

УДК 631

И. А. ИВАНОВ, М. В. ПЕТРОВА, О. Г. УСЬЯРОВ

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛЕЙ  
ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ  
СОПРОТИВЛЕНИЕ ГИПСОВЫХ БЛОКОВ**

Изучено влияние состава и концентрации солей почвенного раствора на электрическое сопротивление гипсовых преобразователей, предназначенных для определения влажности почвы. Показано, что удельная электропроводность смеси электролитов существенно зависит от ионной силы раствора и остается практически постоянной при вариации его состава. Теоретически обоснован верхний предел концентрации растворов, при котором сохраняется буферность гипсовых блоков по отношению к присутствующим в почве солям. Оценена перспектива использования гипсовых преобразователей для влагометрии средне- и сильнозасоленных почв.

Различные молекулярно растворимые органические и минеральные соединения почвы находятся в процессе постоянного превращения и обмена. Они могут адсорбироваться на почвенных частицах, выпадать в осадок, переходить из нерастворимого состояния в растворимое, реагировать друг с другом с образованием комплексных и летучих соединений. Эти превращения, как правило, сопровождаются конвективным и диффузионным переносом веществ и существенно зависят от биологической активности в пахотном и подпахотном горизонтах. Вследствие изменчивости солевого состава и концентрации почвенного раствора при постоянной влажности почвы, очевидно, должно варьировать электрическое сопротивление гипсовых преобразователей, которые устанавливают в почву сельскохозяйственного массива для получения информации и почвенной влажности [1, 8, 13, 14].

Ввиду заметной растворимости гипса существует мнение, что гипсовые блоки обладают определенной буферностью по отношению к присутствующим в почве солям [5], т. е. их электрическое сопротивление практически не зависит от ионной силы почвенного раствора. Однако, как можно показать, это заключение справедливо лишь для практически незасоленных почв при малой дозе внесения удобрений. Так, если принять, согласно данным работы [10], максимальное количество солей, содержащееся в 100 г абсолютно сухой слабозасоленной почвы, равным 0,3 г, то при предельной полевой влагоемкости, равной примерно 24%, концентрация порового раствора составит около 12 г/л. Поскольку растворимость гипса в диапазоне температур от 0 до 30° не превышает 2,1 г/л, то, по-видимому, нельзя не учитывать возможное изменение концентрации порового раствора при измерениях влажности с помощью гипсовых блоков. Подобный учет, очевидно, необходим для средне- и сильнозасоленных почв.

Другой, не менее важный вопрос, требующий подробного рассмотрения, заключается в определении вклада, который вносят соли различной природы в электропроводность гипсовых блоков при их переменной влажности. При решении данной проблемы возникают две основные задачи. Во-первых, следует установить, насколько сильно удельная электропроводность порового раствора в случае смеси электролитов корре-

лирует с содержанием того или иного компонента в системе. Поскольку удельная электропроводность большинства солей, присутствующих в почве, известна [12], решение этой задачи не вызывает принципиальных затруднений. Во-вторых, необходимо выяснить, учитывая сосуществование элементов стыковой и пленочной влаги в дисперсных системах [9], одинаково ли распределение жидкости в гипсе при влажностях, отличных от полной влагоемкости, при вариации концентрации и природы ионов почвенного раствора. Если условие постоянства распределения влаги выполняется, то возникает возможность ввести соответствующие поправки на электропроводность порового раствора и ее изменения в процессе обезвоживания преобразователя с целью определения его влажности на основании данных об электрическом сопротивлении.

Ниже изложены результаты исследования влияния концентрации и состава раствора на электропроводность гипсовых блоков, высушенных на воздухе, а также оценена перспектива их использования для влагометрии средне- и сильнозасоленных почв.

