

УДК 631.416.7+546.42]:631.445.24:631.816

## НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБМЕННЫХ КАЛЬЦИЯ И СТРОНЦИЯ ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

А. А. ШАЙМУХАМЕТОВА, Н. В. СОКОЛОВА, Д. В. ВАСИЛЬЕВА

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В условиях интенсивной химизации земледелия важное значение приобретает совершенствование системы контроля за накоплением в почве и растительной продукции токсичных элементов, попадающих в почву с удобрениями. К таким элементам относится стронций, переходящий в фосфорные удобрения из исходного сырья. В простом суперфосфате, изготовленном из хибинского апатита, в среднем содержится 1,2 % стронция, в двойном — 0,5 % [9]. Стронций, внесенный в почву с удобрениями, легко сорбируется почвенным поглощающим комплексом и поступает в растения. При поглощении растениями обменных катионов из почв с повышенным содержанием стронция наблюдается дискриминация кальция, в результате нарушается отношение кальция к стронцию. Снижение значений этого соотношения в среде может стать причиной заболеваний животных и человека [4].

Характер поступления стронция в почву и растения зависит от многих факторов, в частности от типа почвы, уровня ее окультуренности, доз, видов удобрений и химических мелиорантов, способов их внесения, биологических особенностей растений.

Исследования, проведенные на легких дерново-подзолистых почвах Люберецкого опытного поля, показали, что простой суперфосфат (Рс) является источником поступления стронция в почву и растения не только при многолетнем систематическом применении, но и в длительном последствии. Сравнительно мало стронция поглощают растения при использовании в качестве фосфорного удобрения двойного суперфосфата, еще меньше — фосфоритной муки, аммофоса и диаммофоса [8, 9].

Реакция растений на стронций, внесенный в почву с удобрениями, зависит от обеспеченности их кальцием и другими элементами минерального питания. Известь и калийные удобрения уменьшают поступление стронция в растения, азотные — повышают. Отмечается тормозящее действие органических удобрений на поступление стронция в растения [1, 3, 8, 9, 11, 13].

Влияние отдельных факторов окультуривания и их суммарное воздействие на почву и урожай наиболее ярко проявляются в длительных опытах. Длительное систематическое наложение удобрений приводит к изменению химических и физико-химических свойств не только перегнойно-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистой почвы, но и более глубоких горизонтов. Поэтому изучение только пахотного слоя почвы в длительных опытах не всегда правильно отражает интенсивность исследуемого процесса и его количественную характеристику. Мы поставили задачу изучить влияние длительного систематического применения минеральных удобрений, известкования и унавоживания на характер накопления и распределения обменных стронция и кальция по профилю легкой дерново-подзолистой почвы.

## Объект и методика

Исследования проводили в длительном опыте Тимирязевской академии, заложенном в 1912 г. на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве. Схема опыта, задачи и основные результаты освещены в работе [6].

Образцы почв отбирали в 1980 г. с поля бессменной ржи через каждые 20 см до глубины 1 м по известкованному и известкованному фонам в следующих вариантах: 1 — без удобрений; 2 — NPK; 3 — NPK+навоз. Растительные образцы озимой ржи в фазу начала выхода в трубку брали в 1980 и 1981 гг. в тех же вариантах. С 1912 по 1980 г. на соответ-

ствующие делянки опыта с  $P_0$  внесено примерно 220 кг стронция на 1 га.

Стронций и кальций в вытяжках из почв и растений определяли атомно-абсорбционным методом. Обменные катионы ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) извлекали из почв 1-молярным раствором  $CH_3COONH_4$ . Формы кислотности ( $pH$ ,  $H_{обм}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ) определяли стандартными методами в 1-молярной  $KCl$  вытяжке [7]. Емкость катионного обмена вычисляли по сумме катионов, для определения углерода использовали метод Тюрина. Кальций и стронций из свежего растительного материала экстрагировали 2% раствором  $CH_3COOH$  [5].

