

доступа: <http://pravo.kulichki.com/zak/year2003/doc07836.htm>. - Дата доступа 10.09.2009.

4. Хмель, Е.В. Особенности организации эксплуатации систем сельскохозяйственного водоснабжения в Республике Беларусь / Е.В. Хмель // 1-я Восточно-европейская региональная конференция молодых ученых и специалистов водного сектора IWA: сб. науч. трудов, Минск, 21-22 мая 2009 г. / Бел. нац. техн. ун-т; под общей ред. А.Д. Гуриновича. – Минск, 2009. – 393 с. / 349–354 с.

5. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 6 апреля 1994 г. №23 "О Правилах технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест" // [Электронный ресурс]. – 1994. – Режим доступа: <http://pravo.kulichki.com/zak2007/bz57/dcm57915.htm> – Дата доступа 10.09.2009

Материал поступил в редакцию 22.10.09

CHMEL E.V. Ways of decrease of the cost price of agricultural production at the expense of effective operation of systems of water supply

The problem of minimum costs, competitive as in the international so in the internal market, production of high-quality agricultural commodities has come to the fore for the agricultural sector companies because of the world financial and economic recession. Water supply costs can be emphasized as the factor of production prime cost optimization.

УДК 556.16.048

Волчек А.А., Натарева О.Н.

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ И ЕГО СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Введение. Водные ресурсы Беларуси представлены совокупностью рек, озер, водохранилищ, грунтовых и подземных вод. По территории республики протекает около 20,8 тыс. рек, общей длиной 90,6 тыс. км. Большинство из них – это водотоки, относящиеся к малым равнинным рекам. К числу крупных относятся следующие речные артерии – Западная Двина, Неман, Западный Буг, Виляя, Днепр, Сож и Припять.

В целом, речная сеть страны развита хорошо. Средняя густота речной сети составляет 0,44 км/км². В северной части страны она увеличивается до 0,60–0,80 км/км², в южной уменьшается до 0,23–0,33 км/км². Однако данный показатель ежегодно снижается в результате спрямления и канализирования русел рек, исчезновения малых рек вследствие изменения общего гидрологического режима из-за мелиорации переувлажненных земель, вырубки лесов и изменения климата [1].

Важной гидрологической характеристикой и водохозяйственной характеристикой речного стока является внутригодичное распределение стока (ВРС), используемое при проектировании водохозяйственных объектов, управлении работой водохранилищ, разработке схем комплексного использования водных ресурсов и т.д.

Последние фундаментальные исследования ВРС рек Беларуси выполнены в 60-х годах прошлого столетия [2]. За прошедшее время произошли изменения в температурном режиме и режиме атмосферных осадков. В связи с этим на сегодняшний день является актуальным проведение данного исследования, а накопленный материал, требующий тщательного анализа, может быть использован как рекомендация для практического применения.

Целью данной работы является оценка изменений ВРС воды в период с 1961 г. по 2005 г. (по отношению к периоду до 1960 г.) в складывающихся современных природно-климатических условиях, а также статистическое моделирование с учетом современных изменений климата.

Исходные данные и методика исследований. Для проведения исследований в качестве исходных данных использованы многолетние ряды наблюдений за годовыми и среднемесячными расходами воды по 40 гидрометрическому посту республики (таблица 1), предоставленные Республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

В качестве метода исследований выбран метод компоновки сезонов, сущность которого заключается в определении значений стока воды за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц по аналитическим кривым

распределения стока с использованием принципа равенства расчетных вероятностей превышения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц. Сток за нелимитирующий период определяют по разности расчетных значений объемов стока за водохозяйственный год и лимитирующий период, сток за нелимитирующий сезон – по разности расчетных объемов стока за лимитирующий сезон, а суммарный объем стока всех нелимитирующих месяцев внутри нелимитирующего сезона – по разности расчетных объемов стока за лимитирующий сезон и лимитирующий месяц [3].

Для выполнения статистического моделирования ВРС воды рек (метод разработан в КазНИИ энергетики В. П. Захаровым, В. Я. Кимом, Н. П. Капитоновой) использована дискретная схема, согласно которой стохастический характер гидрологического процесса описан обобщенной характеристикой внутригодичного распределения стока воды (ВРС), включающей в себя следующие статистические параметры: 1) осредненный за многолетие гидрограф стока воды; 2) кривая изменения коэффициентов вариации; 3) кривая изменения коэффициентов корреляции между стоком смежных отрезков времени.

В соответствии с этим, при моделировании расчетных гидрографов приняты следующие исходные допущения:

- а) основная математическая модель гидрологического процесса – простая цепь Маркова;
- б) корреляционная связь между стоком смежных отрезков времени – линейная;
- в) для аппроксимации кривой распределения средних месячных расходов воды принята кривая Пирсона III типа.

Ввиду этого для моделирования гидрографов стока использовано полученное рекуррентное уравнение:

$$Q_i = \bar{Q}_i + x_i \cdot C_{vi} \sqrt{1 - r_{i-1,i}^2} + r_{i-1,i} \cdot \frac{C_{vi-1}}{C_{vi-1}} (Q_{i-1} - \bar{Q}_{i-1}) \quad (1)$$

где Q_i – норма расходов рассматриваемого i -ого месяца;

C_{vi} – стандарт отклонения среднемесячных расходов;

C_{vi-1} , $\bar{Q}_{i-1}$, Q_{i-1} – соответственно стандарт, норма и текущие расходы предыдущего $i-1$ -ого месяца;

$r_{i-1,i}$ – коэффициент корреляции между стоком смежных месяцев;

x_i – нормированное случайное отклонение.

Нормированное случайное отклонение определено:

- для марта месяца:

Натарева Оксана Николаевна, аспирант Института природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220014, НАН Беларуси, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 10.

Таблица 1. Характеристика водосборов рек Беларуси

Река-пост	Площадь водосбора, км ²	Заболоченность, %	Залесенность, %	Озерность, %
1	2	3	4	5
Западно-Двинский гидрологический район				
р. Полота – с. Янково 1-е	618	43	54	4
р. Дисна – пгт. Шарковщина	4540	16	24	5
р. Берёзовка – с. Саутки	554	8	14	1
Верхне-Днепровский гидрологический район				
р. Остер – с. Ходунь	3250	6	22	0
р. Проня – с. Летяги (х. Яскарь)	4570	11	20	1
р. Беседь – с. Светиловичи	5010	10	18	0
р. Жадунька – г. Костюковичи	334	16	26	0
Вилейский гидрологический район				
р. Улла – с. Промыслы	3330	19	33	3
р. Эсса – с. Гадивля	530	33	40	0
р. Вилия – с. Стешицы	1230	11	46	1
р. Вилия – г. Вилейка	4190	21	35	1
р. Вилия – с. Михалишки	10300	18	32	2
р. Нарочь – с. Нарочь	106	18	2	0
р. Березина – г. Борисов	2	9	38	1
р. Исlochь – с. Боровиковщина	5690	7	20	0
р. Гавья – с. Лубинята	624	8	22	0
р. Ошмянка – с. Великие Яцыны	920	10	20	1
р. Гайна – с. Гайна	1480	5	37	0
Неманский гидрологический район				
р. Нёман – г. Столбцы	3070	24	37	0
р. Нёман – с. Белица	16700	18	28	1
р. Нёман – пгт. Мосты	25600	17	28	1
р. Нёман – г. Гродно	33600	15	27	1
р. Дитва – с. Поречаны	810	22	7	1
р. Свислочь – с. Сухая Долина	1720	11	7	1
Центрально-Березинский гидрологический район				
р. Ухлясть – пос. Радков	258	20	31	0
р. Свислочь – с. Теребуты	4050	26	25	1
р. Грава – с. Аминовичи	39,3	20	51	0
р. Сушанка – с. Суша	153	7	50	0
р. Случь – с. Ленин	4620	34	29	1
р. Птичь – снт. Кринка	2010	40	37	1
р. Птичь – с. Лучицы	8770	44	49	1
р. Оресса – с. Андреевка	3580	47	54	1
Припятский гидрологический район				
кан. Ивня-Бонда – с. Будки	299	41	40	0
р. Уза – с. Прибор	680	22	6	0
р. Ясельда – г. Берёза	916	41	37	0
р. Ясельда – с. Сенин	5110	45	34	1
р. Словечна – с. Кузьмичи	914	25	69	0
р. Копаювка – с. Черск	440	26	35	1
р. Рыта – с. Мал. Радваничи	1230	32	37	5
р. Лесная – с. Замосты	1840	18	39	0