1. В первом приближении для удельной электропроводности  $\bar{\kappa}$  при фиксированной ионной силе  $I$  (г·эква/л) раствора имеем

$$\bar{\kappa} = m_1 \kappa_1 + m_2 \kappa_2 + \dots + m_k \kappa_k, \quad (1)$$

где  $m_i = C_{0i}/I$ ;  $\sum_{i=1}^k m_i = 1$ ,  $C_{0i}$  — концентрация электролита  $i$ -го сорта,

г·эква/л;  $\kappa_i$  — его удельная электропроводность при  $m_i = 1$ . При такой форме записи суммарной величины удельной электропроводности  $\bar{\kappa}$  как функции удельных электропроводностей компонентов предполагается, что значение  $\kappa_i$  прямо пропорционально первой степени концентрации ионов. Это предположение, как известно [11], с достаточной степенью точности выполняется для сравнительно узкого диапазона изменения содержания солей в растворе.

Анализ данных, приведенных в работе [12], позволяет заключить, что природа электролитов оказывает слабое влияние на величину  $\bar{\kappa}$  (при произвольной ионной силе), поскольку значения  $\kappa_i$  не выходят за пределы  $\kappa \pm 3s_{\kappa_i}$ , где  $s_{\kappa_i}$  — среднее квадратическое отклонение выборки  $\kappa_i$ . Следовательно, отношения  $\kappa_i/\kappa_0$  можно рассматривать принадлежащими к одной генеральной совокупности, т. е. полагать, что

$$\bar{\kappa} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \kappa_i, \quad (2)$$

и считать удельную электропроводность порового раствора, содержащего смесь солей ( $n \geq 5$ , где  $n$  — число компонентов), практически не зависящей от состава. Аналогичные выводы были получены в работе [7].

Вместе с тем содержание солей в поровом растворе почвы в том случае, когда преобразователь не обладает буферностью, должно оказывать сильное влияние на его электрическое сопротивление и, как можно показать на основании результатов, представленных в табл. 1,

$$\bar{\kappa} = \kappa_0 + 7,1 \cdot 10^{-2} (I)^{0,94}, \quad (3)$$

где  $\kappa_0$  — удельная электропроводность воды, равная  $\sim 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Рассмотрим теперь вопрос об электропроводности растворов в порах гипсового блока с учетом растворимости сульфата кальция. На рис. 1 приведена зависимость отношения  $(\bar{\kappa} + \kappa_c)/\kappa_c$  ( $\kappa_c$  — удельная электропроводность насыщенного раствора  $\text{CaSO}_4$ , составляющая  $1,88 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  при  $18^\circ$  [12]) от ионной силы почвенного раствора. На первый взгляд кажется, что растворимость сульфата кальция обеспечи-

Таблица 1

Статистические характеристики относительной удельной электропроводности  $\bar{\kappa}/\kappa_0$  ( $\kappa_0$  — удельная электропроводность дистиллированной воды) растворов, содержащих различные соли (по данным [12])

Ионная сила $I$ , г-экв/л	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1	0,5
$\bar{\kappa}/\kappa_0 = \bar{\kappa}$	27,4	54	252	480	2200	4100	16 500
$s_{\bar{\kappa}}$	3,5	7,1	42	90	510	1010	5 430
$C_V = (s_{\bar{\kappa}}/\bar{\kappa}) \cdot 100\%$	12,5	13,1	16,4	18,7	23,6	24,7	33,0
Ошибка определения $\bar{\kappa}$ 95% обеспеченности $m_{95\%}$	1,3	2,4	13,8	27,9	258,3	336,7	1 842

Примечание.  $m_{95\%} = t_{p, n-1} \cdot m$ , где  $m$  — среднеквадратическая ошибка среднего,  $m = s/\sqrt{n}$ ;  $t_{p, n-1}$  — критерий Стьюдента, для обеспеченности  $p = 95\%$ ,  $t_{p, n-1} = 1,96$ ;  $n = 36$  ( $n$  — объем выборки); остальные обозначения в тексте.