## Результаты

Под влиянием длительного применения удобрений созданы почвы, резко различающиеся по степени окультуренности и продуктивности [6]. В значительной степени изменились такие важные показатели по-

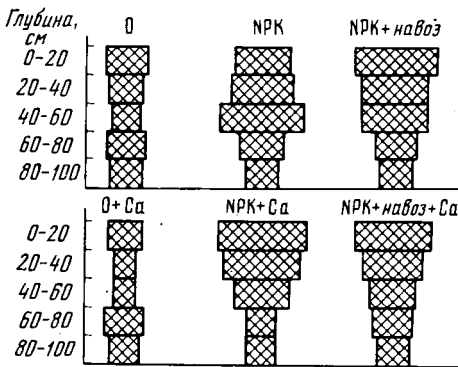


Рис. 1. Содержание обменного кальция в метровом слое почвы.

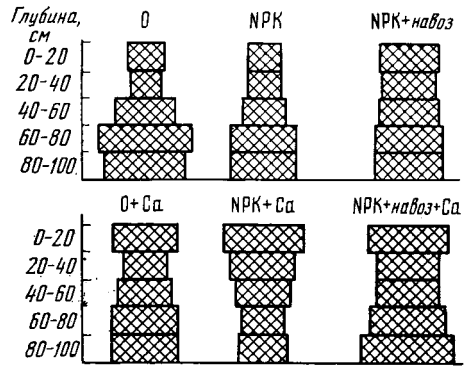


Рис. 2. Содержание обменного стронция в метровом слое почвы.

ченного плодородия, как гумусированность, кислотность и поглощательная способность, что сказалось на распределении обменного кальция и стронция по профилю почв (табл. 1, рис. 1 и 2).

В неудобренных почвах содержание обменного кальция с глубиной увеличивается, что связано с вымыванием его из пахотного слоя и накоплением в иллювиальном горизонте [10].

При систематическом внесении минеральных удобрений сохраняется кислая реакция почвы и не изменяется характер распределения обменного кальция по профилю. Однако содержание кальция во всех слоях до глубины 1 м в этом случае ниже, чем на неудобренной делянке, что можно объяснить более интенсивным выносом кальция урожаями озимой ржи в варианте с NPK.

При совместном применении минеральных удобрений и навоза корнеобитаемый слой почвы равномерно обогащается обменным кальцием.

Внесение извести приводит к обогащению почвы обменным кальцием, при этом в результате нейтрализации почвенной кислотности и ослабления процесса подзолообразования изменяется характер распределения его по профилю: кальций закрепляется в гумусо-аккумулятивных горизонтах, вследствие чего процесс перемещения его в глубь профиля становится менее выраженным. Особенно ярко проявляется

## Химические и физико-химические свойства почв

| Глубина, см                          | Общий углерод С, % | рН <sub>сол</sub> | Емкость катионного обмена, мг·экв/100 г |         |                     | Са:Sr (атомное отношение) |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|---|---------|---------------------|---------------------------|
|                                      |                    |                   | всего                                   | в т. ч. |                     |                           |
|                                      |                    |                   |   | Ca      | Sr·10 <sup>-2</sup> |                           |
| Б е з и з в е с т и<br>Без удобрений |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 0,97               | 4,35              | 5,15                                    | 3,45    | 1,82                | 190                       |
| 20—40                                | 0,68               | 4,33              | 4,60                                    | 3,15    | 1,39                | 227                       |
| 40—60                                | 0,28               | 4,42              | 7,67                                    | 5,70    | 1,23                | 463                       |
| 60—80                                | 0,26               | 4,10              | 11,67                                   | 8,40    | 1,60                | 525                       |
| 80—100                               | 0,24               | 4,52              | 10,73                                   | 7,40    | 1,30                | 569                       |
| 0—100                                | 0,49               |                   | 7,96                                    | 5,62    | 1,47                | 382                       |
| NPK                                  |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 0,88               | 4,37              | 4,67                                    | 2,85    | 2,24                | 127                       |
| 20—40                                | 0,80               | 4,25              | 4,46                                    | 2,80    | 2,51                | 112                       |
| 40—60                                | 0,24               | 4,52              | 5,77                                    | 4,25    | 3,47                | 122                       |
| 60—80                                | 0,12               | 4,14              | 9,04                                    | 6,15    | 1,73                | 356                       |
| 80—100                               | 0,10               | 4,05              | 9,14                                    | 6,25    | 1,46                | 428                       |
| 0—100                                | 0,43               |                   | 6,62                                    | 4,46    | 2,28                | 196                       |
| NPK + навоз                          |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 1,40               | 5,62              | 7,85                                    | 5,50    | 3,33                | 165                       |
| 20—40                                | 1,24               | 5,73              | 7,42                                    | 5,20    | 2,78                | 187                       |
| 40—60                                | 0,28               | 5,10              | 7,55                                    | 5,55    | 2,65                | 209                       |
| 60—80                                | 0,14               | 4,05              | 9,11                                    | 5,90    | 1,60                | 369                       |
| 80—100                               | 0,11               | 3,92              | 10,18                                   | 6,25    | 1,46                | 428                       |
| 0—100                                | 0,63               |                   | 8,42                                    | 5,68    | 2,36                | 241                       |
| П о и з в е с т и<br>Без удобрений   |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 0,99               | 6,27              | 8,48                                    | 6,00    | 1,46                | 411                       |
| 20—40                                | 0,66               | 6,17              | 6,07                                    | 4,25    | 0,89                | 477                       |
| 40—60                                | 0,31               | 5,87              | 6,76                                    | 4,80    | 0,89                | 539                       |
| 60—80                                | 0,22               | 4,38              | 12,30                                   | 8,90    | 1,64                | 543                       |
| 80—100                               | 0,11               | 4,52              | 11,54                                   | 8,10    | 1,46                | 555                       |
| 0—100                                | 0,46               |                   | 9,03                                    | 6,01    | 1,27                | 473                       |
| NPK                                  |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 1,19               | 6,27              | 10,36                                   | 7,55    | 3,74                | 202                       |
| 20—40                                | 0,90               | 6,39              | 8,27                                    | 5,90    | 3,20                | 184                       |
| 40—60                                | 0,31               | 6,02              | 7,37                                    | 5,15    | 2,37                | 217                       |
| 60—80                                | 0,11               | 4,46              | 6,28                                    | 4,20    | 1,05                | 400                       |
| 80—100                               | 0,11               | 4,32              | 6,93                                    | 4,55    | 1,05                | 433                       |
| 0—100                                | 0,52               |                   | 7,84                                    | 5,47    | 2,28                | 240                       |
| NPK + навоз                          |                    |                   |   |         |                     |                           |
| 0—20                                 | 1,32               | 5,62              | 10,15                                   | 7,50    | 3,20                | 234                       |
| 20—40                                | 0,81               | 5,73              | 7,43                                    | 5,40    | 2,51                | 215                       |
| 40—60                                | 0,20               | 5,10              | 8,05                                    | 5,65    | 1,73                | 327                       |
| 60—80                                | 0,19               | 4,05              | 10,46                                   | 7,15    | 1,60                | 447                       |
| 80—100                               | 0,19               | 3,92              | 12,35                                   | 8,30    | 2,00                | 415                       |
| 0—100                                | 0,54               |                   | 9,69                                    | 6,80    | 2,21                | 308                       |

действие извести при одностороннем минеральном типе окультуривания почв.

Содержание обменного стронция в пахотном слое неудобренной делянки длительного опыта составило 0,35 % емкости обмена этих почв и равно  $1,82 \cdot 10^{-2}$  мг·экв на 100 г (табл. 1, рис. 2). Резкой разницы в абсолютном содержании его в различных слоях почвы нет, однако следует отметить более высокую аккумуляцию обменного стронция в пахотном слое и на глубине залегания иллювиального горизонта — в слое 60—80 см.

При длительном систематическом применении суперфосфата содержание обменного стронция увеличивалось в почвах до глубины 60 см. В нижележащих слоях оно было примерно таким же, как в неудобренных почвах. В почвах с кислой реакцией при внесении в течение 68 лет только минеральных удобрений максимальное накопление обменного стронция наблюдалось в слое 40—60 см. Так, в пахотном слое почвы, удобренной NPK, по сравнению с контрольной (неудобренной) содержание обменного стронция увеличилось в 1,2 раза, в слое 20—40 и 40—60 см — соответственно в 1,8 и 2,8 раза. Повышение кислотности почвы при внесении минеральных удобрений, очевидно, приводит к вымыванию стронция из пахотного слоя почвы.

В вариантах, где NPK вносят совместно с навозом, обменный стронций более интенсивно накапливается в верхнем слое почвы. Большой аккумуляции обменного стронция в пахотном слое по сравнению с лежащими ниже слоями способствует также известкование. Однако при внесении NPK на унавоженных и известкованных участках стронций в значительных количествах накапливается не только в пахотном, но и в подпахотных горизонтах до глубины 60 см.

В корнеобитаемом слое почвы (0—100 см) во всех исследуемых вариантах опыта содержание обменного стронция под влиянием длительного систематического применения  $P_c$  увеличилось в среднем в 1,6 раза.

Отношение Ca : Sr в пахотном слое неудобренной почвы равно 190, что совпадает со значением этого показателя для легких дерново-подзолистых почв Люберецкого опытного поля [9]. В глубь профиля данное соотношение существенно расширяется, что можно объяснить, во-первых, более высоким содержанием кальция в результате его вымывания из пахотного слоя почв с кислой реакцией и, во-вторых, более интенсивным накоплением стронция по сравнению с кальцием в верхних гумусо-аккумулятивных горизонтах. Последнее обстоятельство, очевидно, характерно для окультуренных почв с благоприятными физико-химическими свойствами.

Вследствие обогащения почв обменным стронцием при длительном применении  $P_c$  на известкованных и известкованных почвах в вариантах с NPK и NPK+навоз отношение Ca : Sr в корнеобитаемом слое уже соответственно в 2 и 1,6 раза, чем на неудобренных участках. Наиболее заметные изменения произошли в почвах до глубины 60 см, т. е. в слоях, где стронций накапливался в больших количествах под влиянием суперфосфата.

При систематическом внесении NPK по известкованному фону в пахотном слое почвы отношение Ca : Sr поддерживается примерно на том же уровне, что и в неудобренных почвах. И только при систематическом применении NPK в сочетании с навозом и известью оно несколько шире. Необходимо отметить, что в почвах после 68-летнего систематического внесения суперфосфата в составе NPK даже на известкованном фоне соотношение кальция и стронция шире такого соотношения, которое приводится для почв эндемических районов [8].

Поступление стронция в растения в большей мере зависит от уровня окультуренности почв, чем поступление кальция. Несмотря на то, что содержание обменного стронция в корнеобитаемом слое удобренных почв разных вариантов опыта было примерно одинаковым, поскольку основным источником дополнительного его поступления в почву является  $P_c$ , его содержание в вегетативных органах озимой ржи и отношение Ca : Sr значительно колебались (табл. 2). Поступление стронция в растения при внесении минеральных удобрений по известкованному фону было в 1,5 раза ниже, чем по неизвесткованному, при совместном внесении NPK, навоза и извести — в 2,5 раза ниже.

Содержание кальция и стронция в вегетативной массе озимой ржи в фазу начала выхода в трубку (мг·экв на 100 г воздушно-сухого вещества)

| Вариант опыта | Ca    | Sr    | Ca:Sr | КД*  |
|---------------|-------|-------|-------|------|
| Без извести   |       |       |       |      |
| Без удобрений | 11,96 | 0,047 | 254   | 0,66 |
| НРК           | 11,96 | 0,103 | 111   | 0,57 |
| НРК + навоз   | 11,50 | 0,062 | 185   | 0,77 |
| По извести    |       |       |       |      |
| Без удобрений | 12,68 | 0,029 | 437   | 0,92 |
| НРК           | 12,07 | 0,068 | 178   | 0,74 |
| НРК + навоз   | 13,55 | 0,041 | 330   | 1,07 |

\* В системе почва — растение.

Для оценки перемещения стронция в системе почва — растение используется коэффициент дискриминации (КД), который рассчитывается из соотношений Ca : Sr в звене-акцепторе (растение) и Ca : Sr в звене-доноре (почва). Если  $KD < 1$ , то происходит дискриминация кальция по отношению к стронцию, если  $KD > 1$ , стронций поглощается растением в меньшей степени, чем кальций. Естественно, при  $KD$ , равном 1, наступает равновесие в звеньях биологической цепи [2, 12]. Наши исследования свидетельствуют о том (табл. 2), что в кислых малобуферных дерново-подзолистых почвах стронций поглощается растениями более интенсивно, чем кальций ( $KD = 0,66$ ). Даже в неудобренных почвах примерное равновесие наступает только при их известковании ( $KD = 0,92$ ). При обогащении почв стронцием в результате систематического внесения  $P_c$  в составе НРК дискриминация кальция не наблюдалась только в том случае, когда НРК применяли совместно с навозом и известью ( $KD = 1,07$ ).

Длительное систематическое применение органических и минеральных удобрений и периодическое известкование способствуют повышению окультуренности нечерноземных почв и тем самым, очевидно, увеличению прочности сорбции обменного стронция почвенным поглощающим комплексом, что приводит к менее интенсивному его поступлению в растения.

### Выводы

1. В результате 68-летнего систематического внесения  $P_c$  в составе НРК содержание обменного стронция в корнеобитаемом слое почв увеличилось в 1,6 раза по сравнению с его уровнем в неудобренных почвах. Обменный стронций, внесенный с  $P_c$ , в основном накапливался в слое до глубины 60 см.

2. Накопление обменного стронция было примерно одинаковым при внесении только НРК и при совместном применении НРК, навоза и извести.

3. На легких дерново-подзолистых почвах длительного опыта наиболее благоприятные условия для поступления кальция в растения и относительная дискриминация стронция наблюдались лишь при совместном внесении органических и минеральных удобрений и известковании почв.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ананян В. Л., Саркисян Г. А., Арарарян Л. А. Влияние удобрений на накопление стабильного стронция растениями горных лугов Армении. — Агротехника. 1981, № 2, с. 125—130. — 2. Гольцов В. Ф., Алексахин Р. М. К вопросу

о сравнительном поведении в почвах и поступлении в сельскохозяйственные растения стронция и кальция. — Почвоведение, 1969, № 12, с. 40—47. — 3. Ильина Г. В., Рыдкий С. Г., Яновская Ф. Г. Поступление стабильного стронция в растения в зависимости от некоторых элементов питания. — Агрехимия, 1966, № 2, с. 83—92. — 4. Ковальский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. — 5. Магницкий К. Диагностика потребности растений в удобрениях. М.: Моск. рабочий, 1972. — 6. Научные основы интенсивного земледелия в Нечерноземной зоне. / Под ред. Б. А. Доспехова. М.: Колос, 1976. — 7. Методы агрохимических анализов почв. Определение рН, обменной кислотности, обменного (подвижного) алюминия, кальция, магния, аммония, марганца и содержания нитратов в почвах по методу ЦИНАО. ОСТ 46 49—76. М., 1977. — 8. Шугаров Ю. А. Содержание

обменного стронция в почве при использовании суперфосфата и поступление его в бобовые и злаковые травы. — Агрехимия, 1971, № 6, с. 94—102. — 9. Шугаров Ю. А. Поглощение почвой стабильного стронция из суперфосфата и поступление его в озимую рожь. — Агрехимия, 1970, № 11, с. 112—121. — 10. Шаймухаметова А. А., Базилинская М. В., Афанасьева В. К. Вымывание органических и минеральных веществ из пахотного слоя дерново-подзолистой почвы при систематическом применении удобрений. — Докл. ТСХА, 1972, вып. 180, ч. II, с. 73—76. — 11. Юдинцева Е. В., Гулякин И. В. Агрехимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968. — 12. Comar C. L., Wasserman R. H., Nold M. M. — Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 1956, vol. 92, N 4. — 13. Paasikallio A. — Annales Agriculturae Fennicae, 1979, vol. 18, N 3, p. 174—181.

*Статья поступила 13 августа 1981 г.*

#### SUMMARY

In a long-term field experiment, the amount of exchangeable Sr in the root layer of soddy-podzolic light loams became 1.6 times higher after application of superphosphate in NPK in comparison with its amount in unfertilized soils. Sr was mainly accumulated up to the depth of 60 cm. Distribution of exchangeable Sr and Ca in the soil profile and the nature of their getting into winter rye were different in the versions with NPK and under application of NPK in combination with manure and lime, less Sr being accumulated in plants in the latter case.