$$X_i = \frac{DQ_{hi}}{C_{vi}} \quad (2)$$

- для остальных месяцев:

$$X_i = \frac{DQ_i}{C_{vi} \sqrt{1 + r_{i-1,i}^2}} \quad (3)$$

Для определения влияния на ВРС рек заболоченности, залесенности, озерности и площади водосбора, построены графики зависимостей типа $M = f(A)$, $M = f(f_{заб.})$, $M = f(f_{зал.})$, $M = f(f_{оз.})$ для каждого створа по сезонам:

$$M = a \cdot X + b, \quad (4)$$

где α – градиент;

X – эмпирический коэффициент регрессии;

β – эмпирический коэффициент регрессии.

С целью выявления изменчивости сезонного стока рек от вышеперечисленных физико-географических факторов построены зависимости типа $C_v = f(A)$, $C_v = f(f_{заб.})$, $C_v = f(f_{зал.})$, $C_v = f(f_{оз.})$.

Анализ результатов исследований. При проведении исследования ВРС воды рек назначены гидрологические сезоны и приняты их общие календарные границы: весна (март-май), лето-осень (июнь-ноябрь), зима (декабрь-февраль). Назначены лимитирующий период (оба маловодных сезона – лето-осень и зима) и лимитирующий сезон (лето-осень или зима). В связи с этим для указанных створов построены гидрографы стока по пяти грациям лет для водности: очень многоводной ($P = 5\%$), многоводной ($P = 25\%$), средней ($P = 50\%$), маловодной ($P = 75\%$), очень маловодной ($P = 95\%$). Характеристика

Таблица 2. Характеристика гидрографов речного стока

Характеристика	Период наблюдений									
	до 1960 года					1961 – 2005 года				
	группа лет по водности					группа лет по водности				
	очень многоводная	многоводная	средняя	маловодная	очень маловодная	очень многоводная	многоводная	средняя	маловодная	очень маловодная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I – Западно-Двинский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	14,0–115,0	16,0–130,0	14,0–130,0	16,0–130,0	15,0–110,0	13,0–78,0	14,0–105,0	14,0–100,0	12,0–108,0	9,0–91,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель
3. Количество паводков в году	3	2–3	2	2–3	2	4	3–4	2–3	3	2
II – Верхне-Днепровский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	16,0–215,0	11,0–175,0	9,0–125,0	8,0–125,0	8,0–93,0	8,0–163,0	7,0–120,0	7,0–94,0	7,0–95,0	6,0–68,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	апрель	апрель	апрель	апрель	март–апрель	апрель	апрель	март–апрель	апрель	март–апрель
3. Количество паводков в году	3	3–4	2	2	2	3–4	3–4	2–4	2–4	2
III – Вилейский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	32,0–225,0	37,0–225,0	35,0–225,0	37,0–220,0	27,0–220,0	0,7–122,0	0,4–138,0	0,2–127,0	0,2–144,0	0,1–128,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	март–апрель	март–апрель	март–апрель	март–апрель	март–апрель
3. Количество паводков в году	3	2–3	2–3	2–3	2	3–4	3–4	2–4	2–4	2
IV – Неманский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	16,0–700,0	14,0–550,0	13,0–550,0	15,0–560,0	17,0–550,0	14,0–411,0	14,0–448,0	13,0–440,0	13,0–471,0	9,0–385,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	апрель	апрель	апрель	апрель	март–апрель	март–апрель (январь)	март–апрель	март–апрель	март–апрель	март
3. Количество паводков в году	2–4	2–3	2–3	2–3	2–3	3–4	3–4	2–3	2–4	2
V – Центральнo-Березинский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	2,0–220,0	1,0–195,0	0,8–165,0	0,3–120,0	0,3–120,0	0,5–121,0	0,6–116,0	0,7–102,0	0,7–104,0	0,5–86,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	апрель	апрель	апрель	апрель	апрель	март–апрель	апрель	апрель	апрель	март–апрель
3. Количество паводков в году	2–4	2–4	2–4	2–4	2	3–5	2–5	2–3	2–4	2–3
VI – Припятский район										
1. Колебание значений расходов воды самого большого паводка в году, м³/с	4,0–107,0	3,0–68,0	3,0–49,0	2,0–49,0	1,0–35,0	3,0–45,0	3,0–56,0	3,0–52,0	2,0–55,0	1,0–45,0
2. Самый большой паводок в году, месяц	март–апрель	март–апрель	март–апрель	март – апрель	март–апрель	март (июль, ноябрь)	март–апрель	март–апрель	март–апрель	март–апрель
3. Количество паводков в году	3–4	2–4	2–4	2–3	2	3	2–3	2–3	2–3	2

построенных гидрографов речного стока, в среднем по районам, представлена в таблице 2. В таблице представлено также описание гидрографов стока рек предшествующего периода, а именно – с момента начала наблюдений на гидрологической сети до 1960 года.

В целом анализ таблицы 2 позволил зафиксировать уменьшение стока рек во все группы лет приблизительно на 20 % по всем гидрологическим районам на современном этапе (1961–2005 гг.). А также наблюдать смещение пика весеннего паводка с апреля месяца на март на реках Вилейского и Неманского гидрологических районов.