вадет необходимый солевой фон — буферность, позволяющую измерять влажность с помощью гипсовых блоков при ионной силе до  $1 \cdot 10^{-3}$  г-экв/л. К такому выводу пришла также Дионисьева [5], которая считает предельно допустимой концентрацией NaCl, не сказывающейся на определяемых величинах влажности, содержание соли в растворе около

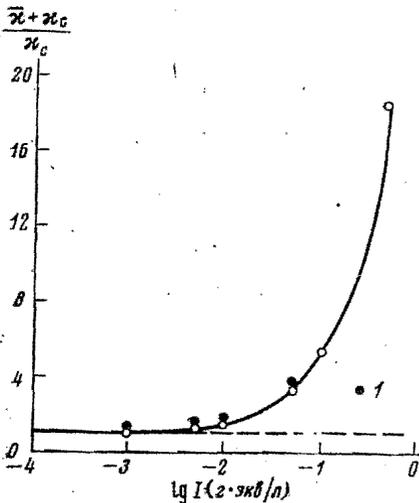


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость величины отношения  $(\bar{\kappa} + \kappa_c)/\kappa_c$  от логарифма ионной силы раствора легкорастворимых солей ( $I$  — экспериментальные точки для раствора NaCl)

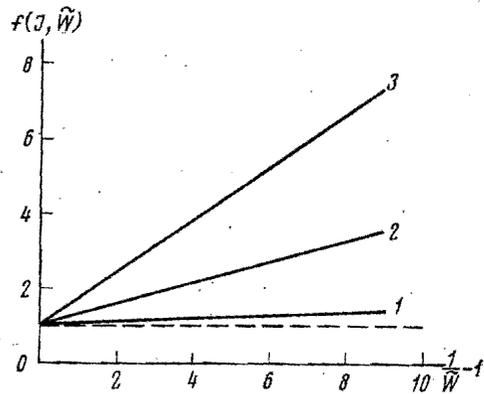


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость значений функции  $f(I, W)$  от величины, обратной приведенной влажности, для различной ионной силы легкорастворимых солей при  $W = 1$ :  
1 —  $1 \cdot 10^{-3}$ ; 2 —  $1 \cdot 10^{-2}$ ; 3 —  $1 \cdot 10^{-1}$  г-экв/л

0,6%, или  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  г-экв/л. Следует, однако, отметить, что этот вывод справедлив только для узкого диапазона вариации влажности преобразователя и соответственно почвы, так как при уменьшении влажности концентрация порового раствора может существенно увеличиваться. Например, при снижении относительной влажности преобразователя  $W = W_0/W_n$  ( $W_0$  — объем пор, занятых влагой;  $W_n$  — суммарный объем пор) при сушке на воздухе в 10 раз происходит соответствующее десятикратное возрастание ионной силы легкорастворимых солей и повышение электропроводности порового раствора на 40% (рис. 2). Более сильное

влияние такого концентрирования электролитов на электрическое сопротивление гипсовых блоков следует ожидать в случае высокого содержания ионов в дисперсионной среде.

По аналогии с формулой (3) зависимость удельной электропроводности солей в насыщенном растворе  $\text{CaSO}_4$  от их ионной силы представим в виде:

$$\bar{\kappa} = \kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I)^{0,94}, \quad (4)$$

тогда изменение величины  $\bar{\kappa}$  при вариации влажности гипсовых блоков описывается уравнением

$$\bar{\kappa} = \kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I/\bar{W})^{0,94}. \quad (5)$$

Рассмотрим функцию

$$f(I, \bar{W}) = \frac{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I/\bar{W})^{0,94}}{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I)^{0,94}}. \quad (6)$$

Для низкоконцентрированных поровых растворов при  $I < 1 \cdot 10^{-4}$  экв/л с достаточной степенью точности можно принять  $f(I, \bar{W}) = 1$ . По мере увеличения содержания ионов в дисперсионной среде для  $\bar{W} < 1$  значения  $f(I, \bar{W}) > 1$ , причем зависимость  $f(I, \bar{W})$  от  $1/\bar{W}$  в первом приближении линейна (рис. 2):

$$f(I, \bar{W}) = \frac{\kappa_c}{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2}} + \frac{7,1 \cdot 10^{-2} I}{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} I} \cdot \frac{I}{\bar{W}}. \quad (7)$$

Введенная таким образом функция  $f(I, \bar{W})$  позволяет теоретически учесть изменение солевого фона почвенного раствора.

