборам, использованным при установлении корреляционных уравнений дает, как правило, удовлетворительные результаты. В табл. 2 дана оценка точности расчета для проверочного ряда, т. е. для всех створов, принятых при анализе. Погрешность расчета составляет в среднем для среднего сезонного 12% и 18% для мнни-мального стока. В подавляющем большинстве случаев (60-70%) отклонения расчетных величин лежат в пределах 0–15%. Лишь в 7 и 11% случаев отклонения превышает 30%.

Анализ материалов по этим водосборам показал, что для них норма стока, а также остальные аргументы, использованные в корреляционной зависимости, получены по тем или иным причинам с пониженной точностью.

Таблица 2 – Отклонение расчетных расходов летне-осеннего стока от наблюдаемых величин

Отклонения, в %	Число случаев			
	Средний за сезон		Минимальный за сезон	
	частота	в процентах	частота	в процентах
0-5	24	37	19	29
6-10	16	24	13	20
11-15	8	12	6	9
16-20	7	11	9	14
21-25	2	3	6	9
26-30	4	6	2	3
31-50	3	5	3	5
более 50	1	2	7	11

Погрешности расчета по уравнениям (3) и (4) имеют аналогичный характер. Это еще раз убеждает, что включение в корреляционную связь дополнительной переменной (глубина вреза) не позволяет получить более точной расчетной зависимости.

Список использованных источников

1. Артемьева Н.П. Анализ и расчет минимального стока статистическими методами (на примере рек Полексской низменности). Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Л., 1975, 26 с.
2. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л., Гидрометеиздат, 1974, 424 с.

УДК 502.5

А. В. Бурмакова, В. В. Смелов
БГТУ, г. Минск

ОПИСАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Математическая модель содержит формулы вычисления для прогноза различных аварийных ситуаций. Существует множество математических моделей, которые позволяют рассчитать последствия загрязнения водных объектов, загрязнения атмосферы в результате испарения нефтепродуктов, отдельных частей геологической среды и другие. Уникальностью данной модели является то, что она содержит формулы и методы решений не только отдельного слоя геологической среды, а включает в себя поверхностный слой, грунтовый и почвенный слой, а также рассчитывает последствия аварии в грунтовых водах и распространения загрязнения с ними.

Исходными для математической модели прогнозирования (ММП) являются следующие данные.

1. Географические координаты центра пролива, объем и тип (бензин, керосин, сырая нефть и пр.) пролитого нефтепродукта (НП).
2. Данные о физико-химических свойствах нефтепродуктов.
3. Данные о свойствах грунтов.
4. Картографическая информация: рельеф местности, глубина залегания грунтовых вод, мощность грунтового и почвенного слоя, коэффициенты задержки НП в грунте и почве.
5. Тип пролива нефтепродукта.