

СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЙ ГОДОВОЙ СТОК РЕГИОНА: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

С.В. Щербинина

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 7 июня 2018 г.

Аннотация: В статье рассматриваются теоретические вопросы разработки расчета и оценки ряда отдельных характеристик элементов водного баланса территорий на основе предложенной региональной методики определения среднедолголетнего стока малых рек по уравнению водного баланса. Проанализированы результаты теоретических разработок, примененных для ряда водосборов лесостепной и степной зон Воронежской области.

Ключевые слова: водный баланс, сток, испарение, водные ресурсы.

Abstract: The article discusses the theoretical issues of developing the calculation and evaluation of a number of individual characteristics of the elements of the water balance of areas based on the proposed regional methodology for determining the average long-term flow of small rivers using the water balance equation. The results of theoretical developments applied for a number of watersheds of the forest-steppe and steppe zones in the Voronezh region have been analyzed.

Key words: water balance, runoff, evaporation, water resources.

Воднобалансовые исследования – один из основных разделов гидрологии. Уравнение водного баланса и сопряженное с ним уравнение теплового баланса представляют собой теоретическую базу для решения теоретических и практических гидрологических задач. Результаты изучения водного баланса гидросферных объектов служат основой количественной оценки водных ресурсов и их изменений под влиянием деятельности человека.

Поскольку для принятия решений в водном хозяйстве необходимы данные об объемах и качестве воды, то воднобалансовые исследования дают количественную основу для управления водными объектами. Они формируют ряд необходимых практических навыков, реализуемых в водохозяйственной деятельности связанной с рациональным использованием ресурсов воды. Кроме того, в большинстве гидрологических исследований на той или иной стадии появляется необходимость в информации о характере распределения в пространстве и времени различных характеристик рек и их бассейнов [4].

Однако, в последнее время вопросам водного баланса в научной, и особенно учебной, литературе уделяется чрезвычайно мало внимания, что

отражается на теоретической и прикладной подготовке будущих специалистов и серьезно ограничивает возможности их профессионального роста.

Предлагаемые нами в статье приемы и подходы дают возможность студентам совершенствовать практические навыки в технике расчета и оценки ряда отдельных характеристик элементов водного баланса на основе предложенной региональной методики определения среднедолголетнего стока малых рек по уравнению водного баланса.

Основная идея выполненного исследования заключается в том, что на основе предложенных методических приемов определения среднедолголетнего стока малых рек методом водного баланса и расчета «климатического» стока, после оценки которого с помощью переходных коэффициентов осуществляется переход к фактическому (физическому) стоку.

В основу предложенной методики положены следующие разработки. В качестве исходного принимается положение, о понятии климатического стока на основе уравнения водного баланса за многолетний период с учетом антропогенных изменений, записанное в следующем виде (в мм слоя):

$$X \pm DX = E \pm DE + Y_{нов} + Y_{подз} \pm DY_{нов} \pm DY_{подз}, (1)$$

где X – осадки за год (с поправками) в естественных условиях;

$\pm DX$ – приращение осадков за счет антропогенной деятельности («+» – урбанизация, посадка лесных полос; «-» – облесение, опустынивание);

E – суммарное испарение с поверхности водосбора в естественных условиях;

$\pm DE$ – изменение суммарного испарения за счет антропогенной деятельности («+» – увеличение плотности почвы, повышение урожайности; «-» – уменьшение плотности почвы, снижение урожайности);

$Y_{пов}$ – поверхностная составляющая стока в естественных условиях;

$Y_{подз}$ – подземная составляющая стока в естественных условиях;

$\pm DY_{пов}$ – антропогенное изменение поверхностной составляющей стока («+» – приток с других водосборов; «-» – безвозвратные потери поверхностного стока в технологическом процессе, русловом регулировании, агролесомелиорации);

$\pm DY_{подз}$ – антропогенное изменение подземной составляющей стока («+» – пополнение за счет агролесомелиораций, искусственного пополнения подземных вод, фильтрации из прудов и водохранилищ, заборы из водоносных горизонтов, связанных с рекой и т.п.).

Для естественных условий и незначительной хозяйственной деятельности уравнение приобретает вид:

$$X = E + Y_{пов} + Y_{подз}, \quad (2)$$

Если обозначить через $Y_{клим} = Y_{пов} + Y_{подз}$ величину полного стока, то для многолетнего периода

$$Y_{клим} = X - E. \quad (3)$$

Величина $Y_{клим}$ в работе названа «климатическим стоком». Поскольку $Y_{клим}$ является разностью двух климатических величин (X , E), не зависящих от площади водосбора, то $Y_{клим}$ можно картировать.

Однако, реальный физический сток, конечно, будет зависеть от площади водосбора, поскольку состоит из поверхностной и подземной составляющей, а подземная составляющая в значительной степени зависит от величины вреза русла в водоносные горизонты и, следовательно, от площади водосбора. Поэтому для определения климатического стока необходимо брать водосборы с площадью, обеспечивающей полное дренирование.

Таким образом, целью введения понятия «климатический» сток является расчет величины, которая не зависит от площади водосбора. Эта величина также может регистрировать сценарии из-

менения климата и характеризовать величину стока, зависящего от климата.

Понятие климатического стока развивалось школой М. И. Львовича и кафедрой гидрологии суши МГУ. Оно фактически использовалось Б. Д. Зайковым, К. П. Воскресенским, В. И. Бабкиным при построении карт годового стока. В современных условиях использование этого понятия позволяет разделить климатическое и антропогенное влияние на величину годового стока.

Следующее положение в группе исходных: переход от климатического к физическому стоку.

Переход к величине физического стока (в естественных условиях) нами предлагается произвести с помощью коэффициента $K_{перех}$, равного

$$K_{перех} = Y_{физ} / Y_{клим}, \quad (4)$$

где $Y_{физ}$ – слой физического среднесного стока, зависящий от площади водосбора.

Величина $K_{перех}$ должна зависеть от площади водосбора для отдельных физико-географических районов.

Теоретические разработки методики реализованы нами на примере одного из субъектов РФ – Воронежской области.

Основными способами расчета испарения могут служить методики, предложенные М. И. Будыко, А. Р. Константиновым, В. С. Мезенцевым [2, 5, 6, 7, 8].

Нами в большей степени отдается предпочтение нахождению суммарного испарения в результате применения метода А. Р. Константинова. В его основе лежит выявленная им зависимость вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха от смещенных во времени значений этих элементов. Используя уравнения турбулентной диффузии и обширный экспериментальный материал, А. Р. Константинов получил графические зависимости испарения от исправленных значений температуры и влажности воздуха, а также разработал расчетные таблицы поправок к последним [5, 6].

Атмосферные осадки играют существенную роль в гидрологическом режиме, и в частности, в процессе формирования стока рек. Осадкам свойственна большая изменчивость во времени и по площади водосбора.

В качестве исходных данных по осадкам и испарению в статье предлагаем использовать сведения за период с 1936 по 1970 год, считая для большинства водосборов влияние хозяйственной деятельности, было минимальным. Значительная

Данные расчета климатического стока и испарения по методу А. Р. Константинова для малых рек Воронежской области

Водосбор реки	X	E	$Y_{\text{клим}}$	Водосбор реки	X	E	$Y_{\text{клим}}$
Б. Верейка	650	447	203	Потудань	635	425	210
Усмань	650	445	205	Тихая Сосна	600	420	180
Хава	650	445	205	Икорец	630	425	205
Матреничка	615	445	170	Битюг	630	425	205
Эртиль	600	447	153	Чигла	615	425	190
Курлак	615	440	175	Сухая Чигла	617	425	192
Токай	610	440	170	Ольховатка	590	412	178
Елань	615	425	190	Россошь	585	412	173
Савала	605	435	170	Осередь	595	420	175
Карачан	540	440	100	Гаврило	595	412	183
Ведуга	650	440	210	Толучеевка	590	412	178
Тамлык	650	430	220	Подгорная	595	415	180
Тойда	640	435	205	Манина	590	415	175
Тишанка	625	450	176	Черная Калитва	575	405	170
В. Девица	650	435	215	Мамоновка	580	410	170
Еманча	650	430	220	Криуша	580	410	170
Н. Девица	630	425	205	Богучар	570	400	170
Хворостань	640	425	215	Лев. Богучарка	565	400	165
Бероезвка	640	425	215				

X – осадки (мм), E – испарение (мм), $Y_{\text{клим}}$ – климатический сток (мм)

часть необходимой нам информации содержится в издании «Ресурсы поверхностных вод СССР, том 7, Донской район», а именно: среднегодовое количество осадков (с поправками к осадкомеру), и средняя годовая температура воздуха на территории Воронежской области [9].

Для выполнения расчетов в качестве необходимого материала привлекалась сеть выделенных водосборных площадей для территории Воронежского региона. Основным источником данной информации служила монография «Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов Воронежской области» [10], а также источники [11, 12, 13, 14].

При реализации предложенной методики применялся следующий порядок выполнения операций. 1. Определение атмосферных осадков для центров тяжести водосборов. 2. Расчет испарения

с поверхности суши методом А. Р. Константинова. 3. Определение слоя годового климатического стока. 4. Определение коэффициента перехода от климатического к физическому стоку. 5. Расчет слоя физического (реального) слоя годового стока: $Y_{\text{физ}} = K_{\text{перех}} \times Y_{\text{клим}}$.

Информация о распределении среднегодового стока извлечена из опубликованных материалов Г. И. Болотова, В. И. Шмыкова [1] и В. А. Дмитриевой [3].

Последовательно выполнив предложенные этапы работы, из полученных расчетных результатов можно сделать следующие заключения. Изменения количества осадков происходит в направлении с северо-запада на юго-восток, в диапазоне от 650 (мм) на северо-западе до 580 (мм) на юго-востоке. На предварительном этапе было выполнено определение центров тяжести для каждой выде-

ленной водосборной площади на территории Воронежской области.

Значения средней годовой температуры на рассматриваемой территории увеличиваются в направлении с севера на юг, от 5,3 °С до 6,7 °С.

Средний годовой сток изменяется по направлению с северо-запада на юго-восток в интервале от 138 мм (водосбор реки Б. Верейка) до 76 мм (водосбор реки Подгорная).

В таблицу сведены результаты расчета климатического стока $Y_{\text{клим}}$ (мм) и испарения. Как видно из полученных данных таблицы значения испарения изменяются от 447 (мм) до 400 (мм), а рассчитанного климатического стока в пределах от 220 (мм) до 153 (мм).

Изменение величины климатического стока на территории области происходит в направлении с северо-запада на юго-восток от 220 (мм) на водосборе реки Еманча до 170 (мм) на водосборе реки Манина.

Для перехода от климатического стока к физическому нами выполнено расчетное действие по формуле:

$$Y_{\text{физ}} = K_{\text{перех}} \times Y_{\text{клим}}, \quad (5)$$

где $Y_{\text{физ}}$ – физический сток; $Y_{\text{клим}}$ – климатический сток мм; $K_{\text{перех}}$ – переходный коэффициент.

В формулу вводится переходный коэффициент $K_{\text{перех}}$ зависящий от вариации значения климатического стока.

$Y_{\text{клим}} 220-206 - K_{\text{перех}} 0,6$; $Y_{\text{клим}} 205-100 - K_{\text{перех}} 0,5$.

Для определения зависимостей был построен ряд графиков. В рассматриваемом примере прослеживается слабая зависимость показателей физического и климатического стоков и физического стока от площади водосбора.

В результате графического наложения данных физического и климатического стоков был сформирован порядок распределения переходного коэффициента $K_{\text{перех}}$ по территории Воронежской области.

К полученным значениям переходного коэффициента ($K_{\text{перех}}$) была применена проверка, для этого использовалась формула:

$$d = (h_{\text{рас.}} - h_{\text{факт.}}) / h_{\text{факт.}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $h_{\text{рас.}}$ – расчетный слой стока (мм);

$h_{\text{факт.}}$ – фактический слой стока (мм).

Погрешность проведенного расчета составила 14,4 %.

Таким образом, приводимые в статье методические приемы базируются на информации об атмосферных осадках, суммарном испарении с суши,

данных о распределении физического слоя стока позволяющих реализовать оценку ряда отдельных характеристик элементов водного баланса водосборов малых рек Воронежской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотов Г. И. Средний годовой сток. Режим стока / Г. И. Болотов, В. И. Шмыков // Атлас Воронежской области / под ред. В. В. Подколзина. – Воронеж, 1994. – С. 18.
2. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях / М. И. Будыко. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1948. – 136 с.
3. Дмитриева В. А. Речной годовой сток / В. А. Дмитриева // Эколого-географический атлас-книга Воронежской области. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 2013. – С. 98-100.
4. Карнацевич И. В. Расчеты тепловых и водных ресурсов малых речных водосборов на территории Сибири. Ч. II. Водный баланс и водные ресурсы : учебное пособие / И. В. Карнацевич. – Омск : Издательство Омского сельскохозяйственного института, 1991. – 84 с.
5. Константинов А. Р. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей / А. Р. Константинов, Н. И. Астахов, А. А. Левенко. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1971. – 126 с.
6. Константинов А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1968. – 532 с.
7. Мезенцев В. С. Воднобалансовые расчеты в гидромелиоративных целях (Регулирование речного стока) : учебное пособие / В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич. – Омск : Издательство Омского сельскохозяйственного института, 1983. – 108 с.
8. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши / под ред. П. П. Кузьмина, С. М. Алпатьева. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1976. – 96 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. М. С. Протасьева. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1973. – Т. 7. Донской район. – 460 с.
10. Смольянинов В. М. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов Воронежской области / В. М. Смольянинов, С. Д. Дегтярев, С. В. Щербинина. – Воронеж : Истоки, 2007. – 133 с.
11. Щербинина С. В. Интегральные показатели комплекса природно-хозяйственных условий на речных водосборах Воронежской области / С. В. Щербинина // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань, 2006. – № 8. – С. 378-382.
12. Щербинина С. В. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов для уточнения комплекса водоохранных мероприятий (на примере Воронежской области) : дис. ... канд. географ. наук / С. В. Щербинина. – Воронеж, 2006. – 154 с.
13. Щербинина С. В. Роль бассейнового подхода для целей организации сельскохозяйственного природо-

пользования и водоохраных мероприятий / С. В. Щербинина, О. В. Спесивый // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2015. – № 4. – С. 66-76.

14. Щербинина С. В. Эколого-гидрологический риск в анализе последствий природопользования в речных бассейнах / С. В. Щербинина // Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов : материалы 3-й Международной научно-практической конференции. – Брянск, 2013. – С. 182-186.

REFERENCES

1. Bolotov G. I. Sredniy godovoy stok. Rezhim stoka / G. I. Bolotov, V. I. SHmykov // Atlas Voronezhskoy oblasti / pod red. V. V. Podkolzina . – Voronezh, 1994. – S. 18.

2. Budyko M. I. Ispareniye v estestvennykh usloviyakh / M. I. Budyko. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1948. – 136 s.

3. Dmitriyeva V. A. Rechnoy godovoy stok / V. A. Dmitriyeva // Ekologo-geograficheskiy atlas-kniga Voronezhskoy oblasti. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. – S. 98-100.

4. Karnatsevich I. V. Raschety teplovykh i vodnykh resursov malyykh rechnykh vodosborov na territorii Sibiri. CH. II. Vodnyy balans i vodnyye resursy : uchebnoye posobiye / I. V. Karnatsevich. – Omsk : Izdatel'stvo Omskogo sel'skokhozyaystvennogo instituta, 1991. – 84 s.

5. Konstantinov A. R. Metody rascheta ispareniya s sel'skokhozyaystvennykh poley / A. R. Konstantinov, N. I. Astakhov, A. A. Levenko. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1971. – 126 s.

6. Konstantinov A. R. Ispareniye v prirode / A. R. Konstantinov. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1968. – 532 s.

7. Mezentsev V. S. Vodnobilansovyye raschety v gidromeliorativnykh tselyakh (Regulirovaniye rechnogo

stoka) : uchebnoye posobiye / V. S. Mezentsev, I. V. Karnatsevich. – Omsk : Izdatel'stvo Omskogo sel'skokhozyaystvennogo instituta, 1983. – 108 s.

8. Rekomendatsii po raschetu ispareniya s poverkhnosti sushi / pod red. P. P. Kuz'mina, S. M. Alpat'yeva. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1976. – 96 s.

9. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR / pod red. M. S. Protas'yeva. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1973. – Т. 7. Donskoy rayon. – 460 s.

10. Smol'yaninov V. M. Ekologo-gidrologicheskaya otsenka sostoyaniya rechnykh vodosborov Voronezhskoy oblasti / V. M. Smol'yaninov, S. D. Degtyarev, S. V. SHCHerbinina. – Voronezh : Istoki, 2007. – 133 s.

11. SHCHerbinina S. V. Integral'nyye pokazateli kompleksa prirodno-khozyaystvennykh usloviy na rechnykh vodosborakh Voronezhskoy oblasti / S. V. SHCHerbinina // Geologiya, geografiya i global'naya energiya. – Astrakhan', 2006. – № 8. – S. 378-382.

12. SHCHerbinina S. V. Ekologo-gidrologicheskaya otsenka sostoyaniya rechnykh vodosborov dlya utochneniya kompleksa vodookhrannykh meropriyatii (na primere Voronezhskoy oblasti) : dis. ... kand. geograf. nauk / S. V. SHCHerbinina. – Voronezh, 2006. – 154 s.

13. SHCHerbinina S. V. Rol' basseynovogo podkhoda dlya tseley organizatsii sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya i vodookhrannykh meropriyatii / S. V. SHCHerbinina, O. V. Spesivyy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2015. – № 4. – S. 66-76.

14. SHCHerbinina S. V. Ekologo-gidrologicheskii risk v analize posledstviy prirodopol'zovaniya v rechnykh basseynakh / S. V. SHCHerbinina // Geograficheskiye problemy sbalansirovannogo razvitiya staroosvoennykh regionov : materialy 3-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Bryansk, 2013. – S. 182-186.

Щербинина Светлана Васильевна

кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473)266-56-54, E-mail: svetas237@mail.ru

Shcherbinina Svetlana Vasil'yevna

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: svetas237@mail.ru