

05.23.16 Гидравлика и инженерная гидрология

УДК 502/504:556.16

Г. Х. ИСМАЙЛОВ, В. Г. ГУСЬКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА С ЧАСТНЫХ ВОДОСБОРОВ РЕК МОСКОВСКОГО РЕГИОНА*

В статье рассматривается одна из актуальных проблем управления водными ресурсами – совершенствование методики анализа и оценки межгодовой изменчивости естественного стока с частных водосборов водохранилищ во времени и в пространстве. В качестве объекта исследования рассматриваются частные водосборы речных бассейнов Московской водохозяйственной системы. Анализ среднемноголетних объемов стока с укрупненных частных водосборов водохранилищ за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет) показал, что наибольший удельный вес стока приходится на частные водосборы водохранилищ Волжской ветки и составляет в сумме около 84 % и только 16 % – на Московскую ветку. Выявлены четыре локальных и два глобальных цикла водности. Анализ статистических параметров рядов стока частных водосборов водохранилищ МВС за период 90 лет выявил наличие статистически значимых изменений в динамике стока и его межгодовых связях. Это обусловлено естественно-климатическими и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Распределение годовых объемов стока внутри Московской водохозяйственной системы свидетельствует, что в средне- и маловодные годы доля стока с частных водосборов водохранилищ Московской ветки несколько возрастает, а в многоводные – убывает, а на Волжской ветке в средне- и маловодные годы доля стока убывает, а в многоводные годы – возрастает. Стационарность процесса характерна только в отдельные периоды наблюдений.

Частные водосборы водохранилищ, боковой приток, однородность, репрезентативность, стационарность, эргодичность гидрологических рядов.

The article considers one of the urgent problems of water resources management – improvement of the methodology of analysis and assessment of the interannual variability of the natural flow from private catchments of reservoirs in time and space. As an object of investigations there are considered private catchments of river basins of the Moscow water economic system. The analysis of average long-term volumes of flow from enlarged private water catchments of reservoirs for a period 1914/1915–2003/2004 (90 years) showed that the greatest flow specific weight falls on private catchments of reservoirs of the Volga branch and makes totally 84 % and only 16 % – on the Moscow branch. Four local and two global cycles of water content are revealed. The analysis of statistical parameters of flow series of private catchments of reservoirs MWS for 90 years has revealed the availability of statistically significant changes in the dynamics of flow and its interannual links. It is conditioned by natural-climatic and anthropogenic changes of the hydrological cycle. Distribution of annual flow volumes of the Moscow water economic system confirms that in average and shallow water content years the share of flow decreases, and in abundant water content years – increases. Stability of the process is typical only in some periods of observations.

Private catchments of reservoirs, lateral inflow, homogeneity, representativeness, stability, ergodicity of hydrological series.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00193а)

Одной из актуальных проблем управления водными ресурсами является совершенствование методики анализа и оценки межгодовой изменчивости естественного стока с частных водосборов водохранилищ времени и в пространстве.

Это совершенствование должно в себя включать следующие вопросы: методика оценки стационарности и эргичности стоковых рядов, методика прогнозирования стока, улучшение информационного обеспечения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов и создание унифицированного пакета программ на современных персональных компьютерах.

Решение поставленных задач требует совместного анализа гидрологического режима групп частных речных водосборов, объединяемых в единый водорегулирующий комплекс, с последующим исследованием межгодовых закономерностей естественного стока с таких водосборов как во времени (в различные фазы водности года), так и в пространстве (системы или каскады водохранилищ) при различных изменяющихся природно-хозяйственных условиях [1–6].

В качестве объекта исследования рассматриваются частные водосборы речных бассейнов Московской водохозяйственной системы (МВС) как в целом, так и в отдельности.

Московская водохозяйственная система располагается в верховьях рек Волги и Москвы и состоит из системы водохра-

нилищ, обеспечивающих водоснабжение Московского мегаполиса. Верхневолжское, Ивановское водохранилища и Вышневолоцкая водная система образуют единую водорегулирующую систему Верхней Волги («МВС, р. Волга»). Можайское, Рузское, Озернинское и Истринское водохранилища вместе с Рублевским гидроузлом структурно связаны с р. Москвой и образуют единый водорегулирующий комплекс – Москворецкую систему («МВС, р. Москва»). Относительно обособленно выделяются Вазуское и Яузское водохранилища, которые работают в двустороннем режиме, подавая в зависимости от потребностей воду в Волгу и Москву.

Анализ среднемноголетних объемов стока с укрупненных частных водосборов водохранилищ МВС за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет) показал, что наибольший удельный вес стока приходится на частные водосборы водохранилищ Волжской ветки МВС (суммарно около 84 %) и только 16 % – на Московскую ветку (табл. 1). Что касается отдельных водохранилищ, то наибольший удельный вес стока приходится на участок от города Старица до Ивановского водохранилища и составляет около 36 %, а наименьший – около 1 % на Яузское (Кармановское). При этом независимо от фазы водности процентное соотношение среднемноголетних объемов стока для всей совокупности частных водосборов водохранилищ МВС остается примерно одинаковым.

Таблица 1
Распределение естественных объемов годового стока с частных водосборов МВС в пространственном измерении за период 1914/15–2003/2004 годов (90 лет)

| Частные водосборы водохранилищ | Год (III–II) | | Половодье (III–V) | | Межень (VI–II) | | Летне-осенняя межень (VI–XI) | | Зимняя межень (XII–II) | |
|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | W_o , км ³ | Доля от суммы, % | W_o , км ³ | Доля от суммы, % | W_o , км ³ | Доля от суммы, % | W_o , км ³ | Доля от суммы, % | W_o , км ³ | Доля от суммы, % |
| Верхневолжское | 0,94 | 9,24 | 0,49 | 8,59 | 0,44 | 10,09 | 0,35 | 10,48 | 0,09 | 8,85 |
| Верхневолжское – г. Старица | 2,64 | 26,01 | 1,30 | 22,65 | 1,34 | 30,42 | 1,00 | 30,11 | 0,33 | 31,40 |
| г. Старица – Ивановское | 3,75 | 36,96 | 2,20 | 38,13 | 1,56 | 35,42 | 1,18 | 35,33 | 0,38 | 35,70 |
| Истринское | 0,21 | 2,10 | 0,12 | 2,08 | 0,09 | 2,12 | 0,07 | 2,05 | 0,02 | 2,33 |
| Можайское | 0,31 | 3,09 | 0,19 | 3,37 | 0,12 | 2,72 | 0,09 | 2,77 | 0,03 | 2,59 |
| Рузское | 0,24 | 2,34 | 0,15 | 2,55 | 0,09 | 2,06 | 0,07 | 2,06 | 0,02 | 2,05 |
| Озернинское | 0,17 | 1,64 | 0,09 | 1,64 | 0,07 | 1,65 | 0,05 | 1,62 | 0,02 | 1,72 |
| Рублевское | 0,54 | 5,36 | 0,31 | 5,39 | 0,23 | 5,32 | 0,17 | 5,14 | 0,06 | 5,86 |
| Вазуское (г/у Зубцовский) | 1,22 | 12,07 | 0,82 | 14,22 | 0,41 | 9,25 | 0,31 | 9,44 | 0,09 | 8,65 |
| Яузское (г/у Кармановский) | 0,12 | 1,19 | 0,08 | 1,37 | 0,04 | 0,96 | 0,03 | 0,99 | 0,01 | 0,85 |
| Сумма | 10,15 | 100 | 5,76 | 100 | 4,39 | 100 | 3,33 | 100 | 1,06 | 100 |

Анализ распределения годовых объемов стока внутри МВС также показал, что в средне- и маловодные годы доля стока с частных водосборов водохранилищ Московской ветки несколько возрастает, а в многоводные – убывает, в то время как на Волжской ветке в средне- и маловодные годы доля стока несколько убывает, а в многоводные годы – возрастает.

Анализ основных статистических

параметров гидрологических рядов годового стока с частных водосборов водохранилищ МВС с достаточно высокой степенью достоверности показал, что объемы этого стока практически для всех частных водосборов варьируют в пределах 0,25...0,35 с небольшим преобладанием многоводных лет ($C_s > 0$). При этом соотношение C_s / C_v колеблется и составляет 0...3,6, а коэффициент автокорреляции $R[1] - 0,12...0,43$ (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели гидрологических рядов естественных объемов годового стока с частных водосборов МВС за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет)

| Частные водосборы водохранилищ | Год (III-II) | | | | | | Относительные ошибки $E < [10\%]$ | |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------|--------|-------------|--------------|-----------------------------------|--|
| | W_{03} , км ³ | σ , км ³ | C_v | $R[1]$ | $K_d > [3]$ | $E < [10\%]$ | | |
| | | | | | | $E (W_0)$ | $E (C_v)$ | |
| Верхневолжское | 0,94 | 0,30 | 0,32 | 0,40 | 4,48 | 5,16 | 8,68 | |
| Верхневолжское – г. Старица | 2,64 | 0,71 | 0,27 | 0,34 | 3,67 | 4,07 | 8,26 | |
| г. Старица – Ивановское | 3,75 | 1,04 | 0,28 | 0,43 | 5,03 | 4,66 | 8,58 | |
| Вазузское (Зубцовское) | 1,22 | 0,42 | 0,34 | 0,30 | 3,10 | 4,91 | 8,42 | |
| МВС (р. Волга) | 8,55 | 2,19 | 0,26 | 0,38 | 4,22 | 4,04 | 8,31 | |
| Истринское | 0,21 | 0,06 | 0,26 | 0,32 | 3,32 | 3,87 | 8,17 | |
| Можайское | 0,31 | 0,09 | 0,29 | 0,17 | 1,70 | 3,62 | 7,92 | |
| Рузское | 0,24 | 0,07 | 0,29 | 0,29 | 3,04 | 4,08 | 8,19 | |
| Озернинское | 0,17 | 0,05 | 0,27 | 0,42 | 4,77 | 4,47 | 8,49 | |
| Рублевское | 0,54 | 0,15 | 0,28 | 0,28 | 2,83 | 3,96 | 8,13 | |
| Яузское (Кармановское) | 0,12 | 0,04 | 0,36 | 0,12 | 1,12 | 4,25 | 8,01 | |
| МВС (р. Москва) | 1,60 | 0,39 | 0,24 | 0,17 | 1,68 | 3,04 | 7,81 | |
| МВС (всего) | 10,15 | 2,52 | 0,25 | 0,36 | 3,84 | 3,80 | 8,21 | |

Исследование взаимосвязи стока с частных водосборов водохранилищ МВС показало, что коэффициенты парной корреляции рядов годового стока с укрупненных частных водосборов водохранилищ («МВС, р. Волга» и «МВС, р. Москва») имеют достаточно большое значение ($R[1] =$

0,8...0,9), что свидетельствует о тесной корреляционной связи стоковых рядов Волжской и Московской веток МВС. Для частных водосборов отдельных водохранилищ внутри МВС коэффициенты парной корреляции изменяются в достаточно широких пределах и составляют 0,24...0,85 (табл. 3).

Таблица 3

Матрица парных коэффициентов корреляции гидрологических рядов естественных объемов годового стока с частных водосборов МВС за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет)

| Частные водосборы водохранилищ | Верхневолжское | Верхневолжское – г. Старица | г.Старица – Ивановское | Вазузское (Зубцовское) | Истринское | Можайское | Рузское | Озернинское | Рублевское | Яузское (Кармановское) |
|--------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------|-----------|---------|-------------|------------|------------------------|
| Верхневолжское | 1,00 | 0,79 | 0,63 | 0,56 | 0,50 | 0,55 | 0,47 | 0,54 | 0,24 | 0,57 |
| Верхневолжское – г. Старица | | 1,00 | 0,70 | 0,64 | 0,66 | 0,68 | 0,66 | 0,61 | 0,47 | 0,66 |
| г.Старица – Ивановское | | | 1,00 | 0,73 | 0,78 | 0,73 | 0,67 | 0,63 | 0,62 | 0,61 |
| Вазузское (Зубцовское) | | | | 1,00 | 0,74 | 0,83 | 0,76 | 0,70 | 0,57 | 0,80 |
| Истринское | | | | | 1,00 | 0,77 | 0,70 | 0,69 | 0,57 | 0,65 |
| Можайское | | | | | | 1,00 | 0,81 | 0,73 | 0,60 | 0,85 |
| Рузское | | | | | | | 1,00 | 0,65 | 0,72 | 0,67 |
| Озернинское | | | | | | | | 1,00 | 0,39 | 0,70 |
| Рублевское | | | | | | | | | 1,00 | 0,40 |
| Яузское (Кармановское) | | | | | | | | | | 1,00 |

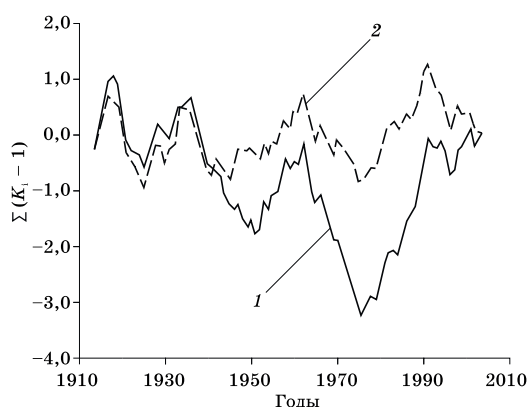
Анализ интегральных кривых годового стока с укрупненных частных водосборов водохранилищ МВС за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет) показал наличие четырех локальных циклов водности:

1914/15–1925/26 гг. (12 лет);
1926/27–1951/52 гг. (26 лет);
1952/53–1975/76 гг. (24 года);
1975/76–2003/04 гг. (28 лет),

а также двух глобальных циклов водности:

1914/15–1975/76 гг. (62 года);
1975/76–2003/04 гг. (28 лет),

которые на обеих ветках («МВС, р. Волга» и «МВС, р. Москва») проходили синхронно (рисунок).



Интегральные разностные кривые естественных объемов годового стока с укрупненных частных водосборов водохранилищ МВС за период 1914/1915–2003/2004 годов (90 лет): 1 – Волга; 2 – Москва

Анализ статистических показателей гидрологических рядов годового стока относительно выявленных локальных и глобальных циклов водности показал существенное различие как среднемноголетних значений W_0 , так и C_v и автокорреляции $R[1]$ для частных водосборов отдельных водохранилищ внутри МВС и для укрупненных частных водосборов «МВС, р. Волга» и «МВС, р. Москва» (табл. 4, 5).

Для выявленных четырех локальных и двух глобальных циклов водности проведена оценка однородности гидрологических рядов годового стока с частных водосборов водохранилищ Московской водохозяйственной системы путем проверки гипотезы о равенстве средних двух выборок из генеральной совокупности при их известных дисперсиях с помощью t критерия Стьюдента [5].

Анализ полученных результатов показал, что практически во всех случаях $t_{\text{наб}} > t_{\text{кр}}$ даже при уровне значимости $p = 0,01$ (99%-ый доверительный интервал), что говорит о статистически значимом различии средних значений и дисперсий исследуемых гидрологических рядов, то есть об их неоднородности (таблица 5). Эту неоднородность можно объяснить как изменением естественно-климатических условий (сменой типа атмосферной циркуляции*), так и хозяйственной деятельностью внутри региона (распашка сельскохозяйственных земель и связанное с этим увеличение испарения с поверхности почвы и сокращение стока) и в планетарном масштабе (парниковый эффект) [2].

