

УДК 532.546.628.36 (572.2)

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ГРУНТА НА ПРОЦЕСС ИСПАРЕНИЯ

С.Б. Омуралиев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Теория вопроса испарения влаги с поверхности грунтов имеет большое научное и практическое значение.

Исследования закономерностей испарения влаги из грунтов немногочисленны. Как показал анализ литературного материала, несмотря на отдельные имеющиеся работы по изучению закономерностей испарения влаги из различных грунтов, эта проблема остается еще недостаточно изученной.

Как известно, процесс испарения влаги из грунтов находится в прямой зависимости от внешних и внутренних факторов.

Факторы внутренние – свойства самих почво-грунтов, их цвет, структура, сложение, гранулометрический состав и др. Влияние этих факторов было подробно рассмотрено рядом исследователей [1, 2, 3].

Внешние факторы – метеорологические условия, относительная влажность воздуха, ход суточных температур, количество осадков, сила ветра, условия рельефа и др. Несмотря на отдельные труды и работы исследователей по изучению внешних факторов, многие стороны этого процесса в литературе остаются пока не освещенными, а в расчетные уравнения балансов часто входят константы и параметры, опирающиеся на устаревшие исследования. Почво-грунты, расположенные на разных элементах рельефа, испаряют

неодинаковое количество воды. Всего больше испаряется воды в почво-грунтах, расположенных на южных склонах, и наименьшее на северных, причем эта разница тем больше, чем сильнее крутизна склона.

Установлено [4], что интенсивность испарения воды из техногенных грунтов может существенно отличаться от испарения с открытого поля из-за различия в плотности, влажности грунтов, скорости потока воды к испаряющей поверхности, транспирации влаги растениями и т.п..

В частности, почти неисследованным остается целый ряд внутренних и внешних факторов, влиянием которых часто пренебрегают (из-за его неизученности), но от которых параметры испарения могут находиться в прямой зависимости. Практически неисследованным остается влияние на этот процесс минерального состава грунта, степени его водонасыщения (S_r).

Главной задачей экспериментальных исследований на модельных материалах, являлось установление влияния степени водонасыщения на испарение.

Методика исследований

Методика исследований влияния указанных выше факторов на процесс испарения влаги из грунтов основывалась на анализе нестационарных потоков влаги при испарении в изотермических условиях.

Для изготовления образцов материала были выбраны: песок речной и суглинистый грунт из места оползня.

Для проведения модельных испытаний были приготовлены образцы с различным процентным содержанием песчаных–суглинистых фракций (2 мм): песок:суглинок=(100:0)%; песок:суглинок=(70:30)%; песок:суглинок=(30:70)%; песок:суглинок=(0:100)%.

Результаты изучения физических свойств анализируемых грунтов приведены в табл.1.

Таблица-1. Физические свойства исследуемых грунтов

Наименование грунта	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность скелета/плотность грунта $\rho_d/\rho_{гр}$, г/см ³	Пористость m , %	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость W_e , % (Содержание воды, мл)
Песок речной мелкозернистый (размер частиц 2 мм)	2,65	1,63/1,82	38,47	0,63	11,62 (100 мл)
	2,65	1,69/1,98	36,12	0,57	16,96 (150 мл)
	2,65	1,68/2,09	36,44	0,57	24,09 (200 мл)
Песок: суглинок =(70:30)%	2,67	1,71/1,95	36,13	0,57	14,35 (100 мл)
	2,67	1,65/1,98	38,13	0,62	19,86 (150 мл)
	2,67	1,49/1,90	44,24	0,79	27,62 (200 мл)
Песок:суглинок=(30:70)%	2,69	1,62/1,96	38,05	0,61	17,61 (100 мл)
	2,69	1,58/1,95	41,15	0,70	23,18 (150 мл)
	2,69	1,51/1,93	43,93	0,78	27,97 (200 мл)
Суглинок	2,70	1,42/1,85	43,08	0,76	20,37 (100 мл)
	2,70	1,52/1,89	43,84	0,78	24,65 (150 мл)
	2,70	1,50/1,95	44,44	0,80	29,99 (200 мл)

Предварительно взвешенные водонасыщенные образцы грунта в цилиндрических пластмассовых стаканах ставились под воздушную тягу для испарения из них влаги в одинаковых температурных условиях ($T=27^{\circ}\text{C}$). В контрольном стакане была вода без грунта. Затем велись наблюдения за потерей грунтом массы (Δm) во времени. В начале наблюдений (2-3 сут.) образцы в стаканах взвешивались 2-3 раза в сутки, далее – 1 раз в сутки.

