

УДК 502/504:556:311.16

**З. К. ИОФИН, О. И. ЛИХАЧЕВА, Е. А. ЧУДИНОВА**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Вологодский государственный технический университет»**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЯ  
ВОДНОГО БАЛАНСА\****Рассматриваются вопросы точности соотношения количественной оценки водных ресурсов и удовлетворения в них потребностей различных отраслей экономики.**Водный баланс, впитывание, инфильтрация, суммарное испарение, линейно-корреляционная модель водного баланса, генетический тип почв, механический состав почв.**In the article there are considered questions of the correlation accuracy of the quantitative assessment of water resources and satisfying the demands of different fields of the economy in them.**Water balance, absorption, infiltration, total evaporation, linearly-correlation model of water balance, genetic type of soils, mechanical structure of soils.*

По мере развития человеческого общества потребности людей постоянно растут как в количественном, так и в качественном отношении, т.е. в обществе действует закон возвышения потребностей. Природные ресурсы, используемые в производстве, называют факторами производства. Это пахотные и другие земли, леса, полезные ископаемые, вода.

Рассмотрим один из аспектов, относящихся к факторам производства – водным ресурсам. Отношение к водным ресурсам в мировой гидрологии изменяется в сторону наиболее оптимального использования. Мировое сообщество озабочено проблемой обеспечения водой. В частности, ООН призывает к экономному использованию водных ресурсов. Эта организация с ее структурой обеспокоена недостатком и отсутствием водных ресурсов на сравнительно большей части земного шара.

Очевидно, что при недостаточности или отсутствии водных ресурсов не может существовать и развиваться ни одна из отраслей экономики любой страны. Все возрастающие объемы водопотребления, связанные с наращиванием промышлен-

ного производства в мире, а также с увеличением численности населения, требуют все большего количества водных ресурсов. Несмотря на то что водные ресурсы ежегодно возобновляются, их количество принципиально ограничено. В условиях большого, но имеющего предел количества воды, необходимо обратить внимание на оптимальность оценки количества водных ресурсов и использования воды в мировой экономике.

На протяжении многих десятилетий и даже веков оценка водных ресурсов выполнялась и выполняется в настоящее время по уравнению водного баланса в такой его интерпретации:

$$P = Y + E, \quad (1)$$

где  $P$  – атмосферные осадки, выпадающие на поверхность водосбора реки;  $Y$  – сток рек;  $E$  – эвапотранспирация с поверхности водосбора реки.

Классики гидрологической науки, в частности М. А. Великанов, А. Н. Бефани, утверждают, что уравнение водного баланса должно содержать как минимум еще один элемент [1, 2]:

$$P = Y + E + U, \quad (2)$$

где  $U$  – инфильтрация атмосферных осадков в подземные воды.

Не имея возможности определять в массовом количестве величину инфильтрации  $U$ , на практике ограничивались использованием уравнения (1) для многолетнего периода. Однако картина с точностью вычисления отдельных параметров по уравнению (1) довольно неприглядная.

\*Работа выполнена за счет средств Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы, в рамках реализации мероприятий № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук».

Если определять из этого уравнения, например, суммарное испарение (эвапотранспирацию), то, сообразуясь с теоретическими представлениями и уравнением (2), мы будем получать не суммарное испарение  $E$ , а величину  $E + U$ . Аналогично при определении слоя стока  $Y$  мы будем получать  $Y + U$ . Таким образом, точность определения параметров уравнения водного баланса с использованием уравнения (1) будет зависеть от величины инфильтрации в подземные воды (при этом условии, что все остальные этапы вычисления выполняются с удовлетворительной точностью, сохраняется).

Правда, точность расчетов водного баланса во многом определяется характером почвенного покрова территории, для которой устанавливается водный баланс. Дело в том, что почвенный покров является своего рода регулятором и перераспределителем влаги между поверхностным стоком, впитывающей способностью почвогрунтов и инфильтрацией. Последовательность работы этого регулятора определяется как генетическим типом почв, так и его механическим составом. На процесс впитывания, в значительной мере зависящий от почвенно-грунтовых условий, заметное влияние оказывает порозность верхних горизонтов почв. Порозность, в свою очередь, обусловлена механическим составом, структурой почв и возможным наличием крупных фракций грунта.

Таким образом, определение слоя стока или слоя суммарного испарения с поверхности водосбора в конечном итоге определится типом почв и его механическим составом. Этим же фактором будет еще определяться и величина инфильтрации. Абсолютная величина инфильтрации определена авторами по линейно-корреляционной модели, основные положения которой изложены в [3]. В данной работе содержание этой модели не приводится из-за ее сравнительно большого объема.

Для оценки точности вычисления членов уравнения водного баланса (1) использованы данные наблюдений четырех водно-балансовых станций, состав и качество наблюдений которых позволяет сопоставить полученные данные и вычисленные значения по уравнению (1). В связи со сложностью пространственной интерполяции данных наблюдений за

суммарным испарением они приняты средними для всех водно-балансовых станций. Данные по сопоставлению наблюдаемых и вычисляемых значений водно-балансовых элементов приведены в таблице.

Выполненные расчеты достаточно информативны. Привлекает внимание ошибка вычисления суммарного испарения: во всех случаях она меньше ошибки вычисления стока. Если ошибки вычисления суммарного испарения изменяются от 21 до 50 %, то ошибки вычисления стока – от 49 до 262 %. Это обстоятельство может быть объяснено большими, чем слой стока, абсолютными значениями суммарного испарения. Поэтому при одной и той же разности измеренных и вычисленных величин слоя стока и слоя суммарного испарения, но при больших значениях суммарного испарения, чем стока, ошибка будет меньше при больших абсолютных значениях. Кроме этого, при определении как слоя стока, так и слоя суммарного испарения в их абсолютных значениях присутствует величина слоя инфильтрации в подземные воды. Совершенно очевидно, что, согласно уравнению (2), ошибки в вычислении связаны с включенным как в суммарное испарение, так и в слой стока слоем инфильтрации. Поэтому переход от частных случаев определения ошибок вычисления водно-балансовых составляющих при использовании данных наблюдений водно-балансовых станций к общим подходам можно осуществить при помощи графиков связи ошибки вычисления с абсолютным значением слоя инфильтрации (рис. 1, 2).

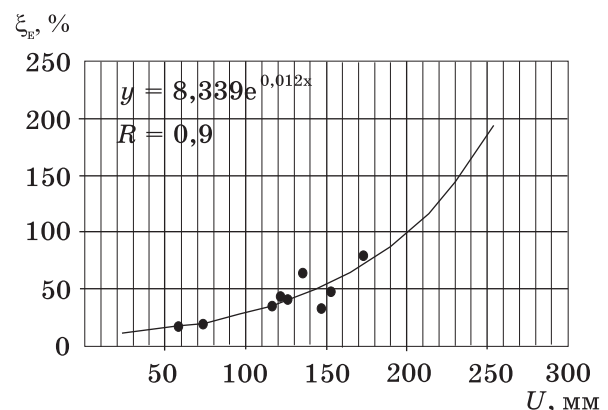


Рис. 1. Зависимость величины ошибки вычисления испарения по трехчленному уравнению водного баланса от инфильтрации

Данные по сопоставлению наблюдаемых и вычисленных значений водно-балансовых элементов

Река – створ	F, км <sup>2</sup>	Период наблюдения	Наблюдаемые значения			Значения, вычисленные по трехчленному уравнению водного баланса			Инфильтрация	Ошибка, %	
			У <sub>набл.</sub>	Р <sub>набл.</sub>	Е <sub>набл.</sub>	У <sub>выч.</sub>	Е <sub>выч.</sub>	U		ξ <sub>У</sub>	ξ <sub>Е</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Подмосковная ВБС</b>											
Медвенка – Лапино	10	63	179	674			495	95			
Медвенка (выше устья реки Закзы)	21,5	63	193	674			481	161			
Медвенка (ниже устья реки Закзы)	40	63	213	674			461	181			
Лог Лызлово	1,76	63	73	674	340	284	601	201	147	50	
Лог Кулибин	0,44	50	42	573			531	198			
Ручей Прогоны	0,8	63	92	573			481	170			
Лог Полевой	0,11	62	94	573			479	131			
Лог Лесной	0,066	50	33	573			540	85			
<b>Среднее значение по станции</b>			<b>115</b>	<b>624</b>	<b>340</b>	<b>284</b>	<b>509</b>	<b>153</b>	<b>147</b>	<b>50</b>	
<b>Приморская ВБС</b>											
Река Комаровка – Комаровский	60,3	38	322	796	331	465	474	76	44	43	
Река Комаровка – Центральный	157	38	300	745	331	414	445	58	38	34	
Река Комаровка – Садовый	395	47	265	726	331	395	461	88	49	39	
Река Комаровка – Сахарный завод	616	47	242	595	331	264	353	34	9	7	
Река Комаровская Падь – Егерский	24	38	357	775	331	444	418	79	24	26	
Река Волха – Верхний	17,6	38	412	775	331	444	363	72	8	10	
Река Волха – Нижний	69,5	38	365	775	331	444	410	73	22	24	
Река Учхозный Ключ – Дальний	36,2	38	434	775	331	444	341	61	2	3	
Река Семеновская Падь – Доковский	5,64	38	304	778	331	447	474	38	47	43	
Река Барсуковка – Лесничий	36,8	38	250	741	331	410	491	67	64	48	
Река Ключ Студеный – Пионерский	2,44	38	163	664	331	333	501	96	104	51	
Река Глуховка – Мостовой	31,1	47	117	636	450	186	519	73	59	15	
Лог Луговой – Луговой	0,28	43	181	648	450	198	467	13	9	4	
Река Раковка – Боголюбовский	126	38	109	648	455	193	539	148	77	18	
Река Раковка – Раковский	198	47	164	627	455	172	463	88	5	2	
Река Раковка – Опытный	755	47	108	610	455	155	502	116	44	10	
Река Каменка – Каменский	31,2	47	298	775	455	320	477	140	7	5	
Река Михайловка – Михайловский	123	38	72	562	455	107	490	123	49	8	
Река Бакарьевка – Дубинский	47,5	47	56	598	455	143	542	115	155	19	
Река Репьевка – Воздвиженский	154	38	43	570	455	115	527	141	167	16	
<b>Среднее значение по станции</b>			<b>228</b>	<b>691</b>	<b>386</b>	<b>305</b>	<b>463</b>	<b>85</b>	<b>49</b>	<b>21</b>	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Нижедевицкая ВБС</b>										
Река Девица	76	40	118	504			386	282		
Река Девица – Товарня	103	40	138	504			366	258		
Лог Барсуک	10,7	40	44	522			478	85		
Лог Круглый	0,83	40	36	606			570	105		
Лог Медвежий	2,55	40	35	600			565	114		
Лог Ивкин	0,5	40	37	607	366	191	570	93	262	33
Ручей Ясенюк	21,7	40	107	585			478	295		
Лог Барский	3,16	40	45	582			537	97		
Лог Татьянан	0,18	40	88	504			416	138		
Лог Малотка	0,05	40	65	527			462	68		
Лог Вершинин	0,45	40	65	585			520	79		
<b>Среднее значение по станции</b>			<b>71</b>	<b>557</b>	<b>366</b>	<b>191</b>	<b>486</b>	<b>147</b>	<b>262</b>	<b>33</b>
<b>Валдайский филиал Государственного гидрологического института</b>										
Река Лонница – деревня Мосолино	48	61	300	752			452	23		
Река Соснинка – деревня Кыты	101	61	394	706			312	78		
Река Поломать – поселок городского типа Лычково	2 180	61	292	706	336	400	414	173	208	41
Река Поломать – деревня Ермошкино	1 179	61	326	706			380	125		
Река Поломать – деревня Соменка	776	61	327	706			379	144		
Река Поломать – село Яжелбицы	631	61	343	706			363	122		
Река Поломать – деревня Дворец	432	61	324	709			385	136		
Река Соминка – деревня Дворец	34	61	321	752			431	63		
Ручей Архирейский	2,67	55	347	778			431	222		
Лог Сосновый	0,093	55	164	771			607	113		
Лог Еловый	0,0023	54	20	771	336	400	751	255	208	41
Лог Верховье Усадьевское	0,016	54	125	702			577	96		
Лог Синяя гнилка – деревня Усадье	0,015	54	273	771			498	34		
Лог Таежный	0,45	54	122	771			649	162		
<b>Среднее значение по станции</b>			<b>263</b>	<b>736</b>	<b>336</b>	<b>400</b>	<b>474</b>	<b>125</b>	<b>208</b>	<b>41</b>

Примечание: ошибка приведена без учета знака.

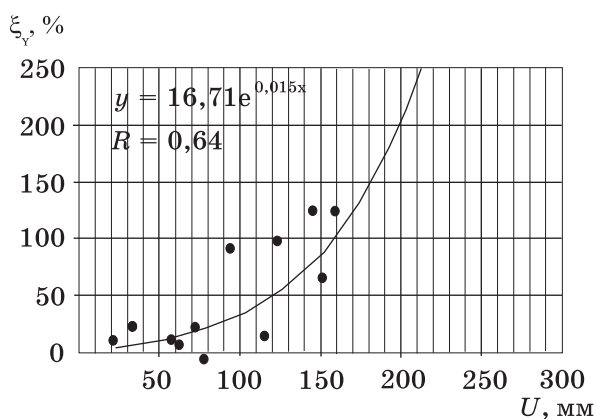


Рис. 2. Зависимость величины ошибки вычисления стока по трехчленному уравнению водного баланса от инфильтрации

### Выводы

Выполненная оценка вычисления водно-балансовых составляющих по трехчленному уравнению водного баланса показала значительные ошибки, что не может считаться приемлемым с практической точки зрения. Большие ошибки могут приводить к экономически неоправданным затратам в том случае, когда, например, полученные результаты при определении стока рек будут серьезно завышены. Например, в реальности такого стока рек может не быть. При расчете производительных сил какого-либо региона в этой связи будут допущены серьезные просчеты – в лучшем случае, в худшем – введенные в строй промышленные или гражданские объекты не смогут функционировать.

В зависимости от географического района соотношение абсолютной величины ошибки в вычислении как суммарного испарения, так и стока может изменяться. Так, в географической зоне избыточного увлажнения, где атмосферные осадки превышают суммарное испарение, соотношение ошибок исследуемых элементов может быть таким: ошибки вычисления суммарного испарения меньше ошибок вычисления стока. В географической зоне недостаточного увлажнения, где суммарное испарение превышает слой стока, ошибки вычисления суммарного испарения будут выше, чем ошибки вычисления стока по уравнению (1).

Поскольку ошибки вычисления зависят от природных условий, в частности

от почвенных характеристик территории, то возможно, что в некоторых регионах, где по сочетанию почвенно-ботанических условий обеспечивается малая величина инфильтрации в подземные воды, ошибки вычисления также малы. В противном случае, когда почвенно-ботанические условия будут способствовать большой величине инфильтрации, уравнение (1) применять нецелесообразно из-за значительных ошибок вычисления.

Из приведенных примеров по водно-балансовым станциям следует, что, например, при слое инфильтрации 100 мм ошибка вычисления слоя стока приближается к 100 %.

Из выполненного анализа следует, что задача определения водно-балансовых составляющих не только гидролого-экологическая, но и экономическая. Представляется, что в этой связи проще затратить небольшие по сравнению с капиталовложениями в строительство финансовые средства для разработки нового подхода к оценке водно-балансовых составляющих, чем столкнуться с проблемой отсутствия воды в построенных объектах.

1. **Бефани А. Н.** Основы теории ливневого стока: труды Одесского гидрометеорологического института. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 310 с.

2. **Великанов М. А.** Гидрология суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1948. – 530 с.

3. **Иофин З. К.** Новый подход к определению составляющих водного баланса: тезисы VI Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеоиздат, 2004. – С. 29–30.

Материал поступил в редакцию 23.09.10.

**Иофин Зиновий Константинович**, кандидат географических наук, доцент

E-mail: Pirit35@yandex.ru

**Лихачева Ольга Ивановна**, старший преподаватель кафедры «Комплексное использование и охрана природных ресурсов»

Тел. 8-921-235-28-76

E-mail: Olga\_Ivanovna@mail.ru

**Чудинова Екатерина Александровна**, соискатель

Тел. 8-909-598-58-45

E-mail: chudinova.katerina@yandex.ru