

УДК 631.6:502.3

**СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЧНОГО  
СТОКА БЕЛАРУСИ**

Канд. геогр. наук

М.Ж. Бурлибаев

Канд. геогр. наук

А.А. Волчек

В.В. Лукша

*Анализ гидрологической информации разрешает определять параметры (период и амплитуда) в течение почти 5-летнего периода в вечной изменчивости речного стока для территории Республики Беларусь. Статистические характеристики величин (ценностей) периода и особенностей ежегодной амплитуды вечной изменчивости среднего речного стока месяца были получены.*

**Введение**

Как известно, достоверными параметрами хронологической структуры природных процессов являются два основных цикла: суточный и годовой. Физическую основу этих важнейших природных циклов составляет электромагнитное взаимодействие Солнца с природными оболочками Земли. Кроме того, в различных природных процессах проявляется квазипериодичность (цикличность). Амплитуда и длительность циклов изменяется во времени и пространстве.

Наиболее детально исследован и описан квазидвухлетний цикл, практически не вызывающий сомнений относительно своего существования в природе [1, 2]. Для определения конкретных характеристик этого цикла в процессах формирования речного стока нами были проведены статистические исследования межгодовой изменчивости модулей стока (л/с с км<sup>2</sup>), как наиболее полно отражающих пространственное распределение стока рек по территории Беларуси и дающих возможность количественного сравнения стока различных по площади водосбора рек в условиях разной мелиорированности их бассейнов.

**Исходные материалы и методы исследования**

Основу исследований составили массивы значений расходов по 164 створам рек Беларуси за многолетний (с 1877 по 2000 годы) период инструментальных наблюдений, опубликованных в справочниках по вод-

ным ресурсам, а также в других нормативных источниках и материалах наблюдений. Количество рек-створов по бассейнам крупных рек составило: Припять – 39, Неман – 41, Западная Двина – 23, Днепр – 48, Буг – 13, что, в принципе, соответствует равномерному распределению исследуемых рек-створов по территории Беларуси.

Для каждого из 164 створов анализировалось 12 временных рядов, соответствующих отдельным месяцам года (состоящих из одной-двух непрерывных серий) и сформированных последовательными во времени значениями среднемесячных модулей стока. На данном этапе анализа модулей стока использовался фильтр, исключающий серии, содержащие менее 15 членов. В результате использования этого фильтра были исключены 12 рек-створов, имеющие непрерывную длину ряда в одной серии от 7 до 14 лет. Всего исключено 180 серий, содержащих 2028 данных наблюдений, что составило 2,69 % от общего количества анализируемых модулей стока (75374). Итоговый массив включал 1884 непрерывных серий значений средних месячных модулей стока. Длина серий изменялась от 15 до 123 лет при среднем значении 39 лет.

Принимая временные ряды за стационарные, мы использовали следующую методику исследований. В первую очередь был осуществлен переход от расходов к модулям по формуле  $q = Q \cdot 10^3 / A$ , где  $Q$  – среднемесячный расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $A$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>. В пределах одного створа для отдельного месяца определяли значение среднего многолетнего модуля стока (как среднее арифметическое для рассматриваемой совокупности). Затем это значение последовательно вычитали из фактических значений модулей стока в многолетнем ряду. В результате для отдельных месяцев в пределах каждого створа были получены знакопеременные функции (относительно среднего многолетнего значения модуля стока данного месяца). Далее определяли количество перемен знака этой функции для каждого месяца в многолетнем ряду. Затем находили частное от деления всего временного интервала на число перемен знака, которое принимали за среднюю величину полупериода изменения среднемесячного модуля стока для створа. Значение периода, таким образом, определялось формулой

$$T = 2 \cdot \frac{N_k - N_l}{k - l},$$

где  $N_l$  – год первого, а  $N_k$  – последнего перехода через среднее многолет-

нее значение;  $k$  – количество переходов через среднее многолетнее значение на данном временном интервале.

Частное от деления суммы модулей отклонений от среднего значения на число этих значений принимали за амплитуду колебаний среднемесячного модуля стока, т. е. амплитуду определяли в соответствии с формулой

$$A_m = \frac{\sum |Z_f - Z_m|}{n},$$

где  $Z_m$  и  $Z_f$  – среднее многолетнее и фактическое значение модуля стока для данного года, соответственно;  $n$  – количество лет.

