

<https://doi.org/10.3176/oil.1999.1.08>

СОПОСТАВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЫ ЭСТОНИИ ПРИ ИХ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ И САМОПРОИЗВОЛЬНОМ ИЗВЕСТКОВАНИИ

TRANSITION OF ELEMENTS INTO ESTONIAN SOILS AT FORCED AND SPONTANEOUS LIMING

Л. И. ПЕЦ

Таллинн, Эстония

L. PETS

Tallinn, Estonia

The quantitative transition of elements into Estonian soils at forced and spontaneous liming has been compared on the basis of the average loads of elements present in fly ashes and cement dust.

Летучая сланцевая зола дымовых труб электростанций Нарвы на северо-востоке и цементная пыль дымовых труб цементного завода г. Кунда на севере являются основными антропогенными выбросами в атмосферу Эстонии.

На суше в зависимости от времени года они осаждаются на растительный или снежный покров и далее поступают в почву. Поскольку эти антропогенные выбросы представляют собой известковые удобрения, попадая в почву названных районов, они вызывают процесс её самопроизвольного известкования.

Данные о количественном содержании макро- и микроэлементов в антропогенных выбросах [1–6] и математическая модель осаждения золы и пыли на территории Эстонии [7, 8] дали возможность количественно оценить как поступление отдельных элементов золы и пыли в водные бассейны Эстонии – Чудское озеро и Финский залив, так и их распределение при осаждении по сухопутной территории севера и северо-востока республики [9]. Последнее адекватно с количественной характеристикой самопроизвольного известкования почв указанных районов.

Кислые почвы Эстонии нуждаются в принудительном известковании. Для этого применяется летучая сланцевая зола циклонов котельных агрегатов электростанций и цементная пыль со шнеков цементного завода г. Кунда. Содержание в них макро- и

микроэлементов охарактеризовано количественно в работах [1–6]. Известкование осуществлялось по тщательно разработанным нормам: рациональная годовая потребность в сланцевой золе оценивалась в 1 т/га, а цементной пыли – на 10 % больше [10].

По количеству внесённого в почву известкового удобрения и содержанию в нём макро- и микроэлементов можно рассчитать их поступление в почву за различные периоды времени. Данные по поступлению элементов в почвы за три десятилетия приведены в работе [11].

Во избежание лишних транспортных перевозок экономически целесообразно проводить принудительное известкование в районе г. Нарва летучей сланцевой золой циклонов, а в районе г. Кунда – цементной пылью со шнеков.

Цель данной работы – выявить ежегодное поступление элементов в почву в районах осаждения антропогенных выбросов при принудительном и при самопроизвольном известковании, а также вклад каждого в общий процесс известкования в виде коэффициента K – коэффициента обогащения/обеднения.

Расчёты проведены по экономически целесообразным вариантам. Результаты для летучих сланцевых зол даны в таблицах 1–4, для цементной пыли – в таблицах 5–7. Все величины приведены к размерностям килограмм на гектар в год (таблица 1) и грамм на гектар в год (таблицы 2–7). География местонахождения районов самопроизвольного осаждения антропогенных выбросов с указанием расположения соответствующих терм осаждения кальция (80, 60, 40, 20, 10 и 5) приведена на рисунке [8, рисунки 7 и 6]. С 1973–1979 годов к 1992 году они претерпели значительные изменения.

В таблицах 1–7 приведены данные по ежегодному поступлению элементов в почву и коэффициенты обогащения/обеднения K . Принудительное известкование обозначено как «поступление (1)», самопроизвольное осаждение элементов с летучей сланцевой золой и тонкой фракцией цементной пыли дымовых труб электростанции и цементного завода на территорию Эстонии – как «поступление (2)».

В эпицентре самопроизвольного известкования (терм 80) осаждение основного элемента известкования – кальция составляет 90 % от требуемой нормы. Это означает, что по кальцию в этом районе доля принудительного известкования может быть уменьшена до 10 % от нормы. Чем дальше от эпицентра самопроизвольного известкования, тем выше должна быть доля принудительного известкования, и она должна возрасти соответственно до 30, 50, 80 % в районах терм 60, 40 и 20 (рисунок). За пределами района терма 20 влияние самопроизвольного известкования очень малó.

