

Гидравлика, гидрология, водные ресурсы

УДК 502/504:556.11

Г. Х. ИСМАЙЛОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

В. М. ФЕДОРОВ

Институт водных проблем РАН

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОДОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА РЕКИ ВОЛГИ

Рассмотрены закономерности межгодовой изменчивости и взаимосвязи элементов водного баланса бассейна реки Волги за 1914/1915–2000/2001 годы. Выделены районы, однородные по условиям формирования элементов водного баланса. Полученные уравнения взаимосвязи элементов водного баланса частных водосборов бассейнов Волги создают научные основы для оценки изменения водных ресурсов этого бассейна в изменяющихся условиях климата в первой половине XXI века.

ЭВБ (элементы водного баланса), бассейн реки Волги, межгодовая изменчивость ЭВБ, оценка изменения водных ресурсов, изменяющиеся условия климата.

Laws of the interannual changeability and interrelations of water balance elements of the Volga river basin are considered for a period of 1914/1915–2000/2001 years. The areas which are uniform by the formation conditions of water balance elements are singled out. The received equations of the interrelation of water balance elements of private catchment reservoirs of the Volga basins create scientific bases for assessment of the water resources change of this basin in the changing climatic conditions in the first half of the XXI century.

WBE (Water balance elements), the Volga river basin, interannual changeability of WBE, assessment of the water resources change, changing climatic conditions.

Формирование элементов водного баланса (ЭВБ) в бассейнах крупных и малых рек в естественных условиях происходит во взаимодействии климатических и остальных физико-географических (ландшафтных) факторов. Климатическая зональность в общем случае определяет тип водного режима территории речного бассейна, но изменение режима в многолетнем разрезе, по генетическим фазам, по условиям формирования и амплитуде колебаний элементов водного баланса во многом зависит от внутризо-

нальной дифференциации, обусловленной азональными факторами и ландшафтной структурой бассейна. При анализе закономерностей динамики ЭВБ речного бассейна обычно используют два подхода. При первом, традиционном, подходе речной бассейн рассматривается как единый индикативный объект. В этом случае выявляют и анализируют закономерности межгодовой и внутригодовой изменчивости элементов водного баланса. Основой для такого анализа являются многолетние временные ряды ЭВБ, а в качестве

аппарата исследований используются статистические методы анализа временных рядов. При этом считается, что процессы формирования элементов водного баланса носят в определенной степени вероятностный характер, а сами значения ЭВБ являются случайными величинами. Каждый такой процесс характеризуется некоторыми неслучайными характеристиками, в качестве которых выступают математическое ожидание, дисперсия, взаимная корреляционная и автокорреляционная функции.

При втором подходе речной бассейн рассматривается как совокупность ландшафтов естественных и измененных в результате антропогенных факторов, с учетом качественного и количественного вклада в формирование ЭВБ. При различных режимах увлажнения и антропогенных нагрузок на ландшафт происходит перестройка структуры водного баланса территории. В свою очередь, закономерное сочетание ландшафтных комплексов определяет общий характер влагооборота в бассейне. Различное сочетание климатических и неклиматических факторов, включая и антропогенные, и определяет многообразие реакции речных водосборов на одни и те же осадки. Поэтому при рассмотрении пространственной изменчивости элементов водного баланса в первую очередь выделяются районы, однородные по структуре водного баланса и многолетней динамике его элементов. Формальной основой такого районирования может служить матрица взаимной корреляции временных рядов элементов водного баланса принятых к рассмотрению частных водосборов.

Затем для районов, однородных по структуре водного баланса и динамике его элементов, осуществляется поиск наиболее значимых зависимостей характеристик ЭВБ от определяющих их природно-хозяйственных факторов. Параметры этих зависимостей отражают специфику природно-хозяйственных условий отдельных регионов и, в свою очередь, могут быть поставлены в зависимость от тех или иных интегральных факторов, отражающих данную специфику. Это открывает возможность оценки изменения параметров районных зависимостей элементов водного баланса от определяющих их факторов для различных сценариев

возможных изменений этих факторов в будущем и, как следствие, изменения собственно ЭВБ частных водосборов и бассейна в целом.

Как видно из проведенного анализа существующих подходов к выявлению пространственно-временных закономерностей изменения элементов водного баланса речных бассейнов, такие подходы базируются на рассмотрении временных рядов ЭВБ. Однако до настоящего времени методика оценки элементов водного баланса крупных речных бассейнов, прежде всего суммарного испарения и изменения бассейновых влагозапасов, разработана недостаточно. Поэтому авторами в первую очередь была решена задача оценки ЭВБ крупного речного бассейна за многолетний период. Данная методика определения элементов водного баланса опубликована в работе [1]. В данной статье целесообразно остановиться на результатах, которые были получены авторами в последние годы применительно к бассейну реки Волги.

В результате реализации предлагаемой методики оценки годового испарения и изменения бассейновых влагозапасов Волги по стоку и осадкам получены многолетние ряды основных ЭВБ бассейна реки за 1892/1893–2000/2001 годы ($n = 109$ лет). Помимо стокоформирующей части бассейна реки Волги до города Волгограда были определены также годовые значения ЭВБ и для 11 частных водосборов водохранилищ Волжско-Камского каскада за период 1914/1915–2000/2001 годов ($n = 87$ лет). Именно этот период был использован для анализа и оценки закономерностей пространственно-временной изменчивости элементов водного баланса бассейна реки Волги. Были использованы две версии временного ряда годового стока: фактическая (наблюдаемая) и условно-естественная (восстановленная). Для ряда 1892/1893–1934/1935 годов годовой сток по обеим версиям совпадает, а для 1935/1936–2000/2001 годов сток по первой версии отражает интегральное влияние антропогенных факторов на сток.

Средний многолетний годовой сток для первой версии временного ряда составил 182 мм/год (248 км³) при крайних значениях 283 (1926/1927 год) и 114 (1975/1976 год) мм/год (385 и

155 км³ соответственно), среднее квадратическое отклонение 35 мм/год (47 км³), коэффициент вариации 0,18 и коэффициент автокорреляции 0,46. Условно-естественный годовой сток за этот же период составил 189 мм/год (257 км³) при среднеквадратическом отклонении 33 мм/год (45 км³), коэффициенте вариации 0,17 и коэффициенте автокорреляции 0,43. Для 1935/1936–2000/2001 годов среднемноголетний условно-естественный годовой сток составил 189 мм/год (257 км³), а фактический – 177 мм/год (241 км³), т.е. антропогенное воздействие привело к снижению годового стока в среднем на 12 мм/год (16 км³), что составляет примерно 6 % среднемноголетнего годового условно-естественного стока. Такое незначительное снижение годового стока свидетельствует о том, что основную роль в формировании стока реки Волги играют природные факторы, прежде всего климатические.

Были определены средние осадки по 11 частным водосборам бассейна Волги (водосборы водохранилищ и бассейны реки Оки) с весами, пропорциональными площадям административных областей в пределах водосбора, а затем и для бассейна Волги до города Волгограда за 1891/92–1999/2000 годы ($n = 109$ лет). Среднемноголетнее значение годовых осадков составило 646 мм/год (878 км³) при крайних значениях 820 (1925/26 год) и 484 (1995/96 год) мм/год (1115 и 658 км³ соответственно). Среднее квадратическое отклонение составило 71 мм/год (96 км³), коэффициент вариации – 0,11, а коэффициент корреляции осадков смежных лет – 0,07.

Значения годового испарения и изменения бассейновых влагозапасов получены для условно-естественных условий и

за 1935/1936–2000/2001 годы, характеризующиеся антропогенным преобразованием водных ресурсов бассейна реки Волги. Сравнение величин годового испарения в естественных условиях и при антропогенном воздействии позволяет оценить масштабы этого воздействия. В табл. 1 приведены средние за 10 лет значения условно-естественного и антропогенно-измененного испарения за 1935/36–2000/01 годы. Начиная с 30-х годов прошлого столетия наблюдается непрерывное превышение испарения в условиях антропогенного воздействия над условно-естественным испарением, которое достигает максимального значения в середине 80-х годов XX века (23 мм/год, или 31 км³). Затем наступает период уменьшения их разности вследствие спада промышленного и сельскохозяйственного производства во всех регионах России. В результате к началу XXI века различие в величинах испарения снижается до 5 мм/год (около 7 км³), т.е. почти в пять раз в сравнении с серединой 80-х годов XX века. Это лишь раз подчеркивает, что современный водный баланс в бассейне реки Волги формируется под преобладающим влиянием природных, прежде всего климатических, факторов. Поэтому оценка ЭВБ на ближайшие годы во многом будет определяться тем, какие изменения претерпит глобальный и, как следствие, региональный климат. Роль же антропогенных факторов, по крайней мере в годовом масштабе, при продолжающейся стагнации экономики России на этом фоне будет незначительной.