Для более наглядного отображения результатов исследований в каждом гидрологическом районе выбрана модельная река. Такими реками являются – Дисна, Беседь, Улла, Неман, Птичь, Ясельда. Анализ гидрографов модельных рек (рис. 1–2), построенных для

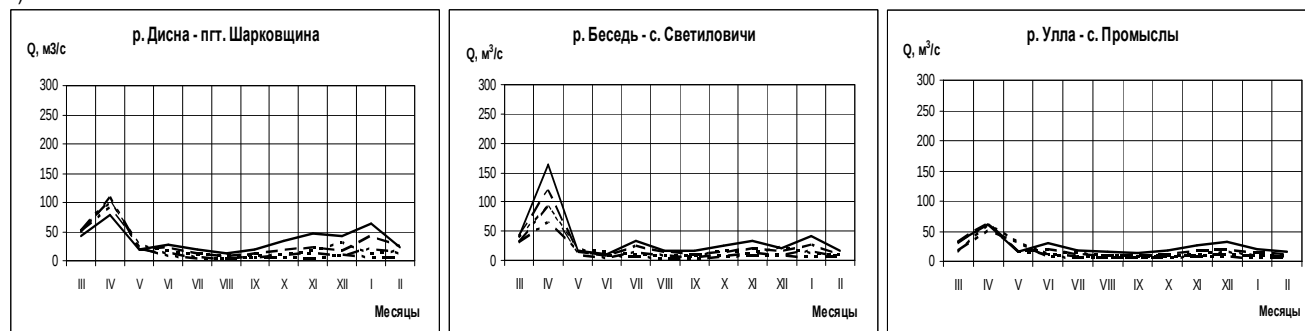
рассматриваемых периодов наблюдений, позволил сделать следующие выводы:

- ВРС модельной реки Западно-Двинского гидрологического района (р. Дисна) в период наблюдений с 1961 по 2005 гг. характеризуется уменьшением значений речного стока в весенний и летне-осенний сезоны (приблизительно на 11 %, 5 % соответственно), и увеличением стока в зимнее время года (около 7 %);
- сток р. Беседь (Верхне-Днепровский гидрологический район) в весенний сезон уменьшился на 1 %, а в зимний период увеличился на 6 %. Форма гидрографов стока на современном этапе видоизменилась – в течение года прослеживается 4 паводковых периода (в предшествующем периоде – 3);

а)



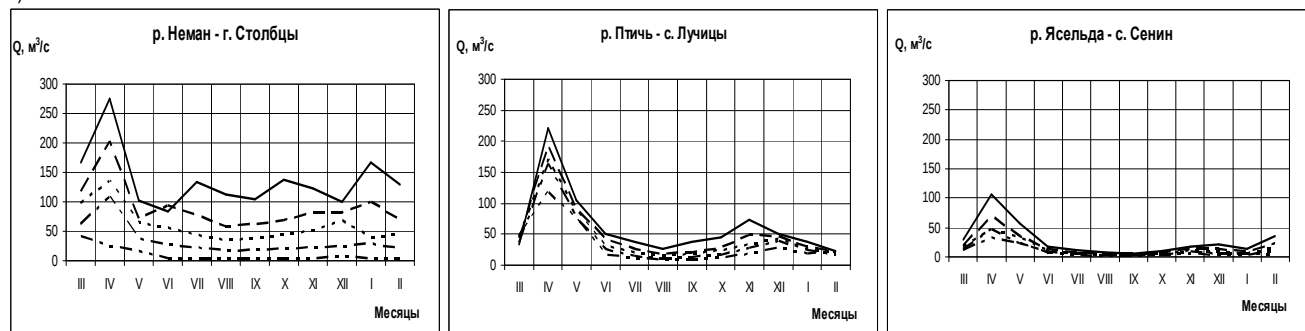
б)



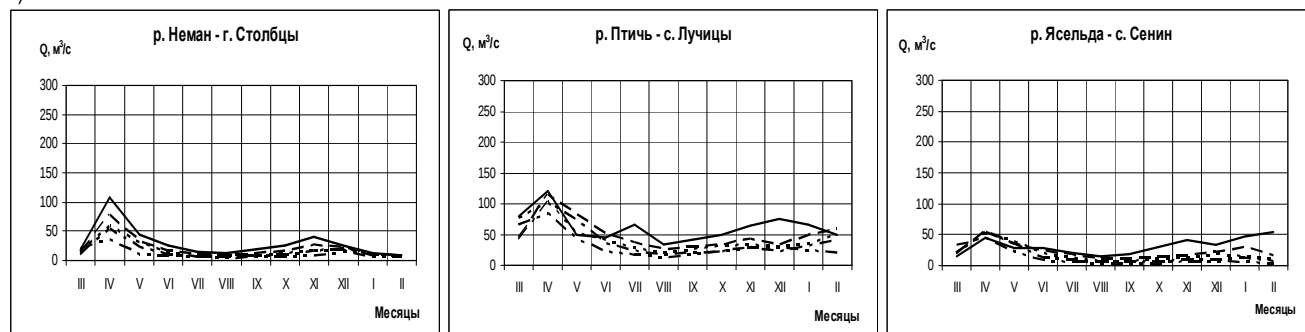
Примечание: — — — — — очень многоводный год; — — — — — многоводный год; — — — — — средний год;
 — — — — — маловодный год; — — — — — очень маловодный год

Рис. 1. Гидрографы речного стока: а) 1877–1960 гг.; б) 1961–2005 гг.

а)



б)



Примечание: — — — — — очень многоводный год; — — — — — многоводный год; — — — — — средний год;
 — — — — — маловодный год; — — — — — очень маловодный год

Рис. 2. Гидрографы речного стока: а) 1877–1960 гг.; б) 1961–2005 гг.

- на р. Улла (модельная река Вилейского гидрологического района) в средние и маловодные годы наблюдается увеличение значения стока до 20 м³/с в мае месяце, в остальные группы лет – уменьшение стока на ту же величину, характерно увеличение стока в зимние месяцы;
- сток р. Неман (Неманский гидрологический район) в течение года уменьшился. Исключение составляет очень маловодная

- группа по водности. Форма гидрографов в рассматриваемый период приобрела сглаженный вид и характеризуется наличием 2-х паводковых периодов во всех группах лет по водности;
- сток р. Птичь (Центрально-Березинского гидрологического района) характеризуется уменьшением расходов в апреле месяце (до 100 м³/с) и их увеличением в летнюю, осеннюю и зимнюю поры года. На построенном гидрографе

стока для рассматриваемого периода наблюдений для очень многоводных лет наблюдаются паводки в апреле, июле и декабре месяцах;

- на р. Ясельда (Припятский гидрологический район) наблюдается уменьшение значений стока в очень маловодные и маловодные годы в апреле месяце, в остальные годы сток увеличился. Форма гидрографов не изменилась и характеризуется 2-мя паводковыми периодами в течение года. Пик зимнего паводкового периода сместился с декабря на январь месяца.

Исследование среднего многолетнего сезонного распределения стока внутри года по гидрологическим районам (рис. 3) показали уменьшение весеннего стока в среднем на 7 % и увеличение речного стока воды в летне-осенний и зимний сезоны на 3 % и 5 % соответственно.

Изменения сезонного стока, произошедшие в период с 1961 по 2005 гг., по отношению к предыдущему периоду наблюдений, отражены в таблице 3.

Таблица 3. Изменения стока в период наблюдений с 1961 по 2005 гг.

Гидрологический район	Подрайон	Изменения стока, %		
		весна (III – V)	лето-осень (VI – XI)	зима (XII – II)
Западно-Двинский	Iв	-	- 3,6	+ 3,5
	Iг	+ 3,3	- 6,1	+ 2,7
Верхне-Днепровский	II б	- 13,0	+ 5,0	+ 8,0
	IIв	- 10,9	+ 4,6	+ 6,3
Вилейский	III а	- 3,7	+ 1,8	+ 5,6
	IIIб	- 3,8	+ 0,6	+ 3,2
Нёманский	-	- 1,7	+ 0,9	+ 2,0
Центрально-Березинский	Vа	- 7,4	+ 1,2	+ 6,2
	Vб	- 15,4	+ 7,5	+ 7,9
Припятский	VIа	- 16,7	+ 8,0	+ 5,8
	VIб	- 4,9	+ 1,2	+ 3,7
	VIв	- 8,1	+ 0,4	+ 0,5

Примечание: цифры, выделенные полужирным шрифтом, свидетельствуют о статистически значимых изменениях речного стока (более 5 %)

В среднем процент существенного отклонения составляет 7–10 %. Максимальный процент зафиксирован в Центрально-Березинском и Припятском гидрологических районах (около 16–17 % – весенний сток). Изменения сезонного стока, не превышающие естественных колебаний, наблюдаются на реках Iв Западно-Двинского, IIIб Вилейского гидрологических районов.