В эксперименте изучалось влияние степени водонасыщения на испарение влаги из грунтов в течении времени. Были приготовлены образцы с разной начальной влажностью и соответственно с разной степенью водонасыщения при одинаковой плотности грунта. Для этого

указанную абсолютно сухую навеску грунта помещали в пластмассовую чашку и добавляли соответственно 100,150,200 см³ воды и тщательно перемешивали содержимое до равномерного увлажнения. После этого грунт помещали в пластмассовые стаканчики (емкость 400 мл), с постоянным постукиванием металлической палочкой по стакану для достижения плотного состояния грунта и выравниванием его поверхности шпателем, как это описано в книге «Практикум по грунтоведению» (1993 г).

Были заданы следующие начальные значения весовой влажности модельных материалов (W%) и степени водонасыщения S_r (см.табл.2).

Таблица-2. Начальные значения влажности грунтов и степени водонасыщения

Виды грунтов	Количество воды, см ³	Влажность грунтов, W%	Степень водонасыщения, S_r
Речной песок, (2 мм)	100	11,65	0,49
	150	16,96	0,79
	200	24,09	1,11
Песок:суглинок (70:30)%	100	14,35	0,68
	150	19,86	0,86
	200	27,62	0,93
Песок:суглинок (30:70)%	100	17,61	0,77
	150	23,18	0,89
	200	28,15	0,96
Суглинок	100	20,37	0,73
	150	24,65	0,85
	200	29,99	1,01

Затем на весах производился замер первоначальной массы насыщенного образца. По результатам опытов были получены зависимости изменения массы образцов m во времени t вида: $m=f(t)$. Значения интенсивности испарения i_u , выраженные в см/час, определялись по формуле:

$$i_{\text{и}} = \vartheta / S,$$

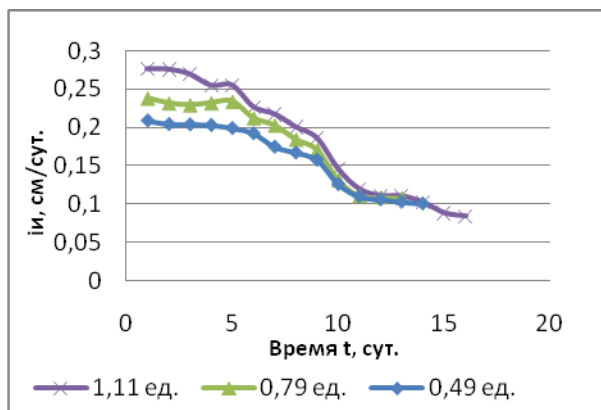
где $\vartheta = \Delta m / \Delta t$ – скорость испарения, см³/час; S – площадь образца, см²; Δm – изменение массы образца за интервал времени Δt , г; Δt – интервал времени, час..

Величина i_u может измеряться в г/ч*см². Учитывая, что плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$, значения i могут также выражаться в см/ч или см/с по системе СИ. При этом $1 \text{ г/ч*см}^2 = 1 \text{ см/ч}$. В результате были получены графики зависимости интенсивности испарения (i_u) от времени (t).

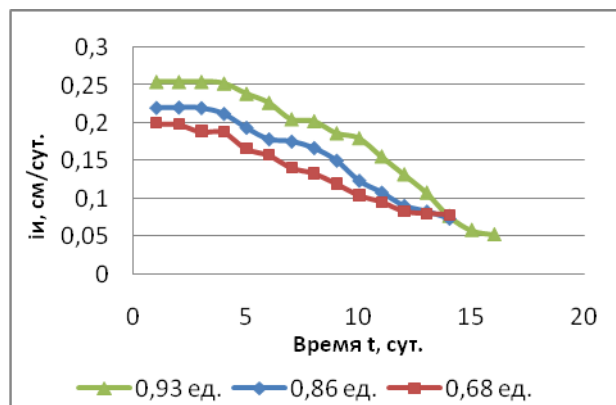
Результаты исследований

Замечено, что грунты, т.е. модельные материалы, испаряют количество воды неодинаково. Насыщенные водой песчаные грунты испаряют воды больше, чем суглинков. Получены графики зависимости интенсивности испарения влаги ($i_{\text{и}}$) от времени (t), для образцов модельных материалов с разной начальной степенью водонасыщения (S_r) (рис.1).

