

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Л. Б. Бунятян, В. В. Александриян

**Метод вычисления испарения с поверхности
напорных грунтовых вод**

Определение испарения с поверхности голой почвы в естественных условиях представляет большие трудности. Существующие методы определения, например, Рыкачева и Попова, изучающих испарение в почвенных монолитах, метод подсчета баланса воды путем систематического изучения прихода и расхода воды в почве и другие весьма громоздки, требуют специального оборудования и кропотливой работы.

Ниже приводится метод определения испарения с уровня напорных вод, не требующий специального оборудования и лишенный тех недостатков, которые присущи другим методам определения испарения.

Наблюдения за напорным грунтовым потоком в двухслойной среде, когда коэффициент фильтрации верхнего покровного слоя значительно меньше коэффициента фильтрации подстилающего слоя, показывают, что уровень воды в скважинах, пробуренных в подстилающем слое, выше уровня воды в скважинах, пробуренных в покровном слое.

На рис. 1 приводятся графики колебания во времени уровня грунтовых вод в скважинах. Пунктирной линией показан график колебания воды в скважине подстилающего слоя, а сплошной—колебание уровня воды в покровном слое.

Колебание уровня воды в скважине подстилающего слоя зависит от всего многообразия действующих в данных конкретных условиях факторов, как то: климатических, геологических, гидрогеологических, влияние реки и других. На колебания же уровня воды в покровном слое влияет, кроме факторов, действующих на подстилающий слой, и испарение с уровня грунтового потока.

Указанное обстоятельство привело к мысли использовать разницу стояния уровней воды в указанных скважинах для определения величины испарения с уровня грунтовых вод.

Под влиянием напора h (равного разности отметок уровней воды в скважинах), действующего на подошву покровного слоя (рис. 2), происходит непрерывный восходящий ток воды. Если бы с уровня воды в покровном слое не происходил постоянный отток воды в виде испарения, то он стремился бы уровниться с уровнем воды в скважине подстилающего слоя.

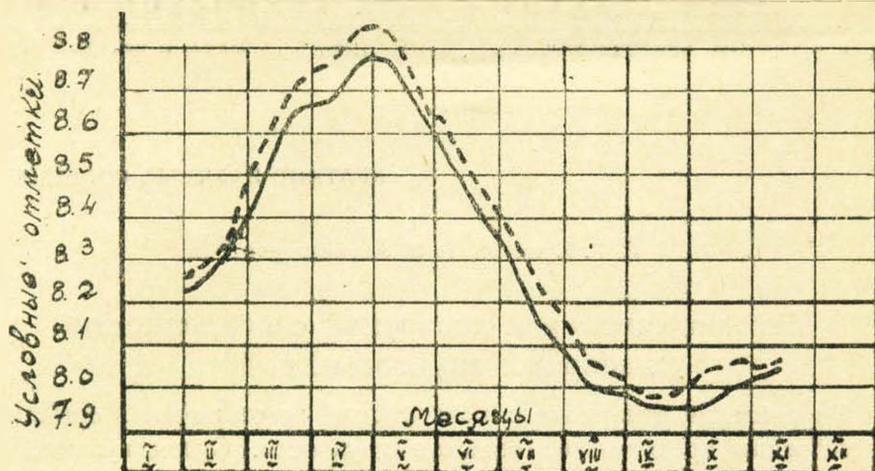


Рис. 1. График колебания уровня грунтовых вод.

