

МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Л. П. ЮДИНА, Г. К. ГАВРИЛОВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИОНОВ Cl, Na И Ca
ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И РАСЧЕТ ИХ
КОНЦЕНТРАЦИЙ**

При исследовании на светлых орошаемых сероземах в зоне Южно-Голоднестепского канала установлена корреляционная зависимость между активностью ионов и их концентрацией. Предложены уравнения для расчета концентраций Cl, Na и Ca-ионов по показателям их активности, полученным экспрессным потенциометрическим методом.

В настоящее время метод потенциометрического определения активности ионов в почвенных растворах, пастах и суспензиях получил широкое распространение [3, 7, 10]. Это связано с тем, что активность, являясь термодинамической величиной, может быть применена при изучении физико-химических свойств почв. Кроме того, данный метод как экспрессный может быть использован для вычисления концентрации ионов по величине активности. Последнее, как известно, имеет большое практическое значение.

Нами проведены исследования на светлых орошаемых сероземах в зоне Южно-Голоднестепского канала. Почвенные образцы отбирали буром послонно в пределах метрового слоя через каждые 25 см и глубже, через 50 см до грунтовой воды, в период цветения и созревания хлопчатника (июль и август 1975 г.). Отобранные образцы анализировали на содержание солей в водной вытяжке (1:5 почва:вода) и почвенных растворах. Почвенные растворы выделяли следующим образом: образцы из верхних горизонтов почв с низкой влажностью увлажняли оросительной водой до 15%, почвенный раствор вытесняли спиртом в трубках высотой 120 см. Из образцов нижних горизонтов с влажностью от 20 до 28% почвенный раствор вытесняли при помощи ручного гидравлического пресса.

Максимальное количество солей в почвах на участках 1 и 2, по данным водной вытяжки (табл. 1), содержится в слое 75—100 см. Выше и ниже этого горизонта сумма солей уменьшается. На участке 3 максимальное количество солей (0,80%) обнаружено в слое 150—200 см. Почва участка 4 слабозасоленная, концентрация и состав солей колеблется по горизонтам в небольших пределах. Максимальное их количество (0,47%) содержится в слое 150—200 см и представлены они в основном CaSO_4 .

Анализ выделенного почвенного раствора в отличие от водной вытяжки позволяет судить о содержании ионов, находящихся в жидкой фазе почвы, приближаясь, таким образом, к естественному состоянию ионов в почвах (табл. 2).

На участках 1 и 2 максимальное количество солей (10,5—14,4 г/л) в почвенных растворах отмечено в слое 0—50 см. Глубже сумма солей

