

А.Н. Постников

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЛАГИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЗОНЫ АЭРАЦИИ В ТЕПЛУЮ ЧАСТЬ ГОДА МЕТОДОМ ВОДНОГО БАЛАНСА

A.N. Postnikov

MOISTURE RESERVE RATE IN UPPER LAYER OF AERATION AREA IN WARM TIME OF THE YEAR WITH WATER BALANCE METHOD

Производится оценка запасов влаги в верхнем слое зоны аэрации в лесной, лесостепной и степной зонах расчетным методом. Применяется новая методика расчета испарения.

Ключевые слова: расчет запасов влаги, зона аэрации, новая методика расчета испарения.

Moisture reserve rate in upper layer of aeration area in forest, forest-steppe and steppe zones is made with computation method. New technique of evaporation computing is applied.

Key words: moisture reserve computing, aeration area, new technique of evaporation computing.

Сведения о запасах влаги в верхнем слое почво-грунтов в теплую часть года могут быть полезны специалистам различных отраслей народного хозяйства. Их могут использовать как агрономы, например, для прогноза будущего урожая, так и гидрологи, проводящие водно-балансовые исследования или занимающиеся моделированием процессов речного стока. В настоящее время определение влажности и запасов влаги в верхнем слое зоны аэрации, проводимое на агрометеорологических и водно-балансовых станциях Гидрометслужбы представляет собой достаточно трудоемкую процедуру, которую желательно было бы, по возможности, заменить расчетными методами, позволяющими с приемлемой точностью определять запасы влаги на нужные даты.

В данной работе для этой цели предлагается использовать метод упрощенного водного баланса участка суши. В работе проводилось определение почвенных влагозапасов в лесной, лесостепной и степной зонах. Расчеты проводились для полевых участков водосборов и сравнивались с данными наблюдений за влагозапасами только на таких участках. Изложение результатов приводится в той последовательности, в которой велись исследования.

Лесостепная и степная зоны

Здесь грунтовые воды располагаются на глубинах 10–15 м от дневной поверхности. Выпадающие атмосферные осадки в теплую часть года едва ли могут просачиваться на такие большие глубины и сколько-нибудь заметно пополнять грунтовые воды.

Поэтому составляющая уравнения водного баланса, характеризующая изменения запасов грунтовых вод, не учитывалась. Не учитывался также речной сток, так как считалось, что поверхностный сток от выпадающих осадков пренебрежимо мал. Таким образом, предполагалось, что выпадающие осадки в теплый период года расходуются только на испарение и изменение запасов влаги в зоне аэрации и, что уравнение водного баланса полевого участка речного бассейна относительно запаса влаги в зоне аэрации может быть записано в виде:

$$W_2 = W_1 + X - E, \quad (1)$$

где W_1 и W_2 — запасы влаги в зоне аэрации соответственно на начало и конец расчетного периода; X и E — осадки и испарение за расчетный период.

Все составляющие уравнения (1) выражаются в мм слоя воды. При этом, под верхним слоем зоны аэрации в данной работе понимался первый метровый слой почво-грунтов, для которого чаще всего в системе Гидрометслужбы производится определение влажности и запаса влаги. Расчеты влагозапасов по уравнению (1) проводились для полевых объектов Нижнедевицкой воднобалансовой станции, ГМО Каменная Степь (лесостепная зона) и Дубовской ГМО (степная зона). На каждой из этих станций было по несколько полевых объектов, на которых проводились наблюдения за влажностью почвы. Так, например, в ГМО Каменная Степь наблюдения проводились в плодовом саду, на водосборах балок Травопольная, Степная, Хорольская, Солонцы. Расчет влагозапасов по уравнению (1) также проводился для каждого из названных объектов. При этом данные о запасах влаги в слое 0–100 см наносились на миллиметровую бумагу на даты влагосъемок. Полученные точки затем соединялись плавными линиями. В результате получался график, по которому можно было определять значения влагозапасов на любой день теплого периода. С этого графика снимались значения запасов влаги на первое и пятнадцатое числа каждого месяца. На эти же даты рассчитывались влагозапасов по уравнению (1) и сравнивались с влагозапасами с графика, которые считались, как бы, эталонными.

Испарение рассчитывалось по методике, предложенной автором в работе [1]. Расчет испарения по этой методике всегда начинается через две недели после схода снежного покрова в весеннее время. Исходная информация — средние суточные данные о дефиците влажности воздуха и осадках от указанной выше даты до даты, на которую рассчитывается испарение (влагозапасы). Методика расчета испарения была апробирована для ряда станций лесной, лесостепной и степной зон. Ее можно рекомендовать к использованию для расчета испарения с поверхности суши в теплый период года в тех природных зонах, где за зимний период накапливаются существенные запасы воды в снежном покрове и в весеннее время ежегодно обеспечивается увлажнение верхнего слоя почво-грунтов, примерно, до значений наименьшей полевой влагоемкости. По ней рассчитываются ежедневные значения испарения, которые затем суммируются за нужный период. Расчет испарения весьма трудоемок, поэтому осуществляется на компьютере по программе, написанной на языке Турбо Паскаль 7.0. Текст этой программы, снабженный необходимыми комментариями, автор счел нужным поместить

в Приложение 1. Пользователь, обладающий базовыми познаниями в языке, может внести в программу нужные изменения и дополнения.

Лесная зона

Здесь использовались данные наблюдений на Валдайской, Подмосковной и Придеснянской воднобалансовых станциях. Поверхностный сток в течение теплого периода года здесь также считался пренебрежимо малым. Однако, в лесной зоне грунтовые воды расположены гораздо ближе к дневной поверхности, чем в лесостепной и степной зонах, и часть атмосферных осадков может проникать в грунтовые воды и участвовать в речном стоке теплого периода года. Поэтому при расчете испарения и запасов влаги по уравнению (1) учитывались не все осадки, а только некоторая их часть. При учете осадков применялось следующее правило: если осадки за весь период не превышали 300 мм, то при расчете испарения и величины W_2 по уравнению (1) они использовались полностью; при осадках более 300 мм использовалось 80 %, а при осадках более 400 мм — 70 % от их количества. Для достижения этой цели задавались различные значения константы KE (см. текст прилагаемой программы). Константа KE принимала соответственно значения: 1,0; 0,8 и 0,7.

В табл. 1 указаны станции, для которых проводились расчеты влагозапасов, и приводятся статистические характеристики результатов расчетов.

Таблица 1

Статистические характеристики расчета запасов влаги в почво-грунтах

Статистические характеристики расчета	Лесостепная и степная зоны				Лесная зона			
	Станции			Среднее по зонам	Станции			Среднее по зоне
	1	2	3		4	5	6	
W_n , мм	265	279	209	259	229	289	230	247
W_p , мм	259	277	213	257	229	293	241	253
R	0,88	0,80	0,83	0,88	0,91	0,78	0,89	0,90
Δ , %	6	7	9	7	8	6	11	8
Число случаев	117	215	99	431	84	77	98	259

Примечание. Под номерами 1, 2, 3 следует понимать соответственно станции Нижнедевицкая, Каменная Степь, Дубовская, а под номерами 4, 5, 6 — станции Валдайская, Подмосковная, Придеснянская; W_n и W_p — соответственно средние значения измеренных и рассчитанных запасов влаги; R — коэффициент корреляции между измеренными и рассчитанными влагозапасами; Δ — средняя относительная погрешность расчета.

Данные табл. 1 показывают, что для каждой из станций оценка влагозапасов сделаны на достаточно большое количества дат, о чем свидетельствуют данные в графе «Число случаев». Мы видим также, что в лесостепной и степной зонах средние значения измеренных и рассчитанных влагозапасов очень близки (259 и 257 мм) и, что средняя относительная погрешность расчета составляет всего лишь 7 %. Данные по лесной зоне также весьма удовлетворительные, хотя и несколько хуже. Здесь имеют место более значительное расхождение между средними значениями наблюдаемых и рассчитанных

влагозапасов (247 и 253 мм), т.е. расчет дает, в среднем, несколько преувеличенные запасы влаги по сравнению с наблюдаемыми, что можно объяснить, по-видимому, некоторым завышением осадков, которые использовались при проведении расчетов, т.е. завышением величины KE , о которой говорилось выше. Средняя относительная погрешность расчета и здесь невелика и составляет всего 8 %.

В табл. 2 приведены данные по обеспеченности заданной относительной погрешности проведенных расчетов влагозапасов. В верхней графе «Относительная погрешность» указаны заданные ее значения в процентах. В следующих графах указаны обеспеченности этих величин, т.е. число случаев в процентах от общего числа случаев, когда относительная погрешность не превышает число, указанное в первой графе. Например, $P_1 = 75$. Это означает, что относительная погрешность расчета влагозапасов в лесостепной и степной зонах в 75 % случаев не превышает 10 % (верхняя графа).

Таблица 2

Обеспеченность (%) заданной относительной погрешности расчета влагозапасов

Относительная погрешность, %	1	5	10	15	20	25	30	35	40
P_1	10	42	75	91	97	99	99,7	100	—
P_2	7	39	69	84	92	96	97	98,8	99,2

Примечание. P_1 и P_2 — обеспеченность относительной погрешности (%) не большей, чем указано в графе «Относительная погрешность», соответственно в лесостепной вместе со степной и лесной зонах.

Данные табл. 2 показывают, что в 91 % случаев в лесостепной и степной зонах и в 84 % в лесной зоне относительная погрешность не превышает 15 %, а в 97 % и 92 % случаев соответственно не превышает 20 %.

Таким образом, результаты проведенных расчетов влагозапасов первого метрового слоя зоны аэрации, по-видимому, можно считать удовлетворительными, что свидетельствует, в частности и в первую очередь, о надежности использованного метода расчета испарения. Автор надеется, что использованная в данной работе методика может оказаться полезной как для специалистов сельского хозяйства, так и для гидрологов, например, при оценках предзимнего увлажнения почво-грунтов речных бассейнов при разработке методов прогноза стока весеннего половодья.

Приложение 1

```

Program Liski;
Uses Crt,dos;
Label 1,2,3;
Const m=140;n=2; k1=1;k2=31;EE=140;KE=1.0;
Type
TT=array[1..m,1..n] of Real;Ae=array [1..m] of Real;Ar=text;
var
f:AR;X:TT;E:AE;t,z,z1,z2,a,b,ad,bd,az,sim:Real;
i,j,k: Integer;
    
```

```
begin
clrscr;
b:=0.44;a:=b/EE;
begin
Assign(f,'e:\VALN.txt');
Reset(f);
for i:=1 to m do
begin
for j :=1 to n do Read (f,X[i,j]);end;
Close (f);
for i:=1 to m do
begin
for j:=1 to n do
X[i,j]:=0.1*X[i,j];end;
{for i:=1 to m do
begin
X[i,2]:=KE*X[i,2];
end;}
t:=0;z:=0;
for i:=1 to m do
begin
if(i>15) and (i<=150) then
begin b:=0.70;a:=b/EE;end;
if i>150 then
begin b:=0.50;a:=b/EE;end;
if X[i,2]=0 then goto 1
else
if X[i,2] <>0 then goto 2;
1:begin
z1:=EE*(1-exp(-a*t));
t:=t+X[i,1];
z2:=EE*(1-exp(-a*t));
z:=z2;
E[i]:=z2-z1;
end;
goto 3;
2:begin
ad:=X[i,2]/b;
bd:=X[i,1]-ad;
if bd>0 then
begin
z1:=EE*(1-exp(-a*t));
t:=t+bd;
z2:=EE*(1-exp(-a*t));
```

```
z:=z2;
E[i]:=X[i,2]+z2-z1;
end
else
if bd<0 then
begin
E[i]:=EE*(1-exp(-a*X[i,1]));
az:=X[i,2]-E[i];
z:=z-az;
if z<0 then z:=0;
t:=(-ln(1-z/EE))/a;
end
else
if bd=0 then
begin
E[i]:=EE*(1-exp(-a*X[i,1]));
end;end;
3:end;end;
sim:=0;
for i:=k1 to m do
begin
sim:=sim+E[i];end;
Writeln('Испарение ');Write('E=',sim:5:1);Readln;
end.
```

Пример расчета испарения

Нужно рассчитать испарение за две последние декады мая в N -м году по Валдайской водно-балансовой станции. Снег сошел 15 апреля.

Согласно изложенному в данной работе, расчет испарения по данной методике начинается через две недели после схода снега, т.е. в данном случае с 1 мая. Поэтому необходимо собрать данные по дефициту влажности воздуха и осадкам с 1 по 31 мая. Ввод данных удобно осуществлять в программе Excel. Ежедневные данные по дефициту влажности воздуха вводятся в столбец *A*, а по осадкам — в столбец *B*. Те и другие данные записываются без выделения дробной части, как целые числа. Например, 12,3 записывается как 123, а 0,5 как 5. За дни, когда осадки отсутствуют, в столбец *B* вводятся их нулевые значения (табл. 3).

Затем данному файлу присваивается имя, например, VALN, указывается диск, на котором он будет храниться, например E, файл переводится в текстовый формат и заносится на диск. Для обращения к этому файлу в операторе *ASSIGN* необходимо указать диск, имя и его формат: e:\VALN.txt (см. программу). Затем в разделе констант надо задать значения m и $k1$, где m — число дней, за которое будет произведен расчет испарения по программе, а $k1$ — начало расчетного периода, нужного для потребителя, т.е. некоторый $k1$ -й день после начала счета по программе. В данном случае $m = 31$,

$kI = 11$. После указания значений m и kI программа транслируется (клавиши Alt+F9) и запускается на счет (клавиши Ctrl+F9). В данном случае получим: $E = 55,2$ мм.

Таблица 3

Ежедневные значения дефицита влажности воздуха и осадков в мае N -го года

№ п/п	A	B
1	7	0
2	39	0
3	43	0
4	52	0
5	43	0
6	51	31
7	12	16
8	28	0
9	90	0
10	129	0

№ п/п	A	B
11	62	11
12	18	19
13	12	137
14	32	0
15	48	184
16	38	0
17	17	112
18	12	43
19	27	47
20	16	45

№ п/п	A	B
21	35	9
22	42	0
23	42	0
24	42	125
25	55	70
26	65	0
27	62	90
28	57	0
29	85	0
30	83	0
31	28	0

Литература

1. *Постников А.Н.* Метод расчета испарения с почвы в различных природных зонах. // Ученые записки РГГМУ, 2009, № 10, с. 21–31.
Postnikov A.N. Metod rascheta ispareniya s pochvy v razlichnykh prirodnykh zonakh. // Uchenye zapiski RGGMU, 2009, № 10, s. 21–31.