

МАРИЕ АКСЕЛЬ, ЛУЙ СИРП

## РАЗВИТИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, СВЯЗАННЫХ С КРУГОВОРОТОМ АЗОТА В ПОЧВЕ

Вопрос о годовой количественной динамике почвенных микроорганизмов в наших климатических условиях освещен достаточно полно в работе П. Рахно (1964). Но связь численности микроорганизмов с содержанием азота в почве до сих пор не исследовалась. Недостаточно изучена также динамика форм азота в почве.

Имеющиеся работы касаются главным образом превращений азота после внесения азотного удобрения в почву и относятся, как правило, только к вегетационному периоду (Рудина, 1958; Anderson и др., 1965). Динамика нитратов изучена в основном в тропических почвах (Greenland, 1958). Судя по известным нам данным литературы, зимних анализов из промерзшей почвы для исследования динамики содержания азота в почве не проводилось.

Нами была поставлена задача изучить динамику содержания различных форм азота в почве в течение года и установить связь этих форм с динамикой численности почвенных микроорганизмов.

### Методика

Для исследования было заложено пять биометров. Подробное описание их дано в статье П. Рахно (1968). В наших опытах биометры были наполнены просеянной однородной почвой, привезенной из разных почвенных районов Эстонской ССР: первый — дерново-карбонатной почвой суглинистого механического состава, второй — дерново-карбонатной супесчаной почвой, третий — дерново-подзолистой супесчаной, четвертый — торфяной почвой низинного болота и пятый — затемненный вариант первого биометра (покрыт затемняющей крышей).

Исследование проводилось с января 1965 г. по апрель 1968 г. Почвенные пробы брали с глубины 5 см в трех повторностях в течение всего года регулярно через каждые две недели. За время исследований взято 1005 почвенных проб и проведены химические анализы на 4 формы почвенного азота (общего, подвижного, аммиачного и нитратного) и микробиологические анализы на 6 физиологических групп бактерий (аммонифицирующих, нитрифицирующих, денитрифицирующих, аэробных целлюлозоразлагающих, азотобактера и *Clostridium Pasteurianum*), а также на почвенные грибы и водоросли.

Общий азот определяли сжиганием по Кьельдалю из навесок по 10 г, подвижный азот — по модификации Крисджа и Меркиса перманганатным методом из навесок по 20 г почвы, аммиачный азот — колориметрически реактивом Несслера из навесок по 20 г, причем аммиак отделяли от других компонентов диффузионным методом и, наконец, нитратный азот также определяли колориметрически из навесок по 20 г при

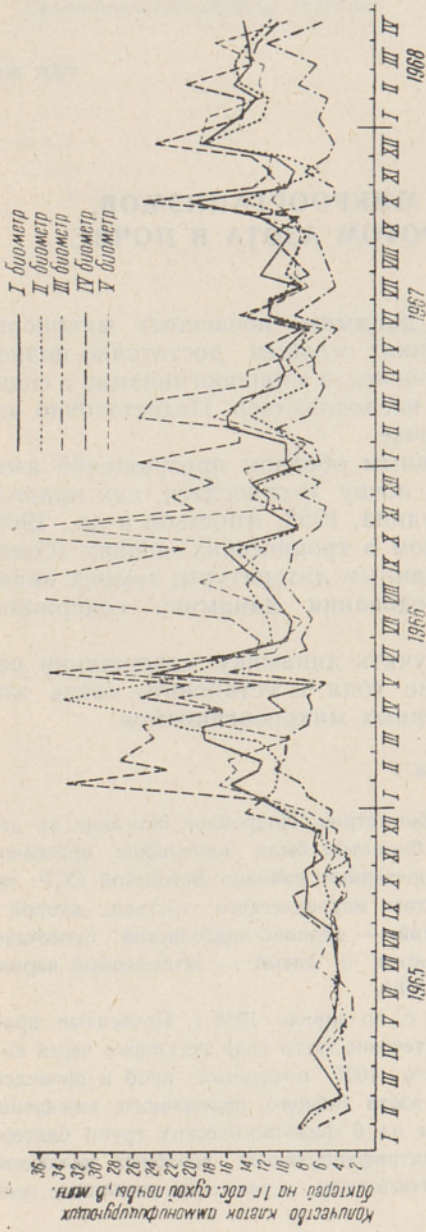
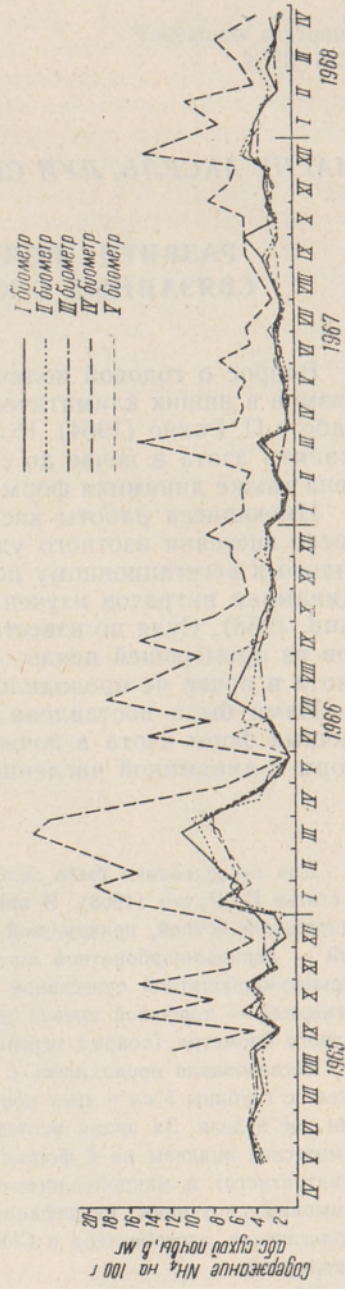


Рис. 1. Динамика численности аммонифицирующих бактерий в почве.

Рис. 2. Динамика содержания  $\text{NH}_4$  в почве.

помощи салицилата натрия. Количество бактерий и грибов определяли методом разведений согласно методике, утвержденной Всесоюзной конференцией почвенных микробиологов в 1953 г.

При определении количества бактерий использовали обычные питательные среды, кроме аммонифицирующих бактерий, для анализа которых применяли питательную среду X<sub>3</sub> (Рахно, 1964). Для определения количества грибов использовалась среда Чапека.

В анализе результатов как новый фактор использовались показатели солнечной активности. Это было вызвано тем, что изменения численности микроорганизмов и содержания форм азота в почве не имели достаточно тесной корреляции с обычными факторами, такими как влажность, температура и сезоны. Влияние солнечной активности на динамику развития почвенных микроорганизмов, насколько нам известно, до сих пор не изучалось.

Из показателей солнечной активности использованы (бюллетень «Солнечные данные») число Вольфа и солнечное радиоизлучение на волне 204 Мгц, причем при корреляционном анализе в качестве этих показателей использовали средние данные семи дней, предшествовавших анализу.

Математический анализ результатов был проведен в вычислительном центре Института кибернетики АН Эстонской ССР.

### Результаты опытов

В течение исследований наблюдались большие колебания в численности аммонифицирующих бактерий. На рис. 1 видим, что в 1965 г. среднее количество бактерий колебалось в пределах 5—6 млн. на 1 г абсолютно сухой почвы. С января 1966 г. начинает увеличиваться численность этих бактерий и доходит в среднем до 15—16 млн. на 1 г абсолютно сухой почвы, а в 1967 г. их численность остается на уровне предыдущего года.

При сопоставлении данных о количестве аммонифицирующих бактерий, с одной стороны, с данными о температуре, влажности почвы и сезоне, с другой, выявлено, что эти факторы не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на численность аммонифицирующих бактерий, что и послужило причиной введения в корреляционный анализ дополнительного фактора — солнечной активности.

Таблица 1

Корреляция между численностью аммонифицирующих бактерий и числом Вольфа

Дни, предшествующие анализу	I биометр	II биометр	III биометр	IV биометр	V биометр
3	0,48	0,36	0,52	0,42	0,56
5	0,46	0,45	0,52	0,45	0,61
7	0,43	0,56	0,48	0,51	0,66
14	0,40	0,68	0,37	0,47	0,62
28	0,37	0,76	0,44	0,45	0,63

Предел достоверности коэффициентов равен 0,38.

В табл. 1 приведены данные о корреляции между численностью аммонифицирующих бактерий (по данным почвенных анализов 1965 и 1966 гг.) и показателями числа Вольфа, представляющего собой средние 3-х, 5-и, 7-и, 14-и и 28-и дней до взятия почвенных проб.

Таблица 2

**Корреляция между численностью аммонифицирующих бактерий и другими данными анализа в промерзших и незамерзших почвах**

Почва	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 Мгц	Микроорганизмы							Азот			
					аэробные целлюлозоразлагающие	<i>Clostridium Pasteurianum</i>	нитрифицирующие	денитрифицирующие	азотобактер	почвенные грибы	водоросли	общий	аммиачный	нитратный	подвижный
Промерзшая	0,04	0,21	0,05	0,10	-0,04	-0,04	0,11	0,16	0,20	0,24	0,20	-0,04	0,48	0,13	0,09
Незамерзшая	0,08	0,14	0,17	0,07	0,30	0,09	0,41	0,14	0,00	-0,03	0,10	0,13	-0,16	-0,25	0,10

Предел достоверности в промерзших почвах — 0,15, в незамерзших почвах — 0,12.

Таблица 3

**Корреляция между содержанием аммиачного азота и другими данными в промерзших и незамерзших почвах**

Почва	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 Мгц	Микроорганизмы							Азот			
					аммонифицирующие	аэробные целлюлозоразлагающие	<i>Clostridium Pasteurianum</i>	нитрифицирующие	денитрифицирующие	азотобактер	почвенные грибы	водоросли	общий	нитратный	подвижный
Промерзшая	0,07	0,33	-0,63	-0,05	0,48	-0,02	0,21	0,03	-0,05	0,27	0,28	0,01	0,15	0,21	0,13
Незамерзшая	0,18	0,07	-0,45	-0,24	-0,10	-0,03	-0,08	-0,20	0,06	0,14	0,02	-0,17	0,04	0,19	-0,16

Предел достоверности в промерзших почвах — 0,15, в незамерзших почвах — 0,12.

Из табл. 1 видно, что численность аммонифицирующих бактерий имеет тесную корреляцию с числом Вольфа.

Результаты корреляционного анализа, проведенного после окончания опытов (1965—1968), показывают (табл. 2), что в промерзших почвах численность аммонифицирующих бактерий коррелирует с содержанием аммиачного азота и, кроме того, с численностью почвенных грибов и водорослей, а также с влажностью почвы. В незамерзших почвах численность аммонифицирующих бактерий находится в корреляции с численностью нитрифицирующих, аэробных целлюлозоразлагающих и денитрифицирующих бактерий и содержанием влажности в почве, а с нитратным азотом аммонифицирующие бактерии находятся в отрицательной корреляции.

В содержании аммиачного азота в период исследований наблюдались большие колебания (рис. 2). Хотя почва не удобрялась, содержание аммиачного азота в торфяной почве колебалось от 0,5 до 25 мг на 100 г абсолютно сухой почвы, а в более плодородных карбонатных почвах (I и V биометр) — от 0,5 до 11 мг на 100 г абсолютно сухой почвы. Как видно из рис. 2, максимальное содержание аммиака в почве приходится на зимние месяцы. Корреляционный анализ показывает, что содержание аммиачного азота в промерзших и незамерзших почвах (табл. 3) имеет отрицательную корреляцию с числом Вольфа.

В промерзших почвах содержание аммиачного азота имеет положительную корреляцию с численностью грибов, особенно в почве III биометра с кислой реакцией, с численностью азотобактера и *Clostridium Pasteurianum*, а также с содержанием общего и нитратного азота.

В незамерзшей почве содержание аммиачного азота находится в отрицательной корреляции с солнечной активностью, с численностью нитрифицирующих бактерий и почвенными водорослями.

За период исследований наблюдались также колебания в численности нитрифицирующих бактерий. Из рис. 3 видим, что особой разницы в численности нитрифицирующих бактерий в промерзших и незамерзших почвах нет. Но внутригодовые колебания достаточно велики во все годы.

После окончания опытов был проведен корреляционный анализ на связь численности нитрифицирующих бактерий с численностью других микроорганизмов в промерзших и незамерзших почвах отдельно (табл. 4).

Таблица 4

**Корреляция между численностью нитрифицирующих бактерий и другими данными анализов в промерзших и незамерзших почвах**

Почва	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 Мгц	Микроорганизмы							Азот			
					аммонифицирующие	аэробные целлюлозо-разлагающие	<i>Clostridium Pasteurianum</i>	денитрифицирующие	азотобактер	почвенные грибы	водоросли	общий	аммиачный	нитратный	подвижный
Промерзшая	0,10	0,03	0,22	0,00	0,11	-0,04	0,21	0,02	0,11	-0,01	0,06	0,08	0,03	0,16	0,10
Незамерзшая	-0,23	0,13	0,40	0,06	0,41	0,27	0,21	0,11	-0,20	0,00	0,14	0,06	-0,20	-0,25	0,10

Предел достоверности в промерзших почвах — 0,15, в незамерзших почвах — 0,12.

В промерзших почвах численность нитрифицирующих бактерий коррелирует с числом Вольфа, с численностью *Clostridium Pasteurianum* и содержанием нитратного азота в почве. В незамерзших почвах, в отличие от промерзших, их численность коррелирует с численностью аммонифицирующих бактерий, аэробных целлюлозоразлагающих бактерий и водорослей. В незамерзших почвах численность нитрифицирующих бактерий находится в отрицательной корреляции с численностью

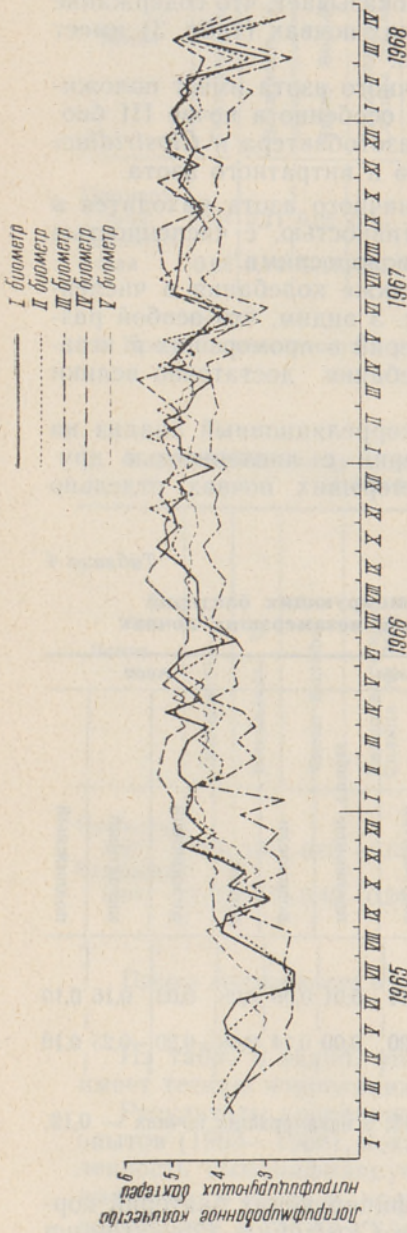


Рис. 3. Динамика численности нитрифицирующих бактерий в почве.

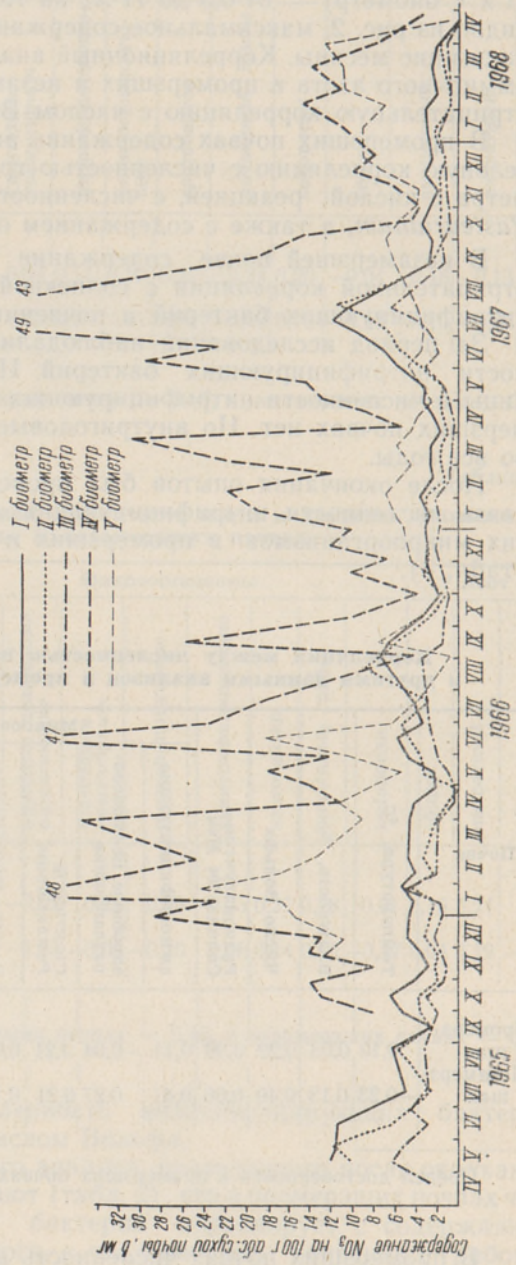


Рис. 4. Динамика содержания  $NO_2$  в почве.

Таблица 5

Корреляция между содержанием нитратного азота и другими данными анализов в промерзших и незамерзших почвах

Почва	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 Мгч	Микроорганизмы							Азот			
					аммонифицирующие	аэробные целлюлозо-разлагающие	<i>Clostridium Pasteurianum</i>	нитрифицирующие	денитрифицирующие	азотобактер	почвенные грибы	водоросли	общий	аммиачный	подвижный
Промерзшая	0,19	0,21	-0,36	-0,25	0,13	0,08	0,13	0,16	0,09	0,17	0,11	0,01	0,16	0,21	0,03
Незамерзшая	0,42	-0,23	-0,19	-0,06	-0,25	-0,17	0,06	-0,25	-0,07	0,14	-0,08	-0,02	0,09	0,19	-0,07

Предел достоверности в промерзших почвах — 0,15, в незамерзших почвах — 0,12.

азотобактера, с содержанием аммиачного и нитратного азота в почве и температурой почвы.

В содержании нитратов в почве наблюдались большие колебания (рис. 4). Хотя почва биометров не удобрялась и содержалась все время свободной от растительности, содержание  $\text{NO}_3$  в почве I биометра колебалось от 1 до 12 мг и в той же почве затемненного варианта (V биометр) — от 1 до 25 мг на 100 г абсолютно сухой почвы.

Динамика содержания нитратов показывает, что несмотря на агрохимическое различие почвы I—IV биометров, в колебаниях содержания  $\text{NO}_3$  наблюдались определенные совпадения. Отличался лишь пятый биометр. Если в I—IV биометрах максимальное содержание  $\text{NO}_3$  падало на летние месяцы, то в почве V — на зимние.

Корреляционный анализ показал, что содержание нитратного азота в промерзших почвах (табл. 5) коррелирует с численностью нитрифицирующих бактерий, с содержанием общего и аммиачного азота и влажностью почвы, а в отрицательной корреляции оно находится с показаниями солнечной активности, числом Вольфа и солнечным радиоизлучением.

В незамерзших почвах содержание  $\text{NO}_3$  находилось в положительной корреляции с содержанием аммония и температурой почвы, а в отрицательной — с численностью нитрифицирующих и аэробных целлюлозо-разлагающих бактерий и содержанием влажности почвы и числом Вольфа.

### Обсуждение результатов

Зимой в промерзшей почве количество микроорганизмов не уменьшается, а колеблется так же, как и летом. Численность аммонифицирующих микроорганизмов зимой несколько больше, чем летом. Содержание  $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_3$  может зимой также заметно увеличиться.

Содержание аммония в промерзших почвах коррелирует с численностью аммонифицирующих бактерий. Это позволяет предположить, что содержание  $\text{NH}_4$  связано с деятельностью аммонифицирующих бактерий.

В незамерзших почвах увеличение численности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий не сопровождается увеличением содержания аммиачного и нитратного азота в почве, а наоборот, наблюдается снижение их содержания. Это, по-видимому, вызвано тем, что в летний период жизнедеятельность микроорганизмов, безусловно, активнее и нитратный и аммиачный азоты поглощаются другими микроорганизмами и превращаются в органический азот. При этом часть нитратов денитрифицируется, а часть вымывается.

В незамерзших почвах содержание нитратов положительно коррелировало с температурой почвы, а отрицательно — с влажностью почвы. Это показывает, что при избытке осадков происходит вымывание нитратов в более глубокие слои, откуда они при высыхании почвы с капиллярной водой могут подниматься в верхние слои почвы.

Численность нитрифицирующих бактерий в незамерзших почвах находится в отрицательной корреляции с содержанием нитратов в почве. Из этого следует, что главной причиной потерь азота в наших почвах, по-видимому, является аэробная денитрификация, когда потери азота наблюдаются в процессе нитрификации согласно реакции Вана Слайка (Allison, 1955). В результате этой реакции образуются  $N_2O$  и  $N_2$  и, так как оба они газообразные соединения, улетучиваются в воздух.

Как в промерзших, так и в незамерзших почвах численность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий находится в положительной корреляции с числом Вольфа, в то же время содержание аммония и нитратов находится в отрицательной корреляции с числом Вольфа.

Каков механизм действия солнечной активности на численность микроорганизмов и содержание форм азота в почвах пока неизвестно, так как она может влиять как на активность микроорганизмов, так и на потери азота.

### Выводы

1. В почве без растений и без удобрений наблюдаются внутригодовые большие колебания численности микроорганизмов и содержания азота.

2. Численность микроорганизмов, а также содержание  $NH_4$  и  $NO_3$  в промерзшей почве могут заметно возрасти.

3. В незамерзших почвах численность аммонифицирующих бактерий находится в отрицательной корреляции с содержанием аммиачного азота, а в промерзших наоборот — в положительной.

4. Динамика численности денитрифицирующих бактерий не имеет корреляции с изменениями в содержании соединений азота в почве.

5. Численность нитрифицирующих и аммонифицирующих бактерий как в промерзших, так и в незамерзших почвах находится в положительной корреляции с числом Вольфа.

6. Содержание аммиачного и нитратного азота как в промерзших, так и в незамерзших почвах находится в отрицательной корреляции с показателями солнечной активности.

### ЛИТЕРАТУРА

- Рахно П. Х., 1964. Сезонная количественная динамика почвенных бактерий. Таллин.  
 Рахно П. Х., 1968. О пробах почвы для микробиологических анализов. Почвоведение (7) : 170—173.  
 Рудина Л. А., 1958. Динамика подвижных соединений азота, фосфора и калия дерново-луговых почв поймы р. Москвы. Вестн. Моск. ун-та, сер. биол. (3) : 91.



- Allison F. E., 1955. The enigma of soil nitrogen balance sheets. *Advances Agron.* 7 : 213—250.
- Anderson O. E., Boswell F. C., Stacy S., 1965. Effect of temperature on nitrification in Georgia soils. *Bull. Ga Agric. Experim. Stat. Univ. Ca Coll. Agric.* (130) : 5—22.
- Greenland D. J., 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. *J. Agric. Sci.* 50 (1) : 82—92.

Институт экспериментальной биологии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
13/IV 1971

MARIE AKSEL, LUI SIRP

### MIKROORGANISMIDE ARENGUST OLENEVALT LÄMMASTIKU RINGLUSEST MULLAS

#### Resümee

Uuritakse lämmastiku ringlust mõjustavaid tegureid ja lämmastikuvormide dünaamikat taimedeta muldades, kasutades selleks biomeetreid, millesse oli paigutatud viis erinevate omadustega ja Eesti NSV erinevatest piirkondadest toodud mulda.

Mullaproove võeti kolme aasta ja nelja kuu jooksul kaks korda kuus. Proovides määrati neli lämmastikuvormi, kuus gruppi baktereid, mullaseened ja vetikad. Olgugi et väetisi ei antud, esines uuritava ajavahemikul lämmastikuvormidesisalduses ja mikroorganismide arvukuses suuri kõikumisi. Mõnel talvel tõusis mikroorganismide arvukus ja lämmastikuvormidesisaldus ka külmunud muldades väga kõrgele.

Korrelatsioonianalüüsist selgus, et paljude mikroorganismide, nagu ammonifikatsioonite, nitrifikatsioonite ja vetikate arvukus ja lämmastikuvormidesisaldus mullas korreleerub Päikese aktiivsusega. Negatiivses korrelatsioonis Päikese aktiivsusega on mullaseente arvukus ja kõikide lämmastikuvormide sisaldus. Külmumata muldades puudub korrelatsioon ammonifitseerivate bakterite arvukuse ja  $\text{NH}_4$ -sisalduse vahel. Negatiivses korrelatsioonis on nitrifitseerivate bakterite arvukus ja  $\text{NO}_3$ .

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Ekspriimentaalbioloogia Instituut

Toimetusse saabunud  
13. IV 1971

MARIE AKSEL, LUI SIRP

### THE DEVELOPMENT OF MICROORGANISMS IN CONNECTION WITH THE NITROGEN CYCLE IN SOIL

#### Summary

The aim of the experiment was to investigate the factors influencing the nitrogen cycle and the dynamics of the nitrogen forms in soil.

The biometers used in the tests were filled with five types of soil of different properties, found in various districts of the Estonian SSR.

Samples were taken twice a month during three years and four months. Four nitrogen forms were defined, six groups of bacteria, soil-inhabiting fungi and algae. The soils were kept free of plants during the whole period. Significant fluctuations were observed in the count of the microorganisms as well as in the content of nitrogen forms. During some winters the count of microorganisms and the content of nitrogen forms rose very considerably, even in frozen soils.

Correlation analyses showed that the count of microorganisms and the content of nitrogen forms are influenced by solar activity. Consequently, solar activity has a positive effect on the count of ammonia fixators and nitrogen fixers, in algae as well. On the other hand, solar activity has a negative effect on soil fungi and on all the forms of nitrogen. There is no correlation between the count of ammonia fixating bacteria and the  $\text{NH}_4$  content in soil.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Experimental Biology

Received  
April 13, 1971