Таблица 1

Состав водных вытяжек

| Глубина, см | мг-экв/100 г почвы | | | | | | | | Сумма солей, % | |
|----------------|--------------------|-----------------|------|-----------------|------------------|------|------|------|-------------------|-------------------|
| | HCO ₃ | NO ₃ | Cl | SO ₄ | сумма анионов | Ca | Mg | Na | | сумма катионов |
| Участок 1 | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,40 | 0,21 | 0,72 | 4,32 | 5,65 | 2,80 | 1,10 | 1,77 | 5,67 | 0,379 |
| 25—50 | 0,44 | 0,07 | 1,04 | 3,40 | 4,95 | 1,90 | 0,80 | 1,86 | 4,56 | 0,321 |
| 50—75 | 0,48 | 0,03 | 0,56 | 3,16 | 4,23 | 2,20 | 0,80 | 0,83 | 3,83 | 0,276 |
| 75—100 | 0,40 | 0,07 | 0,36 | 17,0 | 17,83 | 15,0 | 1,50 | 0,57 | 17,07 | 1,187 |
| 100—150 | 0,36 | 0,04 | 0,24 | 15,0 | 15,64 | 12,4 | 1,30 | 0,41 | 14,11 | 1,025 |
| Участок 2 | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,40 | 2,90 | 0,35 | 0,92 | 4,57 | 2,25 | 1,00 | 0,47 | 3,72 | 0,328 |
| 25—50 | 0,30 | 2,17 | 0,25 | 0,96 | 3,68 | 2,25 | 0,50 | 0,30 | 3,05 | 0,266 |
| 50—75 | 0,30 | 0,25 | 0,25 | 2,68 | 3,48 | 2,75 | 0,25 | 0,49 | 3,49 | 0,240 |
| 75—100 | 0,20 | 0,10 | 0,15 | 11,9 | 12,3 | 9,75 | 1,75 | 0,42 | 11,9 | 0,818 |
| 100—150 | 0,35 | 0,02 | 0,15 | 6,64 | 7,16 | 5,00 | 2,00 | 0,42 | 7,42 | 0,478 |
| Участок 3 | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,47 | 1,18 | 1,90 | 5,60 | 9,77 | 3,75 | 1,75 | 2,56 | 8,06 | 0,631 |
| 25—50 | 0,47 | 0,15 | 0,20 | 1,08 | 1,90 | 0,75 | 0,50 | 0,58 | 1,83 | 0,079 |
| 50—75 | 0,40 | 0,23 | 0,25 | 1,60 | 2,48 | 1,00 | 0,75 | 0,56 | 2,31 | 0,089 |
| 75—100 | 0,37 | 1,18 | 0,27 | 1,84 | 3,64 | 1,75 | 0,75 | 0,72 | 3,22 | 0,165 |
| 100—150 | 0,27 | 1,71 | 0,25 | 9,60 | 11,83 | 9,50 | 1,00 | 0,57 | 11,07 | 0,806 |
| Участок 4 | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,50 | Сл. | 0,20 | 0,84 | 1,54 | 0,75 | 0,25 | 0,53 | 1,53 | 0,108 |
| 25—50 | 0,40 | » | 0,20 | 0,76 | 1,36 | 0,75 | 0,25 | 0,41 | 1,41 | 0,094 |
| 50—75 | 0,40 | » | 0,10 | 0,40 | 0,90 | 0,50 | 0,25 | 0,25 | 1,00 | 0,061 |
| 75—100 | 0,35 | » | 0,05 | 0,60 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 0,31 | 1,06 | 0,078 |
| 100—150 | 0,40 | » | 0,10 | 0,72 | 1,22 | 0,50 | 0,25 | 0,37 | 1,12 | 0,080 |

Примечание. Здесь и в табл. 1 содержание Cl⁻ определено меркурическим методом, SO₄²⁻ — по Айдиняну, NO₃⁻ — по Гриссу, Ca и Mg — трилонометрическим методом, Na — на пламенном фотометре. Следы CO₃ выявлены только в слое 0—50 см на уч. 1.

уменьшается и на глубине 350 см их концентрация в почвенном растворе (7,9 г/л) близка к концентрации ионов в грунтовой воде (8,7 г/л, уч. 2). Максимальное количество солей на участке 3 содержится в слое 0—25 см (17,5 г/л). Содержание их во всех остальных горизонтах колеблется от 5,9 до 3,8 г/л при минерализации грунтовой воды — 3,8 г/л. Повышенное содержание солей в слое 0—25 см обусловлено высоким содержанием в нем Cl⁻ (172,8 мг-экв/л) и Na⁺ (127,2 мг-экв/л), сконцентрировавшихся в месте наиболее интенсивного испарения почвенных растворов. На участке 4 максимальная концентрация почвенного раствора по всему профилю не превышает 3,9 г/л при содержании солей в грунтовой воде, равном 2,9 г/л.

Состав солей в почвенных растворах на участках 3 и 2 неодинаков в пределах одного почвенного профиля. Следовательно, они относятся к разным типам по химизму засоления. Состав солей в верхней части профиля (0—25 см) участка 3 сульфатно-хлоридный, количество Cl⁻ составляет 60—70% от суммы анионов, SO₄²⁻ — 18—20%, NO₃⁻ — 14—16%. На участке 2 в верхней части профиля (0—50 см) отмечено сульфатно-нитратное засоление. Количество NO₃⁻ здесь составляет 67—70% от суммы анионов.

По солевому составу почвенные растворы относятся к сложным системам, в которых, согласно законам термодинамики, определяющую роль в физико-химических процессах взаимодействия с твердой фазой почвы играет не концентрация, а активность ионов. Эта величина, отражающая истинное состояние ионов в растворах, суспензиях и пастах,

Таблица 2

Состав солей в почвенном растворе

| Глубина, см | мг-экв/л | | | | | | | | | | Сумма солей, г/л |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|-----------------|---------------|-------|------|-------|----------------|------------------|
| | CO ₃ | HCO ₃ | NO ₃ | Cl | SO ₄ | сумма анионов | Ca | Mg | Na | сумма катионов | |
| Участок 1 | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,80 | 2,40 | 14,50 | 62,4 | 83,2 | 162,5 | 48,0 | 52,0 | 74,8 | 174,8 | 10,527 |
| 25—50 | 1,20 | 2,40 | 9,65 | 83,0 | 78,4 | 173,4 | 38,0 | 44,0 | 74,8 | 156,8 | 10,420 |
| 50—75 | 0,80 | 1,40 | 4,82 | 34,4 | 59,2 | 99,8 | 36,0 | 28,0 | 25,6 | 89,6 | 6,075 |
| 75—100 | 0,40 | 1,40 | 13,16 | 20,4 | 48,0 | 83,4 | 40,0 | 18,0 | 16,4 | 74,4 | 5,339 |
| 100—150 | 0,40 | 1,20 | 1,71 | 10,6 | 49,6 | 63,1 | 36,0 | 14,0 | 8,80 | 58,8 | 4,021 |
| Участок 2 | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | Нет | 1,80 | 135,8 | 20,0 | 36,0 | 193,6 | 110,0 | 65,0 | 22,0 | 197,0 | 14,444 |
| 25—50 | » | 1,40 | 121,2 | 19,2 | 38,4 | 180,2 | 128,0 | 42,5 | 16,8 | 187,3 | 13,570 |
| 50—75 | » | 3,20 | 36,2 | 18,0 | 40,0 | 97,4 | 57,5 | 22,5 | 17,6 | 97,6 | 6,814 |
| 75—100 | 1,20 | 2,00 | 4,3 | 6,2 | 48,0 | 60,5 | 32,0 | 19,0 | 7,8 | 58,8 | 3,957 |
| 100—150 | 1,20 | 2,00 | 2,6 | 4,2 | 54,0 | 62,8 | 28,0 | 22,0 | 7,8 | 57,8 | 4,025 |
| Участок 3 | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 1,60 | 3,60 | 47,70 | 172,8 | 57,6 | 281,7 | 90,0 | 65,0 | 127,2 | 282,2 | 17,496 |
| 25—50 | 0,80 | 2,40 | 14,20 | 20,0 | 53,6 | 90,2 | 38,0 | 26,0 | 24,0 | 90,0 | 5,923 |
| 50—75 | 0,40 | 1,40 | 8,69 | 9,2 | 40,0 | 59,29 | 30,0 | 18,0 | 14,0 | 62,0 | 4,003 |
| 75—100 | 0,40 | 2,00 | 46,80 | 14,0 | 36,0 | 98,80 | 46,0 | 34,0 | 18,8 | 98,8 | 7,002 |
| 100—150 | 0,40 | 1,60 | 38,60 | 14,4 | 31,2 | 85,8 | 50,0 | 20,0 | 16,0 | 86,0 | 6,101 |
| Участок 4 | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,80 | 2,00 | 1,73 | 13,4 | 44,8 | 61,9 | 26,0 | 12,0 | 19,2 | 57,2 | 3,954 |
| 25—50 | 0,80 | 1,60 | 0,09 | 10,6 | 41,6 | 53,8 | 22,0 | 12,0 | 14,4 | 48,4 | 3,387 |
| 50—75 | 0,40 | 1,40 | 0,09 | 6,2 | 22,4 | 30,1 | 12,0 | 8,0 | 8,4 | 28,4 | 1,912 |
| 75—100 | 0,40 | 1,40 | 0,09 | 6,0 | 22,4 | 29,9 | 12,0 | 6,0 | 8,4 | 26,4 | 1,881 |
| 100—150 | 0,40 | 1,40 | 0,09 | 6,8 | 30,4 | 38,6 | 18,0 | 8,0 | 10,0 | 36,0 | 2,474 |

имеет исключительно важное значение при изучении процессов ионного обмена и для оценки обеспеченности растений элементами питания [4, 5].

Измерение активности ионов проводили со стеклянным Na-электродом, копьевидным и мембранным электродами, селективными на ион Cl, и мембранными Ca-электродами. С использованием комбинированного электрода сравнения (каломельно-хлорсеребряного) фирмы Орион измерение потенциала проводили по упрощенной схеме, т. е. составляли цепь без переноса для всех измерений, не заботясь об устранении диффузионного потенциала. Электродвижущую силу (эдс) составленного таким образом элемента измеряли на иономере 407-А и потенциометрах 601 фирмы Орион и рН-метре 121. Используемые для работы электроды отвечали всем установленным требованиям: а) угол наклона калибровочной кривой был близок к теоретическому — 59 ± 3 мВ при 25° для Na и Cl и 29 ± 3 мВ при 25° для Ca; б) калибровочная кривая была стабильной во времени; в) потенциал электродов устанавливался при измерениях в течение 5 мин.

Поскольку почвы характеризуются сложным химическим составом, для изучения влияния посторонних ионов и проверки качества электродов и измерительной схемы электроды калибровали по серии стандартных чистых и смешанных растворов. Кроме того, были приняты во внимание данные Крупского, Александровой и др. [5, 6] по этому вопросу. Необходимо отметить, что тонкослойный хлорсеребряный электрод на стеклянной основе Долидзе [5] селективен на ион Cl, имеет высокую механическую прочность, что позволяет проводить измерения непосредственно в почве или почвенных пастах. Это относится и к другим используемым электродам, но они, к сожалению, менее удобны в работе.

Таблица 3

Активность и коэффициенты активности ионов

| Глубина, см | Cl | | | | Na | | | | Ca | | | | μ |
|----------------|----------|--------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | a | | f | | a | | f | | a | | f | | |
| | мг-экв/л | эксп. | расч. | мг-экв/л | эксп. | расч. | мг-экв/л | эксп. | расч. | мг-экв/л | эксп. | расч. | |
| Участок 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 51,29 | 62,40 | 0,82 | 0,62 | 41,69 | 74,80 | 0,51 | 0,61 | 15,18 | 48,00 | 0,31 | 0,13 | 0,553 |
| 25—50 | 72,44 | 83,00 | 0,87 | 0,63 | 41,69 | 74,80 | 0,55 | 0,63 | 10,98 | 38,00 | 0,28 | 0,16 | 0,408 |
| 50—75 | 36,31 | 34,40 | 1,05 | 0,67 | 17,38 | 25,60 | 0,67 | 0,67 | 10,00 | 36,00 | 0,27 | 0,20 | 0,281 |
| 75—100 | 18,20 | 20,40 | 0,89 | 0,68 | 7,59 | 16,40 | 0,45 | 0,68 | 17,02 | 40,00 | 0,42 | 0,21 | 0,238 |
| 100—150 | 12,88 | 10,60 | 1,21 | 0,69 | 5,89 | 8,80 | 0,66 | 0,69 | 15,18 | 36,00 | 0,42 | 0,23 | 0,211 |
| Участок 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 12,88 | 20,00 | 0,64 | 0,62 | 13,38 | 22,00 | 0,61 | 0,62 | 60,40 | 110,00 | 0,54 | 0,14 | 0,512 |
| 25—50 | 13,18 | 19,20 | 0,68 | 0,64 | 7,59 | 16,80 | 0,45 | 0,64 | 69,12 | 128,00 | 0,54 | 0,16 | 0,397 |
| 50—75 | 13,18 | 18,00 | 0,78 | 0,67 | 7,59 | 17,60 | 0,43 | 0,67 | 30,28 | 57,50 | 0,53 | 0,20 | 0,283 |
| 75—100 | 6,76 | 6,20 | 1,09 | 0,69 | 4,79 | 7,80 | 0,61 | 0,69 | 15,18 | 32,00 | 0,47 | 0,23 | 0,211 |
| 100—150 | 5,13 | 4,20 | 1,22 | 0,69 | 4,79 | 7,80 | 0,61 | 0,69 | 14,49 | 28,00 | 0,52 | 0,23 | 0,219 |
| Участок 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 100,00 | 172,80 | 0,57 | 0,60 | 91,20 | 127,2 | 0,71 | 0,60 | 30,28 | 90,00 | 0,34 | 0,26 | 0,582 |
| 25—50 | 12,88 | 20,00 | 0,64 | 0,68 | 14,00 | 24,0 | 0,58 | 0,68 | 16,98 | 38,00 | 0,45 | 0,22 | 0,247 |
| 50—75 | 9,33 | 9,20 | 1,01 | 0,70 | 7,94 | 14,0 | 0,56 | 0,70 | 15,18 | 30,00 | 0,51 | 0,22 | 0,193 |
| 70—100 | 13,18 | 14,00 | 0,94 | 0,67 | 11,33 | 18,80 | 0,56 | 0,67 | 17,18 | 46,00 | 0,37 | 0,22 | 0,247 |
| 100—150 | 12,88 | 14,40 | 0,89 | 0,70 | 7,94 | 16,00 | 0,49 | 0,70 | 17,18 | 50,00 | 0,34 | 0,20 | 0,262 |
| Участок 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 13,13 | 13,40 | 0,98 | 0,70 | 8,91 | 19,20 | 0,46 | 0,70 | 10,98 | 26,00 | 0,42 | 0,25 | 0,185 |
| 25—50 | 9,12 | 10,60 | 0,86 | 0,71 | 7,59 | 14,40 | 0,52 | 0,72 | 10,94 | 22,00 | 0,49 | 0,26 | 0,166 |
| 50—75 | 6,76 | 6,20 | 1,09 | 0,76 | 4,79 | 8,40 | 0,57 | 0,76 | 6,94 | 12,00 | 0,57 | 0,34 | 0,094 |
| 75—100 | 6,76 | 6,00 | 1,12 | 0,79 | 4,79 | 8,40 | 0,57 | 0,79 | 6,94 | 12,00 | 0,57 | 0,38 | 0,066 |
| 100—150 | 6,76 | 6,80 | 0,99 | 0,74 | 6,03 | 10,00 | 0,60 | 0,74 | 8,94 | 18,00 | 0,49 | 0,30 | 0,123 |

Так как основную часть определений активности ионов в почвенных растворах проводили в Голодной степи, где температура воздуха колебалась в пределах 20—40°, электроды калибровали 3 раза в день и отсчеты pA (где A один из определяемых ионов) брали соответственно по этим шкалам. Таким образом, исключалось влияние температуры на электродные функции.

Известно, что активность ионов прямо пропорциональна концентрации [4] и рассчитывается по уравнению:

$$a = c \cdot f, \quad (1)$$

где c — концентрация ионов, мг-экв/л; f — коэффициент активности индивидуальных ионов. Коэффициент активности является количественной характеристикой отклонения значений активности от концентрации и функцией общего содержания ионов в растворе.

Характерно, что верхние слои почв (0—50 см) участка 2 и 3 отличаются пониженной активностью ионов Cl (коэффициент активности 0,57—0,68) (табл. 3), что обусловлено не только влиянием высокой концентрации Cl, но и других ионов. Количество солей в почвах этих участков самое высокое (14,4—17,5 г/л). Коэффициент активности для этих же горизонтов почв на участках 1 и 4, где содержание солей меньше, находится в пределах 0,82—0,98. В средней и нижней частях профиля почв активность ионов хлора близка или несколько выше концентрации, определенной меркурометрическим методом. Коэффициент активности во всех случаях больше единицы. По всей вероятности это связано с тем, что данный метод определения концентрации ионов хлора дает несколько заниженные значения по этим величинам.

Коэффициент активности Са более стабилен по горизонтам и в среднем для участков 2, 3, 4 равен 0,50, что указывает на однородное распределение Са-иона в почве на данном участке. На участке 1, за исключением слоя 75—100 см, он равен 0,28. Такое низкое значение коэффициента активности по всей вероятности объясняется высоким содержанием на этом участке сульфат-ионов (50—88,0 мг·экв/л).

Коэффициент активности для Na нестабилен и изменяется по горизонтам на всех участках от 0,41 до 0,65 (табл. 3), причем изменения эти незакономерны. Такие колебания коэффициентов активности Na объясняются широким изменением концентрации ионов в почвенном растворе.

Значения коэффициентов активности могут быть использованы для расчетов концентраций ионов по уравнению (1). Но прежде чем рассчитать концентрацию ионов в почвенном растворе, необходимы сведения о численных значениях коэффициентов активности, которые могут быть определены экспериментально или по уравнению Дебая—Гюккеля [1, 8, 9].

В данной работе приведены коэффициенты активности, рассчитанные по экспериментальным данным и по уравнению Дебая—Гюккеля [4] (табл. 3):

$$-\lg f_i = \frac{Az_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}, \quad (2)$$

где A — константа Дебая—Гюккеля, равная 0,509. Из этого уравнения следует, что коэффициент активности индивидуального иона зависит от общего содержания ионов в растворе и является функцией их ионной силы. Ионная сила раствора характеризует напряженность электрического поля и рассчитывается по уравнению

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_i c_i z_i^2, \quad (3)$$

где c — концентрация каждого иона в растворе, z — валентность иона.

Полученные значения ионных сил для изученных почвенных растворов находятся в пределах 0,200—0,560 г·экв/л, т. е. растворы не являются разбавленными. Поскольку уравнение (2) справедливо для разбавленных растворов, вычисленные значения коэффициентов активности (табл. 3) уже при невысоких значениях ионных сил являются приближенными и значительно отличаются от величин, полученных экспериментально. Исключение составляют коэффициенты активности для Cl и Na на участке 2 (слои 0—50 и 0—25 см соответственно) и Na на участке 1 (слой 50—75 см), где их значения близки между собой.

Полученные приближенные значения коэффициентов активности по уравнению (2) не могут быть использованы для расчета концентраций. Если даже для растворов с низким значением ионной силы они используются, то данный метод все же не является экспрессным, поскольку для расчета ионной силы необходимо знать концентрацию всех ионов в растворе, определение которой, как правило, трудоемко.

В работе сделана попытка найти более простой метод расчета концентрации ионов через активность, полученную экспрессным потенциометрическим методом. Экспериментальные значения по концентрации и активности ионов в почвенных растворах (выборка равна 62) обрабатывали на ЭВМ «Мир-4».

Полученные данные указывают на то, что между активностью и концентрацией существует тесная корреляционная связь, которая выражается уравнением вида: $y = ax + b$.

Коэффициенты корреляции для Cl и Na равны соответственно 0,97 и 0,98, для Са — 0,94. Данные коэффициенты корреляции можно интерпре-

тировать так, что на $0,97^2=0,94$, $0,98^2=0,96$ и $0,94^2=0,88$ варьирование активности линейно связано с варьированием концентрации, а на 6, 4 и 12% соответственно варьирование свойств осуществляется взаимно независимо [2].

На основе количественной связи между активностью и концентрацией были получены уравнения вида:

для Cl-иона

$$c_{Cl} = 1,433a + (-4,897) \quad (4)$$

$$a_{Cl} = 0,649c + 4,138,$$

для Na-иона

$$c_{Na} = 1,529a + 2,613$$

$$a_{Na} = 0,630c + (-1,279), \quad (4a)$$

для Ca-иона

$$c_{Ca} = 1,937a + 3,316$$

$$a_{Ca} = 0,454c + 0,479. \quad (46)$$

Полученные уравнения могут быть использованы при расчете концентраций Cl, Na и Ca по их активностям. Данные уравнения проверены на почвенных растворах, сумма солей которых изменялась от 2,0 до 17,5 г/л.

Выводы

1. Концентрация ионов Cl, Na и Ca в почвенных растворах может быть определена по активности ионов с применением уравнений, рассчитанных по экспериментальным значениям активности и концентрации при условии, что сумма солей в почвенном растворе изменяется от 2,0 до 17,5 г/л.

2. Потенциометрический метод определения активностей ионов Cl, Na и Ca является экспрессным, равновесный потенциал устанавливается быстро и отсчеты можно получить в течение нескольких минут.

Литература

1. Горемыкин В. Э., Крюков П. А. Потенциометрический метод определения ионов натрия при помощи стеклянного электрода с натриевой функцией. Изв. АН СССР. Хим. науки, № 11, 1957.
2. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. Изв. МГУ, 1972.
3. Зырин Н. Г., Орлов Д. С. Методы определения активности ионов Na в почвах и почвенных растворах. Вестн. МГУ. Сер. почвовед., № 1, 1958.
4. Измайлов Н. А. Электрохимия растворов. Изв. Харьковск. ун-та, 1959.
5. Крупский Н. К., Борискова Ж. А., Александрова А. М., Дюлдзе В. А., Соруханова Э. П. Электрометрические методы определения активности ионов в почвах. Агрохимия, 1973, № 3.
6. Крупский Н. К., Александрова А. М., Губарева Д. Н. К вопросу об определении активности ионов кальция в почвах. Агрохимия и почвоведение, вып. 6, 1967.
7. Орлов Д. С. Активность ионов и солей в почвах и их значение для теории почвообразования и плодородия почв. Научн. докл. высш. школы. Биол. науки, 1967, № 10.
8. Neff L. W. Use of a modification of the Debye-Hückel equation to calculate activity coefficients from measured activities in electrolyte solutions. Analytical Chemistry, v. 42, № 13, 1970.

9. *Oster J. D., Mcheal B. L.* Computation of soil solution composition variation with water content for desaturated soils. *Soil Sci. of Amer. Proc.*, v. 35, № 3, 1971.
10. *Riseman M.* Specific ion electrodes — versatile new analytical tools. *Water and Sewage Works*, v. 117, № 9, 1970.

Почвенный институт
им. В. В. Докучаева

Дата поступления
20.VII.1976 г.

L. P. YUDINA, G. K. GAVRILOVA

**DETERMINATION OF Cl, Na, AND Ca IONS' ACTIVITY
AND CONCENTRATIONS BY THE POTENTIOMETRIC METHOD**

In the zone of Southern-Golodnaya Steppe canal a correlation has been found between ion activity and their concentration in irrigated light serozems.

Equations have been derived for the calculation of Cl, Na and Ca ions' concentrations according to their activity indices obtained by the express potentiometric method.