Следующим этапом в исследовании ВРС на современном этапе стало распределение стока по месяцам внутри сезонов. Поэтому в каждом сезоне выделены месяцы с наибольшим и наименьшим расходами воды.

Исследование выполнено для указанных выше градаций лет по водности [4]:

Очень многоводные годы: 1) весна: наибольшие расходы воды зафиксированы в апреле (в 85 % случаев), 15 % – в марте. Наименьшие расходы воды отмечены как в мае, так и в марте, 59 % и 41 % соответственно; 2) лето-осень: данный сезон характеризуется наибольшей долей стока в июне и ноябре, а меньшей – в августе и сентябре; 3) зима: наибольшая доля стока приходится примерно одинаково как на январь, так и на февраль.

Многоводные годы: 1) весна: на 40 речных створов наибольшие расходы воды зафиксированы в апреле и на 11 – в марте. Наименьшие расходы отмечены, в большинстве случаев, в мае; 2) лето-осень: сезон характеризуется увеличением стока в июне и ноябре и его уменьшением в августе и сентябре; 3) зимой наибольшая доля стока приходится на январь (февраль) примерно в равном процентном отношении.

Средние годы: 1) весна: наибольшая доля весеннего стока приходится на апрель (92 %), два других месяца складывают оставшиеся 8 %. Наименьшая доля стока в рассматриваемый сезон приходится на март и май, 45 % и 55 % соответственно; 2) лето-осень: характерно увеличение доли стока в июне и ноябре, а уменьшение – в августе и сентябре; 3) зима: распределение стока зимой следующее – увеличение, примерно в равных долях, в январе (феврале) и уменьшение – декабре.

Маловодные годы: 1) весна: увеличение стока в весенний период наблюдается в апреле (марте) – их процентное соотношение 78% (22%) соответственно. А наименьшие расходы воды установлены в мае; 2) в лето-осень: отмечено увеличение стока в июне и ноябре, а уменьшение в августе и сентябре; 3) зима: в маловодные годы наибольшая доля стока относится к январю, а наименьшая – к декабрю (февралю) – 50% / 50%.

Очень маловодные годы: 1) весна: распределение стока весеннего периода выглядит следующим образом: увеличение – в 55% апрель и 45% марте; 2) лето-осень: наибольшая доля стока летне-осеннего периода приходится на ноябрь (56% случаев), наименьшая доля стока – на август (73% случаев); 3) зима: наибольшие расходы воды в данный сезон зафиксированы, в большей степени, в декабре.

Таким образом, колебания климатических изменений оказали определенное воздействие на стоковый режим рек Беларуси, особенно на реки Верхне-Днепровского и Центрально-Березинского гидрологических районов. Изменение характеристик стока рек Припятского гидрологического района вызвано как сложившимися природно-климатическими условиями, так и антропогенными воздействиями, выраженными в виде крупномасштабных мелиораций.

Немаловажное влияние на сток воды оказывают и физико-географические факторы, в частности, почвенно-геологические и геоморфологические условия, площадь водосбора, заболоченность, залесенность и озерность.

Так, к примеру, водосборы рек, состоящие из песчаных и супесчаных грунтов, характеризуются более равномерным распределением стока внутри года, так как песчаные эти грунты обладают повышенной фильтрационной способностью.

В качестве примера на рис. 4 представлены построенные зависимости для Центрально-Березинского и Вилейского гидрологических районов за весенний сезон.

Анализ построенных линейных зависимостей позволил сделать следующие выводы:

- **площадь водосбора.** На реках Центрально-Березинского и Припятского гидрологических районов, с фактическим ростом площадей водосборов, наблюдается уменьшение доли стока весной и её увеличение в летне-осенний и зимний сезоны. В Западно-Двинском гидрологическом районе зафиксировано увеличение доли весеннего стока и её уменьшение в остальные сезоны. Верхне-Днепровский и Вилейский гидрологические районы характеризуются увеличением стока в весенний, летне-осенний и зимний сезоны.

- **заболоченность.** Вилейский, Нёманский и Припятский гидрологические районы характеризуются увеличением доли весеннего стока в годовом и уменьшением долей летне-осеннего и зимнего стока; Западно-Двинский, Центрально-Березинский гидрологические районы – уменьшением доли весеннего стока и увеличением долей летне-осеннего и зимнего стока.

- **залесенность.** Влияние леса на внутригодовой режим стока рек наблюдается в Вилейском, Центрально-Березинском гидрологических районах. С увеличением степени залесенности водосборов рек доля весеннего стока увеличивается, а летне-осеннего и зимнего уменьшается. Несколько иное влияние оказывает залесенность на сток в Западно-Двинском гидрологическом районе – с увеличением степени залесенности водосборов рек доля весеннего стока в годовом уменьшается, а летне-осеннего и зимнего увеличивается. Для Припятского гидрологического района характерен рост весеннего, летне-осеннего и зимнего речного стока с возрастанием степени залесенности водосборов рек.