В первом приближении, пренебрегая краевыми эффектами, поверхностной проводимостью и явлениями поляризации [6], сопротивление  $R_0$  гипсового преобразователя с коаксиальной системой электродов при  $\bar{W} = 1$  можно вычислить из выражения

$$R_0 = \frac{k \ln(r_1/r_2)}{2\pi H \Pi (\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I)^{0,94})}, \quad (8)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  — радиусы внешнего и внутреннего электродов,  $H$  — их высота,  $\Pi$  — пористость гипса,  $k$  — коэффициент извилистости пор.

Соответственно для отношения сопротивлений гипсовых преобразователей  $R_0'$  и  $R_0''$ , измеренных при двух различных ионных силах раствора  $I_1$  и  $I_2$ , имеем

$$\frac{R_0'}{R_0''} = \frac{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I_2)^{0,94}}{\kappa_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I_1)^{0,94}}, \quad (9)$$

и, в частности, при  $I_1 = 0$

$$\frac{R_0'}{R_0''} = \frac{\kappa_c + \bar{\kappa}}{\kappa_c} = f(I, \bar{W}) \Big|_{\bar{W}=1}. \quad (10)$$

На рис. 1 наряду с теоретическими значениями  $(\kappa_c + \bar{\kappa})/\kappa_c$  представлена функция  $f(I, \bar{W})|_{\bar{W}=1}$  для раствора  $\text{NaCl}$ . Сопоставление вычисленной и экспериментально найденной зависимостей позволяет сделать вывод о хорошем согласии между ними, что указывает на обоснованность предположения о слабом влиянии поверхностной проводимости на сопротивление гипсовых преобразователей и подтверждает справедливость формулы (8).

2. Увеличение сопротивления гипсовых блоков при высушивании происходит главным образом вследствие уменьшения токопроводящего сечения, тогда как определяемые значения  $R$  должны зависеть от рассмотренного выше явления концентрирования порового раствора. Следует, однако, отметить, что, по-видимому, трудно ожидать существования прямой пропорциональной зависимости между количеством жидкости, содержащейся в преобразователе, и его электрическим сопротивлением во всем диапазоне вариации величин  $\bar{W}$ , поскольку распределение влаги в капиллярно-пористых материалах в условиях трехфазной системы, как правило, характеризуется сильной неоднородностью. В связи с важностью этого вопроса при обсуждении зависимости  $R(\bar{W})$  остановимся на нем более подробно.

Известно [9], что в дисперсных материалах, таких, как почва, гипс и т. д., влага может находиться в виде манжет, образующихся вблизи стыков частиц, и в пленочном состоянии. Соотношение между элементами стыковой и пленочной жидкости зависит от величины влажности, размера частиц, их взаимного расположения, а также от расклинивающего давления, действующего в тонких слоях. Обычно пленки имеют толщину порядка нескольких десятков ангстрем и в основном лимитируют электропроводность системы [3]. Стыковая влага, представленная сравнительно крупными, изолированными друг от друга включениями, не вносит заметного вклада в электрическое сопротивление влажного типа.

Одна из основных особенностей смачивающих пленок заключается в их полиморфизме [4], который обнаруживается в явлении скачкообразного изменения толщины жидкого слоя при достижении критической величины расклинивающего давления [9]. Очевидно, при таком переходе, наступающем в определенном диапазоне влажности  $\bar{W}$ , происходит перераспределение влаги в капиллярно-пористом материале, причем отношение количества пленочной влаги к суммарному влагосодержанию резко уменьшается.

К сожалению, в настоящее время не представляется возможным теоретически рассчитать соотношение между элементами пленочной и стыковой влаги для реального пористого тела, состоящего из частиц различного размера и формы. Поэтому для оценки вклада жидкости, находящейся в пленочном состоянии, в электрическое сопротивление системы введем функцию  $\beta(\bar{W})$ , принимая, что значение  $\beta(\bar{W})$  равно отношению количества жидкости, содержащейся в тонких слоях и манжетах. Тогда при  $\bar{W} < 1$  имеем

$$R = \frac{k \ln(r_1/r_2)}{[\alpha_c + 7,1 \cdot 10^{-2} (I/\bar{W})^{0,84}] H \cdot \Pi \cdot \beta(\bar{W})} \quad (11)$$

В связи с тем, что толщина смачивающих пленок при фиксированном расклинивающем давлении и соответственно влажности преобразователя, а также их устойчивость существенно зависят от концентрации и природы электролитов в растворе [2], вид функции  $\beta(\bar{W})$  должен изменяться при вариации состава и содержания солей в почве.

Рассмотрим отношение

$$\frac{R}{R_0} = \frac{1}{f(I, \bar{W}) \beta(\bar{W}) \cdot \bar{W}} \quad (12)$$

При  $I=0$  во всем интервале влажности  $\bar{W}$  от 1 до 0 для гипсовых блоков  $f(I, \bar{W}) \equiv 1$  и

$$\frac{R}{R_0} = \frac{1}{\beta(\bar{W}) \cdot \bar{W}}, \quad (13)$$

т. е. тангенс угла наклона кривой  $R/R_0 = f(1/\bar{W})$  в каждой точке характеризует соотношение между элементами пленочной и стыковой влаги в гипсовом преобразователе.

Как показано на рис. 3 (кривая 1), экспериментально найденная зависимость  $R/R_0 = f(1/\bar{W})$  для  $I=0$  в первом приближении может быть представлена в виде двух прямолинейных отрезков с сильно отличающимися друг от друга угловыми коэффициентами, равными соответственно 4,0 и 7,4. Аналогичные закономерности обнаружены для  $I=0,036$  г. экв/л (рис. 3, кривая 2), а также для ряда других концентраций

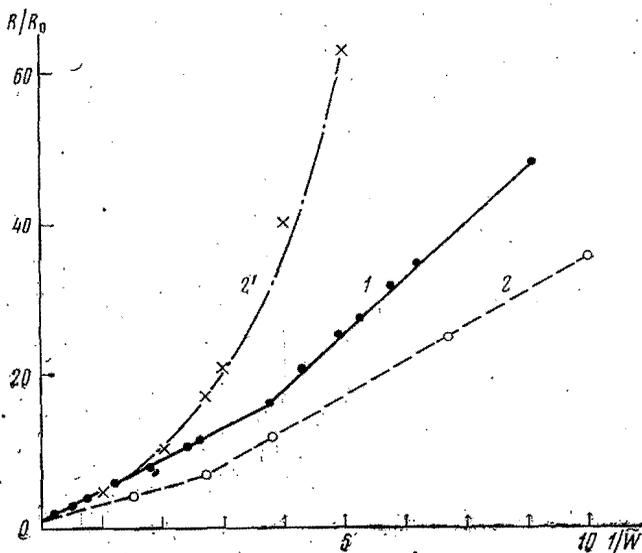


Рис. 3. Зависимость нормированного сопротивления гипсовых блоков, насыщенных дистиллированной водой (кривая 1) и раствором NaCl с концентрацией  $3,6 \cdot 10^{-2}$  г. экв/л (кривая 2) и высушенных на воздухе, от величины, обратной приведенной влажности. Кривая 2' построена путем умножения ординат точек кривой 2 на соответствующие значения функции  $f(I, \bar{W})$

NaCl в растворе. Причем по мере увеличения содержания солей в системе, «критическая» влажность, отвечающая резкому изменению тангенса угла наклона кривой, заметно увеличивалась.

Следует отметить, что нормирование отношения  $R/R_0$  по величине функции  $f(I, \bar{W})$  в соответствии с уравнением (13) не приводит к совпадению кривых, построенных для различных значений  $I$ . Например, для  $I=0,036$  г. экв/л и  $\bar{W} < 0,3$  величины произведения  $(R/R_0) \cdot f(I, \bar{W})$  при любых фиксированных влажностях  $\bar{W}$  оказываются значительно выше (рис. 3, кривая 2'), чем значения  $R/R_0$ , измеренные для случая  $I=0$ . Таким образом, сравнивая сопротивление гипсовых блоков, установленных в почву с изменяющимся уровнем засоленности, необходимо принимать во внимание не только вариацию удельной электропроводности порового раствора, но и изменение соотношения между элементами пленочной и стыковой влаги.

Сравнение кривых 1 и 2' на рис. 3 позволяет также заключить, что в диапазоне влажности  $\bar{W} > 0,3$  использование нормирующей функции является весьма перспективным приемом для оценки вклада растворенных солей в электропроводность гипсовых преобразователей. Поскольку с учетом связи между значениями  $\bar{W}$  и влажностью почвы  $W$  именно этот диапазон обычно наиболее важен для определения норм и сроков

полива, развитый в данной работе метод вычисления функций  $f(I, \bar{W})$  нам представляется достаточно перспективным. Для низких значений влажности  $\bar{W}$  в настоящее время исходя из теоретических и экспериментальных данных изучения устойчивости смачивающих пленок [2, 4], нельзя достаточно точно установить, каким образом концентрация и природа солей сказывается на измеряемом сопротивлении гипсовых блоков. Априори можно лишь предполагать, что точка перегиба на кривой  $R/R_0 = f(1/\bar{W})$  и тангенс угла наклона при  $\bar{W} < 0,3$  существенно зависят от валентности и содержания ионов в почвенном растворе, причем осо-

Таблица 2

Относительная удельная электропроводность растворов солей в порах гипсового блока и оценка ошибок ее определения

Ионная сила $I$ , г-экв/л	$\bar{\kappa} + \kappa_c / \kappa_0$	$\Delta^*$	Ионная сила $I$ , г-экв/л	$\bar{\kappa} + \kappa_c / \kappa_0$	$\Delta^*$
0,0005	967	0,07	0,05	3 100	4,20
0,001	994	0,12	0,1	5 000	3,40
0,005	1192	0,58	0,5	17 800	5,20
0,01	1420	0,99			

\*  $\Delta$  — относительная ошибка определения,  $\Delta = \left( m / \frac{\bar{\kappa} + \kappa_c}{\kappa_0} \right) \cdot 100\%$ .

бенно сильное влияние на прорыв смачивающих пленок следует ожидать от многозарядных анионов и катионов.

Возникает вопрос, нельзя ли контролировать изменение солевого фона в почве, определяя сопротивление гипсовых преобразователей при полной влагоемкости, и тем самым определить возможность его использования для измерения влажности. Для ответа на этот вопрос рассмотрим результаты, приведенные в табл. 2. В связи с тем что  $\kappa_c = \text{const}$ , значение  $m$  среднеквадратической ошибки среднего для отношения  $(\bar{\kappa} + \kappa_c) / \kappa_0$  будет тем же самым, что и для отношения  $\bar{\kappa} / \kappa_0$ . Для относительной удельной электропроводности растворов солей в порах гипсового блока резко уменьшаются коэффициенты вариации  $C_V$  из-за существенного увеличения оценки математического ожидания при сохранении постоянной дисперсии.

Так как погрешность измерения сопротивления  $R_0$  мостовым методом не превышает  $\pm 5\%$ , а величина  $(\bar{\kappa} + \kappa_c) / \kappa_0$  при  $I \leq 1$  г-экв/л определяется с точностью  $\Delta \leq 5\%$ , можно полагать, что суммарная погрешность нахождения сопротивления  $R_0$  с учетом вариации солевого состава не будет превосходить  $\pm 10\%$ . Как следует из данных табл. 2, значение  $\Delta$  возрастает по мере перехода к более концентрированным растворам.

Таким образом, по значению  $R_0$  можно судить о возможности применения гипсовых преобразователей для определения влажности почвы. В том случае, когда сопротивление  $R_0$  при полной влагоемкости отличается менее чем на 10% от сопротивления, измеренного при насыщении преобразователя дистиллированной водой, не требуется введения поправки на солевой фон почвенного раствора. Наоборот, отклонение указанных величин более чем на 10% вызывает необходимость введения в градуировочную зависимость  $R/R_0 = f(1/\bar{W})$  и соответственно в  $R/R_0 = f(1/\bar{W})$  нормирующей функции  $f(I, \bar{W})$ , которая обеспечивает достаточную точность определения влажности  $\bar{W}$  в интервале, зависящем от ионной силы раствора и его состава.

В заключение отметим, что влагоперенос в почве и порах гипсовых блоков, устанавливаемых в почву, может осуществляться как благодаря пленочному течению, так и вследствие переноса влаги в газовой фазе

[9]. В том случае, когда последний поток равен нулю, концентрирования раствора, очевидно, не происходит, т. е.  $f(I, W) \equiv 1$  при любых влажностях. Наоборот, при отсутствии пленочного переноса, что, например, должно иметь место при высоких концентрациях электролитов, полученные оценки влияния солей на сопротивление гипсовых преобразователей справедливы. По-видимому, в реальных условиях наблюдается как перенос жидкости по пару, так и ее течение по пленкам, и поэтому возможность учета содержания солей в поровом растворе при влагометрии средне- и сильнозасоленных почв с помощью гипсовых преобразователей представляется весьма проблематичной.

#### Литература

1. Автоматизация стационарных дождевальных систем в зависимости от влажности почвы и других факторов. Обзорная инф. (Минводхоз), 1972, № 8.
2. Астраханцева Н. П., Усъяров О. Г. Влияние электролита на устойчивость пленок различного размера. В сб. трудов по агрономической физике, вып. 31, Л., Гидрометеониздат, 1973.
3. Астраханцева Н. П., Усъяров О. Г. Изучение поверхностной проводимости в смачивающих пленках растворов электролитов. Коллоидн. ж., 1974, т. 36, № 5.
4. Волкова В. Я., Нерпин С. В., Усъяров О. Г. Влияние электролитов на толщину и устойчивость водных смачивающих пленок. В сб.: Вопросы энерго- и массообмена в системе почва — растение — атмосфера. Л., Гидрометеониздат, 1971.
5. Дионисьева Л. А. Действие солей на сорбционные датчики разного типа. В сб.: Почвенные процессы, почвы и методы. Пушкино-на-Оке, 1973.
6. Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. Киев, «Наукова думка», 1975.
7. Ежова М. В. Исследование возможности орошения подземными минерализованными водами в условиях Северо-Запада РСФСР. Автореф. дис., Минск, 1970.
8. Иванов И. и др. Автоматична система за регулиране на напояването. Механизация и электрификация на селското стопанство, 1972, № 5.
9. Нерпин С. В., Чудновский А. Ф. Физика почвы. «Наука», 1967.
10. Петербургский А. В. Агрохимия и система удобрения. «Колос», 1967.
11. Скорчелетти В. В. Теоретическая электрохимия, Л., Госхимиздат, 1963.
12. Справочник химика, т. 3, М.—Л., «Химия», 1964.
13. Степанов Л. Н., Пяро Э. И. Датчики предполивной влажности почвы. В сб. трудов по агрономической физике, вып. 34, 1973.
14. Vouyoucos G. J. Capillary rise of moisture in soil under field conditions as studied by the electrical resistance of plaster of paris block. Soil Sci., v. 64, 1947.

Почвенный институт им. Н. Пушкирова  
НРБ, София  
Агрофизический научно-исследовательский институт

Дата поступления  
27.X.1976 г.

I. A. IVANOV, M. V. PETROVA, O. G. USYAROV

#### EFFECT OF NATURE AND CONCENTRATION OF SALTS IN SOIL SOLUTION ON ELECTRICAL RESISTANCE OF GYPSUM BLOCKS

The effect of nature and concentration of salts in a soil solution on electrical resistance of gypsum transformers used for determination of soil moisture has been studied. It has been shown that the electrical conductivity of a mixture of electrolytes depends on the ionic force of solution and remains practically constant with the variation of its composition. Theoretical basis has been given for the upper limit of solution concentrations which preserve buffering capacity of gypsum blocks in respect to the salts present in the soil. Arguments in favour of using gypsum transformers for measuring moisture in medium and strongly salt affected soils are presented.