Наряду с макроэлементами, коэффициенты обогащения/обеднения определены и для большого числа микроэлементов (таблицы 2–5).

Таблица 1. Соотношение K поступления в почвы Эстонии макроэлементов при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании летучими сланцевыми золами (кг/га год)

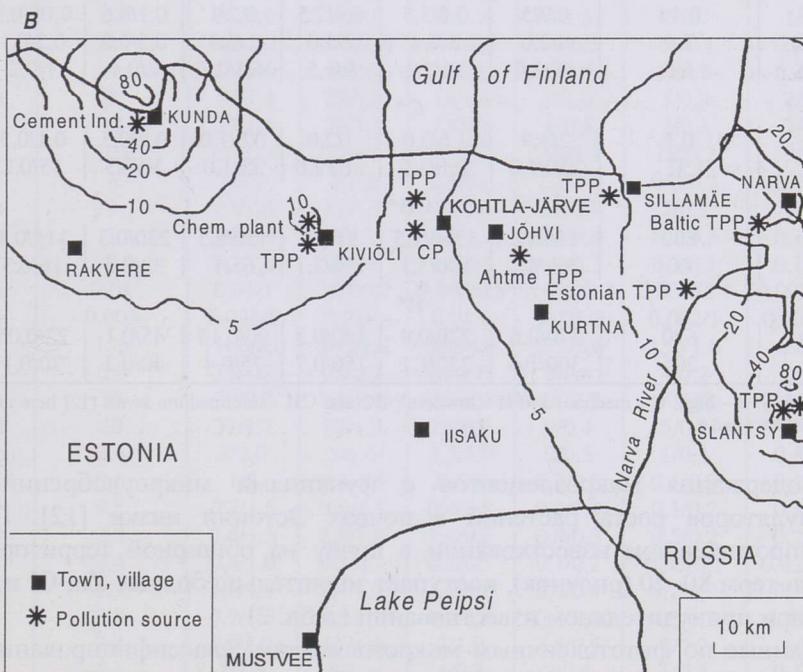
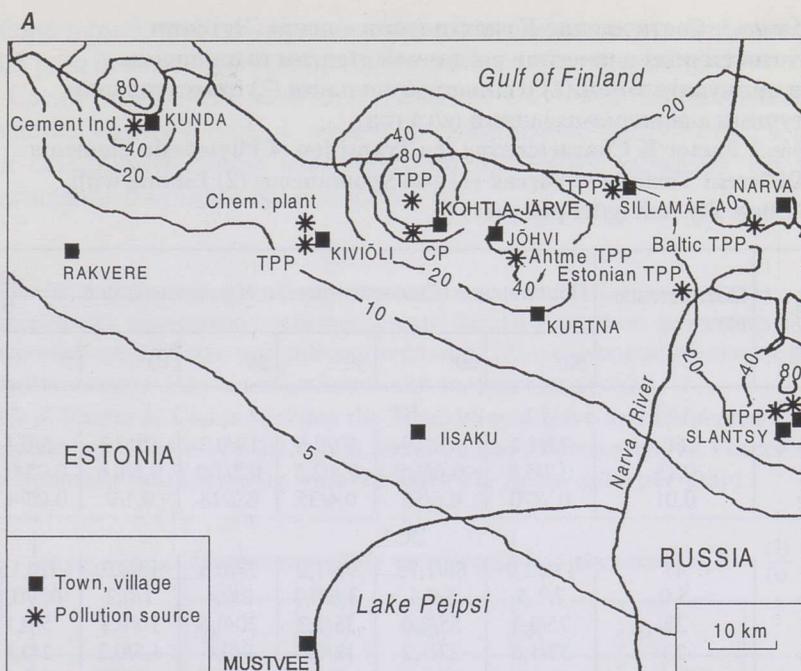
Table 1. Factor K Characterizing the Transition of Macroelements into Estonian Soils at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Oil Shale Fly Ashes (kg/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|---------|-----------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Si | 127 | 200/1,5 | 150/1,2 | 100/0,8 | 50/0,4 | 25/0,2 | 12/0,1 |
| Ti | 2,8 | 3,6/1,3 | 2,7/1,0 | 1,8/0,6 | 0,9/0,3 | 0,4/0,2 | 0,2/0,1 |
| Al | 39,5 | 66/1,7 | 50/1,3 | 33/0,8 | 17/0,4 | 8/0,2 | 4/0,1 |
| Fe | 38,5 | 40/1,0 | 29/0,8 | 20/0,5 | 10/0,25 | 5/0,1 | 2,5/0,1 |
| Mg | 19 | 15/0,8 | 11/0,6 | 7,5/0,4 | 3,6/0,2 | 2/0,1 | 1/0,05 |
| Ca | 316 | 290/0,9 | 220/0,7 | 145/0,5 | 70/0,2 | 35/0,1 | 18/0,05 |
| Na | 0,7 | 1,8/2,7 | 1,5/2,0 | 0,9/1,4 | 0,5/0,7 | 0,2/0,3 | 0,1/0,2 |
| K | 23 | 77/3,4 | 60/2,5 | 39/1,7 | 19/0,9 | 10/0,4 | 5/0,2 |
| P | 0,6 | 1,1/2,0 | 0,8/1,5 | 0,5/1,0 | 0,3/0,5 | 0,2/0,2 | 0,1/0,1 |
| S | 22 | 59/2,6 | 44/2,0 | 30/1,3 | 15/0,7 | 7/0,3 | 4/0,2 |

Таблица 2. Соотношение K поступления в почвы Эстонии микроэлементов при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании летучими сланцевыми золами (г/га год)

Table 2. Factor K Characterizing the Transition of Microelements (M - Micronutrients and PGS - Plant Growth Stimulators) at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Oil Shale Fly Ashes (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Микроудобрения (M) | | | | | | | |
| Mn | 620 | 370/0,6 | 270/0,4 | 180/0,3 | 90/0,15 | 45/0,1 | 22/0,05 |
| Cu | 23 | 37/1,6 | 27/1,2 | 18/0,8 | 9/0,4 | 4,5/0,2 | 2/0,1 |
| Zn | 60 | 260/4,2 | 190/3,1 | 130/2,1 | 65/1,0 | 32/0,5 | 16/0,3 |
| Mo | 6,0 | 18/3,0 | 14/2,2 | 9/1,5 | 4,5/0,7 | 2/0,4 | 1/0,2 |
| Cl | 1760 | 1100/6,2 | 820/4,6 | 550/3,1 | 270/1,6 | 135/0,8 | 69/0,4 |
| Стимуляторы роста растений (SPG) | | | | | | | |
| V | 60 | 73/1,2 | 55/0,9 | 37/0,6 | 18/0,3 | 10/0,2 | 5/0,1 |
| Co | 5,0 | 7/1,5 | 5/1,1 | 3,5/0,7 | 2/0,4 | 1/0,2 | 0,5/0,1 |
| Ni | 28 | 75/2,5 | 55/2,0 | 35/1,3 | 20/0,6 | 10/0,3 | 5/0,1 |
| Se | 0,15 | 0,7/5,0 | 0,6/3,5 | 0,4/2,5 | 0,2/1,2 | 0,1/0,6 | 0,05/0,3 |



Смоделированные количества осаждаемого кальция, мг/м² сут:

A - эмиссия на уровне 1973-1979 годов, B - эмиссия на уровне 1992 года [8]

Computed long-term average deposition loads of calcium, mg/m² per day:

A - emission level of 1973-1979, B - emission level of 1992) [8]

Таблица 3. Соотношение *K* поступления в почвы Эстонии фитотоксичных элементов различной степени токсичности при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании летучими сланцевыми золами (г/га год)

Table 3. Factor *K* Characterizing the Transition of Phytotoxic Elements of Different Toxicity at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Oil Shale Fly Ash (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и <i>K</i> (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|---------|-----------------|---|----------|---------|---------|---------|----------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| В* | | | | | | | |
| V | 60 | 73/1,2 | 55/0,9 | 37/0,6 | 18/0,3 | 10/0,2 | 5/0,1 |
| Ag | 0,15 | 0,7/5,0 | 0,6/3,5 | 0,4/2,5 | 0,2/1,2 | 0,1/0,6 | 0,05/0,3 |
| Hg | 0,01 | 0,7/70 | 0,6/55 | 0,4/35 | 0,2/18 | 0,1/9 | 0,05/4,5 |
| BC* | | | | | | | |
| Cr | 47 | 110/2,3 | 80/1,75 | 55/1,2 | 27/0,6 | 13/0,3 | 7/0,15 |
| Co | 5,0 | 7/1,5 | 5/1,1 | 3,5/0,7 | 2/0,4 | 1/0,2 | 0,5/0,1 |
| Ni | 28 | 75/2,5 | 55/2,0 | 35/1,3 | 20/0,6 | 10/0,3 | 5/0,1 |
| Cu | 23 | 37/1,6 | 27/1,2 | 18/0,8 | 9/0,4 | 4,5/0,2 | 2/0,1 |
| As | 7,4 | 70/10 | 55/7,4 | 35/5 | 18/2,5 | 9/1,2 | 5/0,6 |
| Se | 0,15 | 0,7/5 | 0,6/3,5 | 0,4/2,5 | 0,2/1 | 0,1/0,6 | 0,05/0,3 |
| Cd | 2,0 | 4/2,0 | 3/1,4 | 2/1,0 | 1/0,5 | 0,5/0,2 | 0,2/0,1 |
| Mo | 6,0 | 18/3,0 | 14/2,2 | 9/1,5 | 4,5/0,7 | 2/0,4 | 1/0,2 |
| С* | | | | | | | |
| Sb | 0,5 | 2/4,0 | 1,6/3,0 | 1/2,0 | 0,5/1,0 | 0,2/0,5 | 0,1/0,3 |
| Pb | 57 | 220/4,0 | 160/3,0 | 110/2,0 | 55/1,0 | 30/0,5 | 15/0,2 |
| CH* | | | | | | | |
| F | 890 | 1800/2 | 1350/1,5 | 910/1 | 450/0,5 | 230/0,3 | 115/0,1 |
| Zn | 60 | 260/4,2 | 190/3,1 | 130/2,1 | 65/1 | 32/0,5 | 16/0,3 |
| Н* | | | | | | | |
| Mn | 620 | 370/0,6 | 270/0,4 | 180/0,3 | 90/0,15 | 45/0,1 | 22/0,05 |
| Ba | 205 | 300/1,4 | 220/1,1 | 150/0,7 | 75/0,4 | 40/0,2 | 20/0,1 |

*Toxicity: B - high, C - medium, and H - low level; BC and CH - intermedium levels [12] here and in Tables 5 and 6.

Содержания микроэлементов с функциями микроудобрений и стимуляторов роста растений в почвах Эстонии низки [12]. При самопроизвольном известковании в почву на обширной территории, район терм 80–20 (рисунок), поступает значительно больше Zn, Cl и Se, чем при принудительном известковании (табл. 2).

Данные по фитотоксичным микроэлементам, классифицированным по степени токсичности [13], приведены в табл. 3. При таких концентрациях семь из семнадцати перечисленных фитотоксичных микроэлементов выполняют функции микроудобрений и стимуляторов роста растений. Велики коэффициенты обогащения у высокотоксичных Hg и Ag, и у близких к ним по токсичности As и Pb. Ртуту, даже в

районе терм 5, при самопроизвольном известковании поступает в почву в 4,5 раза больше, чем при принудительном известковании.

Среди редких и рассеянных элементов с неизвестными функциями, представленных в табл. 4, отмечено повышенное поступление в почву при самопроизвольном известковании щелочных металлов Rb и Cs, драгоценного металла Au и галогена Br.

Таблица 4. Соотношение K поступления в почвы Эстонии редких и рассеянных элементов с неизвестными биологическими функциями и фитотоксичностью при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании летучими сланцевыми золами (г/га год)

Table 4. Factor K Characterizing the Transition of Rare and Dispersed Elements with Unknown Biological Function and Phytotoxicity at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Oil Shale Fly Ashes (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|---------|-----------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Rb | 58 | 220/4,0 | 160/3,0 | 110/2,0 | 55/1 | 30/0,5 | 15/0,2 |
| Cs | 2,5 | 15/6,0 | 11/4,0 | 7/3,0 | 4/1,5 | 2/0,7 | 1/0,4 |
| Sr | 344 | 365/1,1 | 270/0,8 | 180/0,5 | 90/0,3 | 45/0,1 | 22/0,1 |
| Sc | 7 | 11/1,6 | 8/1,2 | 6/0,8 | 3/0,4 | 1/0,2 | 0,7/0,1 |
| Ga | 5 | 37/7,3 | 27/5,5 | 18/3,6 | 9/1,8 | 5/0,9 | 2/0,5 |
| Y | 14 | 25/1,8 | 20/1,4 | 13/0,9 | 6/0,5 | 3/0,2 | 2/0,1 |
| Zr | 104 | 150/1,4 | 110/1 | 75/0,7 | 35/0,3 | 18/0,2 | 9/0,1 |
| Hf | 3 | 5/1,5 | 3/1,2 | 2,5/0,8 | 1,2/0,4 | 0,6/0,2 | 0,3/0,1 |
| Nb | 9 | 15/1,6 | 11/1,2 | 7/0,8 | 3,5/0,4 | 2/0,2 | 1/0,1 |
| Ta | 1 | 2,5/2,5 | 2/1,7 | 1,2/1,2 | 0,6/0,6 | 0,3/0,3 | 0,1/0,1 |
| W | 2 | 2,5/1,2 | 2/0,9 | 1,3/0,6 | 0,6/0,3 | 0,3/0,1 | 0,1/0,1 |
| Re | 0,01 | 0,01/1 | 0,01/0,7 | 0,005/0,5 | 0,002/0,2 | 0,001/0,1 | 0,005/0,05 |
| Au | 0,003 | 0,025/8 | 0,02/6 | 0,01/4 | 0,005/2 | 0,002/1 | 0,001/0,5 |
| Br | 135 | 1100/8,0 | 800/6,0 | 550/4,0 | 275/2,0 | 130/1,0 | 65/0,5 |
| La | 22 | 33/1,5 | 25/1,1 | 16/0,75 | 8/0,4 | 4/0,2 | 2/0,1 |
| Ce | 39 | 70/2,0 | 55/1,4 | 35/1,0 | 18/0,5 | 10/0,2 | 5/0,1 |
| Nd | 20 | 37/1,7 | 27/1,3 | 18/0,9 | 9/0,4 | 5/0,2 | 2/0,1 |
| Sm | 3,4 | 7/2,0 | 5/1,6 | 3,5/1,0 | 2/0,5 | 1/0,3 | 0,5/0,1 |
| Eu | 0,6 | 1/2 | 0,8/1,4 | 0,5/1 | 0,3/0,5 | 0,1/0,2 | 0,1/0,1 |
| Tb | 0,5 | 0,7/1,5 | 0,5/1,1 | 0,4/0,8 | 0,2/0,4 | 0,1/0,2 | 0,1/0,1 |
| Dy | 2,8 | 3,6/1,3 | 2,8/1,0 | 1,8/0,6 | 0,9/0,3 | 0,5/0,2 | 0,2/0,1 |
| Tm | 0,4 | 0,4/1,0 | 0,3/0,7 | 0,2/0,5 | 0,1/0,2 | 0,05/0,1 | 0,02/0,05 |
| Yb | 1,2 | 1,8/1,5 | 1,4/1,1 | 1,0/0,8 | 0,5/0,4 | 0,2/0,2 | 0,1/0,1 |
| Lu | 0,5 | 0,7/1,5 | 0,5/1,1 | 0,4/0,7 | 0,2/0,4 | 0,1/0,2 | 0,05/0,1 |
| Th | 7,4 | 15/2,0 | 11/1,5 | 7/1,0 | 3,5/0,5 | 2/0,2 | 1/0,1 |
| U | 5,1 | 7/1,5 | 6/1,1 | 4/0,7 | 2/0,4 | 1/0,2 | 0,5/0,1 |

Таблица 5. Соотношение K поступления в почвы Эстонии микроэлементов при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании цементной пылью (г/га год)

Table 5. Factor K Characterizing the Transition of Microelements (M - Micronutrients and PGS - Plant Growth Stimulators) at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Cement Dust (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Микроудобрения (M) | | | | | | | |
| Zn | 130 | 70/0,5 | 55/0,4 | 35/0,3 | 18/0,1 | 9/0,07 | 4/0,03 |
| Стимуляторы роста растений (SPG) | | | | | | | |
| Co | 12 | 5/0,4 | 3,5/0,3 | 2,5/0,2 | 1,2/0,1 | 0,6/0,05 | 0,3/0,02 |
| Ni | 12 | 11/0,9 | 8/0,7 | 5,5/0,5 | 3/0,2 | 1,5/0,1 | 0,7/0,05 |

Таблица 6. Соотношение K поступления в почвы Эстонии фитотоксичных элементов различной степени токсичности при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании цементной пылью (г/га год)

Table 6. Factor K Characterizing the Transition of Phytotoxic Elements of Different Toxicity at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Cement Dust (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|---------|-----------------|--|----------|-----------|-----------|------------|--------------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| B | | | | | | | |
| Ag | 0,5 | 0,7/1,3 | 0,5/1 | 0,4/0,7 | 0,2/0,3 | 0,1/0,2 | 0,05/0,1 |
| Hg | 0,01 | 0,01/1 | 0,01/0,7 | 0,005/0,5 | 0,003/0,2 | 0,001/0,01 | 0,0005/0,005 |
| BC | | | | | | | |
| Cr | 15 | 22/1,4 | 16/1,1 | 11/0,7 | 5,5/0,4 | 2,7/0,2 | 1,3/0,1 |
| Co | 12 | 5/0,4 | 3,5/0,3 | 2,5/0,2 | 1,2/0,1 | 0,6/0,05 | 0,3/0,02 |
| Ni | 12 | 11/0,9 | 8/0,7 | 5,5/0,5 | 3/0,2 | 1,5/0,1 | 0,7/0,05 |
| As | 19 | 12/0,6 | 9/0,5 | 6/0,3 | 3/0,2 | 1,5/0,1 | 0,7/0,05 |
| C | | | | | | | |
| Sb | 1,1 | 1,1/1 | 0,8/0,7 | 0,5/0,5 | 0,3/0,2 | 0,1/0,1 | 0,05/0,05 |
| CH | | | | | | | |
| Zn | 130 | 70/0,5 | 55/0,4 | 35/0,3 | 18/0,1 | 9/0,05 | 4/0,03 |
| H | | | | | | | |
| Ba | 320 | 240/0,7 | 180/0,6 | 120/0,4 | 60/0,2 | 30/0,1 | 15/0,05 |

Таблица 7. Соотношение K поступления в почвы Эстонии редких и рассеянных микроэлементов с неизвестными биологическими функциями и фитотоксичностью при принудительном (1) и самопроизвольном (2) известковании цементной пылью (г/га год)

Table 7. Factor K Characterizing the Transition of Rare and Dispersed Microelements with Unknown Biological Function and Phytotoxicity at Forced (1) and Spontaneous (2) Liming with Cement Dust (g/ha per year)

| Элемент | Поступление (1) | Поступление (2) (в числителе) и K (в знаменателе), $K = \frac{(2)}{(1)}$ | | | | | |
|---------|-----------------|--|----------|----------|----------|-----------|------------|
| | | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Rb | 140 | 220/1,5 | 160/1,2 | 110/0,8 | 55/0,4 | 27/0,2 | 13/0,1 |
| Cs | 6,6 | 12/2 | 9/1,4 | 6/0,9 | 3/0,5 | 1,5/0,2 | 0,8/0,1 |
| Sr | 110 | 290/2,6 | 220/2 | 145/1,3 | 70/0,6 | 35/0,3 | 18/0,15 |
| Sc | 11 | 7/0,7 | 5,5/0,5 | 3,5/0,3 | 1,7/0,15 | 0,8/0,1 | 0,4/0,05 |
| Hf | 2,4 | 2,5/1,1 | 2/0,8 | 1,2/0,5 | 0,6/0,3 | 0,3/0,1 | 0,1/0,05 |
| Ta | 0,2 | 0,4/2 | 0,3/1,2 | 0,2/1 | 0,1/0,5 | 0,05/0,2 | 0,02/0,1 |
| Au | 0,2 | 0,1/0,5 | 0,08/0,2 | 0,05/0,2 | 0,02/0,1 | 0,01/0,05 | 0,005/0,02 |
| Br | 150 | 270/1,8 | 200/1,3 | 135/0,9 | 70/0,4 | 35/0,2 | 17/0,1 |
| La | 13 | 15/1,1 | 11/0,8 | 7/0,6 | 3,5/0,3 | 2/0,1 | 1/0,05 |
| Ce | 24 | 48/2 | 36/1,5 | 24/1 | 12/0,5 | 6/0,3 | 3/0,1 |
| Nd | 11 | 20/1,8 | 15/1,3 | 10/1 | 5/0,5 | 3/0,2 | 1,5/0,1 |
| Sm | 3,3 | 3,3/1 | 2,5/0,8 | 1,7/0,5 | 0,8/0,2 | 0,4/0,1 | 0,2/0,05 |
| Eu | 0,7 | 1,1/1,7 | 0,8/1,2 | 0,6/0,8 | 0,3/0,4 | 0,1/0,2 | 0,05/0,1 |
| Tb | 0,3 | 0,7/2,2 | 0,5/1,7 | 0,3/1,1 | 0,1/0,5 | 0,05/0,2 | 0,02/0,1 |
| Tm | 0,1 | 0,1/1 | 0,1/0,7 | 0,05/0,5 | 0,02/0,2 | 0,01/0,1 | 0,005/0,05 |
| Yb | 1,1 | 2,2/2 | 1,6/1,5 | 1,1/1 | 0,5/0,5 | 0,2/0,2 | 0,1/0,1 |
| Th | 7,7 | 5,5/0,7 | 4/0,5 | 3/0,4 | 1,5/0,2 | 0,8/0,1 | 0,4/0,05 |
| U | 2,6 | 2,9/1,1 | 2,2/0,8 | 1,4/0,6 | 0,7/0,3 | 0,4/0,2 | 0,2/0,1 |

Расчётные коэффициенты K обогащения/обеднения микроэлементов при самопроизвольном известковании цементной пылью дымовой трубы и принудительном известковании цементной пылью со шнеков приведены в таблицах 5–7. Уже в эпицентре (терм 80) самопроизвольного осаждения цементной пыли для всех микроэлементов с функциями микроудобрений и стимуляторов роста растений имеют место только коэффициенты обеднения (табл. 5). Аналогичная картина и для большинства токсичных элементов (табл. 6). Следует отметить небольшие поступления Hg и As в отличие от летучих сланцевых зол.

Для редких и рассеянных элементов коэффициенты приведены в табл. 7. Наибольшие коэффициенты обогащения в районе терм 80 имеют Sr и Br. Удаление от эпицентра самопроизвольного известкования приводит к коэффициентам обеднения, достигающим в районе терм 10 и 5 десятых и сотых долей.

Впервые для районов осаждения антропогенных выбросов Эстонии количественно сопоставлено большое число элементов, поступающих в почву при самопроизвольном и принудительном известковании с выявлением доли каждого в общем процессе известкования. Данные

приводятся без учёта потерь, имеющих место в процессе обоих видов известкования. Размер потерь требует отдельного изучения и может ввести определённые коррективы в приведённые данные.

TRANSITION OF ELEMENTS INTO ESTONIAN SOILS AT FORCED AND SPONTANEOUS LIMING

L. PETS

Summary

Fly ash from local oil shale-fired power plants and dust outbursts from cement kilns of Kunda factory are the main anthropogenic particulate emissions into Estonian atmosphere. By means of instrumental neutron activation analysis (INAA) and other methods, more than 30 microelements have been quantitatively determined in waste products of Estonia [1-6].

Fly ash and cement dust are good lime fertilizers. Their deposition acts as spontaneous liming of soils in Estonia and neighbouring states. The AEROPOL model was used to estimate spatial and temporal trends of an average calcium load of anthropogenic particulate emissions [8].

The average calcium load was taken for the basis to calculate loads for 55 elements present in fly ash and 36 elements in cement dust [9]. Acid soils of Estonia need lime fertilizers and forced liming was made according to elaborated standards: 1 t/ha of fly ash per year and 1.1 t/ha of cement dust per year [10].

In this paper a quantitative comparison is done for a great number of individual elements present in lime fertilizers carried into Estonian soils at forced and spontaneous liming annually. Calculation is done considering two versions of liming: in northeastern Estonia spontaneous liming takes place *via* chimney fly ash and the forced one - *via* cyclone fly ash; in the region of Kunda, spontaneous - *via* chimney cement dust and forced - *via* cement dust from factory kiln augers. The first version data are listed in Tables 1-4 and the second ones - in Tables 5-7. The relations between spontaneous (2) and forced (1) liming are given as enrichment/impoverishment factors K .

The data of Table 1 show that in the epicentre of spontaneous liming (term 80 in Figure), calcium has the impoverishment factor $K = 0.9$. Consequently, for neutralisation of soils of this region only 10 % of the standard for forced liming is enough. In the regions of terms 60, 40, 20, 10, 5 (Figure), the share of forced liming increases accordingly up to 30, 50, 80, 90, 95 %.

In the region of terms 80 and 60, almost all macroelements are characterized by enrichment factors, phytotoxic microelements Ag, Hg, As, Pb by enrichment factors in region of terms 80-20, and Hg - even in 5 (Table 3). The data for microelements for regions of Kunda factory (the second version of liming) are given in Tables 5-7.

Even in the regions of term 80, majority of microelements with micronutrient, plant growth stimulating and phytotoxic properties are characterized by impoverishment factors. This testifies for small role of spontaneous liming in the total liming process.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пец Л. И., Ваганов П. А., Кнот И. и др.* Микроэлементы в золах сланца-кукерсита Прибалтийской ГРЭС // Oil Shale. 1985. Т. 2, № 4. С. 379–390.
2. *Пец Л. И., Ваганов П. А., Шнир К.* Лантаноиды в золах сланца-кукерсита Прибалтийской ГРЭС // Там же. 1986. Т. 3, № 4. С. 419–425.
3. *Пец Л. И., Отт Р. Э.* Ртуть в минеральной части продуктов сжигания и переработки сланца-кукерсита // Там же. 1989. Т. 6, № 3. С. 287–290.
4. *Пец Л. И., Гроссе Ю. И.* Фтор в минеральной части продуктов сжигания эстонских горючих сланцев // Там же. 1993. Т. 10, № 2–3. С. 211–219.
5. *Пец Л. И., Миллер А. Д.* Рений в золах сланца Прибалтийской ГРЭС: Тр. / Таллинн. политех. ин-т. 1989. № 685. С. 93–96.
6. *Пец Л. И., Ваганов П. А.* Микроэлементы в выносе пыли из вращающихся цементных печей, работающих на сланцевом топливе // Oil Shale. 1994. Т. 11, № 1. С. 23–30.
7. *Лайгна К., Мандре М.* Загрязнение водоёмов Эстонской ССР через атмосферу / ЭстНИИНТИ. – Таллинн, 1988.
8. *Kaasik M.* Atmospheric transport and deposition of technogenic calcium: model estimation and field measurement // Proc. Estonian Acad. Sci. Ecol. 1996. V. 6, No. 1-2. P. 41-51.
9. *Пец Л. И.* Осаждение макро- и микроэлементов с атмосферными сланцезольными выбросами на северо-востоке Эстонии Oil Shale. 1997. Т. 14, № 2. С. 163–170.
10. *Турбас Э.* Использование сланцевой золы в качестве известкового удобрения в Эстонии // Там же. 1992. Т. 9, № 4. С. 301–309.
11. *Пец Л. И.* Quantitative entrance of microelements to Estonian soils at liming by fly oil shale ash of cyclone and cement dust (*Summary*) // Oil Shale. 1999. V. 16, No. 1. P. 76-83.
12. *Kalmet R.* Mikroelemendid Eesti NSV maaviljeluses. – Tallinn: Valgus, 1979.
13. *McBride M. B.* Environmental Chemistry of Soils. - New York: Oxford University Press, 1994.

Presented by I Öpik

Received June 8, 1998