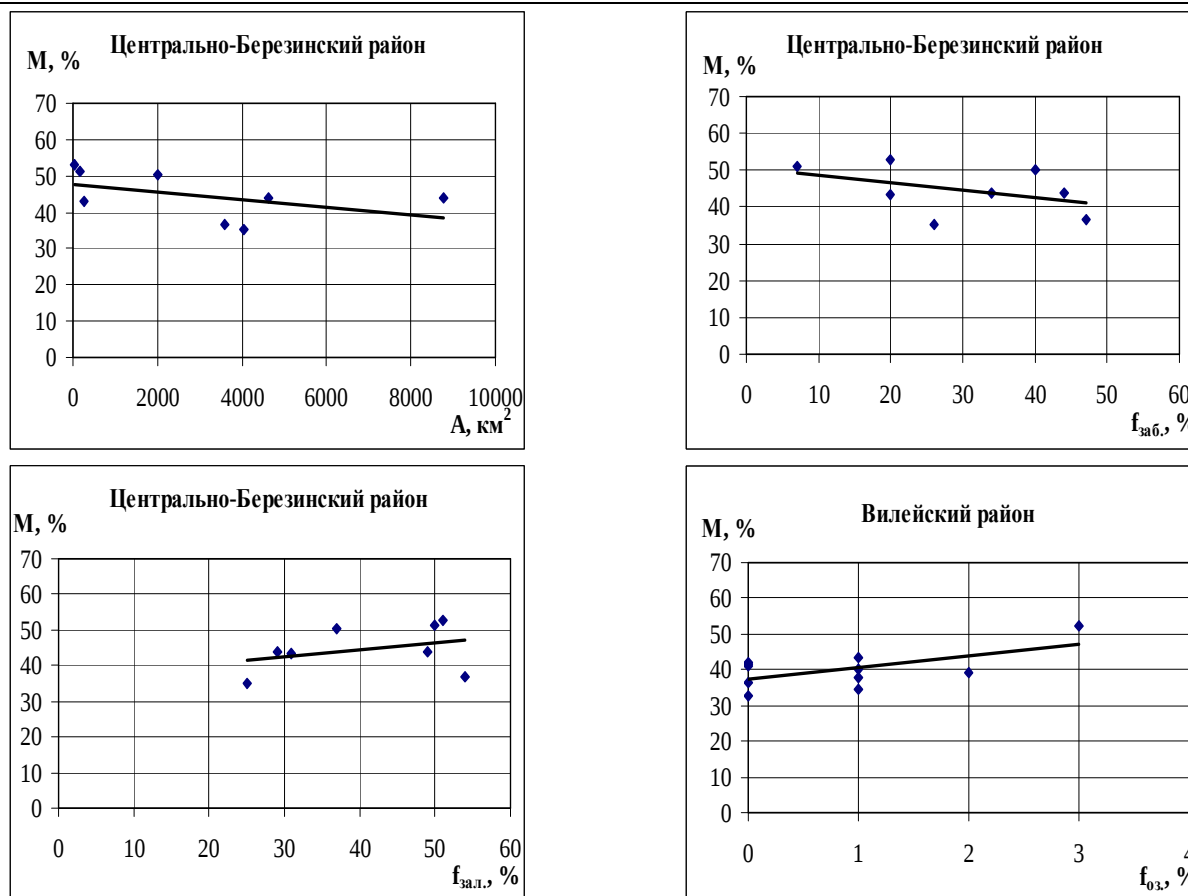


Рис. 4. Зависимости весеннего стока воды рек от физико-географических факторов в период наблюдений 1961–2005 гг.

Примечание: графики зависимости речного стока воды построены для средней группы лет по водности

- озёрность. Озёра способствуют выравниванию стока внутри года. Наибольшую озёрность, по сравнению с другими районами, имеет Западно-Двинский гидрологический район. Рассматривая Западно-Двинский гидрологический район, выявили следующую зависимость: с увеличением озёрности водосборов рек происходит уменьшение стока в течение всего года. Для других гидрологических районов характерна несколько иная зависимость: 1) Верхне-Днепровский, Неманский, Центрально-Березинский, Припятский – рост озёрности приводит к уменьшению стока весной и к его увеличению в другие сезоны; 2) Вилейский – увеличение доли стока весной и её уменьшение в летне-осенний периоды.

В таблицах 4–5 представлены градиенты весеннего стока, полученные по зависимостям речного стока от вышеперечисленных физико-географических факторов.

В качестве критериев оценки изменчивости сезонного стока рек в зависимости от указанных выше физико-географических факторов использованы коэффициенты вариации (C_v), средние величины которых для лимитирующего периода следующие:

- 1) Западно-Двинский гидрологический район: Iв – 0,50; Iг – 0,57;
- 2) Верхне-Днепровский гидрологический район: IIв – 0,40; IIг – 0,47;
- 3) Вилейский гидрологический район: IIIа – 0,39; IIIб – 0,38;
- 4) Неманский гидрологический район – 0,38;
- 5) Центрально-Березинский гидрологический район: Va – 0,38; Vб – 0,41;
- 6) Припятский гидрологический район: VIа – 0,56; VIб – 0,67; VIв – 0,69;

Наибольшие значения коэффициентов вариации лимитирующего периода наблюдаются на реках южной части Республики Беларусь (весь Припятский гидрологический район) и на севере территории (Iв, Iг). Наименьшие значения этого периода относятся к рекам IV, IIIб районов. Низкими значениями коэффициентов вариации сезонного стока характеризуются также реки Центрально-Березинского (подрайон Va), Вилейского (подрайон IIIа) гидрологических районов.

Наиболее низкие значения коэффициентов вариации весеннего периода наблюдаются на реках подрайона IIIа Вилейского гидрологического района (0,30), а наибольшие значения – на реках Припятского гидрологического района, Западно-Двинского гидрологического района – 0,47–0,64. Наибольшими значениями коэффициентов вариации летне-осеннего периода характеризуются Припятский гидрологический район (0,60–0,78), подрайон IIв Верхне-Днепровского гидрологического района (0,52–0,55), подрайон IIIа Вилейского гидрологического района (0,55), а наименьшими – Западно-Двинский гидрологический район (0,30–0,37). В зимний период значения коэффициентов вариации колеблются от 0,39 Вилейский гидрологический район (IIIа) до 0,74 Западно-Двинский гидрологический район (Iг). Также большие значения C_v зафиксированы в Неманском гидрологическом районе – 0,60–0,71.

Для выявления зависимости C_v от площадей водосборов построены графики $C_v = f(A)$ для Неманского гидрологического района (рис. 5).

Графики зависимостей C_v от площадей водосборов отражают явную зависимость коэффициентов вариации от площадей водосборов. А именно: при длительном рассмотрении по всем сезонам года прослеживается тенденция уменьшения значений C_v с увеличением площадей водосборов.

Однако речной сток – это не только результат взаимодействия многих климатических факторов (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, испарение и др.) и физико-географических условий речного бассейна, но и непрерывный стохастический процесс [5], описанный обобщенной характеристикой внутригодового распределения стока воды (ВРС). Характер изменения обобщенной характеристики ВРС обусловлен изменениями стокообразующих факторов. В качестве примера на рис. 6 представлена обобщенная характеристика внутригодового распределения стока р. Нарочь.

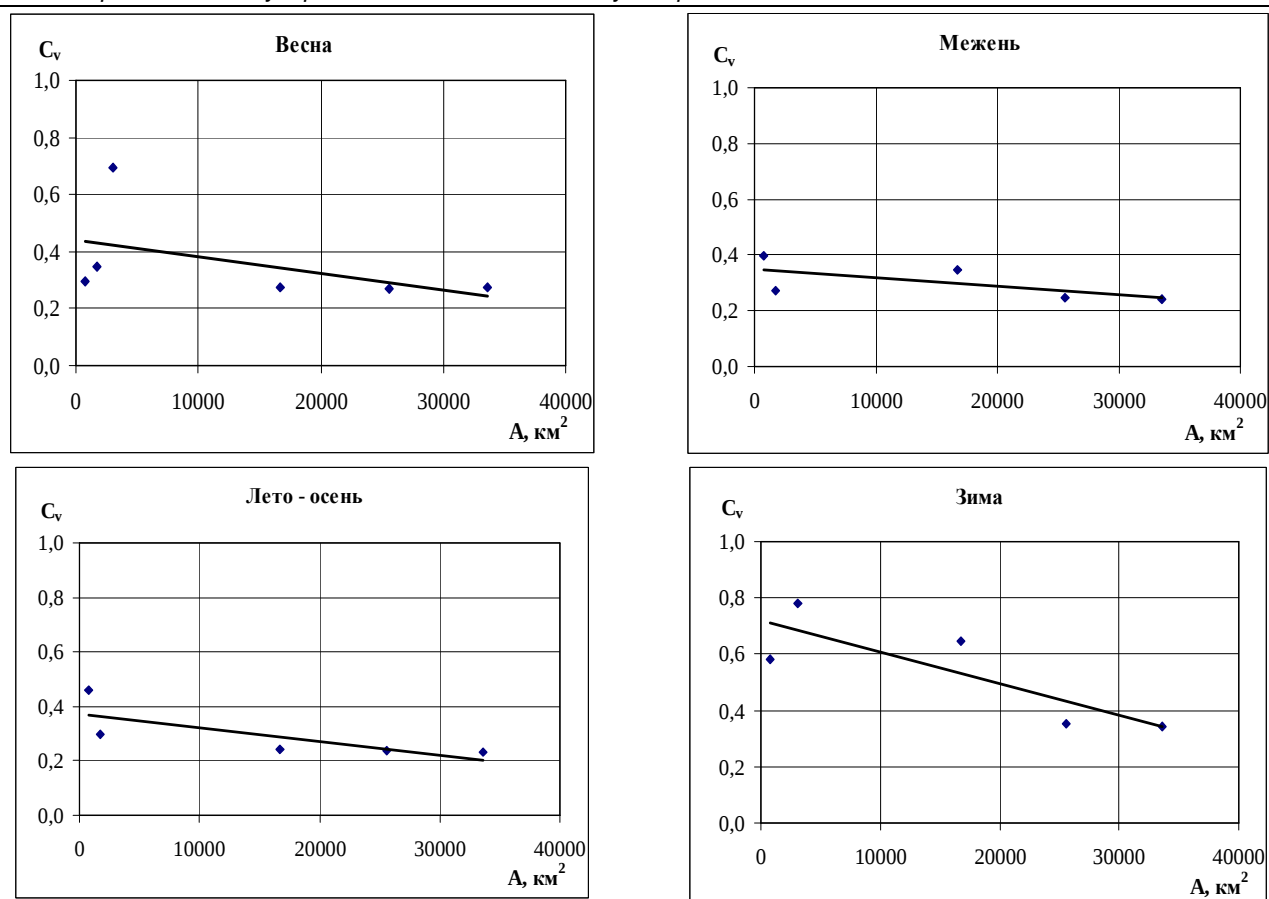


Рис. 5. Зависимости коэффициентов вариации рек Неманского гидрологического района от площадей водосборов в период наблюдений 1961–2005 гг.

Таблица 4. Коэффициенты регрессии сезонного стока воды рек от физико-географических факторов (α/β)

Гидрологический район	Физико-географические факторы			
	площадь водосбора (A), км ²			
	весна	межень	лето-осень	зима
Западно-Двинский	0,0010/52,291	-0,0010/47,724	-0,0009/27,424	-0,0002/20,300
Верхне-Днепровский	-0,0003/55,990	0,0003/43,912	0,0006/25,788	-0,0003/18,124
Вилейский	0,0004/39,264	0,0004/55,482	-0,0006/41,657	-0,0006/24,365
Неманский	-1E-05/41,318	1E-05/58,658	4E-05/36,267	-3E-05/22,397
Центрально-Березинский	-0,0011/47,722	0,0011/52,277	0,0008/31,486	0,0003/20,791
Припятский	-0,0001/47,941	0,0001/52,082	0,0007/29,073	-0,0006/23,009
Гидрологический район	Физико-географические факторы			
	площадь заболоченности ($f_{заб.}$), %			
	весна	межень	лето-осень	зима
Западно-Двинский	-0,2862/60,626	-0,1695/59,285	0,265/19,849	0,0222/19,471
Верхне-Днепровский	-0,0458/55,567	0,0355/44,519	-0,1463/29,348	0,1818/15,171
Вилейский	0,2214/36,936	1,2089/0,6266	-0,1577/40,424	-0,0632/22,631
Неманский	0,3958/34,108	-0,3869/65,717	-0,1177/38,95	-0,2692/26,767
Центрально-Березинский	-0,2038/50,687	0,2010/49,383	0,1538/29,263	0,0472/20,120
Припятский	-0,1007/50,886	0,1021/49,084	0,1071/26,779	-0,0049/22,305

Характеристика осредненных за многолетие гидрографов стока воды р. Нарочь приведена выше. Анализ кривых изменения коэффициентов вариации позволил условно их разделить на две группы: 1-ая с минимальными значениями коэффициентов вариации (C_v), соответствующими месяцам с наибольшим расходом воды во время прохождения весеннего паводка; 2-ая, характеризующаяся формой кривых изменения коэффициентов вариации подобной осредненным гидрографам стока с характерными увеличениями значений C_v во все сезоны.

Кривые изменения коэффициентов корреляции между стоком смежных отрезков времени по своей конфигурации подобны гидрографам речного стока. Наибольшие значения коэффициентов кор-

реляции наблюдаются в меженный период, изредка в весенний (Вилейский и Центрально-Березинский гидрологические районы). Наименьшие значения коэффициентов корреляции зафиксированы в зимний и весенний сезоны. Значения коэффициентов корреляции находятся в пределах: а) весна (III–V) – 0,20–0,64; б) лето-осень (VI–XI) – 0,26–0,67; в) зима (XII–II) – 0,16–0,54.

На основе обобщенной характеристики внутригодового распределения стока смоделированы гидрографы стока. В качестве примера служат гидрографы стока для р. Нарочь – с. Нарочь, представленные на рис. 7. Для сопоставления полученных результатов на рисунке также показаны гидрографы стока, построенные посредством метода компоновки сезонов.

Таблица 5. Коэффициенты регрессии сезонного стока воды рек от физико-географических факторов (α/β)

Гидрологический район	Физико-географические факторы			
	площадь залесенности ($f_{зал.}$), %			
	весна	межень	лето-осень	зима
Западно-Двинский	-0,2512/61,935	0,2519/38,008	0,2327/18,631	0,0192/19,377
Верхне-Днепровский	0,1014/52,894	-0,1143/47,357	-0,3043/34,317	0,1900/13,040
Вилейский	0,0587/38,403	-0,0570/61,549	-0,0176/38,666	-0,0394/22,883
Неманский	0,0116/40,907	-0,0057/58,945	0,0674/35,344	-0,0732/23,601
Центрально-Березинский	0,2008/36,442	-0,2029/63,630	-0,1733/40,901	-0,0295/22,728
Припятский	-0,0565/49,835	0,0567/50,172	0,0530/28,156	0,0036/22,016
Гидрологический район	Физико-географические факторы			
	площадь заболоченности ($f_{оз.}$), %			
	весна	межень	лето-осень	зима
Западно-Двинский	-0,8462/57,054	0,8269/42,977	0,8577/22,908	-0,0308/20,069
Верхне-Днепровский	-3,9667/56,057	4,000/43,900	3,6333/26,867	0,3667/17,013
Вилейский	3,2349/37,490	-3,2142/62,493	-1,8274/39,641	-1,3868/22,853
Неманский	-0,5200/41,600	0,38/58,500	-0,5400/37,300	0,9200/21,200
Центрально-Березинский	-7,1600/49,100	7,0867/50,933	5,9800/30,100	1,1067/20,833
Припятский	-0,0844/47,811	0,0802/52,205	0,0539/30,078	0,0263/22,127