а)



б)



в)

г)

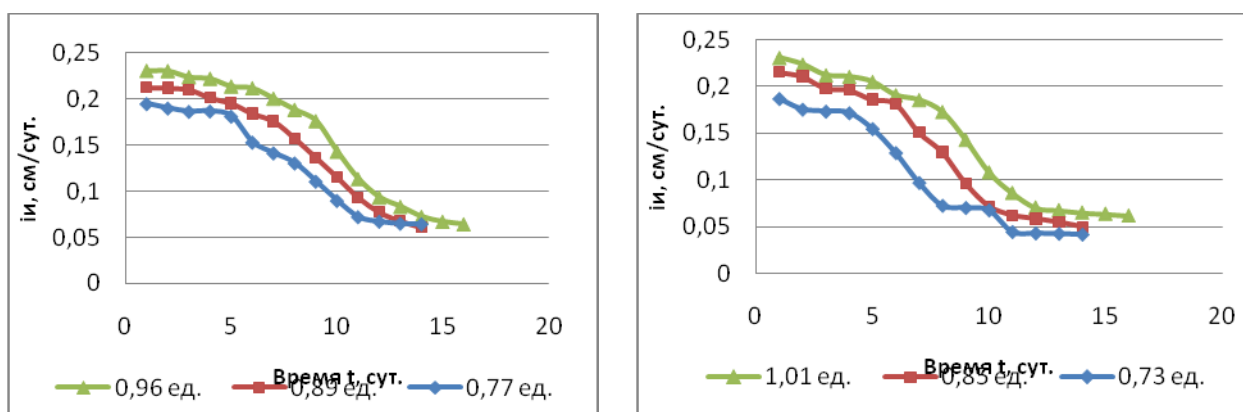


Рис. 1. Зависимость интенсивности испарения влаги из модельных материалов от времени при различной начальной степени водонасыщения:

а)-песок:суглинок=(100:0)%; **б)**-песок:суглинок=(70:30)%;

в)-песок:суглинок=(30:70)%; **г)**-песок:суглинок=(0:100)%)

Графики (рис.1) интерполировались полиномами 4-й и 5-й степени с коэффициентами корреляции $R = 0.9994-0.9933$.

Данные представлены в табл.3.

Таблица-3. Виды функции

Виды грунтов	Степени водонасыщения, S_r	Виды функции	Коэфф. корр. R
а). Песок:суглинок (100:0)%	1.11	$Y=7E-07x^4+0.0001x^3-0.0035x^2+0.0105x+0.2678$	0.9949
	0.79	$Y=5E-05x^4-0.0013x^3+0.0093x^2-0.0254x+0.2551$	0.9959
	0.49	$Y=2E-05x^4-0.0006x^3+0.0035x^2-0.0092x+0.2146$	0.9956
б). Песок:суглинок (70:30)%	0.93	$Y=5E-06x^4-0.0001x^3+0.0003x^2-0.0027x+0.2599$	0.9965
	0.86	$Y=8E-06x^4-0.0001x^3-0.0002x^2-0.0015x+0.2245$	0.9960
	0.68	$Y=-3E-07x^4+0.0001x^3-0.0024x^2+0.0035x+0.1989$	0.9980
в). Песок:суглинок (30:70)%	0.96	$Y=2E-05x^4-0.0005x^3+0.0037x^2-0.0113x+0.2395$	0.9971
	0.89	$Y=2E-05x^4-0.0005x^3+0.0024x^2-0.0072x+0.2188$	0.9994
	0.77	$Y=1E-05x^4-0.0001x^3-0.0011x^2+0.0044x+0.1894$	0.9969
г). Песок:суглинок (0:100)%	1.01	$Y=-5E-06x^5+0.0002x^4-0.0036x^3+0.0231x^2-0.0653x+0.2804$	0.9972
	0.85	$Y=-9E-06x^5+0.0004x^4-0.005x^3+0.028x^2-0.0686x+0.2636$	0.9981
	0.73	$Y=-4E-06x^5+0.0001x^4-0.0014x^3+0.003x^2-0.0032x+0.185$	0.9933