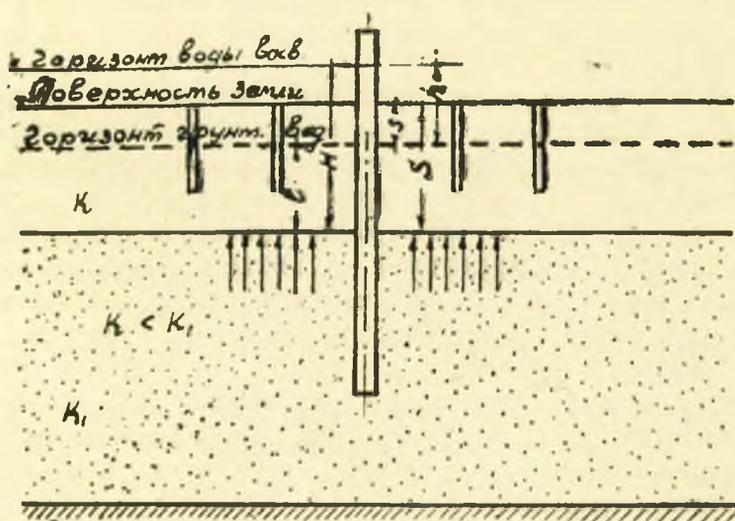


Рис. 2. Схема к выводу формулы для определения испарения.

При постоянном напоре h и уровне стояния воды в покровном слое будет происходить постоянная подача воды снизу вверх с расходом на единицу площади, равным

$$q = k \cdot \frac{h}{l}, \quad (1)$$

где k — коэффициент фильтрации в вертикальном направлении покровного слоя,

h — напор,

l — расстояние от уровня воды в покровном слое до его подошвы.

Таким образом, если мы будем иметь постоянно действующие факторы, при которых уровень стояния грунтовых вод в покровном

слое и напор h будут оставаться постоянными, расход, вычисленный по формуле (1), будет давать величину испарения с уровня грунтовых вод. Однако h и l являются функциями времени года, поэтому формула (1) не будет давать истинное значение испарения.

Положим, что дефицит влажности воздуха увеличился, тогда количество воды, определяемое формулой (1), уже не будет достаточным для поддержания уровня воды на прежней высоте, и он начнет опускаться. В этом случае, кроме количества воды, определяемой по формуле (1), будет испаряться и вода в иссушенном слое грунта.

Если обозначить слой иссушенного грунта через Δl , то количество воды, испарившееся из этого слоя, будет

$$v = \mu \cdot \Delta l, \quad (2)$$

где μ — коэффициент водоотдачи данного грунта.

Испарение воды из иссушенного слоя в единицу времени будет

$$\frac{v}{\Delta t} = \mu \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}, \quad (3)$$

где Δt — время, за которое происходит опускание уровня воды на величину Δl .

Складывая (1) и (3), получим полное испарение при понижении уровня грунтовых вод в виде

$$q_u = k \cdot \frac{h}{l} + \mu \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (4)$$

В случае подъема уровня грунтовых вод, т. е. когда подача воды снизу вверх превышает испарение, вычисление может быть произведено по формуле

$$q_u = k \cdot \frac{h}{l} - \mu \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (5)$$

Если под $\frac{\Delta l}{\Delta t}$ подразумевать тангенс угла наклона касательной к кривой колебания уровня грунтовых вод (рис. 1), то можно (4) и (5) выразить одной формулой

$$q_u = k \cdot \frac{H-l}{l} + \mu \cdot \frac{dl}{dt}. \quad (6)$$

Для вычисления более удобно уравнение (6) представить в виде конечных разностей

$$q_u = \frac{k}{2} \left(\frac{H_{n-1} - l_{n-1}}{l_{n-1}} + \frac{H_n - l_n}{l_n} \right) + \mu \cdot \frac{l_n - l_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}, \quad (7)$$

где H_{n-1} и l_{n-1} есть отсчет уровней воды от подошвы покровного слоя в момент времени t_{n-1} ,

H_n и l_n — то же в момент времени t_n .

Результаты подсчетов по формуле (7) будут тем точнее, чем меньше период между наблюдениями.

Коэффициент фильтрации верхнего маловодопроницаемого слоя (k) в формуле (7) можно определить: по данным откачек, лабораторными испытаниями образцов грунтов или же по наблюдениям за восстановлением уровня грунтовых вод после прекращения откачки.