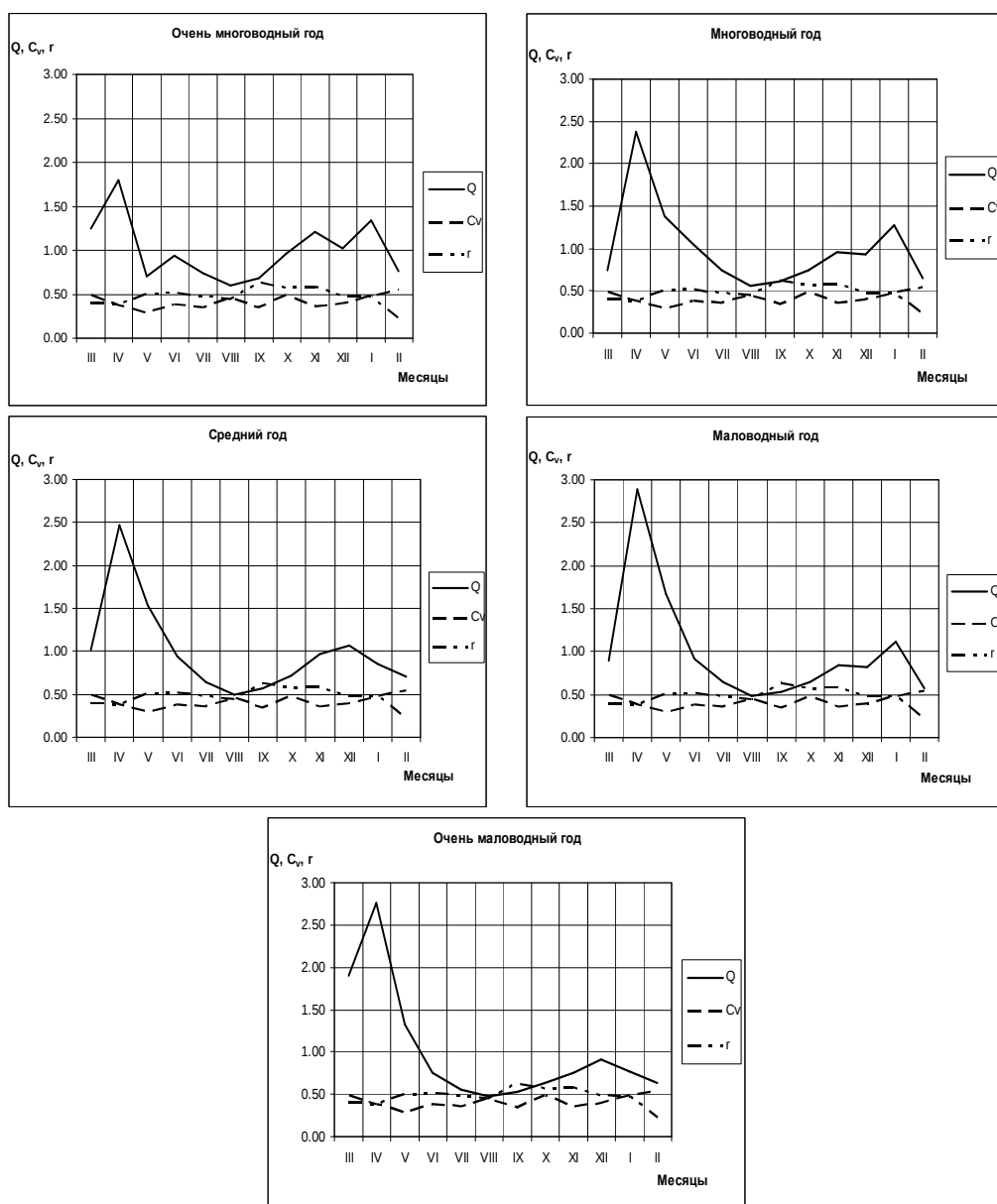


Рис. 6. Обобщённая характеристика внутригодового распределения стока р. Нарочь – с. Нарочь (1961–2005 гг.)

Примечание: статистические параметры построены в относительной системе координат

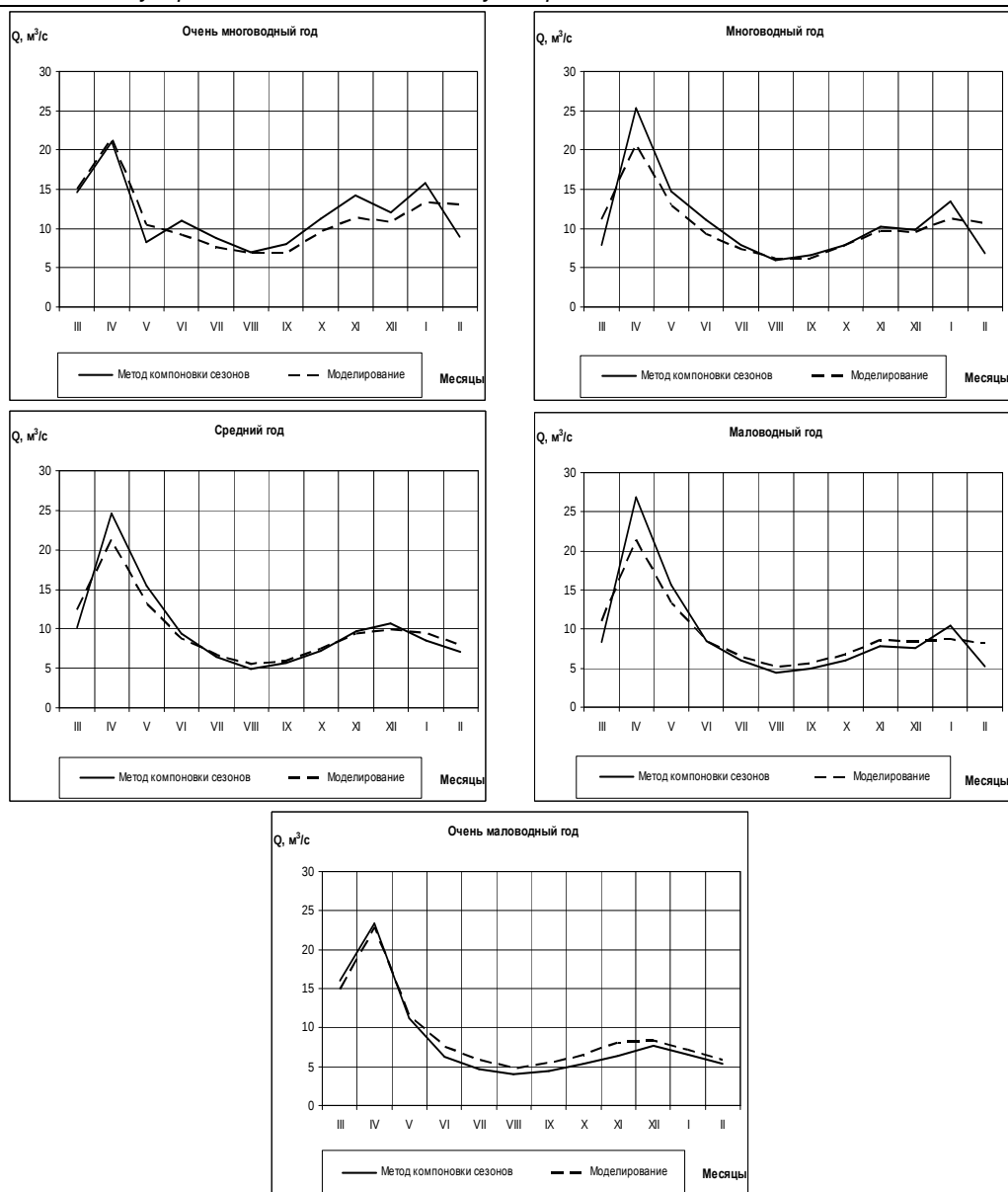


Рис. 7. Сопоставление расчётного и смоделированного гидрографов р. Нарочь – с. Нарочь (1961 – 2005 гг.)

Отметим то, что смоделированные гидрографы стока по своей конфигурации подобны ранее построенным, а процент отклонения значений расходов воды не превышает 20%, что допустимо. Тем не менее, преимущественно использовать метод статистического моделирования, т. к. его использование позволяет учитывать непрерывную периодичность и стохастический характер гидрологического процесса.

Однако зафиксированы случаи, когда гидрографы стока невозможно смоделировать для очень маловодной группы лет (приблизительно 27%). В качестве примера служит р. Гайна – с. Гайна – удалось смоделировать лишь два гидрографа следующих групп лет по водности – многоводной и средней. Кроме указанного недостатка, на реках Вилия, Нарочь, Ясельда, Оресса, Грава, Полота, Дисна зафиксировано превышение месячных расходов (в частности, апрель месяц) группы очень маловодных лет над соответствующими месячными расходами группы очень многоводных лет. Это может быть вызвано: р. Вилия – созданием Вилейско-Минской водной системы и Вилейского водохранилища, после сдачи которого стоковый и уровеньный режим реки зарегулированы; р. Нарочь – наличием озера Нарочь; р. Ясельда – созданием на пойме реки водохранилища Селец; р. Оресса – созданием в верхнем течении за 7 км от г. Любань Любанского водохранилища, оказывающего значительное влияние

на гидрологический режим самой реки; р. Грава – впадением реки в Осиповичское водохранилище.

Закключение. Исследования показали, что в период наблюдений с 1961 г. по 2005 г. произошло перераспределение стока воды рек Беларуси в течение года. Это выражается в изменении долей сезонного стока (в годовом) – уменьшении весеннего и увеличении летне-осеннего и зимнего стока. Наибольшее уменьшение весеннего стока отмечено на реках Верхне-Днепровского, Центрально-Березинского и Припятского гидрологических районов (процент изменения стока находится в пределах от 7% до 17%). Весенний сток рек Западно-Двинского гидрологического района не изменился. Наибольшее увеличение стока в летне-осенний сезон зафиксировано на реках Верхне-Днепровского, подрайона V6 Центрально-Березинского, подрайона VIa Припятского гидрологических районов. Летне-осенний сток рек Западно-Двинского гидрологического района увеличился на 3%. Наибольшее увеличение зимнего стока наблюдается на реках Верхне-Днепровского, подрайона IIIa Вилейского, Центрально-Березинского и подрайона VIa Припятского гидрологических районов (приблизительно на 7%). Процент изменения зимнего стока воды рек Западно-Двинского гидрологического района составляет 5%.

Таким образом, колебание климатических составляющих оказало воздействие на стоковый режим рек Беларуси, особенно на реки Верхне-Днепровского и Центрально-Березинского гидрологических районов. Изменение характеристик стока рек Припятского гидрологического района вызвано как сложившимися природно-климатическими условиями, так и антропогенными воздействиями (примером служит создание водохранилища Селец на реке Ясельда).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савенок, А.Ф. Основы экологии и рационального природопользования / А.Ф. Савенок, Е.И. Савенок. – Минск: Сэр-Вит, 2004. – 430 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР в 5 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5: Белоруссия и верхнее Поднепровье. – 1966. – С. 92–141.
3. Определение расчетных гидрологических характеристик: пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000.
4. Волчек, А.А. Оценка изменений внутригодового распределения стока рек Беларуси по данным гидрометрических наблюдений / А.А. Волчек, О.Н. Натарова // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2009. – С. 119–130.
5. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. – СПб.: Государственный гидрологический институт. – 600 с.

Материал поступил в редакцию 10.04.10

VOLCHEK A.A., NATAROVA O.N. Insideannual distribution of a drain of the rivers Belarus and his statistical modeling

In clause the estimation of the changes which have occurred with a river drain in developing natural-climatic conditions and under influence of anthropogenous influences by means of important hydrological and watereconomic of the characteristic – insideannual distribution of a drain of water is given.

The technique of research includes modern methods of the system analysis and his applied device of mathematical modeling. In work are widely used a method of configuration of seasons a method of statistical modeling.

УДК 626.862.1

Быков В.Л., Мешик О.П.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Введение. Вопросы определения расстояний между элементами регулирующей осушительной сети широко освещены в научной литературе [1, 2, 3, 4, 5, 6 и др.]. Особенностью расчетов является то, что в формулах используется значительное число констант, зависящих от других параметров. Многие из них получены экспериментально и представлены в справочной литературе в виде графиков функций. Некоторые из параметров уравнений по расчету междренних расстояний, например, общее фильтрационное сопротивление, в свою очередь сами зависят от междренних расстояний, следовательно, возникает задача подбора параметров для определения оптимального значения междренного расстояния. При такой сложности, не имея соответствующих компьютерных программ, произвести вычисления хотя бы для одного расчетного случая затруднительно. В БрГТУ был разработан программный комплекс «Дренаж» [6], позволяющий выполнять расчеты междренних расстояний, в основу которого положено решение задач с применением метода фильтрационных сопротивлений Ю.П. Борисова, дополненного С.Ф. Аверьяновым, А.И. Мурашко, А.И. Ивицким, В.М. Шестаковым, А.Я. Олейником и др. [1]. Однако для аппроксимации графических зависимостей были применены экспоненциальные и логарифмические функции, которые недостаточно точно передают их характер. Кроме того, с 01.07.2006 введен в действие Технический кодекс установившейся практики «Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования» (ТКП 45-3.04-8-2005 (02250)) [7], который содержит рекомендации по расчету междренних расстояний, отличные от рассмотренных, например, в [1]. Эти факторы привели к необходимости доработки программы «Дренаж» для приведения ее в соответствие с современными требованиями. В ходе доработки программы применены обновленные нормативно-технические алгоритмы, часть из которых может быть предметом анализа и обсуждения, а часть технических тривиальных алгоритмов может использоваться студентами при выполнении лабораторных работ, разработке

курсовых и дипломных проектов с помощью электронных таблиц и языка программирования Visual Basic.

1. Расчет междренних расстояний по эмпирическим формулам. Расстояние между дренами определяется по балансовому уравнению [7]

$$E = \frac{a \Psi H_{ГР} - h_{ДР}}{q_{ТР}}, \quad (1)$$

где E – междренное расстояние, м;

a – коэффициент водообмена дрены, м/с;

$H_{ГР}$ – расчетный напор уровня грунтовых вод над дренаем, м;

$h_{ДР}$ – избыточный напор в полости дрены, м;

$q_{ТР}$ – модуль стока, м/с, подлежащий обеспечению дренажем, определяемый по формуле:

$$q_{ТР} = \frac{W}{t} \quad (2)$$

где W – слой воды, подлежащий отводу, для создания необходимых условий осушения, м;

t – время, за которое необходимо отвести избыточную воду, сут.

Коэффициент водообмена (a), используемый в формуле (1), вычисляется по зависимостям, имеющим определенную область применения [7] (таблица 1).

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

$K_{ГР}$ – коэффициент фильтрации, м/с;

$M_{ДР}$ – расстояние от дрены до водоупора, м;

d – наружный диаметр дрены, м;

T – водопроводимость пласта, м²/с;

$\Phi_0, \Phi_1, L_{HD}, A$ – соответственно, фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта, общие фильтрационные сопротивления, коэффициент всисасти.

Быков Вячеслав Леонидович, к.т.н., доцент кафедры информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Мешик Олег Павлович, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология