

2. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: монография. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

3. Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши: Экология. Безопасность. Жизнь. Экологи-

ческий опыт гражданских, общественных инициатив. – Гатчина, 2000. – Ч. 2. Уязвимость водной экосистемы – С. 284–296.

Материал поступил в редакцию 21.04.11.

*Маркин Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент*

*Тел. 8 (499) 153-90-28*

*E-mail: mvnarkin@mail.ru*

УДК 502/504:556.132.6

**Т. И. БЕГЛЯКОВА**

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

## **ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ СУШИ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**

*Рассматривается определение суммарного испарения с поверхности суши и изменения бассейновых влагозапасов для частных водосборов бассейна Верхней Волги. При этом в качестве ретроспективного периода используются данные о стоке и атмосферных осадках за период 1914/1915–2000/2001 годов.*

*Испарение, бассейновые влагозапасы, водный баланс, бассейн Верхней Волги.*

*There is considered a determination of the total evaporation from the dry land surface and change of the basin moisture stocks for private water catchments of the upper Volga basin. And as a retrospective period there are used the flow and precipitation data for the period of 1914/1915–2000/2001 years.*

*Evaporation, basin moisture stocks, water balance, the upper Volga River basin.*

Суть проблемы. Одним из основных средств разрешения теоретических и практических гидрологических проблем являются воднобалансовые исследования, которые служат основой количественной оценки водных ресурсов и их изменений под влиянием деятельности человека.

Анализ исходных данных, используемых для расчета отдельных элементов водного баланса, и увязка этих элементов между собой служат определением недостатков в размещении наблюдательных станций и выявлении систематических ошибок измерений отдельных составляющих водного баланса. Изучение водного баланса дает возможность косвенным путем вычислить по разности известных значений элементов баланса неизвестный элемент, например, испарение с речного

бассейна по разности осадков и стока [1].

Проблеме изучения взаимосвязи элементов водного баланса (атмосферных осадков, речного стока и испарения) в гидрологии уделяется повышенное внимание. Так, к концу XX века в исследованиях проявилась тенденция перехода от изучения водного баланса в его простейшей форме в виде традиционных трех- и четырехчленных уравнений к изучению водного баланса отдельных звеньев единого гидрологического цикла в системе «атмосфера – земная поверхность – зона аэрации – грунтовые воды – русла рек» с учетом их взаимосвязи и разработка моделей формирования речного стока. В немалой степени этому способствовали экспериментальные исследования водного баланса, проведенные в 60–70-х годах

прошлого столетия как в России, так и за рубежом.

В настоящее время мы не располагаем даже годовыми оценками основных элементов водного баланса (осадков, стока, испарения, влагозапасов) для большинства речных бассейнов России за период имеющихся инструментальных наблюдений за стоком и атмосферными осадками.

Атмосферные осадки являются обычно единственным источником поступления влаги на сушу. Поэтому точность измерения и расчета количества выпадающих осадков в значительной мере определяет надежность всех воднобалансовых расчетов [1].

Среднее количество осадков, выпадающих в речном бассейне или на любой другой территории, устанавливается по данным наблюдений осадкомеров, расположенных в пределах изучаемой территории. Провести непосредственные измерения испарения с суши и водной поверхности позволяют специальные приборы, которые вследствие конструктивных особенностей вносят те или иные погрешности в измеряемые величины испарения. Кроме того, сеть таких испарителей ограничивается немногочисленными воднобалансовыми и агрометеорологическими станциями, которые к тому же не могут обеспечить измерения испарения для всего спектра испаряющих поверхностей, существующих в пределах даже относительно малого речного бассейна, а тем более крупных речных бассейнов. Таким образом, в настоящее время оценка элементов водных балансов речных бассейнов, в том числе и определения испарения с поверхности суши, является одной из актуальных задач гидрологии.

Методы расчета. Испарение с поверхности суши может быть рассчитано следующими методами: методом водного баланса, методом теплового баланса, методом турбулентной диффузии или градиентов, комплексным (тепловоднобалансовым) методом, эмпирическими методами (формулами).

*Метод водного баланса* применяется для оценки испарения с конкретных участков суши различных размеров, в том числе с сельскохозяйственных полей и угодий [2].

*Метод теплового баланса* пригоден для оценки испарения с территории, окружающей теплобалансовую станцию, и не может использоваться на стандартной (обычной) сети станций. Данный метод не учитывает горизонтальные градиенты турбулентного теплообмена (адвекция) и поэтому может применяться преимущественно для достаточно однородных равнинных участков местности, покрытых однообразной растительностью.