Для выявления стохастических свойств временных рядов ЭВБ прежде всего были получены выборочные оценки среднего значения, коэффициентов

Таблица 1

Изменение испарения в бассейне реки Волги до города Волгограда под влиянием антропогенного воздействия, мм/год

| Годы | E_{ye} | $E_{хд}$ | $\Delta E = E_{хд} - E_{ye}$ |
|---------------------|----------|----------|------------------------------|
| 1935/1936–1944/1945 | 467 | 472 | 5 |
| 1945/1946–1954/1955 | 452 | 465 | 13 |
| 1955/1956–1964/1965 | 466 | 482 | 16 |
| 1965/1966–1974/1975 | 450 | 468 | 18 |
| 1975/1976–1984/1985 | 454 | 477 | 23 |
| 1985/1986–1994/1995 | 444 | 451 | 7 |
| 1995/1996–2000/2001 | 446 | 451 | 5 |
| Среднее значение | 455 | 468 | 13 |

вариации, асимметрии и автокорреляции. Кроме того, дана оценка наличия статистически значимого тренда в рядах ЭВБ. Анализ этих данных показывает, что средне-многолетняя величина слоя годовых атмосферных осадков в бассейне изменяется от 480 (водосбор Волгоградского водохранилища) до 730 (водосбор Камского водохранилища) мм/год, а в целом по бассейну 665 мм/год. Коэффициент вариации годовых осадков находится в пределах 0,10...0,20, а коэффициент автокорреляции в рядах осадков не превышает 0,20, составляя в целом для бассейна 0,10. Средне-многолетний годовой сток меняется от 45 (водосбор Волгоградского водохранилища) до 324 (водосбор Камского водохранилища) мм/год, а в целом по бассейну 191 мм/год. При этом если межгодовая изменчивость стока в пределах зоны достаточного увлажнения не превышает 0,30, то в зоне недостаточного увлажнения коэффициенты вариации годового стока достигают 0,50...0,60. Рядам стока свойственна и высокая корреляция стока смежных лет $r(1) = 0,30...0,50$. Средне-многолетний слой годового испарения изменяется от 400 (водосбор Камского водохранилища) до 512 (водосбор Чебоксарского водохранилища) мм/год, а в целом по бассейну 474 мм/год. Коэффициенты вариации слоя испарения колеблются в диапазоне 0,10...0,15, а корреляция величин испарения смежных лет – 0...0,15. Последнее свидетельствует о том, что высокая автокорреляция в рядах годового стока ($r(1) = 0,30...0,50$) не является следствием автокорреляции в рядах испарения, а обусловлена в первую очередь высокой автокорреляцией в рядах годовых эффективных осадков (разность осадков и испарения). Так, для водосборов Иваньковского, Нижегородского, Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ $r(1)$ эффективных осадков составляет соответственно 0,46; 0,42; 0,39; 0,44, а $r(1)$ для бассейна Волги до Волгограда равно 0,42. В пользу этого свидетельствуют и высокие значения коэффициента корреляции стока и эффективных осадков, которые для этих водосборов составляют 0,94; 0,89; 0,90; 0,92 соответственно и для бассейна в целом 0,95. Автокорреляционные функции временных рядов элементов водного баланса бассейна реки Волги (до города Волгограда) для $\tau = 1, 2, \dots, 20$ показывают, что

если рядам стока и изменениям бассейновых влагозапасов свойственна высокая автокорреляция, то ординаты автокорреляционных функций статистически незначимы. Для рядов годовых осадков и испарения ординаты АКФ во всем диапазоне τ статистически незначимы, что позволяет считать их последовательностью независимых случайных величин. Для рядов стока изменения бассейновых влагозапасов и эффективных осадков в качестве стохастической модели может быть использована модель авторегрессии первого порядка.

Наличие продолжительных (80–100 лет) временных рядов ЭВБ позволяет выявить низкочастотные (долгопериодные) тренды в их динамике. С этой целью рассмотрим динамику скользящих средних 30-летних значений элементов водного баланса бассейна реки Волги 1892/93–2000/01 годов. Для осадков и стока выделен полный цикл их изменения, охватывающий фазы пониженной увлажненности (водности) с 10 до 40-й 30-летки, когда средние осадки уменьшаются с 665 до 625, а сток – со 195 до 175 мм/год, и повышенной увлажненности (водности) с 40 до 80-й (до конца рассматриваемого периода) при росте осадков с 625 до 650, а стока – с 175 до 200 мм/год. Аналогичный цикл выделяется и в динамике влагозапасов, однако он является зеркальным отражением циклов увлажненности и стока – фазам спада осадков и стока соответствует фаза сработки бассейновых влагозапасов, а фазам роста – накопление воды в бассейне.

В изменениях испарения прослеживается непрерывная тенденция к снижению его средних 30-летних значений с их резким уменьшением с 70 до 75-й 30-летки почти на 10 мм, что составляет более 50 % общего снижения за весь период. Изменится ли характер такого тренда испарения, предстоит выяснить в предстоящие годы, что требует непрерывного наблюдения за элементами водного баланса бассейна Волги.

Наряду с динамикой 30-летних скользящих средних ЭВБ большой интерес представляет характер динамики скользящих 30-летних значений и таких статистических параметров, как стандарт и коэффициент автокорреляции. Характер динамики стандарта для всех элементов водного баланса идентичен: начиная

с пятой и вплоть до пятидесятой 30-летки просматривается уменьшение стандарта для всех элементов водного баланса, сменяющееся его увеличением до конца рассматриваемого периода.

Значительные изменения свойственны и коэффициентам автокорреляции в 30-летних рядах ЭВБ: для осадков $r(1)$ изменяется от $-0,20$ до $0,40$; для стока – от 0 до $0,70$; для испарения – от $-0,30$ до $0,20$; для бассейновых влагозапасов – от $-0,20$ до $0,40$. При этом наибольшая корреляция смежных значений ЭВБ свойственна маловодным 30-леткам, тогда как в многоводные она менее существенна. Таким образом, в динамике ЭВБ бассейна реки Волги выделяются периоды, для которых степень расхождения значений их параметров статистически значима, что подтверждает гипотезу о нестационарности временных рядов элементов водного баланса. При исследовании зависимости ЭВБ от определяющих природно-хозяйственных факторов, как правило, используются одно- и многофакторные регрессионные зависимости. Поэтому целесообразно рассмотреть особенности и способы описания такого рода зависимостей.

Для оценки пространственной закономерности изменчивости ЭВБ использовано районирование территории бассейна реки Волги по межгодовой изменчивости ЭВБ. Для выделения районов, однородных с точки зрения межгодовой изменчивости элементов водного баланса, были получены матрицы коэффициентов взаимной корреляции временных рядов по каждому из рассмотренных элементов баланса. При этом в качестве критерия однородности принята величина коэффициента взаимной корреляции временных рядов каждого из ЭВБ – большая или равная $0,80$. В результате по характеру межгодовой изменчивости годовых атмосферных осадков в пределах бассейна Волги выделяются пять однородных районов: 1. Верхневолжский – водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского водохранилищ. 2. Средневолжский – водосборы Нижегородского, Чебоксарского, Куйбышевского водохранилищ. 3. Камский – водосборы Камского, Воткинского, Нижнекамского водохранилища. 4. Поволжский – водосборы Саратовского и Волгоградского водохранилища. 5. Нижняя Волга – Волго-Ахтубинская пойма и дельта реки Волги. Для речного стока

выделяются девять однородных районов: водосборы Ивановского и Угличского водохранилищ (1); водосбор Рыбинского водохранилища (2); водосбор Нижегородского водохранилища (3); водосбор Чебоксарского водохранилища (4); водосбор Куйбышевского водохранилища (5); водосборы Камского и Воткинского водохранилищ (6); водосбор Нижнекамского водохранилища (7); водосбор Саратовского водохранилища (8); водосбор Волгоградского водохранилища (9). Такая дробность районов, по всей вероятности, обусловлена значительной территориальной дифференциацией климатических и физико-географических факторов формирования речного стока в бассейне Волги. По характеру однородности динамики изменения бассейновых влагозапасов выделяются пять районов: Верхневолжский – водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского водохранилищ; водосбор Нижегородского водохранилища; Средневолжский – водосборы Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ; Камский – водосборы Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ; Поволжский – водосборы Саратовского и Волгоградского водохранилищ. И наконец, однородными по динамике годовых эффективных осадков являются следующие водохранилища: Верхневолжский – водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского и Нижегородского водохранилищ (1); водосбор Чебоксарского водохранилища (2); водосбор Куйбышевского водохранилища (3); Верхнекамский – водосборы Камского и Воткинского водохранилищ (4); Нижнекамский – водосбор Нижнекамского водохранилища (5); Поволжский – водосборы Саратовского и Волгоградского водохранилищ (6). Проведенные исследования со всей очевидностью указывают на то, что условия формирования поверхностных вод в бассейне реки Волги не остаются всюду одинаковыми, а претерпевают определенные изменения. Такие изменения вызываются сменой климатических условий на обширных пространствах данного бассейна.