Графики функции интенсивности испарения $i_u(t)$, так же как и графики зависимости $m(t)$, имеют одинаковую форму (рис.2), например: песок:суглинок = (100:0)%.

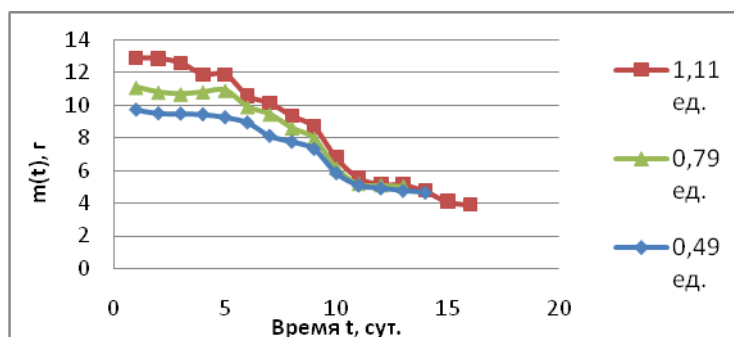


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов песка (m) при испарении от времени (t) с разной начальной степенью водонасыщения

Анализируем рис.1 – (а)-(з).

На них можно выделить три участка: 1) На начальном этапе почти горизонтальный или пологий, на котором функция $i_u(t)$ имеет максимальные значения; 2) убывающий, характеризующийся относительно резким снижением значений функции $i_u(t)$; 3) для конечного этапа характерны весьма низкие величины интенсивности испарения, т.е. график функции $i_u(t)$ становится пологим и асимптотически стремятся к нулевым значениям.

Аналогично такие участки получили для остальных грунтов (песок:суглинок=(70:30)%; песок:суглинок=(30:70)% и суглинок).

Явление закономерного уменьшения скорости испарения во времени объясняется особенностями дегидратации порового пространства грунта: по мере испарения влаги из грунта удаляется вода все большего энергетического уровня связи с поверхностью. Когда категория влаги сменяется с «капиллярно-пленочной» на «капиллярно-стыковую» (существующую в виде «манжет» на стыках песчаных частиц), энергия связи воды с поверхностью частиц

возрастает-соответственно механизм испарения меняется и скорость испарения из образца становится меньше [2].

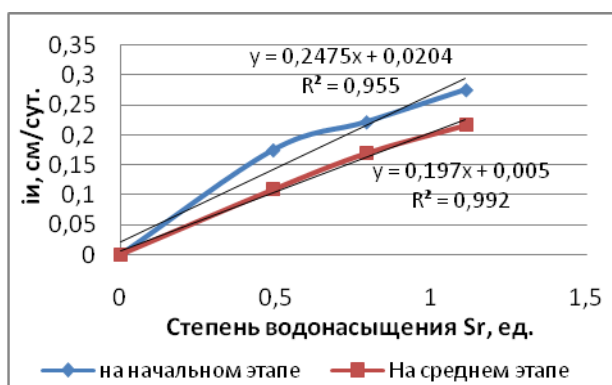
Кроме того, как показывает анализ графиков функции $i_u(t)$, интенсивность испарения влаги закономерно возрастает с увеличением начальной степени водонасыщения грунта. Наибольшие величины интенсивности испарения наблюдаются для образцов с наиболее высокой степенью начальной водонасыщения. Для образцов низкой степенью водонасыщения интенсивность испарения меньше.

Было отмечено, что в ходе самого процесса испарения влаги из речного песка не только уменьшается степень его водонасыщения в целом, но и меняется его влажность по глубине.

