

З. К. ИОФИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет»

ГИДРОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

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.

There are questions under consideration concerning the accuracy of correlation of the quantitative assessment of water resources and meeting their needs of different branches of the economy.

Water balance, absorption, infiltration, evapotranspiration, linearly-correlation model of water balance, genetic type of soils, mechanical structure of soils.

По мере развития человеческого общества потребности людей постоянно усложняются. Одни потребности отмирают, на их место приходят другие, но в целом круг потребностей постоянно растет. Потребности растут как в количественном, так и в качественном отношении, т. е. в обществе действует закон возвышения потребностей. Природные ресурсы – пахотные и другие земли, леса, полезные ископаемые, вода, которые используются в производстве, часто называют факторами производства.

Рассмотрим один из аспектов, относящихся к факторам производства – водным ресурсам. Отношение к водным ресурсам в мировой гидрологии изменяется в сторону наиболее оптимального использования. Проблемой обеспечения водой озабочено все мировое сообщество. В частности, ООН предпринимает значительные усилия, призывая к экономному использованию водных ресурсов. Эта организация с ее структурой обеспокоена недостатком и отсутствием водных ресурсов на сравнительно большой 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 промышленного производства в мире, а также с увеличением численности населения, требуют все большего количества водных ресурсов. Несмотря на то что водные ресурсы ежегодно возобновляются, принципиально их

количество ограничено. В условиях большого, но имеющего предел количества воды возникает необходимость оценить количество водных ресурсов и оптимальный режим их использования. На протяжении 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 [1], А. Н. Бетфани 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.

Однако, не имея возможности определять в массовом количестве величину инфильтрации U , на практике ограничивались использованием уравнения (1) для многолетнего периода. В литературе автор не встретил работ по оценке точности вычисления членов уравнения водного баланса по уравнению (1).

Между тем открывается довольно неприглядная картина с точностью вычисления отдельных параметров по уравнению (1). 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 будем получать $Y + U$. Таким образом, точность определения параметров уравнения водного баланса с использованием уравнения (1) будет зависеть от величины инфильтрации в подземные воды (принимается во внимание то, что все остальные этапы вычисления выполняются с удовлетворительной точностью).

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 возможностью наличия крупных фракций грунта.

Таким образом, определение слоя стока или слоя суммарного испарения с поверхности водосбора в конечном итоге определяется типом почв и его механическим составом. Этим же фактором, кроме увлажнения территории, т. е. атмосферных осадков, будет еще определяться и величина инфильтрации.

Абсолютная величина инфильтрации определена автором по линейно-корреляционной модели, основные положения которой изложены в [3] (в данной работе содержание 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 наблюдений и качество наблюдений которых позволяет сопоставить данные наблюдений и вычисленные значения по уравнению (1) (таблица).

Выполненные расчеты достаточно информативны. Обращает на себя внимание ошибка вычисления суммарного испарения: во всех случаях она меньше ошибки вычисления стока. Если ошибка вычисления суммарного испарения изменяется в диапазоне 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 абсолютной величине и 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 и 2).

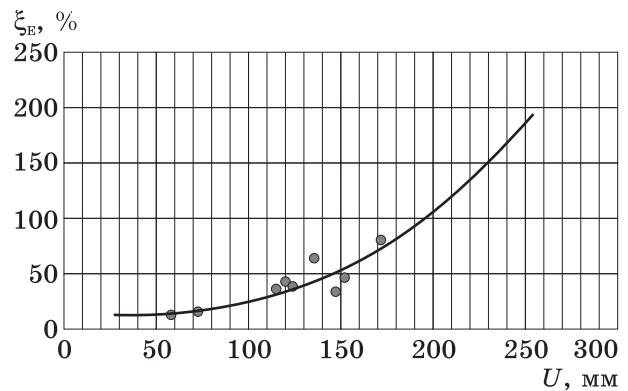


Рис. 1. Зависимость величины ошибки вычисления испарения по трехчленному уравнению водного баланса от инфильтрации: $y = 8,339e^{0,012x}$; $R = 0,9$

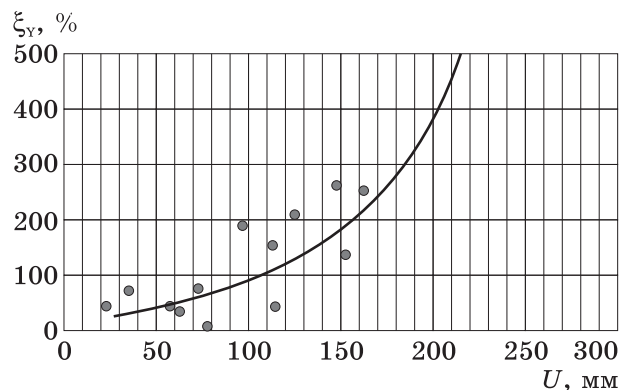


Рис. 2. Зависимость величины ошибки вычисления стока по трехчленному уравнению водного баланса от инфильтрации: $y = 16,71e^{0,015x}$; $R = 0,64$

Данные по сопоставлению измеренных и вычисленных значений водно-балансовых элементов

Река – створ	F, км ²	Период наблюдения	Y _{набл}	P _{набл}	E _{набл}	Вычисленные значения по трехчленному уравнению водного баланса		Инфилт-рация U	Ошибка, %		
						Y _{выч.}	E _{выч.}		ξ _Y	ξ _E	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Подмосковная ВБС											
Медвенка – Лапино	10	63	179	674	340	284	495		147	50	
Медвенка – выше устья реки Закзы	21,5	63	193	674			481				
Медвенка – ниже устья реки Закзы	40	63	213	674			461				
Лог Лызлово	1,76	63	73	674			601				
Лог Кулибин	0,44	50	42	573			531				
Ручей Прогоны	0,8	63	92	573			481				
Лог Полевой	0,11	62	94	573			479				
Лог Лесной	0,066	50	33	573			540				
Среднее значение по станции			115	624	340	284	509		147	50	
Приморская ВБС											
Река Комаровка – Комаровский	60,3	38	322	796	331	465	474		44	43	
Река Комаровка – Центральный	157	38	300	745	331	414	445		38	34	
Река Комаровка – Садовый	395	47	265	726	331	395	461		49	39	
Река Комаровка – Сахарный завод	616	47	242	595	331	264	353		9	7	
Река Комаровская – Падь-Егерский	24	38	357	775	331	444	418		24	26	
Река Волха – Верхний	17,6	38	412	775	331	444	363		8	10	
Река Волха – Нижний	69,5	38	365	775	331	444	410		22	24	
Река Учхозный Ключ – Дальний	36,2	38	434	775	331	444	341		2	3	
Река Семеновская Падь – Доковский	5,64	38	304	778	331	447	474		47	43	
Река Барсуковка – Лесничий	36,8	38	250	741	331	410	491		64	48	
Река Ключ Студеный – Пионерский	2,44	38	163	664	331	333	501		104	51	
Река Глуховка – Мостовой	31,1	47	117	636	450	186	519		59	15	
Лог Луговой – Луговой	0,28	43	181	648	450	198	467		9	4	
Река Раковка – Боголюбовский	126	38	109	648	455	193	539		77	18	
Река Раковка – Раковский	198	47	164	627	455	172	463		5	2	
Река Раковка – Опытный	755	47	108	610	455	155	502		44	10	
Река Каменка – Каменский	31,2	47	298	775	455	320	477		7	5	
Река Михайловка – Михайловский	123	38	72	562	455	107	490		49	8	
Река Бакарьевка – Дубинский	47,5	47	56	598	455	143	542		155	19	
Река Репьевка – Воздвиженский	154	38	43	570	455	115	527		167	16	
Среднее значение по станции			228	691	386	305	463		49	21	
Нижнедевицкая ВБС											
Река Девица	76	40	118	504	366	138	386	282	17	5	
Река Девица – Товарня	103	40	138	504		138	366	258	0	0	
Лог Барсук	10,7	40	44	522		156	478	85	255	31	
Лог Круглый	0,83	40	36	606		240	570	105	567	56	
Лог Медвежий	2,55	40	35	600		234	565	114	569	54	
Лог Ивкин	0,5	40	37	607		241	570	93	551	56	
Ручей Ясенюк	21,7	40	107	585		219	478	295	105	31	
Лог Барский	3,16	40	45	582		216	537	97	380	47	
Лог Татьянаин	0,18	40	88	504		138	416	138	57	14	
Лог Малютка	0,05	40	65	527		161	462	68	148	26	
Лог Вершинин	0,45	40	65	585		219	520	79	237	42	
Среднее значение по станции			71	557	366	191	486	147	262	33	
Валдайский филиал Государственного гидрологического института											
Река Лонница – Мосолино	48	61	300	752	336	416	452	23	39	35	
Река Соснинка – Киты	101	61	394	706		370	312	78	6	7	
Река Полометь – Лычково	2 180	61	292	706		370	414	173	27	23	
Река Полометь – Ермошкино	1 179	61	326	706		370	380	125	13	13	
Река Полометь – Соменка	776	61	327	706		370	379	144	13	13	
Река Полометь – Яжелбицы	631	61	343	706		370	363	122	8	8	
Река Полометь – Дворец	432	61	324	709		373	385	136	15	15	
Река Соминка – Дворец	34	61	321	752		416	431	63	30	28	
Ручей Архиерейский	2,67	55	347	778		442	431	222	27	28	
Лог Сосновый	0,093	55	164	771		435	607	113	165	81	
Лог Еловый	0,0023	54	20	771		435	751	255	2075	124	
Лог Верховье Усадьевское	0,016	54	125	702		366	577	96	193	72	
Лог Синяя гнилка – Усадье	0,015	54	273	771		435	498	34	59	48	
Лог Таежный	0,45	54	122	771		435	649	162	257	93	
Среднее значение по станции			263	736		336	400	474	125	208	41

Примечание: ошибка приведена без учета знака.

Таким образом, выполненная оценка вычисления водно-балансовых составляющих по трехчленному уравнению водного баланса показала, во-первых, значительные ошибки, что не может считаться приемлемым с практической точки зрения. Достаточно большие ошибки могут приводить к экономически неоправданным затратам в том случае, когда полученные результаты при определении, например, стока рек будут серьезно завышены. Это приведет к тому, что в реальности такого стока рек не будет. 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.

Необходимо отметить, что в зависимости от географического района соотношение абсолютной величины ошибки в вычислении как суммарного испарения, так и стока могут изменяться. Так, в географической зоне избыточного увлажнения, где атмосферные осадки превышают суммарное испарение, возможно, соотношение ошибок исследуемых элементов будет таким, как приведено выше: 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).

Ошибки вычисления зависят от природных условий, в частности, от почвенных характеристик территории. Вполне возможно, что в некоторых регионах, где при сочетании почвенно-ботанических условий величина инфильтрации в под-

земные воды достаточно мала, ошибки вычисления также будут 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 сравнительно 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. **Великанов М. А.** Гидрология суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1948. – 530 с.
2. **Бефани А. Н.** Основы теории ливневого стока: труды Одесского гидрометеорологического института. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 310 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 14.04.12.

Иофин Зиновий Константинович,
кандидат географических наук, доцент
Тел. 8-911-500-46-46
E-mail: pirit35@yandex.ru