Проведенный анализ пространственно-временной изменчивости элементов одного баланса позволяет сделать вывод о том, что наиболее явной причиной формирования водного баланса в бассейне Волги является такое соотношение тепла и влаги,

когда пониженные (повышенные) атмосферные осадки совпадают с повышенными (пониженными) значениями суммарного испарения с поверхности водосборов. Следовательно, при оценке возможных в будущем значений элементов водного баланса бассейна реки Волги необходимо исходить из возможных сценариев изменения климата и соответствующих этим сценариям годовых величин температуры воздуха T , атмосферных осадков P и испарения E , получаемых в результате модельных расчетов [1]. Поскольку использование разности осадков – испарения в оценке годового стока – возможно лишь для длительных отрезков времени ($n > 30$ лет), то при наличии ежегодных значений осадков и испарения представляется целесообразным применять следующие зависимости: стока от

осадков, испарения и их разности – установленные для условно-естественных условий характерных периодов в динамике ЭВБ бассейна. В результате на основе матрицы взаимной корреляции ЭВБ и полученных выборочных оценок основных статистических параметров их временных рядов были определены параметры эмпирических уравнений связи стока с определяющими его климатическими факторами:

$$R = A_0 + A_1(P - E); \tag{1}$$

$$R = A_0 \exp(A_1(P - E)); \tag{2}$$

$$R = A_0 + A_1P + A_2E; \tag{3}$$

$$R = A_0 + A_1P + A_2E + A_3T; \tag{4}$$

$$R = A_0 + A_1P + A_2T. \tag{5}$$

Параметры уравнений (1)...(5) приведены в табл. 2, а в табл. 3 даны величины погрешности данных уравнений.

Таблица 2

Вид уравнений для оценки годового стока Волги

| Частные водосборы. Водохранилище | Уравнение | | |
|---|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | $R = A_0 + A_1(P - E)$ | $R = A_0 \exp(A_1(P - E))$ | $R = A_0 + A_1P + A_2E$ |
| Иваньковское | $R = 84,3 + 0,592(P - E)$ | $R = 108 \exp(0,003(P - E))$ | $R = 239 + 0,60P - 0,94E$ |
| Рыбинское | $R = 73,6 + 0,50(P - E)$ | $R = 84 \exp(0,004(P - E))$ | $R = 220 + 0,51P - 0,78E$ |
| Нижегородское | $R = 91,9 + 0,63(P - E)$ | $R = 124 \exp(0,003(P - E))$ | $R = 406 + 0,54P - 1,20E$ |
| Чебоксарское | $R = 94,4 + 0,41(P - E)$ | $R = 103 \exp(0,003(P - E))$ | $R = 250 + 0,36P - 0,65E$ |
| Куйбышевское | $R = 90,6 + 0,49(P - E)$ | $R = 106 \exp(0,003(P - E))$ | $R = 269 + 0,47P - 0,82E$ |
| Камское | $R = 153,9 + 0,52(P - E)$ | $R = 185 \exp(0,002(P - E))$ | $R = 317 + 0,47P - 0,84E$ |
| Саратовское | $R = 53,6 + 0,42(P - E)$ | $R = 53 \exp(0,005(P - E))$ | $R = 210 + 0,42P - 0,78E$ |
| Волгоградское | $R = 28,8 + 0,36(P - E)$ | $R = 24 \exp(0,009(P - E))$ | $R = 328 + 1,26P - 2,02E$ |
| Воткинское | $R = 123,0 + 0,42(P - E)$ | $R = 151 \exp(0,002(P - E))$ | $R = 220 + 0,39P - 0,59E$ |
| Угличевское | $R = 65,88 + 0,66(P - E)$ | $R = 95 \exp(0,003(P - E))$ | $R = 242 + 0,67P - 1,03E$ |
| Бассейн реки Волги до города Волгограда | $R = 105,18 + 0,45(P - E)$ | $R = 118 \exp(0,002(P - E))$ | $R = 196 + 0,44P - 0,63E$ |

Таблица 3

Сопоставление погрешности оценки величин годового стока Волги

| Частные водосборы. Водохранилище | Уравнение | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|
| | $R = A_0 + A_1(P - E)$ | | $R = A_0 \exp(A_1(P - E))$ | | $R = A_0 + A_1P + A_2E$ | |
| | Критерий | | | | | |
| | $\xi = \frac{\Delta \bar{X}}{X_p} 100\%$ | $\mu = \frac{\sigma \Delta}{X_p} 100\%$ | $\xi = \frac{\Delta \bar{X}}{X_p} 100\%$ | $\mu = \frac{\sigma \Delta}{X_p} 100\%$ | $\xi = \frac{\Delta \bar{X}}{X_p} 100\%$ | $\mu = \frac{\sigma \Delta}{X_p} 100\%$ |
| Иваньковское | 6,66 | 5,96 | 7,82 | 6,47 | 1,48 | 4,15 |
| Угличевское | 10,76 | 9,91 | 11,76 | 11,82 | 5,39 | 10,72 |
| Рыбинское | 7,31 | 5,97 | 7,90 | 6,47 | 0,42 | 1,25 |
| Нижегородское | 10,66 | 7,51 | 10,52 | 8,26 | 0,21 | 0,50 |
| Чебоксарское | 7,78 | 6,07 | 7,83 | 5,94 | 0,17 | 0,11 |
| Куйбышевское | 8,58 | 7,31 | 9,13 | 7,11 | 2,07 | 5,35 |
| Камское | 6,82 | 5,39 | 7,23 | 5,64 | 2,08 | 5,34 |
| Воткинское | 5,35 | 4,54 | 7,04 | 3,51 | 1,19 | 5,60 |
| Саратовское | 19,32 | 17,18 | 20,97 | 19,71 | 1,49 | 5,76 |
| Волгоградское | 43,76 | 36,66 | 42,79 | 42,03 | 3,20 | 8,89 |
| Бассейн реки Волги до города Волгограда | 4,00 | 5,81 | 6,20 | 3,74 | 0,81 | 3,74 |

Представленные зависимости в большинстве случаев учитывают более 80 % дисперсии годового стока ($R^2 = 0,82...0,97$), что позволяет использовать их для оценки возможных значений годового стока реки Волги в рамках различных сценариев изменения климата в ее бассейне.

1. **Кислов А. В., Торопов П. А.** Моделирование климатических условий Восточно-Европейской равнины и вариации стока рек Волги в эпоху позднеплейстоценного похолодания // Вестник МГУ. – Сер. 5. География. – 2006 – № 2. – С. 13–17.

2. **Исмайлов Г. Х., Федоров В. М.** Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса реки Волги // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 3. – 2008. – С. 259–276.

Материал поступил в редакцию 31.03.10.

Исмайлов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (499) 976-23-68

E-mail: Ism37@mail.ru

Федоров Владимир Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-04-06

УДК 502/504:551.48:627.81

В. И. КЛЁПОВ

Институт водных проблем РАН

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ ВОДНО-РЕСУРСНОЙ СИСТЕМОЙ (НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА)

Регулирование речного стока при помощи водохранилищ направлено прежде всего на повышение надежности водоснабжения населения и предприятий. Такое регулирование является обычным, когда ставится задача использования стока, недостаточного в межень и избыточного в половодье и паводок. Расчеты регулирования низкого стока направлены на установление величины гарантированной водоотдачи водно-ресурсной системы, обеспеченности водоотдачи, регулирующего объема и режима работы.

Управление водно-ресурсной системой, речной сток, маловодные гидрологические условия, гарантированная водоотдача, обеспеченность водоотдачи.

River flow regulation by means of reservoirs is directed primarily to the reliability improvement of water supply to the population and enterprises. Such regulation is common when there is a task of using the flow which is insufficient during low water and excess during high water and flooding. Estimations of regulation aimed at raising the low flow are directed to establishing the value of the guaranteed water yield of the water-resource system, provision of water yield, regulating volume and regime of operation.

Management of the water resource system, river flow, low water hydrological conditions, guaranteed water yield, provision of water yield.