*Метод турбулентной диффузии (или градиентов)* учитывает влияние адвекции и температурной стратификации. Однако в связи с трудоемкостью представленных в методе расчетов не имеет широкого применения.

*Комплексный (тепловоднобалансовый) метод* позволяет определить испарение с орошаемых сельскохозяйственных полей за месячные и межфазные периоды отдельных лет при различной степени увлажнения почвы (от влажности завядания растений до полной влагоемкости) и при различных способах полива [2].

*Эмпирические методы* для определения испарения в отличие от балансовых основываются на массовых данных метеорологических наблюдений: температуре и влажности воздуха, скорости ветра, облачности, продолжительности солнечного сияния.

При расчете испарения и изменения бассейновых влагозапасов была выбрана методика, приведенная в работах [3, 4]. Согласно данной методике, при определении суммарного испарения с поверхности суши и изменения бассейновых влагозапасов в качестве исходных данных используются суммарные атмосферные осадки, выпадающие на рассматриваемой территории, и сток в замыкающем створе данной территории. При этом следует отметить, что к числу наиболее трудноопределяемых элементов водного баланса (ЭВБ) относится изменение бассейновых влагозапасов ( $\Delta V$ ).

Рассмотрим уравнение водного баланса (ВБ) вида

$$P_i + \Delta V_i = R_i + E_i, \quad (1)$$

где  $P_i$ ,  $\Delta V_i$ ,  $R_i$ ,  $E_i$  – соответственно годовые осадки, изменение бассейновых влагозапасов, сток и испарение.

При  $E_i = 0$  получим:  $P_i + \Delta V_i = R_i$  и  $\Delta V_{iR} = R_i - P_i$ .

При  $R_i = 0$  получим:  $P_i + \Delta V_i = E_i$  и  $\Delta V_{iE} = E_i - P_i$ .

При  $E_i \neq 0, R_i \neq 0$  получим:  $P_i + \Delta V_i = R_i + E_i$  и  $\Delta V_i = \Delta V_{iR} + \Delta V_{iE}$ .

При этом принимаем, что  $\Delta V_{iR} = R_i - 0,5P_i$  и  $\Delta V_{iE} = E_i - 0,5P_i$ .

Тогда  $P_i - R_i = E_i - \Delta V_i$ , откуда следует, что при  $\Delta V_i = 0 P_i = R_i + E_i$ .

Согласно методике, изложенной в работе [3],

$$[\Delta V_{iE}] = f(P_i, R_i, [\Delta V_{iR}]). \quad (2)$$

Для бассейнов, по которым имеются данные о всех ЭВБ за многолетний период, т. е. известны  $P_i, R_i, E_i, \Delta V_i$ , определяем ежегодные значения  $[\Delta V_{iR}]$  и  $[\Delta V_{iE}]$  и их статистические параметры (среднее и стандарт), а также коэффициенты взаимной корреляции. По этим данным получаем многофакторные уравнения регрессии:

$$[\Delta V_{iE}] = a \Delta [\Delta V_{iR}] + b \Delta P_i + [\Delta V_{iE}]_{cp}, \quad (9)$$

где  $\Delta [\Delta V_{iR}] = [\Delta V_{iR}] - [\Delta V_{iR}]_{cp}, \Delta P_i = P_i - P_{cp}, [\Delta V_{iE}]_{cp} = -[\Delta V_{iR}]_{cp}$  при  $[\Delta V_{iR}]_{cp} = 0$ , а  $[\Delta V_{iR}]_{cp} = R_{cp} - 0,5P_{cp}$ .

Зависимость (2) затем используется для определения ежегодного испарения:

$$[E_i] = 0,5P_i + [\Delta V_{iE}].$$

Для  $[E_i]$  определяем выборочные оценки основных статистических параметров (среднее, стандарт, коэффициент вариации, коэффициент автокорреляции), которые и сопоставляются с аналогичными параметрами для ряда  $E_i$ .

Опираясь на изложенную методику, были определены элементы водного баланса в бассейне Верхней Волги. Для выявления стохастических свойств временных рядов были получены выборочные оценки среднего значения, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции за период 1914/1915–2000/2001 годов ( $N = 87$  года) (таблица). Из таблицы видно, что средняя многолетняя величина атмосферных осадков в бассейне Верхней Волги изменяется от 597 (частный водосбор Чебоксарского водохранилища) до 716 мм (частный водосбор Ивановского водохранилища). Средняя величина речного стока колеблется от 137 (частный водосбор Чебоксарского водохранилища) до 242 мм (частный водосбор Нижегородского водохранилища). Средняя величина суммарного испарения с поверхности суши находится в диапазоне от 373 (частный водосбор Нижегородского водохранилища) до 503 мм (частный водосбор Ивановского водохранилища). Коэффициент вариации

Выборочные оценки основных статистических параметров временных рядов суммарных годовых величин элементов водного баланса бассейна Верхней Волги за 1914/1915–2000/2001 годы ( $N = 87$  года)

Параметр	Частный водосбор Ивановского водохранилища				Частный водосбор Угличского водохранилища				Частный водосбор Рыбинского водохранилища				Частный водосбор Нижегородского водохранилища				Частный водосбор Чебоксарского водохранилища			
	P	R	E	V	P	R	E	V	P	R	E	V	P	R	E	V	P	R	E	V
Среднее значение	716	213	503	0,26	693	198	495	-0,10	678	204	474	0,91	615	242	373	-0,29	597	137	460	0,31
Максимальное значение	959	353	660	75	881	430	580	105	889	372	583	70	827	456	452	153	782	229	561	67
Минимальное значение	498	81	415	-88	436	65	364	-91	454	95	402	-90	449	95	299	-140	439	74	358	-74
Амплитуда	461	272	245	163	445	365	216	196	435	277	181	160	378	361	153	293	343	155	203	141
Стандарт	92	56	40	32	89	64	42	39	83	58	35	28	73	69	30	49	69	33	38	31
Коэффициент вариации $C_v$	0,13	0,26	0,08	-	0,13	0,32	0,08	-	0,12	0,28	0,07	-	0,12	0,29	0,08	-	0,12	0,24	0,08	-
Коэффициент асимметрии $C_s$	-0,15	0,05	0,59	0,08	-0,23	0,67	-0,60	0,28	0,04	0,43	0,27	-0,20	0,24	0,45	0,16	0,04	-0,01	0,66	-0,10	0,04
Коэффициент автокорреляции $r_{II}$	0,11	0,39	-0,13	0,001	0,13	0,42	-0,05	-0,05	0,14	0,35	-0,19	-0,08	0,09	0,48	0,02	0,39	-0,04	0,38	-0,07	0,05

величин стока – 0,07...0,32.

Были проанализированы колебания элементов водного баланса по частным водосборам бассейна Верхней Волги. Установлено, что элементам водного баланса характерно чередование их аномальных значений. На рисунке приведены аномальные изменения в ходе колебания ЭВБ частного водосбора Чебоксарского водохранилища. Для установления длительности этих периодов построены разностные интегральные кривые ЭВБ для частных водосборов бассейна Верхней Волги, по которым видно, что помимо отдельных маловодных лет по осадкам и стоку выделяются и их группировки, охватывающие от двух до десяти лет:

двухлетки – 1919/1920–1920/1921, 1945/1946–1946/1947, 1973/1974–1974/1975, 1991/1991–1991/1992 и 1995/1996–1996/1997 годы;

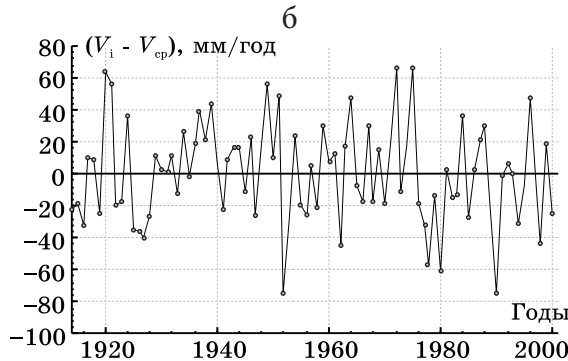
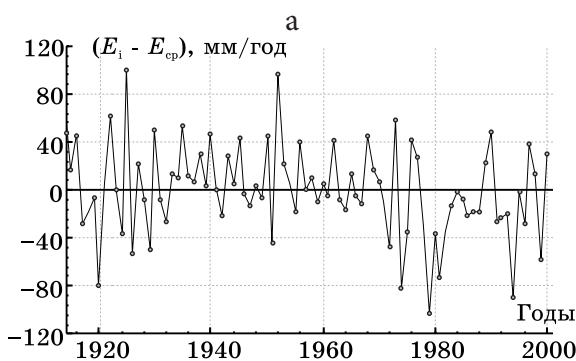
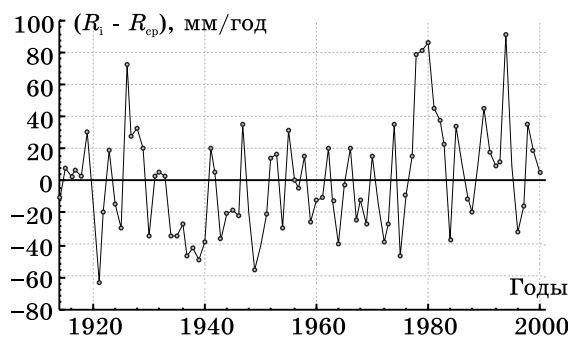
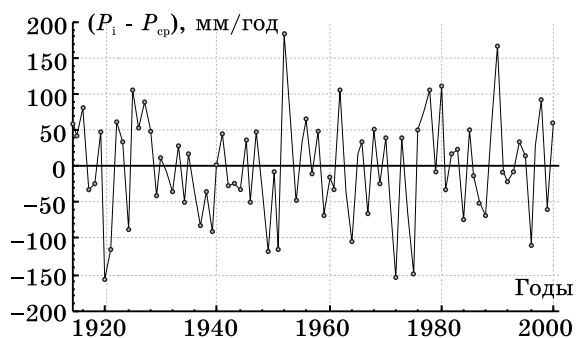
трехлетки – 1931/1932–1933/1934,

1941/1942–1943/1944,

1948/1949–1950/1951 годы;

пятiletки – 1935/1936–1939/1940 годы.

Кроме этих группировок маловодных лет по осадкам, можно выделить наиболее длительный 19-летний маловодный период по условиям естественной увлажненности (1931/1932–1950/1951), а по стоку – 46-летний маловодный период (1931/1932–1977/1978). Если анализировать суммарное испарение, то можно выделить достаточно длительный 43-летний засушливый период (1931/1932–1974/1975). По суммарным изменениям бассейновых влагозапасов наблюдается непрерывное чередование трех-четырёхлетних группировок по сработке ( $-\Delta V_i$ ) и наполнению ( $+\Delta V_i$ ) бассейновых влагозапасов. Здесь также можно выделить достаточно длительные группировки изменения бассейновых влагозапасов.



**Аномалии изменения суммарных годовых атмосферных осадков  $P$  (а), речного стока  $R$  (б), испарения  $E$  (в), бассейновых влагозапасов  $V$  (г) за период с 1914/1915 по 2000/2001 год для частного водосбора Чебоксарского водохранилища**

**Выводы**

Проведенный сопряженный анализ свидетельствует о том, что помимо осадков на формирование маловодных и многоводных периодов годового стока оказывают влияние и такие элементы водного

баланса, как суммарное испарение и изменения бассейновых влагозапасов.

1. Соколова А. А., Чапмена Т. Г. Методы расчета водных балансов: руководство по исследованиям и практике. – Л.:

Гидрометеиздат, 1976. – 120 с.

2. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши / Под ред. П. П. Кузьмина, С. М. Алпатьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 96 с.

3. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Оценка возможных изменений элементов годового водного баланса бассейна Волги // Природообустройство. – 2010. – № 5. – С. 58–64.

4. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М.

Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 8. – С. 259–277.

Материал поступил в редакцию 03.06.11.

*Беглякова Татьяна Ивановна, аспирантка кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»*

*Тел. 8-905-781-97-25.*

*E-mail: tbeglyakova@mail.ru*

УДК 502/504:626.83

**Д. С. БЕГЛЯРОВ, Д. Ш. АПРЕСЯН**

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

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОПОДАЧИ ПРИ ПУСКАХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

*В статье излагаются вопросы, связанные с переходными процессами в напорных системах водоподачи при пуске насосов. Приводится методика расчета по определению параметров насосного агрегата.*

*Напорная система водоподачи, насосная станция, насос, напорный трубопровод, клапан для впуска и заземления воздуха, обратный клапан, переходные процессы.*

*There are stated questions connected with transients in pressure water supply systems under pumps starting. The calculation method is given on determination of the pump aggregate.*

*Pressurized water supply system, pump station, pump, pressure pipeline, air admission and jamming valve, back-pressure valve, transients.*

При изменении режимов работы насосных станций в их элементах возникают гидромеханические переходные процессы. По частоте повторения и месту, занимаемому в рабочем процессе станции, переходные процессы можно разделить на основные и особые.

Основные переходные процессы – «нормальный» пуск насосного агрегата; зарядка и разрядка сифонного водовыпуска или открытие и закрытие затвора; изменение подачи насоса с помощью разворота лопастей рабочего колеса или изме-

нение частоты вращения агрегата; «нормальная» остановка агрегата – являются необходимой частью рабочего процесса станции и повторяются каждый раз при изменении режима ее работы [1].

Особые переходные процессы – это работа насоса в неустойчивой зоне характеристики, отключение двигателя насоса от сети без отключения напорного водовода от верхнего бьефа, пуск насоса при закрытом клапане срыва вакуума на сифонном водовыпуске. Указанные режимы не являются обязательными для эксплуата-