По мере осушения песка в результате перехода категории влаги из капиллярно-пленочной в капиллярно-стыковую энергия связи воды с твердой минеральной поверхностью грунта увеличивается, Далее процесс дегидратации постепенно захватывает категории воды, все больше энергетически связанные с минеральной поверхностью, и интенсивность испарения по мере дальнейшего осушения грунта закономерно снижается, приближаясь в итоге к нулю [2].

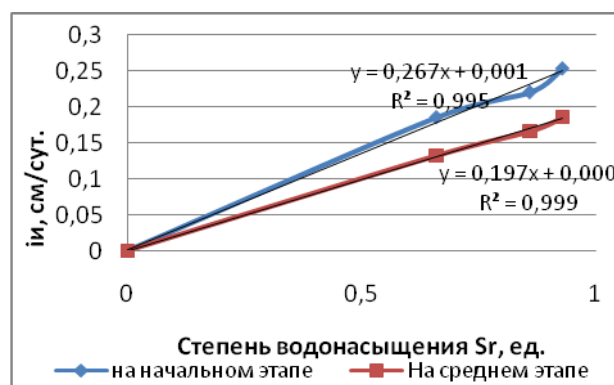
Зависимость $i=f(S_r)$, показанная на рис.3, имеет на разных этапах испарения линейный вид.

A1



A3

A2



A4

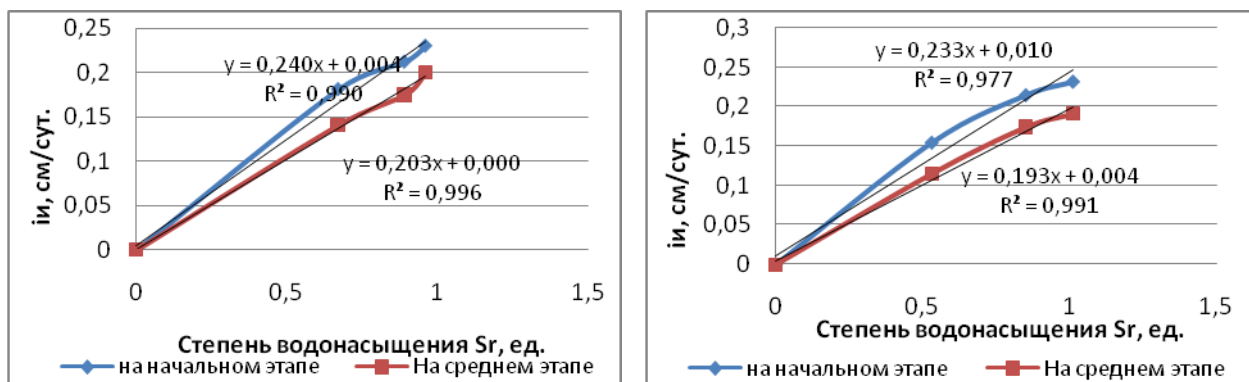


Рис.3. Зависимость интенсивности испарения влаги из модельных материалов на начальном и среднем этапах испарения от степени его водонасыщения:

A1-песок:суглинок=(100:0)%; **A2**-песок:суглинок=(70:30)%;

A3-песок:суглинок=(30:70)%; **A4**-песок:суглинок=(0:100)%)

На основе результатов проведенных опытов установлено:

1. Интенсивность испарения влаги из грунтов (модельных материалов) зависит от начальной степени его водонасыщения (S_r) и закономерно снижается по мере уменьшения их начальной степени водонасыщения.
2. Интенсивность испарения в нестационарных условиях, снижаясь во времени, закономерно уменьшается в ряду песок>песок:суглинок = (70:30)% >песок:суглинок = (30:70)%> суглинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамаюнов Н.И., Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Механизм переноса влаги при испарении ее из капиллярно-пористых тел. // Исследование процессов обмена энергией и веществом в системе почва-растение-воздух. –Л.: Изд-во «Наука», 1972. –С. 45-50.
2. Королев В.А., Ахромеева Т.П., Федяева Е.А. Закономерности термовлагопереноса в ненасыщенных дисперсных грунтах. // Инженерная геология. -1990. -№3. –С.16-29.
3. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. –М.: Изд-во «Наука», 1967. -584 с.
4. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного плотно. –М.: Транспорт, 1992. -240 с.