

7. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V., Koval S.V. Chislennoe issledovanie dinamicheskogo vozdeystviya na gruntovuyu plotinu // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 3. – S. 78-85.

8. SP 40-103-98. Proektirovanie i montazh truboprovodov system holodnogo i goryachego vodosnabzheniya s ispolzovaniem metallopolimernyh trub. <http://docs.cntd.ru/document/1200001315>

The material was received at the editorial office
06.11.2020

Information about the authors

Paliivets Maxim Sergeevich, candidate of technical sciences of the department «Information technologies in AIC» FSBEI HE RSAU-MAA named after S.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya, 44; maxim6663@mail.ru

УДК 502/504:551.585

DOI 10.26897/1997-6011/2020-5-88-95

Г.Х. ИСМАЙЛОВ, Н.В. МУРАЩЕНКОВА, И.Г. ИСМАЙЛОВА

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЛОЖНОФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА (СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ И ВЛАГОЗАПАСОВ) РЕЧНОГО БАССЕЙНА

Рассматриваются определение суммарного испарения и изменение бассейновых влагозапасов при заданных величинах годовых и сезонных значений атмосферных осадков и речного стока за многолетний период гидрометеорологических наблюдений. В практике инженерной гидрологии наиболее распространенным подходом к определению суммарного испарения с использованием лишь данных по стоку и осадкам является его оценка по разности суммарных атмосферных осадков и речного стока. Делается допущение, что изменение влагозапасов для средних и крупных речных бассейнов за достаточно длительный период близко к нулю. Разработана методика, которая позволяет при определении суммарного годового испарения с поверхности суши и водоемов учесть изменение бассейновых запасов влаги, так как в реальных условиях сформированные бассейновые влагозапасы предыдущего периода участвуют в формировании как речного стока, так и суммарного испарения следующего периода. В качестве основного математического инструмента используется корреляционное уравнение, связывающее рассматриваемые элементы водного баланса. Получены уравнения, определяющие долю бассейновых запасов влаги, участвующих в формировании речного стока, и суммарного испарения. Предлагаются уравнения связи стока с осадками и с изменением годовых влагозапасов с долей запасов влаги, участвующих в формировании речного стока. Уравнения позволили оценить значения суммарного испарения и запасов влаги в бассейне применительно к бассейну Дона. Получены уравнения зависимости речного стока от суммарных атмосферных осадков Донского бассейна. В качестве исходного гидрометеорологического материала использованы данные Государственного водного кадастра, ресурсов поверхностных вод и гидрологических ежегодников, а также данные наблюдений информационно-справочных систем – таких, как сайт Всесоюзного научно-исследовательского института гидрометеорологической информации: Мировой центр данных (www.meteo.ru). В результате сопряженного временного анализа элементов водного баланса бассейна реки Дон установлено, что в бассейне преобладает влияние природных факторов, участвующих в формировании речного стока.

Речной сток, атмосферные осадки, суммарное испарение, запасы влаги в бассейне, влагозапасы, годовой сток, водный баланс, речной бассейн.

Введение. С точки зрения бассейново-ландшафтного подхода территорию бассейна реки можно рассматривать как

ландшафтную систему, структуру которой формируют частные водосборы реки и ее притоки. Каждая территория водосбора

характеризуется определенным сочетанием природных и антропогенно-измененных ландшафтов, в пределах которых суммарные атмосферные осадки расходуются на испарение с поверхности водосбора и пополнение запасов влаги в зоне активного водообмена и соответственно формируют приток поверхностных и грунтовых вод в гидрографическую сеть речной системы.

В связи с вышеизложенным исследование регулирующего эффекта отдельных ландшафтов водосбора реки имеет важное практическое значение для разработки методик расчета и прогноза речного стока, а также развивает необходимые подходы к установлению закономерностей функционирования бассейново-ландшафтных систем в изменяющихся климатических и антропогенных условиях.

Решение проблемы связано с трудностями оценки таких элементов водного баланса (ЭВБ) водосборов речных бассейнов, как суммарное испарение с поверхности водосборов и изменение запасов влаги в зоне аэрации и грунтовых вод речного бассейна [1, 2]. В исследовании решается задача по разработке методических основ оценки суммарного испарения и изменения запасов влаги в бассейне с использованием данных наблюдений за суммарными атмосферными осадками и речным стоком. В результате появляется возможность оценить все основные составляющие водного баланса за многолетний период наблюдений. Данное решение оценки ЭВБ речных бассейнов создает основу для анализа закономерностей сопряженных изменений элементов водного баланса, а в последующем – и для разработки имитационной модели речного бассейна.

Методы и материалы исследования. Речной сток формируется в результате взаимодействия климатических факторов с факторами подстилающей поверхности и зоны активного водообмена [3, 4]. Это взаимодействие в общем виде описывается уравнением водного баланса речного бассейна:

$$P + V_n = R + E + V_k, \quad (1)$$

где P – атмосферные осадки за исследуемый период; V_n и V_k – начальный и конечный запасы воды на поверхности речного бассейна и в зоне активного водообмена, а также в гидрографической сети бассейна; E – суммарное испарение с поверхности водосбора и водной поверхности водотоков и водоемов; R – речной сток в замыкающем створе бассейна реки.

В результате решения уравнения (1) относительно речного стока выражение:

$$R = P - E + (V_n - V_k) = P - E + \Delta V, \quad (2)$$

где ΔV – изменение запасов влаги в бассейне реки.

При $\Delta V > 0$ имеет место сработка запасов влаги в бассейне, при $\Delta V < 0$ – ее накопление, то есть аккумуляция запасов влаги, а при $\Delta V = 0$ сток целиком определяется разностью атмосферных осадков и суммарного испарения.

Многочисленные исследования, посвященные оценке зависимости годового стока и суммарных атмосферных осадков, показывают [1-3, 14, 15], что при незначительных атмосферных осадках ($P \rightarrow 0$) они практически полностью расходуются на суммарное испарение. По мере увеличения количества выпавших атмосферных осадков рост суммарного испарения замедляется и стремится к постоянной величине максимально возможного испарения. В результате общий вид зависимости речного стока от атмосферных осадков выражается в виде прямой, отсекающей на оси абсцисс некоторый отрезок, равный атмосферным осадкам, при которых речной сток отсутствует. Кроме того, данная прямая проходит через точку, соответствующую средним многолетним значениям атмосферных осадков и речного стока (\bar{P}, \bar{R}). Данным среднемноголетним значениям соответствует нулевое или близкое к нему изменение запасов влаги в бассейне реки, поэтому можно предположить, что и вся прямая в целом отражает условия нейтральности влагозапасов, при которых суммарное испарение определяется разницей атмосферных осадков и речного стока. Предположим, что изменение запасов влаги в бассейне приводит к изменению речного стока. Отсюда при использовании этих запасов ($\Delta V > 0$) фактический (наблюденный) речной сток (R) будет превышать «условный» (\hat{R}) сток, соответствующий нейтральности запасов влаги в бассейне на величину их сработки, и наоборот, при накоплении запасов влаги в бассейне реки ($\Delta V < 0$) будет меньше «условного» на величину аккумуляции влаги. В результате можно предположить, что все точки, расположенные левее прямой линии связи «Сток-осадки», отвечать будут условию сработки запасов влаги, а расположенные правее – их накоплению. Величина изменения запасов влаги в бассейне, участвующих в формирование речного стока

($\Delta V(R)$), определяется разностью фактического (R) и «условного» (\hat{R}) стока:

$$\Delta V(R) = R - \hat{R}. \quad (3)$$

Уравнение прямой, выражающее зависимость «условного» стока от атмосферных осадков, может быть аналитически представлено уравнением линейной регрессии:

$$\hat{R} = r(R, P) \frac{\sigma(R)}{\sigma(P)} P + b, \quad (4)$$

где $r(R, P)$ – коэффициент корреляции речного стока и атмосферных осадков; $\sigma(R)$ и $\sigma(P)$ – средние квадратические отклонения речного стока и атмосферных осадков; b – свободный член уравнения регрессии, равный

$$b = \bar{R} - r(R, P) \frac{\sigma(R)}{\sigma(P)} \bar{P}. \quad (5)$$

Можно предположить, что изменение запасов влаги в речном бассейне влияет не только на речной сток, но и на суммарное испарение, то есть в общей их величине, согласно структуре уравнения водного баланса (1), следует выделить его составляющие, влияющие на речной сток $\Delta V(R)$ и на суммарное испарение $\Delta V(E)$:

$$\Delta V = \Delta V(R) + \Delta V(E). \quad (6)$$

Поскольку при использовании зависимости речного стока от атмосферных осадков можно определить лишь изменения запасов влаги, влияющих на речной сток $\Delta V(R)$, то важное значение имеет установление зависимости общего изменения влагозапасов от той их части, которая определяет величину фактического стока:

$$\Delta \hat{V} = f(\Delta V(R)) = \alpha \Delta V(R). \quad (7)$$

Можно полагать, что в засушливых районах при коэффициентах стока $k(R)$, стремящихся к нулю, $\Delta V(E) \gg \Delta V(R)$, и коэффициент α в уравнении (7) будет значительно больше единицы ($\alpha \gg 1$). При $k(R) = 1$ все атмосферные осадки переходят в речной сток, тогда $\Delta V = \Delta V(R)$ и $\alpha = 1$. Это позволяет установить наличие зависимостей α от среднегоголетнего коэффициента годового стока:

$$\alpha = f(k(R)). \quad (8)$$

Если такая зависимость существует, то открываются возможности оценки годовых значений изменения запасов влаги

речного бассейна и суммарного испарения за многолетний период на основе данных по речному стоку и атмосферным осадкам как наиболее достоверно определяемых элементов водного баланса речного бассейна [6, 8, 10].

Результаты и обсуждение. Представленная методика оценки годовых значений суммарного испарения и изменения запасов влаги в речном бассейне была использована для расчета элементов водного баланса верхней части бассейна реки Дон до замыкающего створа – станица Казанская с площадью 102 тыс. км². Выбранная территория охватывает верхнюю часть бассейна реки Дон в целом и является основной зоной формирования речного стока в исследуемом бассейне.

Элементы водного баланса бассейна реки Дон. Характерной чертой водного режима Донского бассейна является то, что источником питания рек выступают в основном талые снеговые воды, хотя наибольшее количество осадков выпадает летом. Однако последние не оказывают существенного влияния на поверхностный сток вследствие большой сухости почв в летнее время и значительного испарения, особенно в юго-восточной части Донского бассейна. Исходя из вышесказанного при расчете элементов водного баланса использованы годовые значения суммарных атмосферных осадков, выпадающих на территории бассейна за период с 1 ноября предыдущего года по 31 октября текущего года за 1883/1884-2009/2010 гг. ($n = 127$ лет) [5, 11-13].

Среднее многолетнее значение годовых атмосферных осадков в Донском бассейне (до створа станица Казанская) за 127-летний период составляет 497 мм/год. Наибольшее увлажнение территории бассейна наблюдалось в 1990/1991 гг., и годовое значение осадков составляло 711 мм/год. В 1924/1925 гг. наблюдалось крайне низкое значение атмосферных осадков, равное 283 мм/год, что на 214 мм ниже их нормы. При таком резко выраженном изменении годовых атмосферных осадков коэффициент вариации (изменчивости) составляет 0,18. Коэффициент автокорреляции ряда годовых атмосферных осадков равен $0,20 \pm 0,10$.

Среднее значение годового слоя стока бассейна реки Дон (у станицы Казанская) за 127-летний период наблюдений составляет 105 мм/год. Крайне многоводный год (исторический максимум) в бассейне

наблюдался в 1970/1971 гг., когда слой стока составил 178 мм/год (при его ежегодной вероятности превышения, равного 0,8%). Годовое количество осадков, выпавших в этом расчетном году и участвующих в формировании речного стока, превысило климатическую норму на 129 мм/год. Исторический минимум годового слоя стока в исследуемом периоде наблюдался в 1891/1892 гг. и составлял 48 мм/год, что ниже нормы стока на 57 мм/год [7, 9].

На основе имеющихся временных рядов годовых атмосферных осадков и речного стока в бассейне реки Дон, с использованием представленной методики оценки суммарного испарения и изменения запасов влаги в речном бассейне, были получены ряды годовых элементов водного баланса за период 1883/1884-2009/2010 гг. ($n=127$ лет).

Для Донского бассейна получены уравнения связи «условного» стока с суммарными атмосферными осадками (мм/год):

$$\hat{R} = 0,057P + 76. \quad (9)$$

На основе полученной зависимости (9) вычислены годовые значения изменения влагозапасов в бассейне, участвующие в формировании речного стока ($\Delta V(R)$) («влагозапасов по стоку»).

Имея многолетние временные ряды данных годовых атмосферных осадков, речного стока и изменения влагозапасов по стоку в бассейне Дона (замыкающий створ – станция Казанская), получим значения их статистических параметров (среднее, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации) и коэффициенты их взаимной корреляции.

Среднеквадратические отклонения годовых атмосферных осадков (σ_P), речного стока (σ_R) и изменения влагозапасов по стоку ($\sigma_{\Delta V(R)}$) составляют соответственно 89, 32 и 50 мм/год.

Коэффициенты корреляции годовых атмосферных осадков с речным стоком ($r(P, R)$), годовых изменений влагозапасов по стоку с осадками ($r(\Delta V(R); P)$) и изменения влагозапасов по стоку с речным стоком ($r(\Delta V(R), R)$) составляют соответственно 0,16; -0,78 и 0,49. Среднегодовое значение коэффициента годового стока (\bar{k}) в Донском бассейне составляет 0,21.

На основе вычисленных статистических параметров элементов водного баланса речного бассейна определим годовые

значения изменения запасов влаги в бассейне, участвующих в формировании испарения («влагозапасы по испарению») с использованием зависимости следующего вида:

$$\Delta V(E)_i = -2,123\Delta(\Delta V(R)_i) - 1,146\Delta P_i + 143, \quad (10)$$

где $\Delta(\Delta V(R)_i)$ – отклонение значений годовых изменений влагозапасов по стоку от их среднегодовое значения; ΔP_i – отклонение значений годовых осадков от их нормы.

Далее, имея вычисленные многолетние ряды значений годовых изменений влагозапасов по стоку ($\Delta V(R)_i$) и влагозапасов по испарению ($\Delta V(E)_i$), определим расчетные значения общего изменения бассейновых влагозапасов (ΔV_i) как сумму его составляющих:

$$\Delta V_i = \Delta V(R)_i + \Delta V(E)_i. \quad (11)$$

Полученные по уравнению (10) расчетные значения годовых влагозапасов по испарению используются для определения величин годового суммарного испарения с территории речного бассейна (E_i):

$$E_i = 0,5P_i + \Delta V(E)_i. \quad (12)$$

Далее, для полученного многолетнего ряда величин годового суммарного испарения, определяем его основные статистические параметры. Среднее многолетнее значение суммарного испарения с территории бассейна Дона в замыкающем створе – станция Казанская – за 127-летний период (1883/1884-2009/2010 гг.) составляет 392 мм/год. При этом наибольшее значение годового слоя испарения составило 524 мм/год (2001/2002 гг.), а наименьшее его значение – 191 мм/год (1920/1921 гг.). Среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации годового испарения составляют соответственно 71 мм/год и 0,18. Коэффициент корреляции смежных лет годового слоя испарения равен 0,04.

Таким образом, в результате реализации представленной методики получены многолетние временные ряды годовых элементов водного баланса (атмосферные осадки, речной сток, суммарное испарение и изменение запасов влаги) Донского бассейна в верхнем его течении за 127-летний период.

Проведем сопряженный анализ составляющих водного баланса речного бассейна Дона в различные по водности годы (высокой, умеренно-высокой, средней, умеренно-низкой и низкой водности).

**Соотношение элементов водного баланса бассейна Дона
в годы различной водности за период 1883/1884-2009/2010 гг.**

Год	Градация водности	P , мм	R , мм	E , мм	$\pm\Delta V$, мм	$P-E$, мм	$\frac{R}{P}$	$\frac{E}{P}$
1992/1993	высокая водность ($p = 5\%$)	585	164	304	-117	281	0,28	0,52
1942/1943	высокая водность ($p = 10\%$)	403	155	247	-0,7	156	0,38	0,61
1986/1987	умеренно-высокая водность ($p = 20\%$)	498	135	329	-34	169	0,27	0,66
1883/1884	умеренно-высокая водность ($p = 25\%$)	641	125	410	-106	231	0,20	0,64
1937/1938	средняя водность ($p = 50\%$)	447	102	378	33	69	0,23	0,85
1918/1919	умеренно-низкая водность ($p = 75\%$)	508	79	452	24	56	0,16	0,89
1945/1946	низкая водность ($p = 85\%$)	548	72	483	8	65	0,13	0,88
2002/2003	низкая водность ($p = 90\%$)	486	67	469	50	17	0,14	0,96
1909/1910	низкая водность ($p = 95\%$)	402	56	457	111	-55	0,14	1,14

В годы высокой водности (слой стока изменяется от 120 до 164 мм/год) наблюдается повышенный или близкий к норме фон увлажнения территории бассейна. В эти годы слой испарения близок или немного ниже его среднемноголетнего значения, равного 392 мм/год. На этом фоне происходит аккумуляция запасов влаги в бассейне (ΔV изменяется от -34 до -117 мм/год), которые в последующие годы пониженной увлажненности бассейна будут расходоваться на формирование стока и испарения. Как следует из таблицы, в многоводные годы значения коэффициента стока изменяются от 0,28 до 0,38, а отношение слоя испарения к слою выпавших осадков колеблется от 0,52 до 0,61.

В средние по водности годы изменение влагозапасов в бассейне зависит от количества выпавших атмосферных осадков. При пониженной увлажненности территории происходит сработка запасов влаги в бассейне, которые расходуются на формирование слоя стока и испарения. Например, в 1924/1925 гг. слой осадков, выпавших на территории бассейна реки, составил 283 мм/год, слой стока - 102 мм/год, а годовой слой испарения - 310 мм/год. При этом величина сработки запасов влаги в бассейне достигла 129 мм/год.

В годы умеренно-низкой и низкой водности наблюдаются повышенные значения суммарного испарения, которые изменяются от 444 до 534 мм/год. Слой стока в эти годы изменяется от 48 до 79 мм/год

с ежегодной вероятностью превышения (p) от 75 до 95%. Повышенный слой испарения формируется на фоне увлажненности, близкой к норме, и за счет сработки бассейновых влагозапасов, участвующих преимущественно в формировании слоя испарения. В годы низкой водности коэффициент годового стока снижается до 0,11, а отношение слоя испарения к слою осадков значительно возрастает и колеблется от 0,88 до 1,14.

Выполненный сопряженный анализ элементов водного баланса бассейна Дона в годы различной водности показывает, что важную роль после суммарных атмосферных осадков играют изменения влагозапасов речного бассейна. Накопление запасов влаги в предыдущий период (год, сезон) создает тот объем влаги в речном бассейне, который будет участвовать в формировании речного стока и суммарного испарения в следующий период.

Выводы

1. В настоящее время наиболее достоверно из элементов водного баланса определяются атмосферные осадки и речной сток, чего нельзя сказать о суммарном испарении и изменении влагозапасов речного бассейна. Решение проблемы особенно усложняется, когда возникает необходимость определения суммарных испарений и изменений бассейновых влагозапасов средних и крупных речных бассейнов.

2. В работе рассматриваются определение суммарного испарения и изменение бассейновых влагозапасов при заданных величинах годовых значений атмосферных осадков и речного стока за многолетний период гидрометеорологических наблюдений. Предложенная методика позволила получить временные ряды элементов водного баланса (речного стока, атмосферных осадков, суммарного испарения и бассейновых влагозапасов) для года в целом. Наличие таких длительных временных рядов позволяет осуществить сопряженный пространственно-временной анализ элементов водного баланса речных бассейнов. При этом создаются гидрометеорологические основы для долгосрочных прогнозов.

3. Усовершенствована расчетная схема методики оценки основных составляющих водного баланса крупного речного бассейна со значительной дифференциацией как природных условий, так и антропогенного воздействия. Отличительной чертой предлагаемого подхода является использование наиболее достоверных данных по атмосферным осадкам и речному стоку для оценки суммарного испарения и изменения бассейновых влагозапасов. При этом бассейновые влагозапасы подразделяются на влагозапасы, участвующие в формировании стока, и влагозапасы, участвующие в формировании испарения. Методика апробирована применительно к бассейну реки Дон до станции Казанская ($F = 102$ тыс. км²) для периода 1883/1884-2009/2010 гг. ($n = 127$ лет).

Библиографический список

1. **Бабкин В.И.** Метод водного баланса – научная основа управления водным режимом речных бассейнов / Теория и методы управления ресурсами вод суши. Сб. научных трудов. – М.: Наука, 1982. – С. 106-117.
2. **Булавко А.Г.** Водный баланс речных водосборов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 304 с.
3. **Воропаев Г.В., Исмайлов Г.Х., Федоров В.М.** Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона. – М.: Наука, 2003. – С. 249-259.
4. **Голубев В.С., Сперанская Н.А., Цыценко К.В.** Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 7. – С. 89-99.
5. **Ефремова Н.И.** Месячные количества атмосферных осадков, средние для

районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 112 с.

6. **Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В.** Оценка нестационарности и взаимосвязи элементов водного баланса речного бассейна на примере Волги // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. Сб. научных трудов. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2020. – С. 81-88.

7. **Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В.** Исследование временных закономерностей речного стока бассейна Верхнего Дона // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 35-40.

8. **Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В.** Оценка и прогноз речного стока бассейна р. Волги с учетом возможного изменения климата // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2018. – № 4. – С. 56-61.

9. **Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В.** Взаимосвязь элементов водного баланса бассейна Верхнего Дона в современных климатических условиях // Экология. Экономика. Информатика. Сб.статей. Т. 1. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Вып. 2. – Р/на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. – С. 253-262.

10. **Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В.** Оценка изменения и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги в условиях изменения климата. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 5. – С. 4-17.

11. Анализ скорректированных осадков на водосборе Волги и Урала за 1961-1990 гг. / А.В. Мещерская, Б.М. Ильин, Э.Г. Богдановаидр. // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 7. – С. 46-63.

12. **Мещерская А.В., Болдырева Н.А.** Многолетние ряды месячных сумм средних областных осадков за холодный период для основной сельскохозяйственной зоны СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 285 с.

13. **Мезенцев В.С.** Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. – М.: Колос, 1974. – 240 с.

14. **Смирнов Н.П., Малинин В.Н.** Водный баланс атмосферы как гидрологическая задача. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 200 с.

15. **Шикломанов И.А.** Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 304 с.

Материал поступил в редакцию 18.10.2020 г.

Сведения об авторах

Исмайлов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Прянишникова, 19; gabil-1937@mail.ru

Мурашенкова Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидрология, гидрогео-

логия и регулирование стока», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Прянишникова, 19; splain75@mail.ru

Исмайлова Ирина Габилловна, заведующий лабораторией кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Прянишникова, 19; gabil-1937@mail.ru

G.KH. ISMAIYLOV, N.V. MURASHCHENKOVA, I.G. ISMAIYLOVA

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

METHOD OF ASSESSING COMPLEX-FORMED ELEMENTS OF WATER BALANCE (TOTAL EVAPORATION AND MOISTURE RESERVES) OF THE RIVER BASIN

There is considered the determination of total evaporation and the change in basin moisture reserves at given annual and seasonal values of precipitation and river runoff over a long-term period of hydro meteorological observations. In the engineering hydrology practice, the most common approach to determining total evaporation using only data on runoff and precipitation is to estimate it by the difference in total precipitation and river runoff. Moreover, the assumption is made that the change in basin moisture reserves for medium and large river basins over a sufficiently long period of time is close to zero. Based on this, in this work, we developed a technique that allows, when determining the total annual and seasonal evaporation from the land surface and reservoirs, to take into account the change in basin moisture reserves, since under real conditions the formed basin moisture reserves of the previous period are involved in the formation of both river runoff and total evaporation of next period. As the main mathematical tool, the work uses the correlation equation interlinking the considered elements of the water balance. Equations are obtained that determine the share of moisture reserves involved in the formation of river flow and total evaporation. Equations have been obtained that determine the proportion of basin moisture reserves involved in the formation of river runoff and total evaporation. Equations are proposed of the connection between runoff and precipitation and changes in annual moisture reserves with the share of moisture reserves involved in the formation of river runoff. The equations allowed estimating the values of total evaporation and moisture reserves in the basin in relation to the Don basin. Equations of the river runoff dependence on total precipitation of the Don basin have been obtained. As the initial hydro meteorological material there were used the data of the State Water Registry, surface water resources and hydrological yearbooks, as well as observational data from information and reference systems, such as the website of the All-Union Research Institute of Hydro meteorological Information – World Data Center – www.meteo.ru. As a result of the conjugated timing analysis of the elements of the water balance of the Don River basin, it has been established that in the basin the influence of natural factors is dominated.

River runoff, precipitation, total evaporation, basin moisture reserves, annual runoff, water balance, river basin.

References

1. **Babkin V.I.** Metod vodnogo balansa – nauchnaya osnova upravleniya vodnym rezhimom rechnyh bassejnov. Sb. Teoriya i metody upravleniya resursami vod sushi. – М.: Nauka, 1982. – S. 106-117.

2. **Bulavko A.G.** Vodny balans rechnyh vodosborov. – L.: Gidrometeizdat, 1972. – 304 s.

3. **Voropaev G.V., Ismajylov G.Kh., Fedorov V.M.** Problemy upravleniya vodnymi resursami Aralo-Caspijskogo regiona. – М.: Nauka, 2003. – S. 249-259.

4. **Golubev V.S., Speranskaya N.A., Tsytsenko K.V.** Summarnoe isparenje v bassejne Volgi i ego izmenchivost // Meteorologiya i gidrologiya. – 2003. – No. 7. – S. 89-99.

5. **Efremova N.I.** Mesyachnye kolichestva atmosferykh osadkov, srednie dlya rajonov Evropejskoj territorii SSSR i Severnogo Kazakhstana. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 112 s.

6. **Ismailyov G.Kh., Murashchenkova N.V.** Otsenka nestatsionarnosti i vzaimosvyazi elementov vodnogo balansa rechnogo bassejna na primere Volgi / Sb. Problemy razvitiya selskohozyajstvennykh melioratsij i vodohozyajstvennogo kompleksa na baze tsifrovyykh tehnologij. – M.: Izd-vo VNIIGiM, 2020. – S. 81-88.

7. **Ismailyov G.Kh., Murashchenkova N.V.** Issledovanie vremennykh zakonmernostej rechnogo stoka bassejna Verhnego Dona // Prirodoobustroystvo. – 2019. – № 1. – S. 35-40.

8. **Ismailyov G.Kh., Murashchenkova N.V.** Otsenka i prognoz rechnogo stoka bassejna r. Volgi s uchedom vozmozhnogo izmeneniya klimata // Ispolzovanie i ohrana prirodnykh resursov v Rossii. – 2018. – № 4. – S. 56-61.

9. **Ismailyov G.Kh., Murashchenkova N.V.** Vzaimosvyaz elementov vodnogo balansa bassejna Verhnego Dona v sovremennykh klimaticheskikh usloviyah. Ekologiya. Ekonomika. Informatika. / Sb. statej. T. 1: Sistemny analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh system. Vyp. 2. – R/na Donu: Izd-vo YUNTS RAN, 2017. – S. 253-262.

10. **Ismailyov G.Kh., Murashchenkova N.V.** Otsenka izmeneniya i vzaimosvyaz elementov vodnogo balansa bassejna reki Volgi v usloviyah izmeneniya klimata. // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problem, tehnologii, upravlenie. – 2015. – № 5. – S. 4-17.

11. Analiz skorrektirovannykh osadkov na vodosbore Volgi i Urala za 1961-1990 gg. / A.V. Meshcherskaya, N.B. Iljin, E.G. Bogda-

nova i dr. // Meteorologiya i gidrologiya. – 2004. – № 7. – S. 46-63.

12. **Meshcherskaya A.V., Boldyreva N.A.** Mnogoletnie ryady masyachnykh summ chednih oblastnykh osadkov za holodny period dlya osnovnoj selskohozyajstvennoy zony SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 285 s.

13. **Mezentsev V.S.** Rezhimy vlogoobesopechennosti i gidromelioratsij stepnogo kraja. – M.: Kolos, 1974. – 240 s.

14. **Smirnov N.P., Malinin V.N.** Vodny balans atmosfery kak gidrologicheskaya zadacha. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 200 s.

15. **Shiklomanov I.A.** Antropogennyye izmeneniya vodnosti rek. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 304 s.

The material was received at the editorial office
18.10.2020

Information about the authors

Ismailyov Gabil Khudushevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova. 19; gabil-1937@mail.ru

Murashchenkova Natalya Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova. 19; splain75@mail.ru

Ismailyova Irina Gabilovna, head of laboratory of the department «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova. 19; gabil-1937@mail.ru