Выводы

Анализ статистических параметров рядов стока частных водосборов водохранилищ МВС за период 90 лет выявил наличие статистически значимых изменений в динамике стока и его межгодовых связях. Это обусловлено естественно-климатическими и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса характерна только в отдельные периоды наблюдений.

Такой подход в дальнейшем позволяет провести осмысленное моделирование гидрологических рядов за период 1000 лет в пространстве (для всей совокупности частных водосборов) и во времени (по фазам водности), что обеспечит улучшение информационного обеспечения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов.

1. Болгов М. В. Статистические модели периодически коррелированных внутригодовых колебаний речного стока // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 101–116.

2. Исмайлов Г. Х., Федоров В. М. Оценка степени нестационарности временных рядов годового стока рек // Современные проблемы стохастической гидрологии: сб. трудов. – М.: ИВП РАН, 2000. – С. 53–57.

3. Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных. – Л.: Гидрометеопиздат, 1982. – 140 с.

* Типы атмосферной циркуляции (по Вангенгейму): во внетропических широтах Северной Атлантики и Евразии — западный (W), восточный (E), меридиональный (C). Первый характеризуется западным переносом в тропосфере, второй — восточным переносом или развитием устойчивого антициклона на материке, третий — сильным междуширотным обменом.

Таблица 4
Статистические показатели локальных циклов водности естественных объемов годового (III-II) стока с частных водосборов Московской водохозяйственной системы за период 1914/1915–2003/2004 гг. (90 лет) с привязкой к типу атмосферной циркуляции

| Частные водосборы водохранилищ | Год (III-II) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|--|---|---------------------------------------|---|--|---|---------------------------------------|---|--|---|------|------|-------|-------|
| | $W_{\sigma}, \text{ км}^3$ | | | $\sigma, \text{ км}^3$ | | | C_v | | | $R[1]$ | | | | | | |
| | 1914/15 1925/26 12 лет Тип W | 1926/27 1951/52 26 лет Тип E+C | 1952/53 1975/76 24 года Тип C+E | 1976/77 2003/04 28 лет Тип E+W | 1914/15 1925/26 12 лет Тип W | 1926/27 1951/52 26 лет Тип E+C | 1952/53 1975/76 24 года Тип C+E | 1976/77 2003/04 28 лет Тип E+W | 1914/15 1925/26 12 лет Тип W | 1926/27 1951/52 26 лет Тип E+C | 1952/53 1975/76 24 года Тип C+E | 1976/77 2003/04 28 лет Тип E+W | | | | |
| Верхневолжское | 0,96 | 0,88 | 0,77 | 1,13 | 0,11 | 0,38 | 0,31 | 0,28 | 0,12 | 0,44 | 0,41 | 0,25 | 0,26 | 0,05 | 0,36 | 0,24 |
| Верхневолжское – г. Старица | 2,30 | 2,61 | 2,51 | 2,92 | 0,59 | 0,83 | 0,60 | 1,41 | 0,26 | 0,32 | 0,24 | 0,48 | 0,46 | 0,45 | 0,32 | 0,09 |
| г. Старица – Ивановское | 3,73 | 3,54 | 3,57 | 4,11 | 0,94 | 1,17 | 1,02 | 0,34 | 0,25 | 0,33 | 0,29 | 0,08 | 0,70 | 0,52 | 0,15 | 0,33 |
| Вазушское (Зубовское) | 1,15 | 1,12 | 1,20 | 1,38 | 0,05 | 0,13 | 0,40 | 0,21 | 0,05 | 0,11 | 0,33 | 0,15 | 0,57 | 0,18 | 0,00 | 0,29 |
| МВС р.Волга | 8,14 | 8,16 | 8,04 | 9,54 | 0,29 | 2,52 | 2,34 | 1,14 | 0,04 | 0,31 | 0,29 | 0,12 | 0,65 | 0,46 | 0,18 | 0,23 |
| Истринское | 0,18 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,01 | 0,10 | 0,03 | 0,08 | 0,06 | 0,52 | 0,16 | 0,34 | 0,54 | 0,40 | -0,17 | 0,36 |
| Можайское | 0,26 | 0,31 | 0,29 | 0,36 | 0,02 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 0,06 | 0,32 | 0,23 | 0,05 | 0,38 | 0,20 | -0,23 | 0,13 |
| Рузское | 0,22 | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,01 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,23 | 0,31 | 0,29 | 0,42 | 0,36 | -0,11 | 0,50 |
| Озернинское | 0,14 | 0,16 | 0,15 | 0,20 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,15 | 0,16 | 0,21 | 0,48 | 0,39 | -0,22 | 0,31 |
| Рублевское | 0,57 | 0,60 | 0,55 | 0,47 | 0,12 | 0,06 | 0,11 | 0,03 | 0,22 | 0,10 | 0,21 | 0,06 | 0,54 | 0,35 | -0,23 | 0,08 |
| Яузское (Кармановское) | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,18 | 0,08 | 0,15 | 0,47 | 0,30 | 0,12 | -0,08 | -0,09 |
| МВС (р. Москва) | 1,47 | 1,63 | 1,56 | 1,64 | 0,08 | 0,33 | 0,33 | 0,05 | 0,05 | 0,20 | 0,21 | 0,03 | 0,48 | 0,34 | -0,23 | 0,20 |
| МВС (всего) | 9,61 | 9,79 | 9,60 | 11,18 | 0,36 | 2,85 | 2,67 | 1,09 | 0,04 | 0,29 | 0,28 | 0,10 | 0,64 | 0,47 | 0,12 | 0,23 |

Таблица 5
Статистические показатели с оценкой на однородность глобальных циклов водности естественных объемов годового (III-II) стока с частных водосборов Московской водохозяйственной системы за период 1914/1915–2003/2004 гг. (90 лет)

| Частные водосборы водохранилищ | $W_{\sigma}, \text{ км}^3$ | | $\sigma, \text{ км}^3$ | | σ^2 | | C_v | | R_1 | | Критерий Стьюдента | |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------|
| | 1914/15 1975/76 62 года | 1975/76 2003/04 28 лет | 1914/15 1975/76 62 года | 1975/76 2003/04 28 лет | 1914/15 1975/76 62 года | 1975/76 2003/04 28 лет | 1914/15 1975/76 62 года | 1975/76 2003/04 28 лет | 1914/15 1975/76 62 года | 1975/76 2003/04 28 лет | $t_{\text{имб}}$ | $t_{\text{кр}}$ |
| | | | | | | | | | | | $\alpha = 0,1$ | $\alpha = 0,05$ |
| Верхневолжское | 0,85 | 1,13 | 0,18 | 0,28 | 0,03 | 0,08 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,24 | 5,48 | |
| Верхневолжское – г. Старица | 2,51 | 2,92 | 0,15 | 1,41 | 0,02 | 1,99 | 0,06 | 0,48 | 0,38 | 0,09 | 2,25 | |
| г. Старица – Ивановское | 3,59 | 4,11 | 0,66 | 0,34 | 0,44 | 0,11 | 0,18 | 0,08 | 0,44 | 0,33 | 3,88 | |
| Вазушское (Зубовское) | 1,16 | 1,38 | 0,13 | 0,21 | 0,02 | 0,04 | 0,11 | 0,15 | 0,21 | 0,29 | 6,09 | |
| МВС (р. Волга) | 8,11 | 9,54 | 0,82 | 1,14 | 0,67 | 1,31 | 0,10 | 0,12 | 0,37 | 0,23 | 6,64 | |
| Истринское | 0,20 | 0,24 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 0,01 | 0,07 | 0,34 | 0,23 | 0,36 | 3,89 | |
| Можайское | 0,29 | 0,36 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,13 | 20,69 | |
| Рузское | 0,24 | 0,23 | 0,02 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,29 | 0,21 | 0,08 | 0,82 | |
| Озернинское | 0,15 | 0,20 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,21 | 0,19 | 0,31 | 8,22 | |
| Рублевское | 0,58 | 0,47 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,06 | 0,11 | 0,08 | 3,29 | |
| Яузское (Кармановское) | 0,11 | 0,14 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,47 | 0,03 | -0,09 | 8,89 | |
| МВС (р. Москва) | 1,57 | 1,64 | 0,12 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,08 | 0,03 | 0,16 | 0,20 | 2,93 | |
| МВС (всего) | 9,68 | 11,18 | 0,94 | 1,09 | 0,88 | 1,19 | 0,10 | 0,10 | 0,34 | 0,23 | 6,57 | 1,99 |

4. Раткович Д. А. Многолетние колебания речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 225 с.

5. Христофоров В. А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний. – Л.: Гидрометеиздат, 1994. – 160 с.

6. Шелутко В. А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 160 с.

Материал поступил в редакцию 16.05.14.

Исмайлов Габил Худушевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока

Тел. 8 (499) 976-17-45

E-mail: gabil-1937@mail.ru

Гуськов Виталий Геннадьевич, старший преподаватель кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока

E-mail: vitold.gus@mail.ru

УДК 502/504:550.34.01

В. Н. МАРКИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА НАНОСОВ

В работе рассматриваются вопросы моделирования режима речных наносов с помощью Марковских цепей на примере реки Нарын, которая протекает в Кыргызстане. Река имеет длину 807 км и площадь водосборного бассейна 59 900 км², питание ледниковое и снеговое. Половодье проходит в период с мая по август. Норма стока 480 м³/с. Проведена статистическая обработка многолетних данных, доказывающих неоднородность цепей. Анализ данных показал, что вариация расходов наносов по месяцам находится в пределах от 0,57...1,07. Автокоррелограмма характерна для гидрологических величин. Многолетние ряды расходов наносов по месяцам неоднородны. Наблюдается выраженная сезонность стока. Собраны матрицы переходных вероятностей, которые позволяют прогнозировать режим наносов. Матрицы переходных вероятностей имеют преимущественно диагональный вид. Полученные результаты свидетельствуют о том, что режим объемов стока наносов в месячных и сезонных интервалах времени описывается с помощью неоднородной цепи Маркова. При моделировании расчеты следует проводить с учетом корреляционной связи. Переход к прогнозированию концентраций наносов позволяет сократить количество расчетных периодов выделяя два интервала: весна–лето и осень–зима.

Стохастическое моделирование, цепь Маркова, расход наносов.

In the work there are considered simulation questions of the regime of river sediments by means of Markov chains by the example of the river Naryn which flows in Kyrgyzstan. The river has a length of 807 km and square of catchment basin 59 900 km², feeding is glacial and snow. Flooding is in a period from May to August. The norm of sediment-load – 480 m³/c. Statistical processing has been fulfilled of long-term data proving the heterogeneity of chains. The data analysis showed that the variation of sediments discharge per months is in the range from 0,57...1,07. The autocorrelogram is typical for hydrological values. Long-term series of sediments discharge per months are not homogeneous. There is observed a seasonality of sediments. Transition probabilities matrixes are collected which allow predict a mode of sediments. Transition probabilities matrixes have mainly a diagonal view. The obtained results confirm that the mode of sediments-load in monthly and seasonal intervals of time is described by means the heterogeneous Markov chain. When modeling the calculations should be performed taking into consideration a correlation. Transition to predicting of sediments concentrations makes it possible to reduce the quantity of rated periods separating two intervals: spring–summer and autumn–winter.

Stochastic simulation, Markov chain, sediments-load.