

ГИДРАВЛИКА

Ж. А. АЧОЯН

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ГИДРОДИНАМИКИ МАССООБМЕНА  
В ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

Статья посвящена проблеме освоения земель содового засоления методом химической мелiorации, применительно к условиям Араратской равнины.

Засоленные земли Араратской равнины успешно осваиваются способом капитальных промывок 1%-ым раствором серной кислоты и порошка железного купороса на фоне закрытого горизонтального и вертикального дренажей. Однако, до настоящего времени одним из неразрешимых вопросов остается определение промывной нормы воды.

Задача определения этой нормы нами решалась при помощи натуральных экспериментов на фоне закрытого горизонтального дренажа опытно-дренажного опорного пункта АрмНИИВПиГ. Исходными параметрами для определения промывной нормы воды являются воднорастворимые и поглощенные ( $\text{Na}+\text{K}$ ), поскольку они взяты в качестве оценочного критерия опреснения содовых солонцов-солончаков, а также количество профильтровавшейся воды в процессе промывки.

Для определения действительного значения количества инфильтрующейся воды в почвогрунтах при промывке, у каждой из опорных точек солевой съемки был установлен замерный бак и бак-испаритель. Замерные железные баки без поддона ( $1 \times 1 \times 0,8 \text{ м}^3$ ) устанавливались способом вдавливания в грунт на глубину 0,3—0,4 м, не нарушая его плотности. Бак-испаритель имел те же размеры, что и мерные баки. Все баки оснащались измерительными приспособлениями.

Промывная норма определяется с помощью графической зависимости  $C$  (содержание токсических солей в метровой толще почвогрунта в  $\text{мг-экв}$ ) от  $N$  (количество воды, нетто, в  $\text{тыс. м}^3/\text{га}$ ).

Одна из таких зависимостей, выведенная для всех точек солевой съемки при промывке, показана на рис. 1.

При заданных нормативных значениях поглощенных и воднорастворимых ( $\text{Na}+\text{K}$ )—4,5 и 1,5  $\text{мг-экв}$ , из кривых рис. 1 нетрудно определить промывную норму.

Графическое определение промывной нормы воды для двух видов грунтов (средне- и тяжелосуглинистых) показывает, что она для водно-

растворимых (Na+K) в 2—3 раза больше нормы для поглощенных (Na+K), поэтому в качестве расчетной берется та норма, которая необходима для доведения воднорастворимых (Na+K) до их порога токсичности. В дальнейшем в расчетах приводится содержание воднорастворимых (Na+K), определенных пламеннофотометрическим методом.

Обобщенные результаты графических определений промывной нормы для средне- и тяжелосуглинистых грунтов приведены на

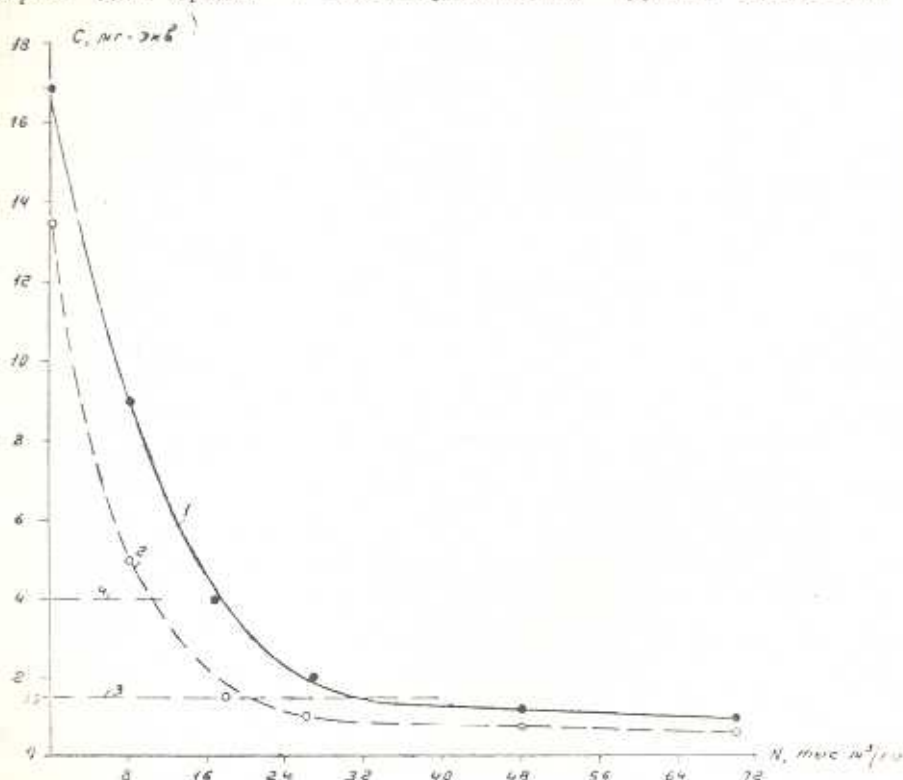


Рис. 1. Кривые для определения промывной нормы метрового слоя содово-засоленных почв при химическом методе промывки: 1—воднорастворимый (Na+K); 2—поглощенный (Na+K); 3 и 4—величины токсических уровней по воднорастворимым и поглощенным (Na+K), соответственно.

рис. 2, откуда для указанных грунтов при любом исходном содержании солей можно определить эту норму с точностью 0—10 %.

Кривые, представленные на рис. 2, можно аппроксимировать уравнением

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 1 - e^{-aN^b}, \quad (1)$$

которое после преобразования принимает вид:

$$N^b = \frac{2,3}{a} \lg \frac{C_0}{C}, \quad (2)$$

где  $N$ —промывная норма  $m$ ;  $C_0$ ,  $C$ —исходное содержание воднорастворимых ( $Na+K$ ) и их допустимое значение в промываемой почве в любых единицах их измерения (в данном случае,  $mg-экв$ );  $a$ —коэффициент пропорциональности,  $1/m$ .

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяются по натурным опытам путем подбора. При этом, коэффициент  $a$  постоянный для любых грунтов и его численное значение равно 1,23. Величина коэффициента  $b$  для среднесуглинистых грунтов составляет 0,62, а для тяжелосуглинистых

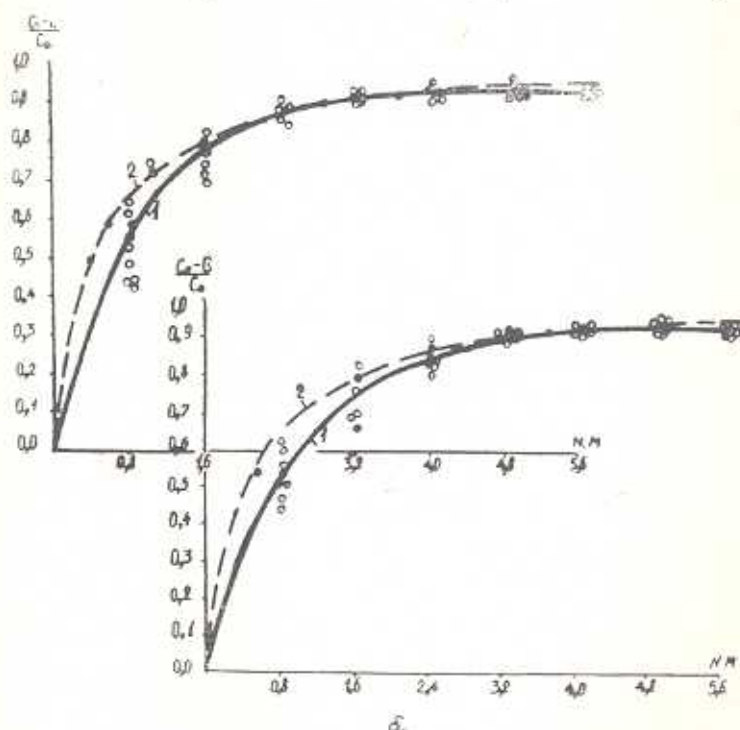


Рис. 2. Универсальные кривые для определения промывной нормы метрового слоя содово-засоленных почв при химическом методе промывки: а—для среднесуглинистых грунтов; б — для тяжелосуглинистых грунтов. Кривые: 1 — экспериментальная; 2 — расчетная.

грунтов—0,57. Предварительные расчеты показывают, что значение  $b$  для глинистых грунтов равно 0,4—0,5.

С учетом сказанного, формулу (2) для удобства расчетов можно представить в следующем виде:

$$N = \sqrt{1,87 \lg \frac{C_0}{C}}. \quad (3)$$

Распространить зависимость (3) для расчета промывных норм в грунтах, значительно отличившихся от исследованных, нет основания из-за отсутствия соответствующих натурных испытаний. Для разрешения этого вопроса рекомендуется при приближенных расчетах пользоваться методами физико-химической гидродинамики.



При неравномерном распределении солей по почвенному разрезу (это характерно для условий Араратской равнины), в методическом указании [1] рекомендуется при  $\beta = 0$  пользоваться формулой Л. М. Рекса, а при  $\beta \neq 0$  — формулой [2].

Трудности применения этих формул для практических расчетов обусловлены отсутствием численных значений коэффициентов конвективной диффузии  $D$  ( $m^2/сут$ ) и скорости растворения  $\beta \left( \frac{1}{сут} \right)$  для соответствующих грунтов при химическом методе мелиорации содовых солончаков.

Для определения коэффициентов  $D$  и  $\beta$  воспользуемся формулами [1, 3]:

$$D = \frac{v^2 t}{4a^2 m^2}; \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{C(x_1, t_1) - C_1}{C(x_1, t_2) - C_1}, \quad (5)$$

здесь  $v$  — скорость фильтрации в зоне аэрации,  $m/сут$ ;  $m$  — пористость почвогрунта;  $t$  — продолжительность периода,  $сутки$ ;  $C(x_1, t_1)$  и  $C(x_1, t_2)$  — содержание солей в момент времени  $t_1$  и  $t_2$  на рассматриваемой глубине  $\bar{X}$ ;  $a$  — коэффициент, который определяется по формуле:

$$a = \frac{A}{1 - \bar{x}}, \quad (6)$$

где  $\bar{x} = \frac{xm}{vt}$ ;  $A$  — параметр, рассчитываемый по таблице [1] в зависимости от величин  $\bar{C} = \frac{C - C_1}{C_{исх} - C_1}$ ;  $C_{исх}$  — исходное содержание солей (среднее) в расчетном слое  $\bar{X}$ ;  $C$  — содержание солей в конце периода,  $мг-экв$ ;  $C_1$  — минерализация промывных вод,  $мг-экв$ .

Зависимости (4) и (5) выведены из условия равномерного распределения солей по почвенному разрезу и при условии равновесной сорбции. Для удовлетворения этих условий воспользуемся опытными данными, которые получены для верхнего метрового слоя почвы.

Численные значения коэффициентов  $D$  и  $\beta$ , полученных этим методом, внесем в формулу [1] для определения промывной нормы, которая выведена с учетом неравномерности распределения солей по глубине.

Для определения величины параметра  $D$  воспользуемся графиками в координатах  $(C, N)$ , один из которых показан на рис. 1.

Как видно, кривая изменения содержания солей в среднеметровом слое в зависимости от количества поданной воды или времени меняется в значительной степени. Это изменение в первоначальный период промывки происходит интенсивнее (ниспадающая часть кривой условно названа интенсивной стадией солеудаления), а в дальнейшем замедляется, т. е. кривая выполаживается (эта часть условно названа

медленной стадией солеудаления). В качестве расчетного при определении  $D$  берется период интенсивной стадии солеудаления из такого соображения, что в этом интервале времени относительная ошибка в замерах параметров, имеющая место в лабораторных и полевых условиях, на величину  $D$  существенного влияния не оказывает. Поскольку разность содержания солей в этом интервале времени достаточно велика, то полученные значения  $D$  будут достоверными. Обычно так поступают при определении гидрогеологических параметров [4 и др.].

Для определения коэффициента  $\beta$  поступим наоборот, т. е. воспользуемся второй частью кривой в координатах  $(C, N)$ , так как процессы обменной реакции или растворения происходят после кислотообразования и опорожнения пор почвогрунтов сильно минерализованными водами.

В силу сказанного, по формулам (4) и (5) определены коэффициенты  $D$  и  $\beta$  для двух типов грунтов (средне- и тяжелосуглинистые), являющиеся средними для верхнего метрового слоя. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Наименование грунта	№ опытов	$V$	$t$	$C_{\text{век}}$	$C$	$a$	$D, \frac{\text{м}^2}{\text{сутки}}$
Суглинок средний	18	0,058	42	16,2	2	1,07	0,15
	19	0,056	42	14	1,5	1,16	0,12
	12	0,055	47	22,6	2,2	1,16	0,13
	14	0,056	38	13,8	1,7	1,08	0,126
	6	0,057	44	15,6	2	1,04	0,163
	20	0,06	37	14	1,8	1,07	0,14
	27	0,055	44	10,4	1,5	1	0,164
	38	0,046	48	16	2	1,08	0,107
	34	0,047	49	12,6	1,6	1,08	0,114
	35	0,046	51	15	1,8	1,087	0,119
Среднее значение		0,054					0,133
Суглинок тяжелый	3	0,041	58	20,3	2,2	1,14	0,082
	4	0,039	56	17,4	2,2	1,1	0,077
	10	0,04	62	18,6	2,5	1,02	0,104
	11	0,04	59	23	2,5	1,14	0,08
	17	0,042	77	25,8	2,5	1,12	0,119
	1	0,04	80	30,6	2,3	1,24	0,09
	2	0,037	81	19,8	2,1	1,1	0,101
	5	0,038	78	16,2	1,8	1,09	0,103
	9	0,038	78	14,5	1,6	1,04	0,113
	26	0,035	77	18,2	2,2	1,06	0,091
	32	0,035	74	18	2,3	1,04	0,091
	Среднее значение		0,039				

Примечание:  $C_1 = 0,22 \text{ мг-экв}$ ;  $m = 0,45$  для средне- и  $m = 0,48$  для тяжелосуглинистых грунтов.

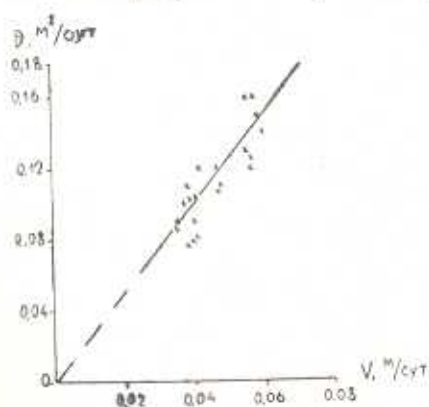
Как видно из табл. 1, величины коэффициента конвективной диффузии для одной и той же породы меняются в небольших пределах и составляют для среднесуглинистых грунтов 0,11—0,16  $\text{м}^2/\text{сут}$ ,

а для тяжелосуглинистых  $-0,08-0,12$  м<sup>2</sup>/сут, т. е. значения параметра  $D$  без допущения больших ошибок можно принимать постоянными для данного грунта.

Таблица 2

Наименование грунта	№ опытов	$t_1$	$t_2$	$C(\bar{X}, t_1)$	$C(X, t_2)$	$\beta$
Суглинок средний	18	42	120	2	0,5	0,0188
	19	42	120	1,5	0,43	0,023
	12	47	120	2,2	0,80	0,0168
	14	38	120	1,7	0,33	0,0316
	6	44	120	2	0,4	0,03
	20	37	120	1,8	0,6	0,017
	27	44	120	1,5	0,6	0,016
	33	48	120	2	0,56	0,023
	34	49	120	1,6	0,66	0,016
	35	54	120	1,8	0,58	0,022
Среднее значение						0,022
Суглинок тяжелый	3	58	120	2,2	0,7	0,023
	4	56	120	2,2	0,4	0,0375
	10	62	120	2,5	1	0,0185
	11	59	130	2,5	1	0,0175
	17	77	120	2	0,8	0,0261
	1	80	120	2,3	0,8	0,032
	2	81	120	2,1	1,1	0,026
	5	78	120	1,8	0,5	0,0411
	9	78	120	1,6	0,6	0,03
	26	77	120	2,2	1	0,024
	32	74	110	2,3	1,1	0,024
Среднее значение						0,028

Из этих расчетов выявлена линейная зависимость между коэффициентом конвективной диффузии и скоростью фильтрации (рис. 3).

Рис. 3. Зависимость  $D$  от  $V$ .

Это свидетельствует о том, что величина коэффициента конвективной диффузии, в основном, определяется скоростью фильтрации.



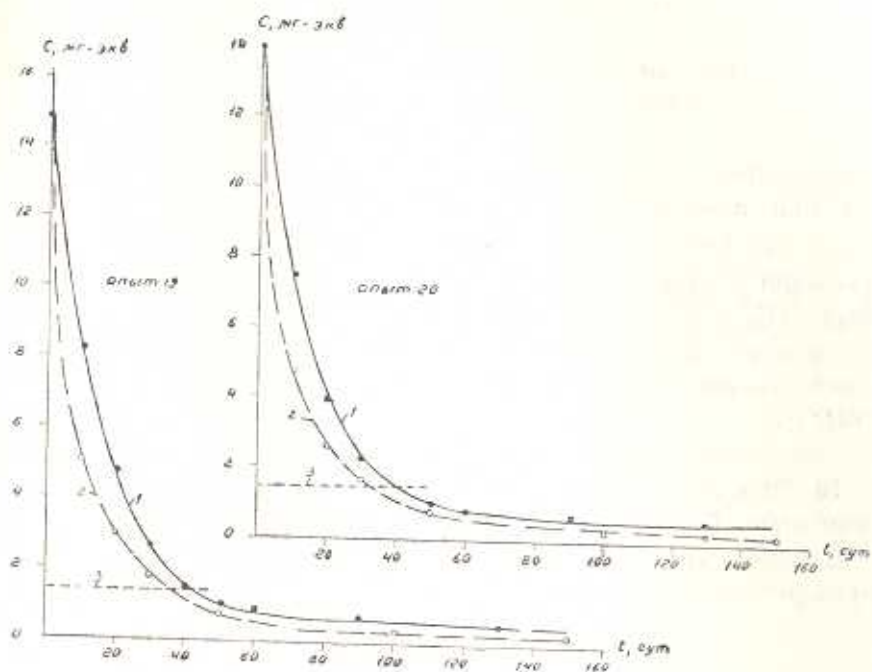


Рис. 4. Изменение содержания солей в метровом слое во времени в среднесуглинистых грунтах содового засоления при химическом методе промывки. 1—экспериментальная; 2—расчетная; 3—величина токсического уровня по  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  воднорастворимых.

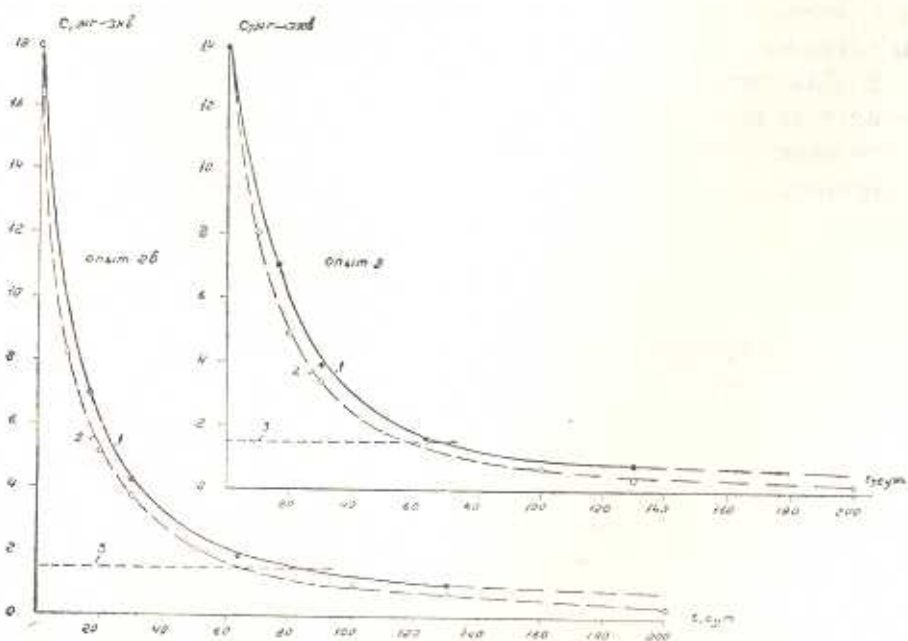


Рис. 5. То же для тяжелосуглинистых грунтов (обозначения аналогичны рис. 4).

Значения  $\beta$ , рассчитанные согласно формуле (5), показывают, что они для данного вида грунта меняются незначительно и могут быть приняты постоянными (табл. 2). Наблюдаемое некоторое различие значений  $\beta$  для средне- и тяжелосуглинистых грунтов, по-видимому, обусловлено тем, что с утяжелением грунта солевые источники твердой фазы возрастают, которые и приводят к повышению количества промывной воды для рассоления этих грунтов.

Подставляя полученные данные в формулу [1] и, задаваясь рядом значений  $t$ , строятся кривые изменения содержания солей в координатах  $(C, t)$  и определяется время  $t_0$ , при котором содержание солей достигает допустимого уровня (рис. 4 и 5). После этого при известной скорости фильтрации  $V$  определяют промывную норму  $N=10000 V t_0$ .

В результате расчетов получено, что промывная норма для опытов 3, 19, 20 и 26 (рис. 4, 5), соответственно, равна 29,6, 24,5, 24,1, и 30,6 тыс. м<sup>3</sup>/га. Сопоставляя результаты расчетов с данными натуре (рис. 2), видим, что расчеты по определению промывной нормы дают удовлетворительные результаты.

### В ы в о д ы

1. Для опреснения метрового слоя почвы при химическом методе промывки содовых солончаков, на основании натурных полупроизводственных исследований выведена эмпирическая формула, применительно к условиям Араратской равнины, которая для суглинистых и, частично, глинистых грунтов дает удовлетворительные результаты (относительная ошибка не превышает 5—10 %).

2. Для расчета промывных норм в грунтах, значительно отличившихся от исследованных, рекомендуется пользоваться методами физико-химической гидродинамики.

АрмНИИВПиг

Поступило 9.VII.1977.

Ժ. Ա. ԱՉՅԱՆ

ՀԻՌՐՈԳԻՆԱՄԻՐՈՒՄԻՄ ՄԱՍՍԱՓՈՆԱՆԱԿՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ  
ՀԱՐՅԵՐԻ ՄԱՍԻՆ ՖԻՏՐԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

Ա մ ֆ ո ֆ ո ս մ

Հողվածում արված է աղուտ-ալկալի հողերի մեկ մետրանոց շերտի քիմիական եղանակով աղաղեքծման համար պահանջվելիք ջրի նորմայի որոշումը:

Փորձնական ավյալների հիման վրա ստացված է էմպիրիկ բանաձև, որը թույլ է տալիս 5—10%-ի ճշտությամբ որոշելու լվացման նորման կավալագային և մասամբ կավային հողերի համար:



*Ուսումնասիրված հողերից մեխանիկական կաղձով խիստ տարբերվող հողատեսակներում լվացման նորմալի որոշման համար խորհուրդ է տրվում օգտվել ֆիզիկա-քիմիական հիդրոգինամիկայի մեթոդներից:*

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Инструкция по проектированию оросительных систем. Часть VIII. М., «Союзвод-проект», 1975.
2. Рекс Л. М. Влияние неравномерности начального засоления на перераспределение солей в почвогрунте. «Гидротехника и мелiorация», № 10, 1968.
3. Барон В. А. К вопросу прогноза солевого режима почвогрунта. В кн.: «Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель». М., «Колос», 1971.
4. Анимян А. К. Дренаж при освоении содовых солончаков. М., «Колос», 1971.