Использование данного метода исследования обосновывается его относительной эффективностью, простотой вычислений и применимостью к исследованию цикличности природных процессов [3, 4].

В соответствии с описанным алгоритмом были составлены расчетные блоки для ПК в Microsoft Excel 2000, но при этом каждый этап визуально контролировался. Использование автоматизированных расчетов позволило обрабатывать значительные по объему массивы исходных гидрологических данных и получать статистически состоятельные результаты.

#### **Анализ результатов исследований**

В результате было проанализировано 73346 межгодовых разностей в массиве среднемесячных модулей стока. Средняя величина периода (среднеарифметическое) изменений среднемесячных модулей стока для всего массива оказалась равной 5,30 года, средняя амплитуда – 2,36 л/с с км<sup>2</sup>. При этом использование фильтров на длительность серии (от не менее 15 до 20, 30, 40 и более 50 членов) существенно (разница менее 5 %) не влияло на результат, что позволяет считать полученные значения статистически состоятельными. Дисперсия значений периода составляет 1,86, стандартное отклонение – 1,36, коэффициент вариации – 0,35. Коэффициенты асимметрии и эксцесса составляют 1,16 и 1,30 соответственно, т. е. распределение характеризуется положительными асимметрией и эксцессом относительно нормального распределения.

Затем было произведено разделение исходного массива на реки-створы бассейнов Припяти и Буга и остальные с целью анализа стока рек Белорусского Полесья и для двух полученных массивов получены периоды и амплитуды изменений среднемесячных модулей стока. При этом средние величины периодов составили 5,38 лет для рек Белорусского

Полесья и 5,25 лет для остальных рек, амплитуда – 2,24 л/с с км<sup>2</sup> и 2,42 л/с с км<sup>2</sup>. Гистограммы распределения значений периодов представлены на рис. 1.

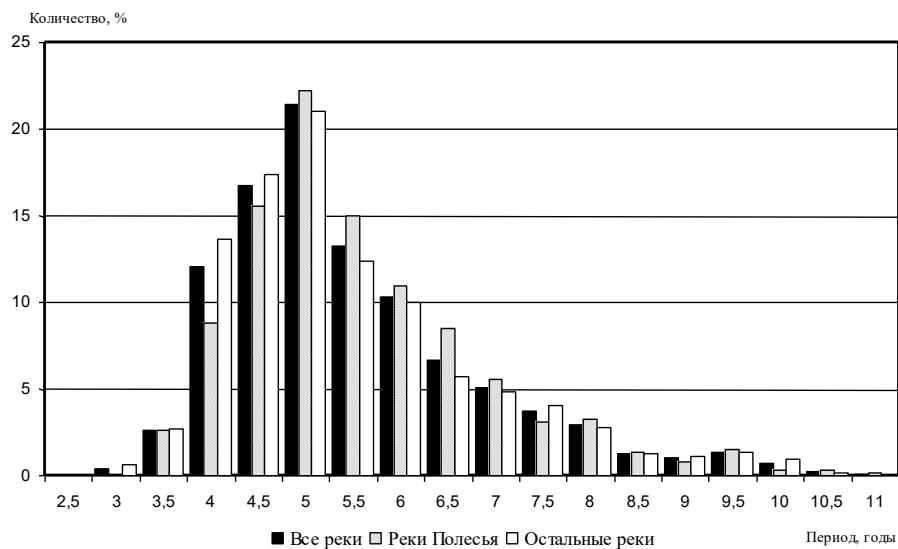


Рис. 1. Гистограммы распределения значений изменений (периодов) модулей стока.

Из рассматриваемой гистограммы становится очевидным абсолютный максимум значений периода, соответствующий примерно 5-летним колебаниям. Изменения с этим периодом в трех анализируемых массивах встречаются довольно часто (21-22%). В обе стороны от значения периода, равного 5 годам, частота встречаемости уменьшается, что в целом соответствует характеру распределения, близкого к нормальному. При этом около 90% всех полученных значений периода сосредоточены в интервале  $5,30 \pm 1,96$  года для всех массивов рек,  $5,38 \pm 1,95$  для рек Полесья и  $5,25 \pm 1,98$  для остальных рек Беларуси.

Полученные в результате исследований амплитудно-периодические характеристики изменения среднемесячных модулей стока для различных месяцев года относительно средних многолетних значений для всей территории Беларуси, Полесья и остальной территории приведены в табл.

Амплитуды изменений среднемесячных модулей стока образуют ход, подобный типовым гидрографам рек Беларуси. При этом внутригодовые изменения амплитуд среднемесячных модулей стока для территории Белорусского Полесья имеют несколько менее выраженную амплитуду в весеннее

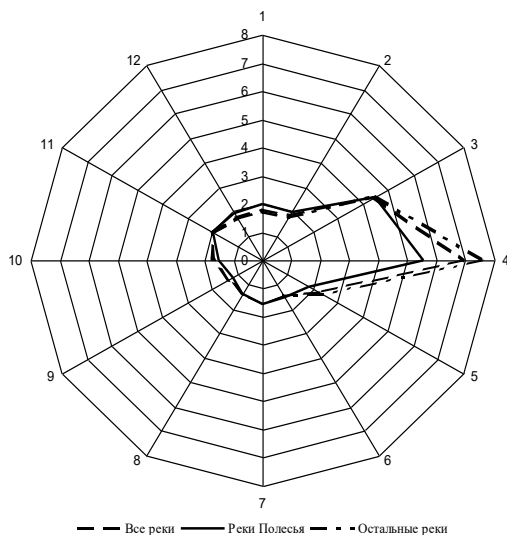
половодье, максимум которой, в целом, наступает в апреле (рис. 2а).

Таблица

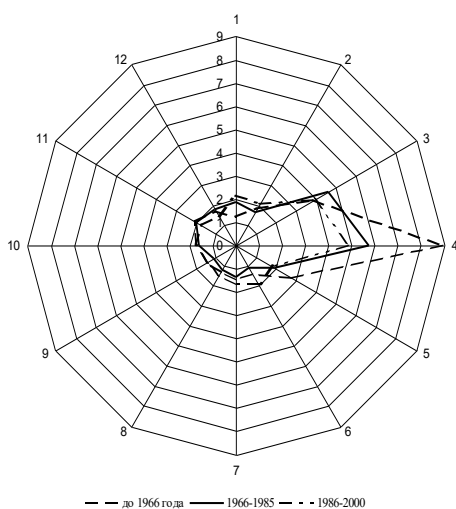
Амплитудно-периодические характеристики квазигодовой изменчивости среднемесячных модулей стока.

Параметр	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вся территория Беларуси</b>												
Амплитуда, л/с с км <sup>2</sup>	1,81	1,83	4,51	6,94	2,23	1,48	1,54	1,33	1,33	1,68	1,96	1,74
Период, год	5,86	5,44	5,15	5,34	4,76	5,06	5,27	5,64	5,99	5,54	4,94	4,57
Среднее многолетнее значение, л/с с км <sup>2</sup>	3,95	3,92	8,22	16,59	6,85	3,97	3,46	3,13	3,22	3,91	4,66	4,46
<b>Белорусское Полесье</b>												
Амплитуда, л/с с км <sup>2</sup>	2,02	2,02	4,49	5,56	1,83	1,53	1,54	1,33	1,18	1,52	1,98	1,9
Период, год	5,48	5,20	5,59	5,52	5,08	5,15	5,17	5,78	5,92	5,63	5,32	4,75
Среднее многолетнее значение, л/с с км <sup>2</sup>	3,44	3,48	7,49	11,09	4,86	3,14	2,64	2,28	2,30	2,84	3,59	3,76
<b>Остальная территория</b>												
Амплитуда, л/с с км <sup>2</sup>	1,71	1,74	4,52	7,6	2,42	1,45	1,55	1,33	1,40	1,75	1,94	1,67
Период, год	6,04	5,55	4,94	5,25	4,60	5,01	5,32	5,56	6,02	5,5	4,76	4,48
Среднее многолетнее значение, л/с с км <sup>2</sup>	4,17	4,12	8,54	19,04	7,74	4,35	3,83	3,5	3,63	4,39	5,13	4,77

Также проанализирована и амплитуда изменений среднемесячных модулей стока во временном разрезе. Для трех временных интервалов (до 1966 года, 1966-1985, 1985-2000 годы) было произведено разделение исходных рядов модулей стока и рассчитана амплитуда изменения, результаты приведены на рис. 2б.



а)



б)

Рис. 2. Изменение амплитуды годового хода среднемесячных модулей стока рек Беларуси за весь период наблюдений (а) и различные временные

*периоды (б).*

Здесь явно прослеживается более резкое выделение апреля как пикового месяца весеннего половодья в период до 1966 года, т. е. до начала массовых мелиораций на Белорусском Полесье. Затем в последующие два временных интервала с увеличением антропогенного воздействия на речной сток наблюдается уменьшение амплитуды изменения среднемесячных модулей стока. Максимальные значения амплитуды межгодовой изменчивости модулей стока отмечаются для весенних месяцев, а минимальные – для летних, что соответствует весеннему половодью и летней межени в разрезе гидрологического года.

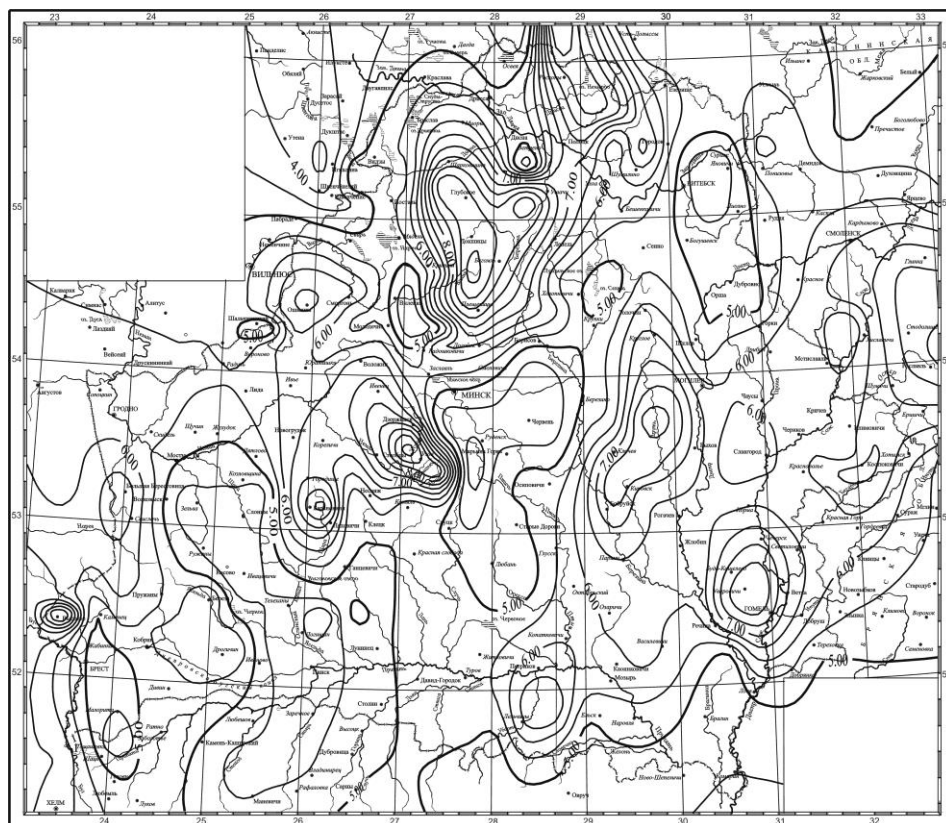
Разность значений амплитуд среднемесячных модулей стока для 21 реки-створа Брестской области для двух временных периодов (домелиоративного и периода интенсивных мелиораций) сопоставлены с относительной величиной мелиорированности площадей водосборов по данным «Полесьегипрорводхоза». Сопоставление показало тенденцию роста разностей значений амплитуд среднемесячных модулей стока с увеличением степени мелиорированности площадей водосборов.

Итак, исследование межгодовой изменчивости среднемесячных модулей стока в соответствии с изложенной выше методикой позволяет установить квазипериодические изменения, близкие к 5 годам.

Полученные значения параметров многолетних изменений среднемесячных модулей расхода – периода и амплитуды – позволили картографически представить их пространственную структуру. Были построены карты изменения периода и амплитуды среднемесячных модулей стока для 12 месяцев года (всего 24 карты) по всей территории Беларуси. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены карты распределения периода многолетних колебаний средних значений модулей стока января и июля. Анализ этих двух карт позволил выявить положительную разность длительностей периодов в колебаниях значений модулей стока в январе и июле. Эта разность приведена на рис. 5 в виде карты. Как видно на рис. 5, почти все значения разностей положительные и только на границах Беларуси в некоторых районах наблюдаются отрицательные разности (максимум до  $-2,0$ ). Наблюдаются положительные разности длительности циклов в колебаниях модулей стока в январе, феврале, марте, августе, сентябре, октябре и другие месяцы теплого периода года (май-июль).

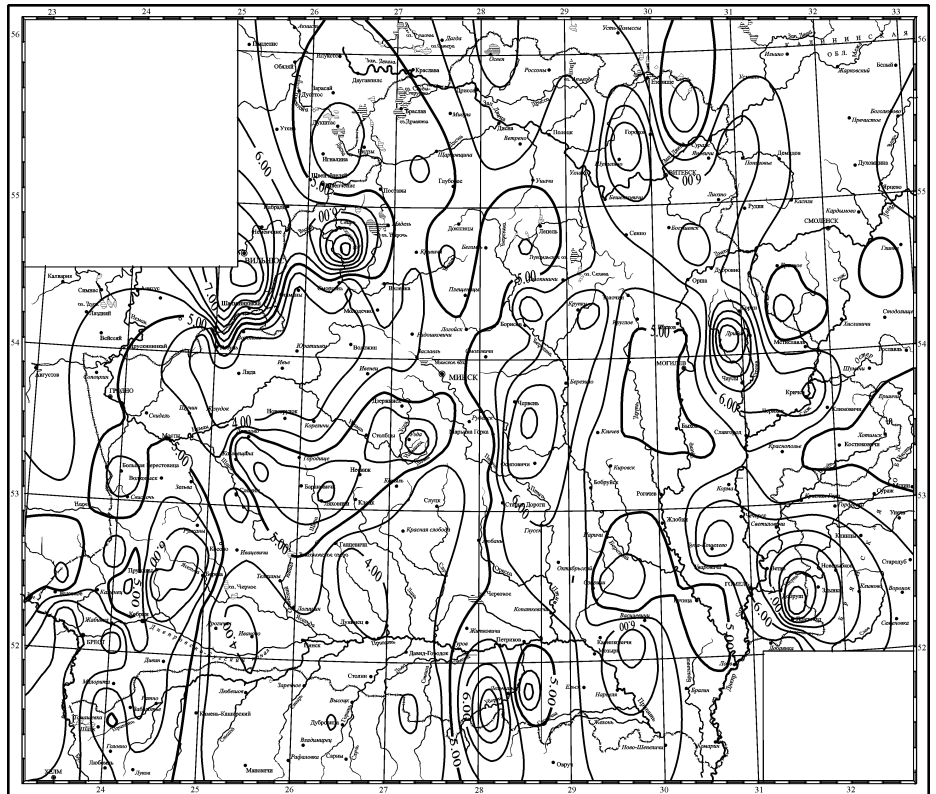
Для оценки тесноты влияния внутрирядных связей на длительность доминирующего цикла были построены и проанализированы графические зависимости

сти амплитуды и периода от коэффициентов автокорреляции  $r(1)$  (рис. 6).



*Рис. 3. Распределение периода многолетних колебаний средних значений модулей стока января, лет.*





*Рис. 4. Распределение периода многолетних колебаний средних значений модулей стока июля, лет.*

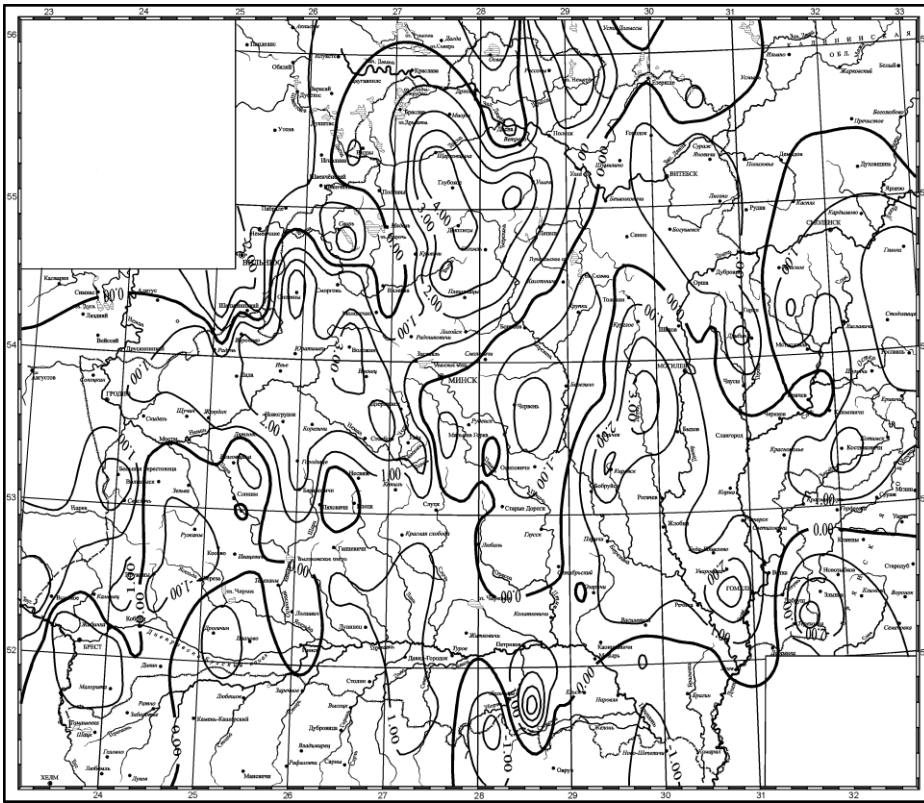
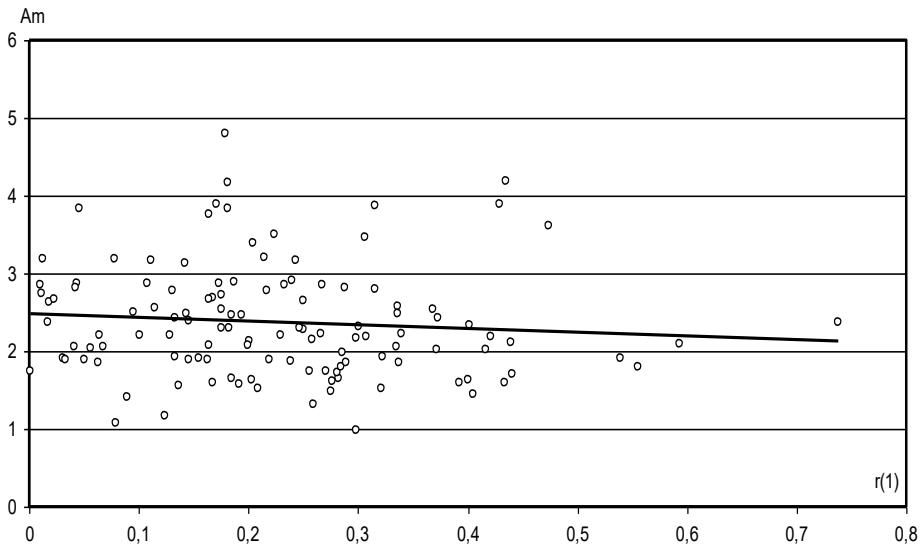
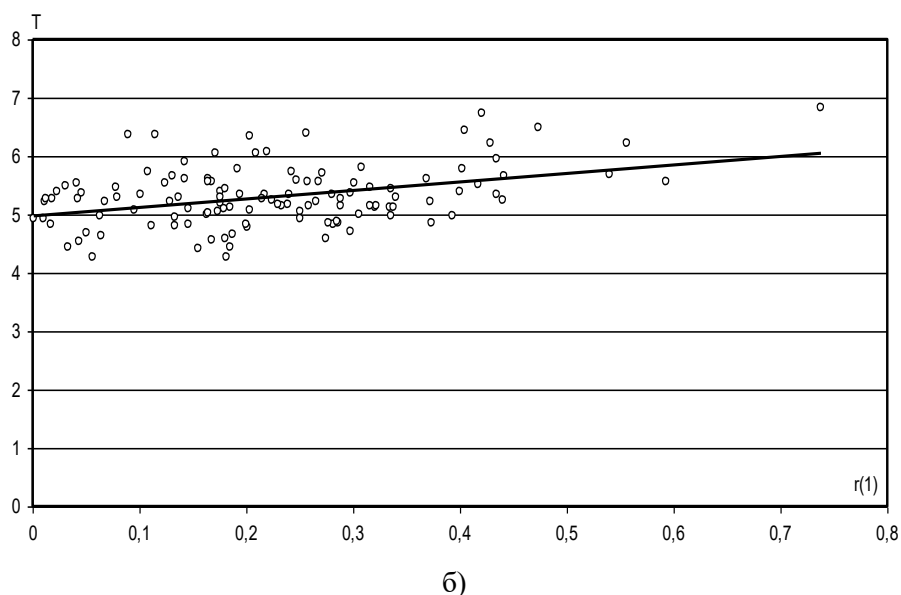


Рис. 5. Разность периодов многолетних колебаний средних значений модулей стока января и июля, лет.



a)



*Рис. 6. Зависимость амплитуд (а) и периодов изменчивости (б) многолетних колебаний средних значений модулей годового стока от коэффициентов автокорреляции.*

Для всех рядов модулей стока рассчитывались коэффициенты автокорреляции для каждого месяца и для среднего годового значения. Наиболее близкая корреляция характерна для средних годовых значений модулей стока. Для среднемесячных значений модулей стока коэффициенты корреляции колебались: для  $A_m = f[r(1)]$  в пределах от 0,053 (декабрь) до 0,389 (сентябрь); для  $T = f[r(1)]$  – от 0,328 (август) до 0,574 (февраль).

### **Заключение**

Таким образом, чем теснее внутрирядная связь, тем меньше амплитуда и больше длительность цикла. Это означает, что при высокой скоррелированности членов ряда в спектре будут доминировать более долгопериодические компоненты. Это обстоятельство необходимо учитывать при поисках причинно-следственных связей в природных рядах. Амплитуда в меньшей степени зависит от тесноты внутрирядной связи, но, тем не менее, имеет место тенденция в появлении больших амплитуд циклов при малой тесноте внутрирядных связей (наличии короткопериодических колебаний).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова И.Л., Сонечкин Д.М. Квазидвухлетние колебания нижнестратосферных экваториальных ветров за 30 лет // Метеорология и гидрология, 1987, №5, с. 47-55.
2. Гледзер Е.Б. О двухлетней ритмичности глобальных атмосферных процессов и ее нарушениях // Метеорология и гидрология, 1982.№6. с. 16-19.
3. Федоров В.М. Структура многолетней изменчивости климатических элементов и ее локализация // Известия АН. Сер. геогр., 2001, №2, с. 25-31.
4. Федоров В.М. Методы географических исследований // Вестник Моск. Ун-та. Сер.5 географ., №1, 2001, с.16-19.

Казахский научно исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

Государственное научное учреждение  
«Отдел проблем Полесья НАН Беларуси»

### **БЕЛАРУСЬТЕГІ ӨЗЕН АҒЫСЫНЫҢ КӨПЖЫЛДЫҚ ӨЗГЕРІС ҚҰРЫ- ЛЫМЫ**

Геогр. ғылымд. канд.	М.Ж. Бүрлібаев
Геогр. ғылымд. канд.	А.А. Волчек
	В.В. Лукша

*Гидрологиялық ақпаратты талдау Беларусь Республикасы аумағындағы өзен ағысының тұрақты өзгермелілігінің 5 жылға жуық кезеңдегі өлшемдерін (кезеңі мен амплитудасын) анықтауға мүмкіндік береді. Кезеңнің мөлшерлерінің (құндылықтарының) статистикалық сипаттамалары және орташа өзен ағысының бір айлық өзгермелілігінің жыл сайынғы амплитудасы ерекшеліктері алынған.*