Во время даже очень продолжительных откачек, при достаточной мощности верхнего слоя, кривая депрессии на значительном удалении от колодца (30—100 м) не выходит за пределы верхнего глиняного слоя. Это обстоятельство позволяет для определения коэффициента фильтрации верхнего маловодопроницаемого слоя воспользоваться данными наблюдений за восстановлением депрессионной кривой после прекращения откачки.

Для вывода формулы используется прямолинейный, почти горизонтальный участок депрессионной кривой на схеме (рис. 3), ограниченный точками I—II.

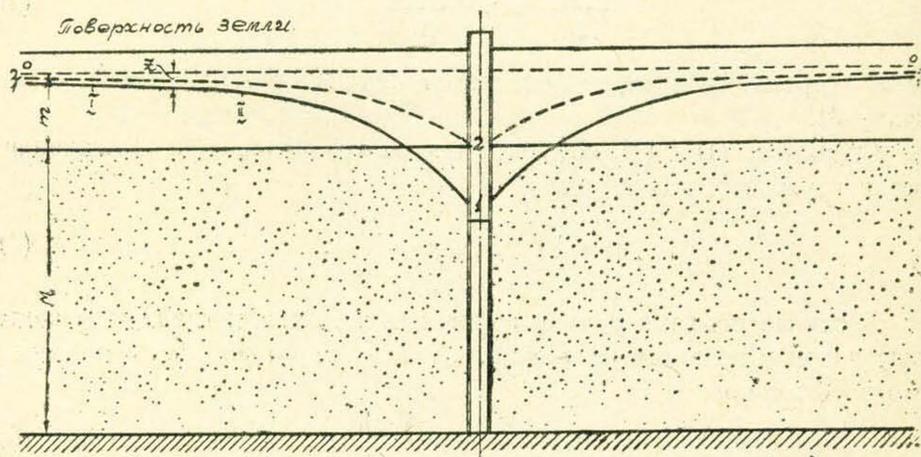


Рис. 3. Схема к выводу формулы для определения коэффициента фильтрации.

В результате откачки статический горизонт (на рис. 3 линия 0—0), постепенно опускаясь до установившегося уровня, займет положение кривой 1—1. После прекращения откачки депрессионная кривая, проходя через промежуточные положения, стремится восстановить свой первоначальный уровень 0—0.

Восстановление депрессионной кривой происходит под влиянием гидравлического градиента, равного:

$$i = \frac{z}{m-z} \quad (8)$$

Скорость повышения уровня грунтовых вод

$$u = \frac{v}{\mu} \quad (9)$$

где μ —коэффициент водоотдачи,

v —вертикальная скорость фильтрации, равная $v = k \cdot \frac{z}{m-z}$. Подставляя значение v в формулу (9), получим:

$$u = \frac{v}{\mu} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{z}{m-z}. \quad (10)$$

С другой стороны,

$$u = - \frac{dz}{dt}. \quad (11)$$

Приравняв (10) и (11), получим:

$$- \frac{dz}{dt} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{z}{m-z}, \quad (12)$$

откуда

$$-(m-z) \frac{dz}{z} = \frac{k}{\mu} dt. \quad (13)$$

Интегрируя (13), получим:

$$-(m \ln z - z) \Big|_{z_1}^{z_2} = \frac{k}{\mu} t \Big|_{t_1}^{t_2}$$

или

$$m (\ln z_1 - \ln z_2) + z_2 - z_1 = \frac{k}{\mu} (t_2 - t_1).$$

Обозначив $t_2 - t_1 = T$, получим:

$$m \ln \frac{z_1}{z_2} + z_2 - z_1 = \frac{k}{\mu} T, \quad (14)$$

откуда

$$k = \frac{\mu}{T} \left(m \ln \frac{z_1}{z_2} + z_2 - z_1 \right). \quad (15)$$

Определив из последней формулы значение k и подставив его в формулу (7), легко вычислить величину испарения с поверхности грунтовых вод за отдельные месяцы.

Коэффициент водоотдачи грунта μ легко определить по общепринятой методике.

По разработанной методике в полевых условиях на опытном участке проведены наблюдения, по которым вычислено испарение за каждый месяц, начиная с февраля и кончая ноябрем. Для сравнения результаты сопоставлены с испарением, полученным по методу Рыкачева.

Геологическое строение опытного участка схематически представляет следующую картину: мощные отложения легко проницаемых грунтов (супеси и пески) перекрываются сверху маловодопроницаемой

глиняной покрывкой, толщиной в среднем 5 м. На глубине 50—60 м начинаются отложения практически непроницаемых озерных глин.

Во время бурения опытных скважин, а также наблюдениями за колебаниями уровня грунтовых вод, установлено, что уровень стояния грунтовых вод в насосной скважине всегда выше уровня воды в близлежащих к нему наблюдательных шурфах.

Описанная картина полностью совпадает с принятой при выводе формулы (7) схемой.

Коэффициент фильтрации k определяется по формуле (15), по данным таблицы 1.

Таблица 1

Уровень грунтовых вод в наблюдательных скважинах

Направление и расстояние от цент. скважины	1952 год						1953 год					
	до откачки	после откачки	промежут. уровень	до откачки	после откачки	промежут. уровень	до откачки	после откачки	промежут. уровень	до откачки	после откачки	промежут. уровень
	29 V	15 VI	21 VI	25 VII	4 VII	10 VII	20 VII	21 VIII	26 VIII	26 VIII	27 VIII	29 VIII
Луч 1 300 м	61	65	62	61	104	94	115	167	147	147	150	149
Луч 2 300 м	63	100	69	72	166	119	—	—	—	142	263	218
Луч 3 300 м	68	84	70	—	—	—	—	—	—	162	319	268
Луч 4 300 м	82	95	84	—	—	—	109	196	146	—	—	—

Среднее значение коэффициента фильтрации получается равным 0,086 м/сутки (при $\mu = 0,1$).

Таблица 2

Уровень грунтовых вод в относительных отметках

Место измерения	Месяц, число																			
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI										
	3	16	2	22	11	20	6	29	1	10	4	19	1	13	1	12	9	29	3	15
В центральной скважине	8,272	8,330	8,541	8,720	8,792	8,845	8,855	8,645	8,656	8,575	8,395	8,256	8,192	8,075	8,027	7,989	8,05	8,072	8,053	8,078
В наблюдательных скважинах	8,255	8,296	8,435	8,655	8,689	8,755	8,783	8,601	8,595	8,50	8,320	8,150	8,105	8,005	7,985	7,962	7,947	8,015	8,022	8,056

Таблица 3

Испарение с поверхности грунтовых вод (по формуле 7)

Месяцы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Суточное испарение в мм	0,132	0,5	1,01	1,84	2,4	2,833	2,32	1,43	0,81	0,27
Месячное испарение в мм	3,96	15	30,3	55,2	72	84,99	69,6	42,9	24,3	8,1

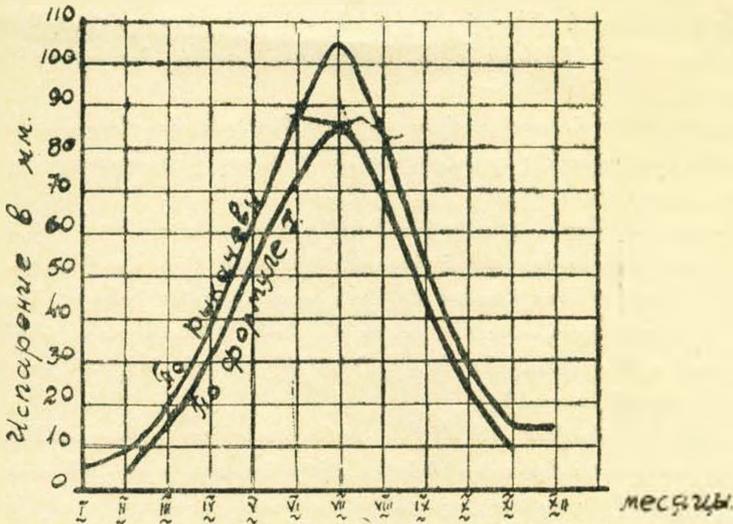


Рис. 4. График испарения.

Таблица 4

Испарение с поверхности почвы (по испарителю Рыкачева)

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Испарение с поверхности почвы	6	9	20	39	62	86	105	83	53	28	15	15

Подставляя значения k и μ в формулу (7), по данным таблицы 2, высчитываются значения испарения за отдельные месяцы. Эти значения приводятся в таблице 3 (условная отметка подошвы верхнего слоя равна 3,919 м).

Для сравнения приводятся данные об испарении с поверхности почвы, полученные по испарителю Рыкачева (таблица 4) в 1929—1931 гг. График, построенный по данным таблиц 3 и 4 (рис. 4), показывает, что характер кривых испарения в обоих случаях аналогичен.

Это обстоятельство говорит о том, что предложенный нами метод определения испарения дает достоверные результаты, и его можно рекомендовать для определения испарения в условиях, аналогичных рассмотренным нами.

Լ. Ռ. Բուհիարյան. Վ. Վ. Ելեքսանդրյան

ՃՆՄԱՆ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՍԻՑ
ԳՈԼՈՐՇԻԱՑՄԱՆ ՀԱՇՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ջրթափանց երկշերտանի միջավայրում, երբ վերին շերտի ֆիլտրացիայի գործակիցը շատ անգամ փոքր է ներքին շերտի ֆիլտրացիայի գործակիցից, ջրի հորիզոնը ներքին շերտի մեջ խորը իջեցված խողովակներում

միշտ ավելի բարձր է լինում վերին շերտի ջրի հորիզոնից: Գրունտային ջրերի հորիզոնների նիշերի այդ տարբերությունը հավասար է ճնշման մեծությունը:

Վերին շերտի հատակի վրա գործող ճնշման ազդեցության շնորհիվ տեղի է ունենում գեպի վեր ուղղված անընդհատ ջրի հոսանք, որը ծախսվում է գոլորշիացման վրա:

Համապատասխան ձևափոխումներից հետո, օգտվելով ֆիլտրացիայի հիմնական օրենքից, ստացված է հատուկ բանաձև (7), որով կարելի է որոշել գոլորշիացման մեծությունը ճնշման գրունտային ջրերի միավոր մակերեսից՝ կախված գրունտային ջրերի ճնշման մեծությունից, վերին շերտի ֆիլտրացիայի գործակցից և գրունտային ջրերի խորությունից, հաշված վերին շերտի հատակից:

Հոգվածում բերված են միջին ամսական գոլորշիացումների մեծությունները Հայաստանի ստյոններից մեկի համար, որոշված առաջարկված մեթոդով և իրական գոլորշիացումների մեծությունները՝ չափված Ռիկայովի եզանակով:

Համեմատելով այդ երկու ձևով որոշված գոլորշիացման մեծությունները, դալիս ենք այն համոզման, որ առաջարկվող մեթոդը մեծ ճշտությամբ արտահայտում է երևույթի քանակական կազմը, չի պահանջում հատուկ սարքավորումներ և զուրկ է այն թերություններից, որոնք հատուկ են գոյություն ունեցող բոլոր այլ մեթոդների համար:

Առաջարկվող մեթոդը կարելի է մեծ ճշտությամբ կիրառել հոգվածում նշված հիդրո-գեոլոգիական պայմաններին նման պայմաններում: