

631.8

П-85

Акад. ПРЯНИШНІКОВ

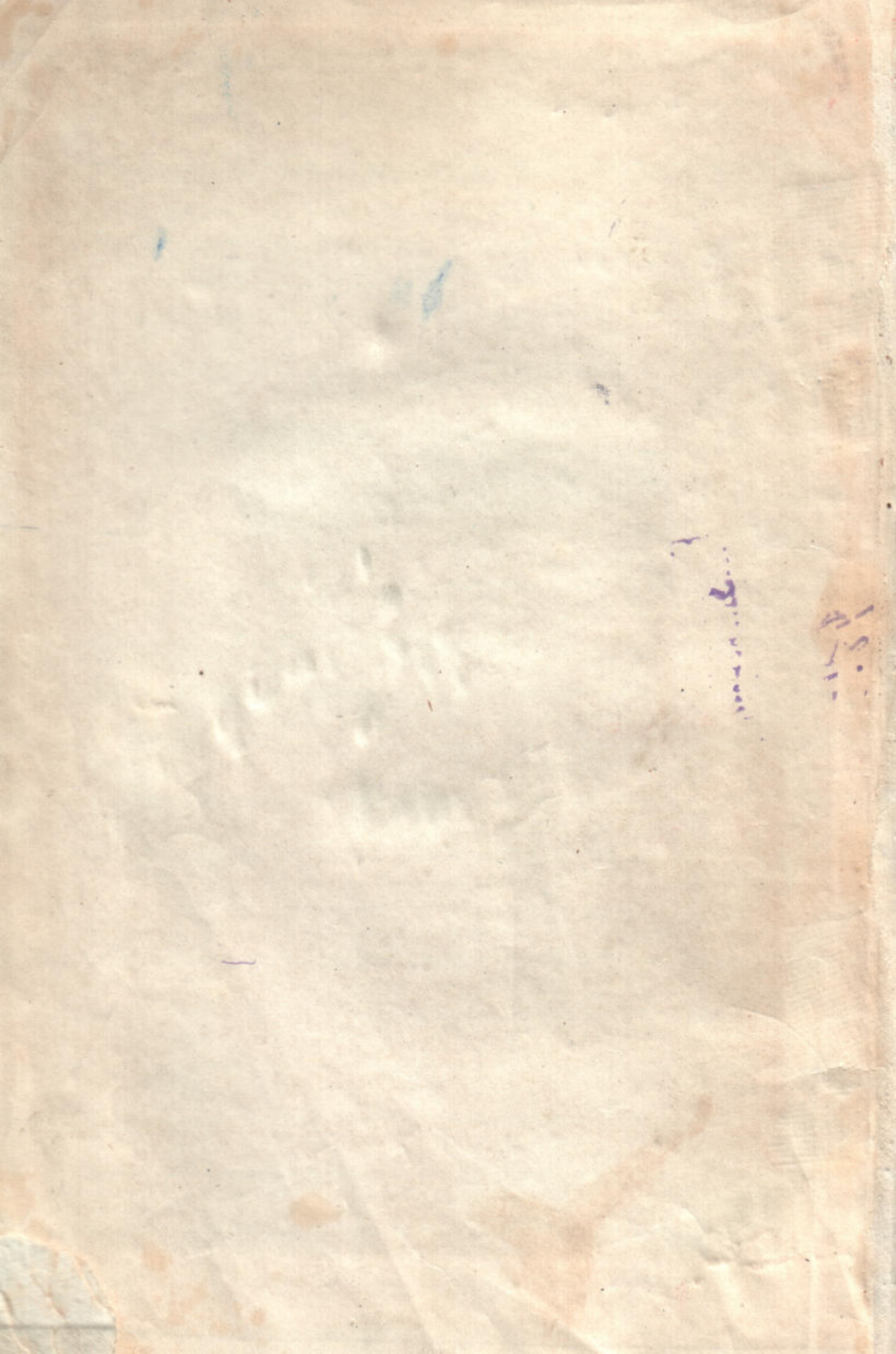
# Агроземія

Держсільгоспвидав

3136









П

у  $\frac{631.8}{17-85}$

Акад. Д. М. ПРЯНИШНІКОВ

# А Г Р О Х Е М І Я

## ЗАГАЛЬНИЙ КУРС

### ПІДРУЧНИК ДЛЯ РОСЛИННИЦЬКИХ ВИШВ

Переклад з російської

3136

Підприємство  
Видавництва

с/а

проверено  
1966 г.

О

Д Е Р Ж С І Л Ь Г О С П В И Д А В  
ХАРКІВ

1934

Бібліографічний опис цього видання вміщено в „Літописі Укр. Друку“, „Картковому репертуарі“ та інших показниках Української Книжкової Палати

Книга акад. Д. М. Прянішнікова має такі відділи: 1. Роль мінеральних і органічних добрив у справі збільшення врожаїв. 2. Кореневе живлення рослини. 3. Азотисті добрива. 4. Фосфатні добрива. 5. Калійні добрива. 6. Повні добрива. 7. Побічнодіючі добрива. 8. Постановка дослідів з добривами.

Додаток. Зберігання добрив (складений Д. В. Дружиніним).

Книгу написано за програмою с. г. вишів.

Старший редактор *Биковський О. Г.*

Літерат. редактор *Дейнеко*

Техніч. редактор *Токарів*

Уповноважений „Головліту“ № 3469. Міськліт № 1487—25/VIII-1934 року. Папір 62x94 см.  $\frac{1}{16}$  аркушів. Вага 1000 арк. 38 кгр. Паперов. арк. 13. В одному паперов. аркуші 102.000 знаків. Зам. № 4685. Тираж 4500 прим. Передано на виробництво 23/VIII-1934 р. Підписано до друку 22/X-1934 року.

Перша книжкова Поліграфічна ф-ка Укрполіграфтресту ім. Сухомлина, Полтава.



## ПЕРЕДМОВА

Цей підручник з'являється при зовсім інших умовах, ніж „Учение об удобрениях“, що п'ятим виданням вийшло 1922 р.: тоді в нас зовсім не існувало ні азотної, ні калійної промисловості, виробництво суперфосфату було мізерне, а імпортні добрива були недоступні; тому авторові доводилося, змалювавши картину широкого застосування найрізноманітніших хемічних добрив на Заході, для нас рекомендувати місцеві джерела добрив і способи хоча б повільнішого впливу, але незалежні від хемічної промисловості, як, напр., використання зеленого добрива, торфу, фосфоритного — муки, золи та ін. При цьому не тільки будівництво хемічних заводів було недостатнім, а й самої сировини або зовсім не було (калійні солі), або була відома лише менш цінна частина її, як було це з фосфатами. Мало того, самі масштаби потреби наших ґрунтів в добривах ще не були виявлені; коли в доповіді Держпланові 1921 року<sup>1</sup> я визначив нашу потребу в фосфатах 4—5 млн. т, то ця цифра була названа „астрономічною“ та й самий термін „хемізація хліборобства“ став загальноживаним значно пізніше, ніж почали говорити про механізацію і електрифікацію сільського господарства<sup>2</sup>.

Зрушення в цій галузі, що з того часу сталося, колосальне.

Не тільки відкрито й вивчено найбільші в світі поклади калійних солей на півночі Уралу, в яких є 16 млрд. т запасів калію ( $K_2O$ ), а й подолано всі труднощі проходження шахти крізь водоносні горизонти, збудовано й устатковано перший рудник у Солікамську, який дає 1,5 млн. т калійних солей на рік, і вже розпочато будівництво другого рудника. Далі, не тільки знайдено багаті поклади апатиту в Хібінських горах, не тільки видобувається руда в Кукісвумчоррі, а й працює збагачувальний завод у Хібіногорську, який незабаром зможе переробляти 1 млн. т апатитової руди в 40-процентний концентрат — крашу сировину для наших суперфосфатних заводів.

Далі, нашою хемічною промисловістю освоєно зовсім новий для неї і взагалі трудний процес синтезу амоніаку, уже

<sup>1</sup> „Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений“ (доповідь у сільськогосподарської секції Державної планової комісії). ГІЗ, 1921 р.

<sup>2</sup> Вперше такий термін був ужитий мною 1924 р. в статті „К вопросу о химификации нашего земледелия (план применения удобрений в европейской части СССР“. „Успехи агрономии“, 1925, № 1 (з картограмою).



працюють азотно-тукові комбінати в Березніках, Бобриках і Горлівці, і є всі дані для дальшого розвитку азотної промисловості у зв'язку з великими коксувальними установками (Магнітобуд, Кузнецк і Кемерово), число яких може скільки завгодно зростати в міру більшання потреби в азотистих добривах, бо виявилось, що запаси вугілля в Сибіру більші від запасів усієї Західної Європи; так само в Західній Європі немає таких джерел водної енергії, як Ангара і Єнісей, які разом здатні замінити 40 Дніпрельстанів; так само і в Середній Азії—річки, що течуть з Паміра, несуть величезні запаси енергії, які можуть бути використані в майбутньому для різних потреб, в тому числі і для тукової промисловості.

Отже, можливості для розвитку хемічної промисловості в майбутньому в нас надзвичайно великі, і вже план її розвитку на другу п'ятирічку характеризується грандіозним розмахом: він ставить завдання висунути нашу країну, що займає перше місце на земній кулі щодо площі, на одне з перших місць і щодо виробництва мінеральних добрив, тоді як передвоєнна Росія стояла щодо цього буквально на нульовому рівні, разом з Кхатаєм та іншими відсталими країнами.

Цей грандіозний масштаб плану розвитку тукової промисловості у другому п'ятиріччі є органічним наслідком тієї глибокої суперечності між передвоєнним станом як нашого хліборобства, так і нашої промисловості, і виконанням тих завдань нового будівництва, що їх висунула революція, при одночасній необхідності забезпечити це будівництво від порушення ворожим втручанням наших сусідів.

Революція застала наше хліборобство буквально на середньовічному рівні і в стару формулу „Росія — країна хліборобська“ треба внести поправку, яка вточнює цю формулу, і сказати, що стара Росія була країною відмінно поганого хліборобства, і тільки тому, що з промисловістю справа стояла ще гірше, вона здавалася країною хліборобською. Щоб швидше відірватися від цього середньовічного рівня врожаїв та від низької продукції зерна на душу населення, характерної для старої Росії<sup>1</sup>, треба негайно перейти до широкого застосування мінеральних добрив, а тому, що наша засівна площа своїми абсолютними розмірами дуже велика, тільки при великих розмірах хемічна промисловість буде в силі відповідно вплинути на хід піднесення наших врожаїв у наступні роки.

Тому в основу плану на 1937 рік і намічено великі масштаби, а, як рівняти з першим п'ятиріччям, уже 1934 і 1935 рр. характеризуються значним зростанням кількості і ускладненням асортименту добрив. Агрохімікам треба буде встановити шляхи правильного застосування добрив у країні, де застосування їх більшої частини населення було зовсім невідоме; тому найближчі роки повинні бути підготовчим етапом до освоєння тієї великої продукції, яка намічена на кінець другого п'ятиріччя.

<sup>1</sup> Див. цифри далі (стор. 13).



Але коли трудність правильного розподілу добрив по різноманітних областях нашої просторої країни швидко зростає разом із зростанням їх виробництва, зате завдання вкорінення добрив на місцях полегшується тією зміною, яка відбулася в соціальному ладі села: замість колишнього повільного дифундування агрономічних знань і залежності від ініціативи кожного окремого селянина тепер об'єднання дрібних господарств у колективи дає можливість планово центрально керувати застосуванням добрив у колгоспах і ставить їх щодо цього на один рівень з радгоспами; на скільки при цьому зростає швидкість проникнення мінеральних добрив у наше хліборобство і плановість розподілу їх, ясно само собою.

Поруч з величезними зрушеннями як у галузі промисловості, так і в структурі села, сталися великі зміни і в структурі агрономічної школи, що неминуче відбиваються на характері цього підручника.

Раніше (з 1894 до 1928 рр.) в с. г. школах не було кафедр агрономічної хемії, і розвивати роботу в цій галузі можна було тільки під прапором якоїнебудь іншої кафедри, порядком особистої ініціативи; так і авторові довелося 33 роки (1895—1928) культивувати агрохемію як неузаконений штатами і статутом школи додаток до кафедри спеціального хліборобства. Правда, коли автор був деканом (з 1907 по 1913 і з 1923 по 1925 рр.), йому вдавалося проводити в навчальних планах секцію агрохемії<sup>1</sup>, але тільки порядком особистої ініціативи і особистого впливу; досить було на деякий час відійти від завідування навчальною частиною, і слово „агрохемія“ знову зникло з ужитку сільськогосподарської школи.

Першим закладом, де агрономічна хемія була офіційно визнана і де їй відведено цілий відділ, з окремим штатом, була не с. г. школа, а заклад дослідницького типу, а саме Науковий інститут удобрень (НИУ), утворений 1919 р. Вищою радою народного господарства<sup>1</sup>.

А у вишах тільки з 1928 р. під впливом ряду заходів, ужитих Комітетом хемізації, нарешті були утворені самостійні кафедри, і потім з 1930 р. спеціалізація була проведена глибше, і тільки з того часу почалося систематичне готування кадрів агрохеміків, таких потрібних для реалізації широкого плану хемізації хліборобства в Союзі.

Диференціація студентства, що сталася в зв'язку з цим, зроби́ла потрібними два центри курсу агрохемії, з яких перший центр є спільним для всіх факультетів рослинницьких вишів,

<sup>1</sup> Комбінуючи роботу студента при різних кафедрах, як от с. г. аналіз, курс хемії рослини, наука про вдобрення, з вегетаційними дослідями і дипломною працею на агрохемічні теми.

<sup>2</sup> Авторіві довелося завідувати цим відділом у період з 1919 по 1929 р., при чому там розвинулася не тільки робота центральної лабораторії і спеціального дослідного поля по питаннях добрив (чого при вишах не було), але звідти ж таки зародилася організація „географічної сітки“ дослідів з добривами, яку треба було мати до створення загального плану тукової промисловості.

а другий концентр має завдання дати поглиблену підготовку студентам факультету агрохімії і ґрунтознавства.

Цей підручник відповідає першому концентрові, він повинен задовольняти і інтереси широких агрономічних кіл до питань удобрення; а для агрохіміка він може бути вступом до тих відділів курсу, якими відрізняється навчальний план агрохімічного факультету від навчального плану для рілників, овочівників та інших відгалужень рослинницьких вишів; а для спеціальних розділів агрохімії мають з'явитися окремі підручники.

Петровсько-Разумовське,  
січень, 1934

Д. ПРЯНИШНИКОВ



## ЗАВДАННЯ АГРОХЕМІЇ І РОЛЬ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У СПРАВІ ПІДНЕСЕННЯ ВРОЖАЇВ НА ЗАХОДІ І В НАС

Завдання агрохемії—вивчити кругобіг речовин у хліборобстві і виявити ті заходи впливу на хемічні процеси, які відбуваються в ґрунті і рослині і які можуть збільшувати врожай або змінювати його склад. Головним способом втручання в цей кругобіг є застосування добрив. А раціональне застосування добрив можливе тільки при дуже глибокому пов'язанні таких заходів з хемією ґрунту і фізіологією рослин. Тому вивчення взаємин між рослиною, ґрунтом і добривами завжди було головним завданням агрохеміків як у період закладення основ сучасної агрохемії Лібіхом і Буссенго, так і потім, при чому агрохеміками саме були встановлені основні закони мінерального живлення рослин, бо фізіологія рослин виділилася в самостійну галузь знання пізніше, ніж агрохемія, і ще пізніше з'явилися окремі кафедри ґрунтознавства. Але виділення цих галузей знання не заміняє роботи агрохеміка, бо тільки він в інтересах виробництва працює над синтезом даних трьох названих взаємодіючих факторів (див.схему — мал. 1). Коли для будьякої з трьох координат не вистачає таких даних для синтезу, то саме агрохемік перший це помічає і відповідно переміщає русло дослідної роботи, сигналізуючи, коли це потрібно, про необхідність допомоги від мікробіологів, ботаніків, фізіологів, ґрунтознавців і інших представників основного природознавства.

Прикладання агрохемічних знань відіграло найбільшу роль у справі піднесення врожаїв у Західній Європі за останнє півсторіччя.

За визначенням німецьких спеціалістів 50% цього піднесення повинне бути віднесене на рахунок застосування мінеральних добрив, 30% — на рахунок поліпшення посівного матеріалу і 20% на рахунок поліпшення обробітку.

Перші кроки в процесі піднесення врожаїв на Заході зроблені були на межі XVIII і XIX ст. ст., коли перейшли від трипільля до плодозміни. Введення саме клевера дозволило збільшити кількість азоту в ґрунті (прямо і через гній), а введення просапних культур поліпшило обробку і полегшило боротьбу з сміттям, але в той час як до застосування мінеральних добрив потрібно було понад 100 років на те, щоб піднести врожай на 7 ц



(з 7 до 14 ц), після введення мінеральних добрив у Німеччині за 25 років досягли більшого піднесення, ніж за ціле сторіччя до цього: 1770 р. — 7 ц, 1840 р. — 10 ц, 1885 — 1890 рр. — 14 ц, 1910 — 1915 рр. — 22 ц.

В Голландії середні врожаї збільшилися з 18 ц 80-х років до 28 ц післявоєнних років; таке прискорення в піднесенні врожаїв спостерігалось за цей період і по інших передових країнах Європи, які перейшли на масове застосування добрив (Бельгія, Данія).

Якщо візьмемо зміну врожайних даних не в часі, а порівняємо

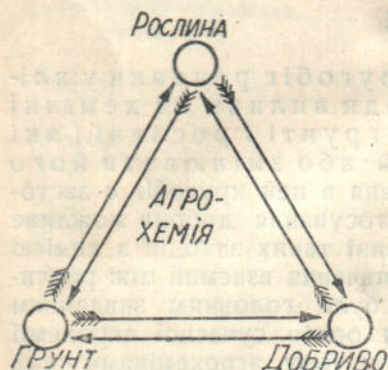


Рис. 1

просторовий розподіл їх з розмірами застосування мінеральних добрив, то одержимо яснішу картину залежності врожайності від ступеня хемізації хліборобства (див. таблицю на стор. 9).

Поява дешевих і необмежених джерел добрив дозволила Заходу не тільки значно збільшити врожай, а й розширити засівну площу. Сталося це, насамперед, за рахунок парових полів<sup>1</sup>, що стали непотрібними, як надто екстенсивний спосіб збагачування ґрунту розчинною поживою для рослин, а потім і за рахунок „негодящих земель“,

що раніше не піддавалися культурі. А тепер ми бачимо, як піскові ґрунти вересових пустирів і вироблені торфовища швидко перетворюються на висококультурні землі через внесення помірних доз вапна і надзвичайно високих доз мінеральних добрив.

В результаті гуртовий збір зерна в Німеччині за 25 років перед війною збільшився на 40%, гуртовий збір картоплі — на 55%, а населення збільшилося лише на 30%.

Крім хліборобства, почали вже застосовувати мінеральні добрива в лісництві. Так, у Данії при поновленні бука застосовується вапнування; в Німеччині при садінні сосни — люпинізація (культура багаторічного люпину поміж рядами для збагачення ґрунту на азот і для „підгону“ сосни). У торговельних питомниках лісових і декоративних дерев багато вживають усіх видів мінеральних добрив.

Гуртова кількість мінеральних добрив швидко зростає: тепер загальне вживання їх на земній кулі доходить до 40 млн. т, при чому на фосфати припадає приблизно половини цієї кількості, на азотисті і калійні добрива — по 25%. Ця перевага фосфору над азотом і калієм є типовою; тоді як у гною, навпаки, фосфору менше, ніж азоту і калію.

<sup>1</sup> В кінці XVIII ст. Німеччина мала близько 30% площі під паром; тепер лишилося тільки 2 — 3%. В Бельгії, Голландії і Данії пар на полях зовсім зник (іноді застосовується першого року перетворення вересових пустирів на культуру).



К р а ї н и	Урожай (у центнерах на га)	Азот, фосфор і калій (у кілограмах на га) <sup>1</sup>	Мінеральні добрива (у центнерах на га)	Тендером для цілої країни (в млн. т)
Голландія . . . . .	28,1	108	6,5	1,3
Бельгія . . . . .	25,9	55	3,3	0,6
Німеччина . . . . .	21,4	49	3,0	8,2
Японія . . . . .	17,1	28	1,7	1,2
Франція . . . . .	14,5	18	1,1	3,4
Сполучені Штати . . . . .	9,3	5	0,3	5,8
Передвоєнна Росія . . . . .	7,0	1	0,06	0,6

Справа в тому, що завданням внесення мінеральних добрив є не тільки замінити гній, якого не вистачає, але й виправити співвідношення елементів у наявному гною. Тим то в більшості країн (особливо в тих, які вступають на шлях хемізації) ми бачимо велику перевагу в застосовуванні фосфатів. Але якщо раніше мінеральні добрива відігравали додаткову роль, а основна маса поживних речовин все таки вносились у вигляді гною, то тепер ми бачимо, що гуртова кількість фосфору в мінеральних добривах у ряді країн уже перевищує кількість фосфору в усій масі гною, якого вживається в даних країнах (Данія, Голландія, Бельгія); а в Голландії і Німеччині вже й кількість калію, який вноситься у вигляді солей, перевищила загальну кількість калію в гної,—і це, не зважаючи на те, що кількість гною також зростає (якщо від мінеральних добрив підвищується врожай зерна, то, значить, підвищується врожай соломи і врожай клевера, а тому й гною виходить більше).

Перший висновок із сказаного попереду той, що без хемічної промисловості хліборобство передових країн не могло б стати тим, чим воно є тепер. Відніміть мінеральні добрива—і врожаї зменшаться, як вони зменшилися в Німеччині з першого ж року війни, коли хемічна промисловість почала виготовляти замість добрив снаряди, а на четвертому році війни врожаї вернулися до рівня, який був 75 років тому. Проте, не треба забувати і зворотної залежності: без пов'язання з потребами хліборобства хемічна промисловість також не могла б досягти сучасних розмірів. Так, німецька калійна промисловість, що досягла колосального виробництва калійних солей—12 млн. т за рік, 93% цієї кількості збуває у вигляді добрив і тільки 6—7% продукції бере хемічна промисловість. Сірчаноокислотна промисловість, цей стрижень для ряду хемічних виробництв, а також важлива ланка в організації оборони країни, тісно зв'язана в своєму розвитку з суперфосфатною промисловістю, і можна сказати, що кожний суперфосфатний завод є в той самий час і сірчаноокислотний завод. Азотисті добрива в мирний час майже всією масою ідуть на потреби сільського господарства і ці добрива рік-у-рік стають все потужнішим засобом збільшення хліборобської продукції. Досить сказати, що загальна сума азоти-

<sup>1</sup> Крім гною



стих добрив, вироблених на земній кулі в 1930 р. дорівнювала 10 млн. т, що відповідає підвищенню врожаю на 30 млн. т зерна, тобто азотна промисловість дала більше хліба, ніж передвоєний експорт Росії і Сполучених Штатів, разом узятих.

Звернімося тепер до наших умов. Революція застала наше хліборобство багатим в чому на середньовічному рівні. Тому завдання п'ятирічного плану в галузі хемізації грандіозні. Гуртова кількість застосовуваних добрив повинна в кінці другої п'ятирічки зрівнятися з тією, що вживається тепер у Німеччині, яка щодо абсолютної цифри стоїть на першому місці.

В числі головних дефектів хліборобства, які ми дістали в спадщину від минулого і які треба якомога швидше усунути, на першому місці стоїть низький рівень урожаїв, що в 4 рази нижчі від урожаїв Голландії і Данії, в 3 рази нижчі проти Німеччини,  $2\frac{1}{2}$  рази нижчі проти Японії і в 2 рази — проти Франції, яка дуже відстає від своїх північних сусідів (див. наведену таблицю).

Якщо низький рівень наших урожаїв є достатньо загальновідомим, то далеко менше відомий інший факт, що тільки почасти впливає з першого, це те, що передвоєнна Росія виробляла мало зерна з розрахунку на душу населення, як це ми бачимо з дальшого порівняння:

#### Продукція зерна на душу населення (1908-1913 рр.)

Експортери	Імпортери
Канада . . . . . 19 ц	Данія . . . . . 7 ц
Сполучені Штати . . . . . 10,3 „	Швеція . . . . . 5 „
Аргентина . . . . . 10 „	Німеччина . . . . . 4,6 „
Росія . . . . . 4 „	Франція . . . . . 4,3 „

Отже, не тільки країни, які вивозили хліб, а й ті, які ввозили його від нас, виробляли в дійсності хліба більше, ніж передреволюційна Росія, що направляла до них свої зайвини<sup>1</sup>. Пояснення цього лежить не тільки в низьких урожаєх, але й в недостатності засівної площі.

Низькі саме врожаї на 1 га самі собою ще ні про що не говорили б, коли б вони були наслідком екстенсивного господарства, при якому охоплюються великі площі, і в результаті все таки виходить великий збір хліба на їдця. Таку картину ми маємо,

<sup>1</sup> При такому порівнянні треба мати ще на увазі, що Німеччина, наприклад, виробляє багато картоплі, і якщо прирівняти 4 ц картоплі до 1 ц хліба, то вийде, що в Німеччині припадає 6,3 зернового еквіваленту на душу всього населення, а в передреволюційній Росії (1908—1913 рр.) припадало тільки 4,6 ц. Як же можливий був вивіз? Це пояснюється вимушеним вегетаріанством селянської маси. Річ у тім, що наприклад, при відгодівлі свиней для одержання кожного кілограма свинини треба згодувати 5 кг зерна. Тому відмова відгодувати тварин у себе і передача цього іншим лежало в основі експортних можливостей передвоєнного часу. Коли б селянин надумав додати до свого харчового режиму раз на тиждень  $\frac{1}{2}$  кг свинини на кожного члена родини, то це (при 120 млн. селянського населення) становило б на рік 3 млн. т свинини, що відповідає затраті 15 млн. т зерна, тобто це з лишком поглинуло б увесь передвоєний експорт, якщо взяти його максимальні розміри. Отже, колишній експорт був заснований, головним чином, на утриманні селянства від відгодівлі свиней з наданням можливості такої відгодівлі за рахунок нашого хліба в Данії і Німеччині.



наприклад, в Аргентині, де врожаї мало відрізняються від наших, і в Сполучених Штатах, де вони так само не високі (тільки в  $1\frac{1}{2}$  рази вищі від наших і більше як удвоє нижчі, ніж у Німеччині), але там це компенсується багатоземеллям. А передреволюційна Росія являла собою рідку в світі комбінацію низьких урожаїв з малою розораністю території при дуже високій чисельності сільського населення. Звідси ще один основний дефект нашого передреволюційного хліборобства: низька засівна площа на душу сільського населення, а саме 0,9 га в середньому (0,6 га на північній Україні, що близько до Індії з її 0,5 га на душу), тоді як у США припадає 5 га, в Данії—3 га і навіть у Німеччині і Франції—близько 1,5 га на кожного сільського жителя. Причина цього, звісно не в недостатці площі ззагалі,—землі в нас багато, а в тому, що площа наша надзвичайно мало розорана. В Західній Європі засівна площа займає часто 60% (Франція, Німеччина), а іноді й до 80% (Данія, Голландія) всієї площі країни, а в нас навіть в європейській частині Союзу засівається тільки 25% усієї площі, при чому в північних районах ця частка зменшується до 12—15%, а в Сибіру—ще нижче. А в той час ґрунти цих районів звичайно аніж не гірші тих, що дають у Данії і в Голландії врожаї 28 ц зерна після доброї заправки мінеральними добривами.

Через те, що широка лісова смуга в нас залишалася досі надзвичайно мало закультивованою, загальний процент засівної площі становить тільки 6% усієї площі країни<sup>1</sup>. Тому дальшим завданням (після піднесення врожайності) перед нами стоятиме розширення засівної площі, чому початок кладеться завданням—перетворити споживаючу смугу на виробляючу. Потім, коли перше завдання (піднесення врожаїв) буде виконане, розширення засівної площі повинне досягти великих розмірів відповідно до зростання продуктивності хліборобської праці.

Коли навіть без трактора, тільки з парою коней і плугом середня селянська родина в Данії, яка не користується найманою працею, може мати засівну площу 10—12 га або по 3 га на душу сільського населення<sup>1</sup>, то нам зоставатися на передвоєнній

<sup>1</sup> Коли не виключати тундри Північного Сибіру, піски Середньої Азії та інші непридатні для культури простори.

<sup>2</sup> Розмір такого трудового наділу (далеко більшого, ніж харчовий) залежить, звичайно, від типу господарства, але датське господарство відрізняється від нашого одночасно як більшою інтенсивністю (в одному напрямку), так і більшою екстенсивністю в другому, а саме: Данія має 40% від засівної площі під клевером що, звичайно, полегшує роботу в полі і переносить частину роботи на зиму (догляд худоби). В той самий час клевер, як найдешевше джерело азоту, так сприяє збільшенню врожаїв (при вдобрюванні фосфором і калієм), що Данія при 40% площі під хлібами збирає майже вдвоє більше зерна на душу, ніж передвоєнна Росія при 92% площі під хлібами. Нам при розширенні посіву в майбутньому так само можливо буде значно збільшити процент площі під клевером у всій нечорноземній смузі, що пов'язане і з завданням розвинути тваринництво в цій зоні. Але приклад Данії доводить, що перехід до тваринницького типу господарства на півночі не суперечить лозунгу „перетворити споживну смугу на виробну“, коли розмір засівної площі достатньо великий.



нормі 0,9 га на душу, звичайно, не можна, а можливості розширити засівну площу в лісовій смугі (з допомогою мінеральних добрив) у нас величезні. Коли в майбутньому, крім піднесення врожаїв, засівна площа в Союзі збільшиться, скажімо з 6 до 12%, то можна собі уявити, яку силу харчових і кормових ресурсів може дати наше хліборобство і які експортні можливості відкриватимуться перед нами в міру того, як після піднесення врожаїв настане можливість дуже розширити засівну площу.

Далі, крім низької продукції наше хліборобство характеризувалося несталістю врожаїв через недостатній розвиток хліборобства в областях достатнього зволоження. Тому в роки дуже великої посухи на південному сході (1891, 1911, 1921) у нас випадало до 25% від гуртового збору зерна.

Збільшення процента ріллі в нечорноземній смугі (без зменшення його на південному сході) може дати далеко більшу сталість нашому врожаю. При відповідному добриві середні (за 10 років) врожаї Московської області можуть перевищувати середні врожаї південного сходу, і навіть колишній Шенкурський повіт, з його пісковими землями, через багате вдобрення мав вище десятирічне середнє, ніж Надволля з його благодатним чорноземом, але далеко неблагодатними коливаннями клімату. Але культура нечорноземної смуги досі затримувалася відсутністю добрив. Тому колишня Московська губ. мала до останнього часу тільки 20—25% засівної площі, а Данія, що лежить на тій самій широті, має 75—80% площі під культурою і вчетверо більші проти нас урожаї, хоч так само лежить у зоні підзолистих ґрунтів. Ще менше, ніж кол. Московська губ. розорані кол. губернії Ярославська, Костромська (15% під культурою), а ще менше—решта півночі.

Збільшуючи з допомогою мінеральних добрив процент орної землі в областях достатнього зволоження, ми тим самим збільшуємо в нашому гуртовому врожаї частку, яка не залежить від кліматичних хитань на південному сході, і тим страхуємо себе від повторення лиха 1891 і 1921 рр.

Довгий час серед ряду агрономів держалося переконання, що в нас ще не настав час для застосування мінеральних добрив, що наші ґрунти мають погану структуру, і добрива діють далеко гірше, ніж на Заході, що без клеверного фону їх взагалі не варто застосовувати, і тому нам треба спочатку пройти через стадію чисто гнойового травопільного господарства і тільки тоді перейти до застосування мінеральних добрив.

Але при всьому значенні і обробки і клеверу (який, звичайно, треба максимально використати, але один він не здатний розв'язати азотне питання) все таки твердження, що наші ґрунти інакше ставляться до добрив, ніж західноєвропейські, ґрунтувалося на непорозумінні. Ґрунтам нашої нечорноземної смуги хронічно не вистачало азоту (тим більше, що сіяння клеверу справа в нас недавня і охопила при тому надто малу площу), а в дослідках передвоєнного часу (і навіть пізніших, до 1927 р. включно),



допускалися систематичні помилки щодо азотистого добрива<sup>1</sup>: при нормальних дозах фосфору і калію випробовувалися лише незначні дози селітри. Тому калій і фосфор на ґрунті повного впливу виявити не могли, а звідси й склалася неввірна думка про слабе діяння на наших ґрунтах мінеральних добрив взагалі.

Тільки в тих випадках, коли азотний мінімум був усунений енергійною нітрифікацією в умовах парового обробітку на чорноземі, вплив добрив виявлявся. Такий випадок регулярно спостерігався на Харківській станції, де один тільки суперфосфат дав (у середньому за 10 років) майже однакові з гноєм прирости — 8 ц зерна. Те саме було в дослідях кол. Шатілівської станції, але в нечорноземній смузі незмінно приходили до висновку, що поза травопіллям (тобто без клеверного фону) добрива не впливають.

Так справа стояла до 1927 року, коли Науковий інститут удобрень (НІУ ВРНГ), що об'єднав загальною програмою дослідні станції НКЗС і дав їм кошти на роботу з добривами, довів, що при достатніх дозах добрива діють у нас, у нечорноземній смузі, не гірше, ніж у Західній Європі; мало того, через ці досліді з'ясувалося, що й на чорноземі ярі реагують на азот, і колишні висновки про непотрібність азотистих добрив на чорноземі в багатьох випадках стосуються тільки чистих парів.

З дальшої таблиці бачимо, на скільки результати, одержані Науковим інститутом удобрень (НІУ), відрізняються від колишніх дослідів.

	Овес	Яч- мінь	Озиме жито	Кар- топля	Бу- ряк	Коно- плі (со- лома)	Льон- (соло- ма)
Прирости за колишніми даними . . . . .	5,5	4,0	4,0	40,0	51,0	12,0	5,2
За даними НІУ <sup>1</sup> . . . . .	17,4	13,3	8,1	91,4	92,0	36,0	14,9

Ці дані географічної сітки дослідів, організованої НІУ, що охопила 300 дослідних станцій, дали впевненість у можливості швидко збільшити врожай хемізацією нашого хліборобства.

Щодо можливості розширити культури в нечорноземній смузі з допомогою мінеральних добрив, то тут ясно, що в нас становище значно краще, ніж у Данії і Голландії, які змушені

<sup>1</sup> Тут позначився вплив передвоєнної економіки: амоній-сульфат коштував у нас учетверо, а селітра втричі дорожче, ніж пшениця.

Тим часом на Заході азотисті добрива почали широко застосовувати тільки тоді, коли ціна на них стала менша, ніж на пшеницю. Тому в нас азотистих добрив не застосовували (крім нікчемних кількостей під буряки). Мало того, крім цього неминучого господарського результату, передвоєнна економіка гіпотично впливала і на розум багатьох агрономів-дослідників, які або зовсім не хотіли працювати з азотистими добривами, або застосовували їх у мізерній кількості. Звідси часто виходило, що „гній впливає багато дужче, ніж мінеральні добрива“, і замість зваяжити, що в гною давали часом в 6, а часом в 12 разів більше азоту, ніж в селітрі, краще діяння гною приписували цілком його органічній речовині, а не великим дозам у ньому азоту, фосфору і калію.



перетворювати на культуру останні залишки найбільш тощих ґрунтів спід верескових пустирів. З підвищенням врожаїв на здавнораних землях і з розробкою нових земель у смугі достатнього зволоження повинні збільшитися і продукція хліба на душу населення і частка врожаю, яка не залежить від посухи.

Отже, шлях до можливо швидкого вилікування основних дефектів нашого хліборобства, успадкованих від передреволюційного періоду (низькі врожаї, мала засівна площа, низька продукція зерна на кожного мешканця і несталість урожаїв), значною мірою залежатиме від застосування мінеральних добрив.

Звідси грандіозний розмах у завданнях для нашої хемічної промисловості на наступні роки.

Крім можливості далеко швидше провести заходи хемізації хліборобства при змінених формах землекористування в межах потреби ґрунтів у добриві, яка досі визначилася, треба підкреслити ще ті моменти, які тепер підвищуватимуть цю потребу. Сюди належить, поперше, індустріалізація укрупнених господарств (радгоспів і колгоспів), з якої впливає спеціалізація і необхідність наситити сівозміну певною культурою. Так діє, наприклад, перехід від кустарного мочіння льону до концентрації мочіння і переробки на заводах. Раніше при мочінні на місцях, коли перевозилося тільки волокно (тобто тільки одна шоста ваги соломи), віддаль від льонового поля до місця використання волокна могла бути значною. Льон міг правильніше чергуватися з клевером і хлібами, можна було мати досить гною в господарстві. Але коли треба при централізації мочіння перевозити не одну шосту частину врожаю, а всю соломку, то доводиться наблизити льон до заводу. Звідси потреба більшого насичення сівозміни льоном, а це залишає менше простору для культури гнойотворчих рослин і дуже збільшує потребу господарства на мінеральних добривах. В інших випадках, не зважаючи на транспортабельність продукту, все таки доводиться насичувати сівозміну технічними рослинами через обмеження району даної культури умовами кліматичними. Так стоїть справа, наприклад, з бавовником.

Через теплові умови Середня Азія є головним бавовняним районом. Разом з тим обмеженість зрошуваної площі змушує відводити можливо більший процент її під бавовник, а це означає, зменшення кількості гною в господарстві при одночасному підвищенні потреби на добриво. Звідси знову ясна необхідність іти не тими темпами в застосуванні добрив, якими йшла Західна Європа і Америка. В тому самому напрямі впливає завдання скоротити площу під незайнятими парами: коли рослина, яка займає пар споживає нітрати, які утворюються за літо, то озимина потребуватиме більшої кількості азотистих добрив; так само діє і заміна кінної тягги трактором:

<sup>1</sup> При підвищених дозах добрив



кількість гною зменшується, отже, потреба на мінеральні добрива збільшується (оскільки мова йде про райони, де без добрива неможливо вже одержувати добрі врожаї).

Такі ті умови, що спонукують нас не тільки вижити ту відсталість від Західної Європи, яка характеризувала наше хліборобство, але взяти на увагу і ті нові вимоги, що випливають із завдання індустріалізації хліборобства і спеціалізації господарства окремих районів.

І МИНЕРАЛЬНА ТЕОРІЯ ХЛІБОРОБСТВА

Важко сказати, чи можна вважати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива. Це питання дуже складне і потребує спеціального дослідження. Але, мабуть, можна сказати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива.

Важко сказати, чи можна вважати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива. Це питання дуже складне і потребує спеціального дослідження. Але, мабуть, можна сказати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива.

Важко сказати, чи можна вважати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива. Це питання дуже складне і потребує спеціального дослідження. Але, мабуть, можна сказати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива.

Важко сказати, чи можна вважати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива. Це питання дуже складне і потребує спеціального дослідження. Але, мабуть, можна сказати, що в Україні, де в минулому було багато гною, а тепер його бракує, потрібні мінеральні добрива.

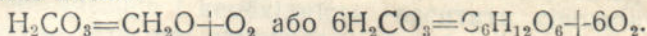
№	А	Б	В	Г
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

# ЧАСТИНА ПЕРША (ЗАГАЛЬНА)

## А. КОРЕНЕВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

### 1. МІНЕРАЛЬНА ТЕОРІЯ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН. ГОЛОВНІ ЕТАПИ ЇЇ РОЗВИТКУ

Мета культивування рослин—виробити органічну речовину, при чому ця речовина створюється рослиною за рахунок чисто мінеральних сполук, головню з вуглекислоти та води, за рахунок енергії сонячного проміння. Основним процесом, що приводить до утворення безазотистих речовин (крохмалю та інших вуглеводів), є відновлення вуглекислоти, яка відбувається з виділенням кисню:



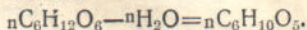
Отже, з вуглецю, взятого рослинами з вуглекислоти повітря, разом з воднем і киснем води, утворюються вуглеводи; ці первинні продукти синтезу стають далі матеріалом, з якого утворюються в рослині інші безазотисті сполуки (продукти ущільнення<sup>1</sup>, як клітковина, або продукти окисації, як органічні кислоти, або відновлення, як жири).

Крім безазотистих речовин у рослині (крохмаль і жири), які витрачаються на здобування енергії або на будову кістяка рослини (клітковина) в тіло рослини входять білкові речовини та їх похідні, які є головною частиною протоплазми і ядра, і на будову яких, крім вуглецю, кисню та водню, потрібні азот, сірка і фосфор, а для правильного функціонування всього механізму потрібні ще деякі зольні елементи (калій, кальцій, магній, залізо). В рослині протопласт може утворювати значно більшу масу вуглеводнів, ніж він сам важить. Тому в рослині звичайно вага вуглеводнів вища від ваги найбільш важливих у житті клітини білкових речовин.

Наскільки вуглеводи переважають у складі рослини, видно з такого порівняння: коли уявити весь рослинний світ висушеним і розтертим в загальну масу, то її склад був би приблизно таким:

	С	Н	О	Н	Золи
Середній склад рослинної маси	45,0%	6,5%	42,0%	1,5%	5,0%
Склад крохмалю і клітковини	44,4%	6,2%	49,4%	—	—

<sup>1</sup> Дальший перехід від найпростіших вуглеводнів типу глюкози до ущільнених молекул складніших вуглеводів, як крохмаль і клітковина, відбувається з виділенням води за такою схемою:





Отже, ваговий склад рослинної маси—близький до складу крохмалю і клітковини через кількісну перевагу вуглеводів; порівнюючи менша частина припадає на азотисті речовини (білки та їх похідні) і на золу. О дначе, саме азот і зола, яких у рослині менше, ніж вуглеводів, мають для нас найбільший інтерес, бо з одного боку, без них не можуть утворюватися навіть і безазотисті, і беззолні органічні речовини (якими є вуглеводи), а, з другого, постачання рослинам азоту і елементів золи найбільше піддається нашому впливові: вони, якраз і відіграють головну роль у добривах, тоді як переважні масою елементи (вуглець, кисень і водень) беруться рослиною не з добрива і не з ґрунту, а приходять з атмосфери у вигляді вуглекислоти і води. Впливати на склад атмосфери—важке завдання, коли говорити про культуру в полі, і поки це завдання обмежене парниковою і тепличною культурою. А вплив добривами на склад ґрунту може бути широко застосований і в польовій культурі.

Поки не було встановлено, які елементи рослина бере з повітря, а які з ґрунту, неможливо було збудувати правильну теорію вдобрення, і тут панував грубий емпіризм. Так, з того факту, що родючий ґрунт багатий на перегній (гумус) і що в гною переважає органічна речовина, яка, розклавшись, переходить у ґрунтовий перегній, робили висновок, що рослини одержують вуглець через корені. Так утворилася гумусова теорія живлення рослин і вдобрення, коріння якої можна простежити до глибокої давнини, але найбільшого розквіту досягла ця теорія в кінці XVIII і на початку XIX ст., при чому найяскравішим представником її був видатний діяч у реформі сільського господарства в Німеччині—Теєр. Німеччина переживала тоді перехідну стадію,—це був період відмовлення від трипільля і переходу до плодозмінного господарства з культурою конюшини і коренеплодів на полях, з поліпшеними способами в галузі тваринництва та ін. Теєр немало сприяв введенню плодозміни та поліпшених способів культури як своїми творами, так і власною діяльністю (між іншим, він заснував першу на земній кулі вищу школу сільського господарства в своєму маєтку в Мегліні 1806 р.). В результаті успіху, що мав Теєр як реорганізатор господарства на нових основах, його погляди на живлення рослин також набули загального поширення, хоч сам він ніяких експериментів у галузі фізіології рослин не робив; але раз прийнявши гумусову теорію, він послідовно проводив її і на ній будував балаєс ґрунту родючості.

Теєр писав про гумус, наприклад, так: „Родючість ґрунту залежить власне цілком від нього, бо, крім води, він є єдиною речовиною ґрунту, що може бути поживою рослинам“. На цьому будувалося вчення про виснаження і поновлення родючості ґрунту і про сівозміни. Була думка, що чим більше в рослині є поживних речовин, тим більше вбирає вона і гумусу, наприклад, пшениця потребує гумусу більше, ніж жито. Але гумус, що дає початок життю, одночасно є і результатом його. Так,



якщо рослина згниває на тому самому місці, де вона виросла, то кількість гумусу збільшується, бо під час свого життя рослина засвоїла і перетворила на гумус інші простіші речовини. Тому деякі рослини, які відзначаються енергією асиміляції, можуть залишати в ґрунті більше органічної речовини, ніж брати з нього. Такі рослини не виснажують, а поліпшують ґрунт (конюшина). Коренеплоди, що виносять багато органічної речовини і залишають мало корневих залишків, є рослинами, які виснажують ґрунт.

Вірно помічаючи багато фактів дійсності і роблячи з них правильні (для свого часу) організаційні висновки, Теєр неправильно пояснював їх. Так ігнорувався вміст азоту в органічній речовині ґрунту і гною, як недооцінювалося і значення азотистих речовин у врожаях (тоді думали, що вміст азоту характеризує тваринний організм, а не рослинний); так само не надавалося належного значення і зольним речовинам як у рослині, так і в ґрунті в добривах. Цікаво, що й на початку ХХ ст. часто повторювалась та сама помилка щодо азоту й зольних речовин гною, хоча й з іншого погляду, а саме, нерідко говорилося, що гній вноситься в ґрунт не ради поживних речовин, а головню ради органічної речовини, яка сприятливо діє на фізичні властивості ґрунту, але при цьому забували відняти від загального ефекту гною ту головну частину цього ефекту, яка припадає на азот, фосфор і кальцій, через що й роль органічної речовини, яку так підкреслювали, на ділі позбавлялася цифрового виразу). Може постати питання, як Теєр міг культивувати теорію, засновану на засвоюванні вуглецю через коріння, коли ще в 70-х роках ХVІІІ ст. було встановлено, що рослини розкладають вуглекислоту повітря і беруть з неї вуглець (Прістлей, Інгенгуз, потім Сенеб'є), але річ у тім, що тоді не було доведено, що вуглекислоти повітря досить для забезпечення рослини вуглецем. Тому Теєр вважав це джерело побічним, а гумусові приписував вирішальне значення.

Гумусова теорія панувала протягом першої третини ХІХ ст. не тільки серед агрономів, а й серед хеміків<sup>1</sup> та ботаніків того часу, але в кінці 30-х років, і особливо в 40-х роках, її піддали критиці два автори, яких треба вважати основоположниками сучасної агрохемії, Буссенго у Франції і Лібіх у Німеччині. Буссенго перший зробив облік кругобігу речовин у хліборобстві<sup>2</sup> з допомогою точного хемічного аналізу всіх добрив і всіх урожаїв за цілу сівозміну (1835 — 1840 рр.) і звернув увагу на значення азоту в житті рослин, а тому надав найбільшого значення вмістові азоту в добривах (гній, гуано). Ставлячись критично до гумусової теорії, Буссенго протиставив їй азотну теорію вдобрення, висловивши положення, що „найбільше впливають ті добрива, в яких є більше азоту“ (1837 — 1838 рр.).

<sup>1</sup> Так, Деві і Берцеліус, які лишили великий слід в історії розвитку хемії щодо кругобігу речовин у сільському господарстві, стояли на погляді Теєра.

<sup>2</sup> Буссенго є засновник першої агрохемічної дослідної станції на земній кулі (див. лекцію Тімірязєва „Полвека опытных станций“. 1885 р.).



В 1840 р. з'явилася відома книга Лібіха „Хемія в застосуванні до хліборобства і фізіології рослин“; вона була написана в популярній формі, відзначалася блискучим викладом, різкістю критики і сміливістю висновків. Тому відмінно від праць Буссенго, надрукованих у спеціальних журналах, книга Лібіха стала відомою не тільки в науковому світі, але і в широких колах сільських господарів. У своїй критиці гумусової теорії Лібіх брав її в крайніх її виявах, доводячи до абсурду; його аргументація була приблизно така: якщо рослина бере вуглець з перегною, то перегній повинен бути попереду розчинений у воді. Припустимо, що кількість води, яка випадає, вступає в рослину, не витрачаючись на пряме випарування з ґрунтової поверхні, не стікаючи з полів і не просочуючись углиб, за межу впливу коренів; виявляється, що всієї цієї води далеко не вистачає на те, щоб розчинити кількість перегною, потрібну для поповнення потреби рослин у вуглецю при середньому врожаї. Отже, вуглець повинен надходити з атмосфери. Далі, через те, що самий перегній є результат розкладу рослинних залишків, то спочатку повинні були з'явитися рослини і потім лише перегній, таким чином перші рослини брали вуглець тільки з повітря. Отже, перегній ґрунту не є необхідним для розвитку рослин. Ідучи далі, Лібіх зовсім відкинув саму можливість завоювання органічних речовин корінням, поставивши в основі вчення про живлення рослин (отже і вчення про добрива) тезу, що тільки неорганічна природа дає рослинам їх первісну поживу.

Природним продовженням поглядів Лібіха на живлення рослин були його теорія вдобрення і виснаження ґрунту при одноманітній культурі та його пояснення значення сівозміни.

Тоді як Теер і його послідовники поділяли рослини на збагачуючі і виснажуючі ґрунт, залежно від кількості кореневих залишків, які залишають вони в ґрунті, і корисність плодозміни пояснювали зрівноваженням прибутку і витрат гумусу, Лібіх піддав критиці саме поняття про збагачуючі ґрунт рослини. Якщо рослини беруть із ґрунту тільки мінеральні речовини, не обхідно для їх розвитку, то кожний урожай виносить щось із ґрунту, збіднює його, і жодна рослина не може збагачувати ґрунт на елементи поживи для інших рослин, а може тільки його виснажувати. Правда, виснажують його різні рослини в різних напрямках: одні беруть переважно вапно (горох), другі беруть багато калію (коренеплоди), треті — переважно силікатну кислоту (хліба)<sup>1</sup>. Виходить, що чергування культур ми можемо уповільнити процес виснаження ґрунту, рівномірніше використовувати наявний у ньому запас поживних речовин; але рано чи пізно виснаження настане, коли ми не будемо правильно повертати в ґрунт те, що з нього взято.

<sup>1</sup> Велика кількість силікатної кислоти в соломі злакових дала підставу Лібіху спочатку вважати і цю речовину важливою для розвитку рослин, що потім не підтвердилось.



Необхідність повертати мінеральні речовини в ґрунт Лібіх обстоював надзвичайно енергійно і недодержанню цього надавав великого історичного значення. „Причина виникнення і падіння націй лежить у тому самому. Розкрадання родючості ґрунту зумовлює їх загибель; підтримання цієї родючості—їх життя, багатство і могутність“. Як, на приклад Лібіх вказував на долю Греції і Риму, що дійшли до занепаду економічного і морального через незнання законів природи. Таку саму долю пророкував він і сучасному господарству, якщо воно вчасно не припинить розкрадання поживних речовин ґрунту, при чому Лібіх цілком правильно відзначив особливе несприятливе становище для фосфору в кругобігу речовин у господарстві, а саме: велика частина фосфору міститься в зерні, що відчувається з господарства, а калій і вапно містяться головним чином в соломі, що йде в гній, а тому для калію та вапна баланс складається сприятливіше, ніж для фосфору, який повинен в зерновому господарстві неминуче попадати в становище мінімального фактора; а тому, що фосфор неможливо замінити калієм або чимсь іншим, і врожаї зерна повинні зменшуватись, коли ми не будемо доповнювати гнойове вдобрювання фосфором, вносячи його із сторони. Тому Лібіх запропонував використовувати кістки, багаті на фосфат вапна, і виготовляти з них суперфосфат. Ця вказівка Лібіха була потім стверджена світовим досвідом, як ми вже бачили; саме фосфатні добрива стали потрібними насамперед, і їх почали застосовувати у великій кількості, а рекомендований Лібіхом розклад важкорозчинних фосфатів сірчаною кислотою дав поштовх розвитку великої галузі основної хемічної промисловості.

Закон мінімуму Лібіха, за яким урожай визначається тим фактором, якого найбільше не вистачає для утворення нормального врожаю, впливає з факту незамінності елементів одного одним. Деякі автори, через чисте непорозуміння, цей висновок Лібіха пов'язують з давно спростованим дійсністю вченням Мальтуса про обмеженість засобів харчування і з неіснуючим „законом спадаючої родючості“, бо на ділі родючість ґрунту зменшується тільки при хижачькому господарюванні, з яким боровся Лібіх; як раз вказівки Лібіха стали підставою не тільки для підтримання родючості на попередньому рівні (про що дбав Лібіх), але потім було досягнуто й дещо далеко більше; виявилось, що врожаї з допомогою мінеральних добрив можна піднести до висоти, незваної за часів Теєра і Лібіха; отже, можна скорше говорити про закон зростаючої родючості і не в ідеї тільки, а на підставі безпосередніх статистичних даних (див. сказане на стор. 8).

Економічне питання про оптимум затрат на одиницю площі і про зниження оплати при відступі від оптимуму в обидві сторони також не має ніякого відношення до Лібіха.

Висунувши цілком вірно роль фосфору і інших зольних елементів, Лібіх, однак, недооцінив ролі азотистих добрив. Звичайно, участь азоту в утворенні білкових речовин була йому



добре відома, але він гадав, що вміст амоніаку в повітрі (у вигляді вуглекислої і нітратної солі) достатньою мірою забезпечує всі рослини азотом, а тому вважав за марнотратство витрачати гроші на селітру та амоніакові солі. Отже, можна сказати, що коли Буссенго протиставив гумусовій теорії Теєра азотну теорію, Лібіх усе вчення про живлення рослин і вдобрення базував на питанні про зольні речовини і стверджував, що цінність гною залежить тільки від кількості калію, фосфору та інших елементів у його золі.

На цьому фоні розбіжності поглядів найвидатніших представників французької і німецької агрохемії велике значення мали досліди, поставлені в Англії 1843 р. Лоозом, засновником дослідної станції в Ротамстеді, що потім стала всесвітньо відомою. Ось дані одного з цих дослідів, поставлених для перевірки твердження Лібіха:

#### Урожай зерна (в ц. з га)

Без добрив . . . . .	16,5
Гній . . . . .	21,0
Зола від гною . . . . .	16,0
Сірчаноамоніачна сіль і калійнофосфорні добрива . . . . .	24,0

Цим і іншими дослідями було доведено, що сама тільки зола не замінює гною, і азот, як правило, треба вводити в склад добрив поруч із зольними речовинами (про особливе становище бобових мова буде далі). Отже, виявилось необхідним синтезувати тезу Буссенго про значення азоту в добривах з Лібіхівською тезою про роль елементів золи, а не протиставляти одну одній.

Лібіх сам не експериментував з живими рослинами, він ішов переважно дедуктивним шляхом, ґрунтуючись на даних аналізів золи<sup>1</sup>, але його гаряче написані твори, які викликали широку полеміку, мали, крім залучення широких кіл до обговорення цих питань, ще те важливе значення, що дали поштовх до багатьох експериментальних дослідів, які поступово привели до створення методики вирощування рослин в штучному середовищі, а це дозволило з цілковитою певністю розв'язувати питання про значення того чи іншого елементу для рослини. Після ряду спроб окремих дослідників створити тверде беззольне середовище для вирощування рослин для досліду, при умові відсутності першого-ліпшого елементу (пісок, промитий кислотами, вугіль, одержаний з цукру, і навіть обрізки платинового дроту), перейшли потім до водних культур, бо дистильованої води можна легко одержати великі кількості, чого не можна сказати про тверді субстрати. Головну роль в утворенні цього роду методів і в розв'язанні питання про роль зольних речовин відіграли агрохемічні дослідні станції, що з'явилися в Німеччині в 50-х роках.

<sup>1</sup> При цьому він використав перші точні аналізи золи, зроблені Соссюром (1804 р.).



Але, коли часто кажуть, що агрохемічні дослідні станції своє виникнення завдячують Лібіху, то це вірно тільки в посередньому розумінні, а не в прямому. Лібіх своїми творами будив потребу мати наукове пояснення с. аг. явищ, і це покликало до життя дослідні станції, не зважаючи на те, що сам Лібіх, залишаючись на ґрунті дедукції, був більше хеміком, ніж агрохеміком, протилежно своєму французькому сучасникові Буссенго, що насамперед бажав знати „думку рослини“ і тому ставив досліди в полі і в посудинах з живими рослинами.

Задача вирощування рослин у штучному середовищі для тих часів було трудна, бо відразу мали діло з багатьма невідомими; не знали не тільки того, які елементи потрібні, а і в якій формі краще їх давати, яка реакція розчину краща для рослини, яку концентрацію солей реакція витримує. Треба було забезпечити аерацію водного розчину, захистити його від прямого впливу сонячного проміння, — коротко, виробити техніку водних культур так, щоб можна було кожного разу користуватися нею, не ризкуючи затемнити поставлене питання побічними обставинами. Так поступовно знайшли, що концентрація розчину повинна бути слабкою (2-3 г на 1 л), що реакція не повинна бути лужною (не зважаючи на лужність золи)<sup>1</sup>, що вона повинна бути скорше мало кислою або, принаймні, нейтральною, що треба більш окисдованим формам віддавати перевагу над менш окисдованими (наприклад, треба давати сірку у вигляді солей сульфатної, а не сульфітної кислоти; азот у вигляді азотної, а не нітритної, фосфор — у вигляді ортофосфорної кислоти). Вперше рослини були доведені до досягання у водних культурах у 1859 р. Кнопом і Саксом, що працювали незалежно один від одного.

Коли метод було знайдено, з'явилася можливість виключати перший -ліпший елемент з повної суміші і спостерігати, як реагує на це рослина; в одних випадках вона перестає рости скоро після того, як використає запас поживних речовин у насінні, а в інших вона розвивається далі і доходить до плодоношення, не зважаючи на виключення досліджуваного елемента. Так можна було відрізнити необхідні елементи від випадкових, які можуть скупчуватися в рослині, вступаючи в неї разом з водою, що вбирається з ґрунту, і внесено було ряд поправок до висновків Лібіха, зроблених на підставі аналізів золи. Так силікатна кислота, як виявилось, зовсім не відіграє тієї ролі, яку їй приписував Лібіх. Так само натрій не потрібний для розвитку рослин і не може замінити собою калію. Азот, згідно з поглядами Буссенго (а не Лібіха), виявилось потрібним давати корінню рослин, і при тому більшу кількість, ніж будьякій іншій елемент кореневого живлення. Кінець-кінцем безумовно необхідними елементами, яких не можна виключати із складу поживної суміші, виявилися насамперед такі: азот, фосфор, сірка,

<sup>1</sup> Лужність золи залежить від того, що при згоранні утворюються вуглекислі луги, головним чином  $K_2CO_3$ , але в рослині містяться солі калію та інших основ з органічними кислотами, а не з вуглекислою, яка утворюється при окисдації органічних кислот.



калій, кальцій, магній, залізо, які повинно давати в певних сполуках. Перших шість елементів зручно давати у випадку водних і піскових культур у вигляді трьох солей  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , до яких додають нікчемну кількість заліза у вигляді  $\text{Fe}_2\text{Cl}_6$  або  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Такі суміші є стандартними не тільки в тих випадках, коли ми хочемо спостерігати вплив відсутності того чи того елементу, а й тоді, коли ми хочемо порівняти доступність будь-якого природного джерела калію або фосфору (наприклад, калій нефеліну, фосфор того чи того фосфориту), при чому в цих випадках частіше користуються пісковими культурами для того, щоб кількість розчинника (вода) не надто відрізнялася від кількості води, яка може бути в ґрунті (а після того, коли ми дізнаємося, як рослина ставиться до даного джерела поживи, можна буде, поставивши дослід з тим чи іншим ґрунтом, визначати таким способом роль ґрунту, чого ми не могли б з такою чіткістю зробити, коли б не провели досліду з виключенням ґрунту).

Отже, тільки після розробки методу штучних культур (тобто через 20 років після виходу книги Лібіха) можна було встановити, які елементи важливі для життя рослини і тому можуть відігравати роль у питаннях про добрива. Основна теза Лібіха, що рослинам потрібні тільки неорганічні сполуки, цілком ствердилася результатами водних (і піскових) культур, але щодо окремих елементів були внесені істотні поправки.

## 2. РОЛЬ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Коли ще в 60-х роках виразно виявилася необхідність постачання рослині через коріння названих семи елементів у вигляді певних сполук, то питання про роль кожного з цих елементів у житті рослини виявилось далеко труднішим, особливо щодо металів.

Для не металів (азоту, сірки, фосфору) справа стоїть простіше, бо відомо, у склад яких сполук вони входять. Так, азот входить у склад усіх амінокислот, з яких побудована складна молекула білків. В результаті на азот припадає від 16 до 18% ваги білка. Тому на питання, на що потрібен рослинам азот, є цілком певна відповідь: без азоту немає білків, без білків немає протоплазми, без протоплазми немає життя.

Сірка, хоча й не в такій кількості, як азот, так само входить у склад білка, але через те, що вона входить не в усі, а тільки в деякі амінокислоти, кількість сірки в білку завжди менша, ніж азоту (від 0,4 до 2,8% ваги білка). Крім білків, сірка буває і в деяких інших органічних сполуках (наприклад, у гірчичній олії).

Фосфор, хоч і не входить до складу звичайних білків, але він входить у склад нуклеопротейдів, які відіграють важливу роль у будові клітинного ядра (це ніби солі білка з нуклеїновою кислотою, яка являє собою складну похідну фосфорної кислоти).



Вже самого тільки цього досить, щоб важливість фосфору в житті рослин стала очевидною. Але крім того фосфор входить у склад інших сполук, які відіграють помітну роль у житті рослинних (і тваринних) організмів, як фітин і лецитин, що також є складними похідними фосфорної кислоти (хоча й простішими, ніж нуклеїнова кислота). Добре відомий на практиці сприятливий вплив фосфору на досягання (наприклад, утворювання зерна в хлібах, відкладання цукру в буряку і винограді, крохмалю в бульбах картоплі покищо точного фізіологічного пояснення не має.

Питання про фізіологічну роль металів, потрібних для життя рослини, виявилось, як уже зазначено, далеко труднішим, і досі в ньому багато є недосить з'ясованих моментів.

Так, щодо калію доводиться сказати, що наскільки твердо встановлена його безумовна необхідність для життя рослин і незамінність ніякими іншими елементами, настільки ж непевні відомості про найближчі його функції, і досі не виділено будь-яких характерних сполук, що показували б, в яких саме процесах калій бере участь.

Звичайно вважають, що калій зв'язаний з утворенням вуглеводів у рослині; в загальній формі цю думку висловив ще Лібіх. Пізніше Гельрїгел спостерігав, що, наприклад у ячменю та нічкерна кількість зерен, яка утворюється при недостатці калію, надзвичайно бідна на крохмаль (тоді як при азотному голодуванні, хоч би як мало утворювалося зерен, кількість крохмалю в них буває нормальна). У бульбах картоплі при різко виявленій недостатці калію (в піскових культурах) кількість крохмалю зменшувалася до 7% проти 17% у посудинах з повною поживною сумішшю. Те саме явище спостерігалось для цукрового буряка, при чому розвиток листків менше терпів, ніж розвиток кореня, який не тільки мало важив, а ще й був дуже водянистий. Однак, у цих дослідах не було простежено, яка функція пригнічувалася недостатчею калію: чи первинний синтез найпростіших вуглеводів у листку, чи їх пересування до місць відкладання, чи перехід від простих глюкоз до складніших вуглеводів як тростинний цукор і крохмаль. А поскільки в органічній хемії відомі випадки, коли синтез відбувається в присутності калію і не відбувається (або відбувається в іншому напрямку) в присутності натрію, то цілком можливо, що і в рослині калій є катализатором (прискорювачем) будьякої реакції в синтезі органічних речовин, але не входить у кінцеві продукти цієї реакції, як це і взагалі спостерігається при каталізі. Спробам пояснити особливу роль калію в рослині тим, що серед складових частин золи він являє собою єдиний метал, який відзначається деякою радіоактивністю, заперечує те, що інші радіоактивні елементи не можуть замінити калію.

Щодо кальцію звичайно говориться, що він нейтралізує надмірні кислоти, але хоч в рослинах дійсно бувають кристалічні відклади кальцій-оксалату, однак не доведено, що в даному разі кальцій був засобом для усунення надмірної кислоти, а не навпаки — оксалатна кислота була засобом для усунення



надмірного кальцію (тим більше, що органічні кислоти зовсім не є для рослини якесь таке зло, яке інакше неможливо усунути, бо вони можуть оксидуватися до вуглекислоти і води). Цікаво, що хоч кальцій не входить у склад хлорофілу, проте зелені рослини мають більше кальцію, ніж безхлорофільні (бактерії і гриби почасти можуть, очевидно, зовсім обходитися без кальцію); зовнішні листки капусти, що мають хлорофіл, багатші на кальцій, ніж внутрішні безколірні, конюшина має багато кальцію, а паразитуюча на ньому кускута бідна на нього і т. д. Давно було помічене неоднакове ставлення різних рослин до кількості кальцію в ґрунті: наприклад, еспарцет є навіть показником ґрунтів, багатих на вапно, а „кислі злаки“, як *Aira caespitosa* (щучка) і особливо деякі мохи (с ф а г н у м) не миряться з вапном. Однак, через те, що в природі кальцій найчастіше трапляється в вигляді  $\text{CaCO}_3$ , в цих явищах один на один накладаються впливи двох факторів, які раніше не відрізнялися, а саме: реакція ґрунту, що залежить від кількості  $\text{CaCO}_3$ , і наявність йону кальцію, як такого (хоч би у вигляді  $\text{CaSO}_4$ , або  $\text{CaCl}_2$  та ін.). Якщо реакція середовища має велике значення (при чому окреми види рослин ставлять щодо цього різні вимоги), то кількість йону кальцію, хоч уже зв'язаного з сильними кислотами, так само має своє значення, а саме: він потрібний для так званої „фізіологічної зрівноваженості“ розчину, яка необхідна як для рослинних, так і для тваринних організмів (про неї мова буде далі).

Відсутність кальцію в поживному розчині, в якому є солі інших катіонів, хворобливо відбивається на розвитку кореневої системи: клітини в зоні росту руйнуються; клітинні стінки ослизуються, і розчин стає каламутним, бо колоїдальні речовини, які входять у склад клітинної стінки, дають з кальцієм мало розчинні і мало набрякаючі в воді сполуки, а з калієм вони дають сполуки протилежних властивостей. Тому без кальцію ці колоїди починають переходити в навколишній розчин, від чого він стає каламутним; правильне функціонування кореневої системи, її ставлення до вбирання води і солей порушуються.

Для магнію, поперше, справа стоїть відносно добре в тому розумінні, що відома, принаймні, одна певна сполука, при тому дуже важлива в житті рослини, в склад якої входить магній, — це хлорофіл; формула його добре встановлена і становище магнію в ній відоме, при чому магнію саме приписується певна участь у реакціях, зв'язаних з відновленням вуглекислоти і виділенням кисню.

Але, в хлорофіл входить тільки менша частина магнію, що міститься в рослині. Далі, безхлорофільні організми таксамо потребують магнію, — отже, виходить, що магній має ще якісь функції, покищо невідомі, не зв'язані безпосередньо з хлорофілом.

Роль заліза в рослині ближче невідома, але без заліза не утворюється хлорофіл, листя набуває блідожовтого забарвлення, що визначається, як захворювання рослини на „хлороз“. Коли по такому світложовтому листку провести щіточкою,



змоченою слабим розчином якоїнебудь солі заліза, то через деякий час відповідна частина поверхні листка позеленіє.

Через те, що залізо не входить у склад молекули хлорофілу, гадають, що залізо є каталізатором (прискорювачем) деяких реакцій, які відбуваються перед утворенням хлорофілу. Захворування на хлороз може бути спричинене не тільки повною відсутністю заліза, а й переходом заліза в нерозчинний стан, наприклад, при лужній реакції ґрунту (так, при надмірному вапнуванні люпин легко захворує на хлороз).

Але й тут, як і в випадку з магнієм, доводиться відзначити, що нижчі організми, які не мають хлорофілу, все таки потребують заліза. Очевидно, і тут ми маємо діло не з одною якоюнебудь функцією, а з кількома.

Крім перелічених важливих для кореневого живлення семи елементів, безумовна необхідність яких для рослини виявилася в перших уже дослідах, проведених скількинебудь досконалим у водних і піщових культурах, не раз увага дослідника спиналася на інших елементах і ставилося питання, чи не можуть вони, не будиши прямо необхідними, все таки бути корисними для рослини тим або іншим.

Так, досить довгий час спірним було питання про значення хлору для рослин, і деякі автори обстоювали, що, наприклад, у грецькі, вирощеної без хлору порушується пересування вуглеводів з листків до зерен. Але справа в тому, що ми не можемо вносити або виключати самий тільки хлор, бо річ іде не про вільний хлор, а про солі хлоридної кислоти. Тому треба поставити дослід так, щоб, вводячи або виводячи аніон, не зменшити кількості якогонебудь катіону з числа необхідних рослині настільки, щоб цим був пригнічений розвиток рослини, або не створити цією зміною в поживному розчині тенденції до кислотої або лужної реакції (див. сказане далі про фізіологічну реакцію солей).

Перший час розвитку методу водних культур цих обставин не брали до уваги. А коли ми провели досліди з введенням і виведенням хлору без зміни кількості основних поживних речовин у розчині і з усуненням побічних впливів реакції, то виявилось, що до присутності або відсутності хлору рослини ставилися цілком байдуже<sup>1</sup>.

Так само немало дослідів ставилося для обліку впливу силікатної кислоти. Ще в 1862 р. було показано, що кукуруза нормально розвивається, коли їй не давати силікатної кислоти, але все таки така рослина мала в золі 0,70% S і O<sub>2</sub> (замість 20<sup>0</sup>), бо великі насінини кукурузи містять у собі помітні кількості S і O<sub>2</sub> (не кажучи про можливість брати її з стінок скляної посудини, якщо не покрити їх парафіном). Тому пізніше було проведено досліди над вирощуванням чотирьох поколінь кукурузи підряд без введення S і O<sub>2</sub>, з усіма запобіжними заходами проти можливої участі складових частин скла; при цьому і четвертому поколінні не було відступів від норми в розвитку рослини і плодоношення. Але можливі специфічні випадки, коли при відсутності силікатної кислоти ті органи, де вона звичайно відкладається, без неї матимуть інші фізичні властивості (плівки зерен проса, волоски кропиви), хоча щодо решти розвитку рослини ані скільки не порушується. Пізніше спостерегли, що у випадку крайньої недостачі фосфору введення колоїдальної силікатної кислоти деякою мірою поліпшує розвиток рослини, допомагаючи кращому використанню бідного запасу фосфора в середовищі, що оточує корені. Але цей вплив спостерігається в такій крайній мірі фосфорного голодування і він такий невеликий щодо абсолютних розмірів, що ніякого практичного значення не має.

Крім того, немало робіт присвячено питанню про значення для рослини марганцю, бору та інших елементів, нікчемна кількість яких буває в золі рослин. Ці елементи, коли їх дати такі кількості, які дається калію або магнію,

<sup>1</sup> Але можливий побічний вплив хлору; наприклад, калій вступає швидше в рослину з розчину KCl, ніж K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Про можливість несприятливого впливу великих надмірів хлористих солей, які вносилися з деякими пропонованими сучасною промисловістю добривами, було сказано при розгляді цих добрив.



напевно отруйні для всіх рослин, і тут річ іде про корисну дію таких слідів цих елементів, як введення 1 частини і частини на 2,5 (і більше) млн. частин води; при цьому бобові і пасльонові (картопля, томати) краще реагують на це, ніж злаки. Але для того, щоб спостерігати, як діють такі елементи, треба працювати з особливо чистими реактивами, і вже такий спосіб, як намочування насіння у водопровідній воді замість дистильованої, може перешкоджати завданню досліду, тобто чіткому виявленню реагуванню рослини на такі елементи. Через це, а також вважаючи і на вміст названих (і подібних їм) елементів у ряді удобрювальних матеріалів (наприклад, у фосфоритах, отже, і в суперфосфаті), ми не будемо тут докладніше розглядати питання про значення елементів цього порядку в житті рослин і в добривах.

### 3. ВСТУП РЕЧОВИН У КОРИНЬ З НАВКОЛИШНЬОГО РОЗЧИНУ

В якій би формі не містилися необхідні для рослини елементи в навколишньому середовищі, в клітині кореня (кореневих волосків) вступають кінець-кінцем тільки розчинні сполуки, здатні дифундувати з навколишнього середовища згідно з загальними правилами проходження молекул крізь перетинки від більшої концентрації даної речовини зовні (наприклад, нітратів) до меншої (в середині клітини), при чому цей процес, замість закінчуватись після вирівнювання концентрації зовні і всередині перетинки, тут може відбуватися безперервно, якщо до процесу дифундування речовини зовні приєднуються ще й інші явища в середині клітини, які постійно знижують концентрацію речовини, яка вступає. Досить вказати на те, що склад зольних речовин рослини не відповідає складові того розчину, який оточує корені. Рослина сприймає мінеральні речовини в іншому співвідношенні. Мало того, різні рослини при вирощуванні в тому самому розчині або на тому самому ґрунті виявляють різний склад золи, який у кожного типу рослини хоча й буває до деякої міри неоднаковий, але для кожного типу рослини зберігає певні типові риси, як це бачимо з дальших прикладів.

У 100 частинах золи міститься: <sup>1</sup>

	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	% золи в сухих реч.
Пшениця (зерно) . . . . .	30,5	2,8	12,0	48,9	1,3	1,5	2,1
Ячмінь (ціла рослина) . . . . .	25,4	5,8	3,0	10,3	2,9	42,8	6,5
Червоний клевер (в цвіту) . . . . .	32,3	34,9	10,9	9,6	3,2	2,7	6,9
Бульби картоплі . . . . .	60,1	2,6	4,9	16,9	6,5	2,0	3,8
Листя тютюну . . . . .	29,1	36,0	7,4	4,7	6,1	5,8	17,2
Корінь хрину . . . . .	39,0	10,1	3,7	10,4	24,7	7,2	8,5
Кора старого дуба . . . . .	4,4	92,8	1,2	0,4	0,3	0,6	7,2
Хвощ . . . . .	8,0	8,6	1,8	1,4	2,8	70,6	26,7

Наведені в цій таблиці дані характерні для цілих груп рослин. Так, не тільки пшениця, а взагалі зернові хліба містять у золі зерен багато калію і фосфорної кислоти, менше магнію

<sup>1</sup> Для спрощення таблиці не подано вмісту Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і Cl.



і ще менше кальцію. Ячмінь не є виняток, але наведені в другому рядку дані стосуються цілої рослини, і тут позначилася велика кількість силікатної кислоти в соломі злаків. Далі, в золі соломи катіони розміщуються в іншому порядку, а саме тут  $K > Ca > Mg$ , а в зернах маємо ряд:  $K > Mg > Ca$ . Для конюшини та інших бобових характерна велика кількість калію і кальцію в золі вегетативних органів; те саме стосується і листків тютюну. Зола бульб картоплі відзначається дуже великою кількістю калію (як і в коренеплодів) при низькому проценті кальцію. Зола хрину багата на сірку не випадково: хрестоцвіті, в яких містяться гірчичні олії (сполуки типу RNCSI) взагалі мають більше сірки, ніж інші рослини. В корі дуба відкладено багато надмірного кальцію, що часто буває у відживаючих тканинах. Нарешті, хвощ характеризується такою високою кількістю силікатної кислоти в золі, що з цього погляду переважає навіть солону злакових.

Здатність рослин сприймати і нагромаджувати необхідні для них речовини в більшій кількості, ніж це потрібно, часто зветься „вибірною здатністю“. Проте, цей термін щодо рослинних організмів має інший зміст, аніж коли говорять про тварину. Тут відіграє роль насамперед те, що на явища проникання в клітину розчинених у воді речовин накладається ще інший процес — асиміляція речовин, які вступають у клітину, перехід їх у нерозчинні або важко дифундуючі сполуки, від чого стає можливим вступ нових кількостей даної речовини з розчину. Подібне явище вибирання з навколишнього розчину одних речовин, переважно над іншими, можна продемонструвати в спрощеному вигляді такою моделлю. Візьмімо циліндр з пористої глини і введемо в нього достатню кількість барій-карбонату, потім зануримо цей циліндр у слабкий розчин двох речовин, а саме: сірчаної кислоти, кухонної солі. Обидві речовини прохідимуть у циліндр, але приплив натрій-хлориду після вирівняння концентрації в зовнішньому і внутрішньому середовищі припиняється; а сірчана кислота, що з барієм дає нерозчинні сполуки ( $BaSO_4$ ), виводитиметься з розчину, і в наслідок зниження концентрації в циліндр увесь час будуть проникати нові й нові кількості  $H_2SO_4$ . Якщо ми ввели достатню кількість  $BaCO_3$ , то наша модель клітини, при всій її грубості, все таки вибере всю сірчану кислоту з розчину, а більша частина  $NaCl$  в ньому залишиться і ми можемо, продовжуючи спрощене порівняння, сказати, що натрій-хлорид, хоч спочатку і вступав у клітину, але не асимілювався, і тільки ті речовини, які після вступу асимілюються (в нашому прикладі сірчана кислота), продовжують вступати безперервно. В клітині ж рослини навіть не потрібне обов'язкове утворення нерозчинних осадів, а досить утворення складних сполук колоїдного типу, нездатних дифундувати крізь плазму. Таким є, наприклад, утворення за рахунок амоніаку і нітратів білкових сполук; частина їх розчиняється в воді, але як недифундуюча, вона все таки не виділятиметься в навколишній розчин, і кількість білків зростатиме за рахунок простих



сполук амоніаку і азотної кислоти, які й далі вступатимуть у клітину в міру споживання їх у процесі синтезу складніших речовин.

Крім споживання розчинених речовин у процесі асиміляції є ще одна обставина, не взята до уваги в наведеному досліді, а саме: не всі розчинні речовини можуть однаково легко проникати в клітину.

Треба мати на увазі, що це різне проникання в клітину залежить від властивостей не клітинної стінки, а якраз від властивостей плазм, клітинна стінка легко пропускає найрізноманітніші речовини. Вдаючись знову до спрощеного порівняння, ми можемо де в чому порівняти будову клітини з будовою велосипедної шини, в якій властивості внутрішньої оболонки (камери), що легко розтягається, створюють непроникність для повітря, що міститься в шині під тиском: зовнішня ж оболонка (покришка) і служить як для захисту камери від зовнішніх впливів, так і дозволяє їй витримувати внутрішній тиск без деформації. В клітині замість тиску газу ми маємо осмотичний тиск, що залежить від властивостей плазми, а клітинна стінка тільки захищає ніжну плазматичну оболонку і знову таки не тільки від зовнішніх впливів, а й від можливості розриву від внутрішнього тиску в наслідок осмотичного явища. Коли ми всередині маємо клітинний сік, де містяться розчинні вуглеводи (цукру), і шар плазми, який ізолює клітинний сік від зовнішнього розчину (клітинна стінка, як легко проникна, не є ізолятором), то плазма відіграє роль „напівпроникної перетинки“, тобто перетинки, легко проникної для води і важко проникної для цукрів. Тоді вода з зовнішнього розчину проходить у клітину й утворює в ній тиск тим більший, чим більше в клітині є цукру (а найбільш поширений представник простого цукру — глюкоза — легко утворюється в клітинах за рахунок крохмалю, що, як нерозчинна в воді речовина, не спричиняє осмотичного тиску). Напівпроникні перетинки можна одержати штучним способом, наприклад, з танину і желатини, але вони будуть не міцні; коли ж спричинити відкладання такої плівки в середині циліндра з пористої глини, то вдасться сполучити напівпроникність з міцністю. Тоді ми одержимо модель, далеко подібнішу до клітини, ніж у попередніх випадках. Коли в такий циліндр ввести цукор і занурити циліндр у воду, то вода буде проникати всередину, а цукор не прохідатиме крізь перетинку, і в наслідок проходження односторонньої течії води всередині підвищуватиметься тиск, як і в природній клітині і згідно з тією самою законністю, в зв'язку з концентрацією розчину цукру. Але у випадку плазми явища ускладнюються ще тим, що проникність плазми може змінюватися залежно від зовнішніх умов.

Через указані дві причини рослина легко накупчує в своїх тканинах необхідні для її життя поживні речовини. Однак здатність проникати в клітину не обмежена суворо самими тільки необхідними для життя рослини речовинами, — вона може приймати частину і непотрібних речовин, як ми бачили вже на



прикладі силікатної кислоти; а деякі речовини, необхідні в обмеженій кількості, вступаючи з надміром, потім відкладаються у відмерлих тканинах, як, наприклад кальцій, у корі дерев у вигляді мало розчинних сполук. Тому саме, не аналіз золи, а дослід вирощування рослини штучному середовищі розв'язує питання про розміри потреби рослин в тому чи іншому елементі. Можна сказати, що рослина має досить можливостей забезпечити підвищення вступу поживних елементів, коли вони є в належній кількості в навколишньому розчині, але, здається, рослина не може усунути часткового вступу і інших елементів, коли вони нешкідливі (інакше змінюються властивості плазми і рослина отруюється).

Нормальне функціонування зовнішнього шару плазми як напівпрониклої перетинки, від якої залежить наявність осмотичного тиску в клітині і вступу води та солей, можливе тільки при певних властивостях зовнішнього розчину, як загальна концентрація солей у ньому, концентрація іонів водню (реакція розчину) і співвідношення кількості інших елементів.

Надмірна концентрація навколишнього розчину, що буває, наприклад, у засолених ґрунтах, шкодить рослині; вона утруднює вступ води в клітину кореня, і при перенесенні рослини із слабого розчину солей у міцний або при надмірному внесенні солей (хоча б і важливих для життя рослин) вода може навіть статися відняття від клітини (плазмоліз). Але досить припинити або затримати вступ її з навколишнього розчину в корінь, щоб рослини почали хворіти або навіть загинули, бо коли листки випаровують більше води, ніж їм подає корінь, то настає в'янення, після чого рослини можуть відживати тільки тоді, коли втрата води листками не перейшла певної критичної межі. У зв'язку з цим, як ми вже бачили, як і при штучному вирощуванні рослин, вживають лише слабких розчинів (2—3 г на 1 л). Далі ми побачимо, що й ґрунтовий розчин має звичайно ще нижчу концентрацію.

Ми вже бачили, що, вирощуючи рослини в водних культурах, доводиться уникати лужного або занадто кислого середовища. В природних умовах реакція ґрунтового розчину також має велике значення, — вона не повинна відхилитися за певні межі, але різні рослини виявляють неоднакову чутливість до таких відхилень.

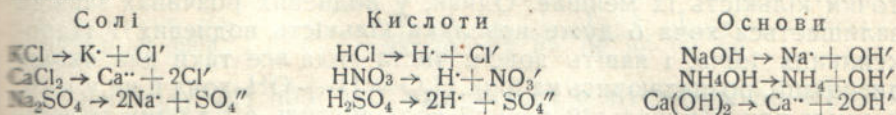
Щоб мати можливість ближче схарактеризувати ставлення різних рослин до реакції розчину, користуючись загальноприйнятими позначеннями (зокрема символом pH), нам треба ближче спинитися на деяких властивостях розчинів і на явищах дисоціації, знайомство з якими має велике значення також і в зв'язку з видами ґрунтової кислотності, про які нам доведеться говорити в одному з найближчих розділів.

Як відомо, ряд хемічних сполук (солі, кислоти, луги) у водних розчинах розпадаються на іони, тобто частини молекул, що мають протилежні електричні заряди. Ці сполуки, що звуться електролітами, надають розчинам здатності



проводити електричний струм. Проходження струму через розчин зводиться до пересування тих часточок, які несуть заряди, тобто іонів; чим більше в розчині речовин, здатних розпадатися на іони, тим більше електропровідність розчину, тоді як чиста вода практично струму не проводить.

Процес розпадання молекул на іони, який відбувається при розчиненні тієї чи іншої речовини в воді, зветься електролітичною дисоціацією. Іони, які мають позитивний заряд або катіони, позначаються крапкою, а іони з негативними зарядами або аніони — комою. Електрична дисоціація проходить так, що молекула солі розпадається на іон металу (катіон) і аніон, який складається з лишків кислоти; молекула кислоти розпадається з відщепленням позитивно зарядженого водневого іону і негативного іону — лишку кислоти, дуги при дисоціації дають іон металу і як аніон — групу OH (гідроксил), наприклад:



Молекули ніколи не розпадаються на іони цілком: завжди в розчині, разом з іонами залишається ще якась кількість молекул, які не розпалися. Чим більше молекул розпадається на іони, тим більшим буде ступінь дисоціації.

Для всіх кислот характерним є водневий атом, здатний у розчині відщеплюватись у вигляді іону. Кислий характер розчинів є наслідок саме присутності позитивно зарядженого водневого іону і не залежить від того, з яким кислотним лишком (радикалом) цей водень був зв'язаний.

Кислоти бувають сильні і слабкі. Різниця між ними і тими в ступені дисоціації. Наприклад, коли ми візьмемо однакові об'єми децинормальних розчинів оцтової і соляної кислот, то в цих об'ємах матимемо по однаковому числу молекул кислоти, але HCl, що є сильною кислотою дисоціює дуже сильно (в даних умовах приблизно 98% її молекул розпадуться на іони). Оцтова кислота значно слабша за соляну, вона розпадеться на іони в тих самих умовах всього на один процент і утворить концентрацію іону H, як порівняти з соляною кислотою, в 98 раз меншу. Отже, в розчинах оцтової і соляної кислот однакової загальної концентрації матимемо різну концентрацію водневого іону і відповідно різну силу виявлення кислотних властивостей (кислий смак, розчинна дія на метали, дія на живі організми і т. д.).

Але концентрація водневих іонів у розчині визначає тільки активну кислотність розчину. Від активної кислотності треба відрізнити потенціальну кислотність, яка залежить від кількості в розчині недисоційованих молекул кислоти. У наведеному вище прикладі в розчині соляної кислоти ми мали велику активну кислотність і майже повну відсутність потенціальної кислотності, в розчині оцтової кислоти, навпаки, при малій активній кислотності була велика кількість недисоційованих молекул, які утворюють значну потенціальну кислотність розчину. Ці недисоційовані молекули не беручи участі в утворенні активної кислотності, проте, як додавати розчин лугу, можуть вступати в реакцію з лугом і нейтралізувати його. Сума активної і потенціальної кислотності становить загальну кислотність розчину. Загальна кислотність визначається титруванням.

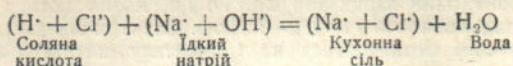
Сильні кислоти	Слабкі кислоти
Соляна . . . . . HCl	Нітрична . . . . . HNO <sub>3</sub>
Азотна . . . . . HNO <sub>3</sub>	Оцтова . . . . . CH <sub>3</sub> COOH
Сульфатна . . . . . N <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Вугільна . . . . . H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

Для всіх лугів або основ спільним є гідроксильний іон — OH, він дає розчиняючу лужну реакцію. Залежно від ступеня дисоціації відрізняють основи сильні і слабкі, наприклад:

Сильні основи	Менше сильні	Слабкі
NaOH	Ca(OH) <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>
KOH	NH <sub>4</sub> OH	Al(OH) <sub>3</sub>



При взаємній нейтралізації з кислоти і лугу утворюється сіль. Утворення солей зводиться до одержання з водневого іону кислоти та гідроксильного іону лугу найнейтральніших молекул води. Разом із зникненням водневих і гідроксильних іонів зникає і кислотний, і основний характер вихідних розчинів. Іони металу і аніони кислоти при нейтралізації не змінюються. Тому що всі солі цілком дисоційовані ці іони так і залишаються в розчині у вигляді іонів:



Значне накупчення водневих або гідроксильних іонів властиве кислотним і лужним розчинам; а в міру наближення до нейтральної точки кількість їх меншає. Однак, у водневих розчинах завжди залишається хоча б дуже невелика кількість водневих і гідроксильних іонів, і навіть зовсім чиста вода все таки дає явища дисоціації, розпадаючись на іони.  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , хоча й не у мірі, а саме: при нейтральній реакції вода містить в 1 л одну десяти-мільйонну грама водневих іонів і еквівалентну кількість гідроксильних іонів. Отже, у воді і в нейтральних розчинах концентрації водневих і гідроксильних іонів однакові, і кожна дорівнює  $\frac{1}{10^7}$ .

Введення одноіменних іонів зменшує дисоціацію води, — тому, як додавати кислоти або луг, які відщеплюють іони  $\text{H}^+$  або  $\text{OH}^-$ , дисоціація води зменшується так, що добуток (але не сума) концентрацій іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  залишається сталою величиною, рівною  $10^{-14}$  або:

$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = \frac{1}{10^7} \times \frac{1}{10^7} = \frac{1}{10^{14}}$$

(Квадратні дужки заміняють слово „концентрація“).

Додаючи до води кислоту, ми збільшуємо концентрацію водневих іонів і одночасно через пригнічення дисоціації води водневими іонами кислоти зменшуємо число гідроксильних іонів у розчині. Навпаки, вводячи луг і підвищуючи концентрацію гідроксидів, зменшуємо кількість водневих іонів: добуток концентрацій цих іонів завжди залишається сталим і рівним  $\frac{1}{10^{14}}$ ,

а коли зміна концентрації кожного з них зв'язана певною закономністю із зміною концентрації другого, то для характеристики реакції розчину досить назвати концентрацію або водневих або гідроксильних іонів. Звичайно прийнято показувати концентрацію водневих іонів, при чому найчастіше доводиться мати діло з концентрацією від 0,001 нормальної до концентрації, в мільйон раз меншої, а, як відомо, такий ряд величин для спрощення виражається, як  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  і т. д. або  $\frac{1}{10^3}$ ,  $\frac{1}{10^4}$  і т. д.

Але для дальшого спрощення в даному випадку умовно прийнято писати тільки той степінь, до якого підноситься 10, і позначати цей показник символом рН. Тоді ми для виразу



наведених вище співвідношень маємо лише один ряд величин рН для всіх відтінків реакцій, наприклад:

	Кисла		Слабо-кисла		Нейтральна	Слаболужна		Лужна
рН	3	4	5	6	7	8	9	10

Цим рядом простих чисел замінюється два ряди дробових величин.

Концентрація іонів водню . . . . .

$$\frac{1}{10^3} \quad \frac{1}{10^4} \quad \frac{1}{10^5} \quad \frac{1}{10^6} \quad \frac{1}{10^7} \quad \frac{1}{10^8} \quad \frac{1}{10^9} \quad \frac{1}{10^{10}}$$

Концентрація гідроксильних іонів .

$$\frac{1}{10^{11}} \quad \frac{1}{10^{10}} \quad \frac{1}{10^9} \quad \frac{1}{10^8} \quad \frac{1}{10^7} \quad \frac{1}{10^6} \quad \frac{1}{10^5} \quad \frac{1}{10^4}$$

Символу рН постійно вживається в літературі по агрохемії та ряду інших дисциплін, але, користуючися цими вказівками, треба пам'ятати, що значення його змінюється в зворотному напрямку із зростанням концентрації іонів водню, бо рН є степінь, до якого підноситься число 10, що стоїть у знаменнику дробу, який служить для виразу концентрації іонів водню, а не в чисельнику<sup>1</sup>.

Рослини відзначаються великою чутливістю до відтінків кислотності; відтінки ці раніше не могли бути точно визначені, і тільки вдосконалена за останній час методика визначення рН дозволила поділити рослини щодо цього на кілька груп, а саме: одні з них абсолютно не переносять кислотності, і їх можна розводити тільки при нейтральній або слаболужній реакції як люцерна (близько до неї стоять цукровий буряк і ячмінь); за ними йдуть: пшениця, горох, конюшина, ще менше вибагливі жито і льон. Найбільше переносять кислотність ґрунту люпин і овес, при чому одні рослини, які переносять кислотність, можуть рости і при іншій реакції. Так, наприклад овес є звичайна рослина для кислих північних ґрунтів і разом з тим його вдається виростити в чорній смузі на тих самих ґрунтах, які добре відповідають вимогам буряка, і навіть на багатих на вапно ґрунтах Середньої Азії, а люпин більше пристосований до ґрунтів кислого інтервалу і не переносить ґрунтів, багатих на основу. Це ставлення різних рослин до реакції середовища виражається приблизно такими значеннями рН:

Рослина	Оптум	Росте в межах	Рослина	Оптум	Росте в межах
Люпин . . . . .	4—5	4—6	Конюшина . . . . .	6—6,5	5—8
Картопля . . . . .	5	4—8	Горох . . . . .	6—7	5—8
Овес . . . . .	5—6	4—8	Пшениця . . . . .	6—7	5—8
Жито . . . . .	5—6	4—7	Буряк . . . . .	7	6—8
Льон . . . . .	5—6	4—7	Люцерна . . . . .	7—8	6—8

<sup>1</sup> Точніше рН визначається, як негативний від'ємний логарифм величини, що виражає концентрацію іонів водню, наприклад  $\lg(2 \cdot 10^{-2}) = \lg 2 - 2 = -1,70$ , але, мінючи знак, пишуть рН = 1,70.



Наведені цифри мають відносне значення, бо вплив реакції середовища почасти залежить від того фону, на який він накладається,—так, у розчині, багатому на інші катіони, той самий ступінь кислотності переноситься краще ніж коли ми візьмемо чисту воду і доведемо реакцію до певного ступеня рН додаванням самої тільки кислоти. Так і в ґрунтах, залежно від складу ґрунтового розчину, ступінь шкоди від кислотності не однаковий. Тому наведені норми рН не треба вважати за абсолютні, вони дають відносну характеристику того, як ставляється культурні рослини до реакції середовища. При цьому треба розрізняти дві сторони явища, а саме: чисто хемічну характеристику вношуваних солей від їх фізіологічної характеристики (або статику і динаміку реакції поживного розчину). З хемічного погляду солі, що вносяться в поживний розчин в досліді з штучними культурами, як і вживані для удобрення, можуть бути або лужними, як  $K_2CO_3$ ,  $(NH_4)_2CO_3$  та  $(NH_4)_2HPO_4$ , або нейтральними, як  $NaNO_3$ ,  $KCl$ , або кислими  $Ca(H_2PO_4)_2$ ,  $KH_2PO_4$  та  $NH_4H_2PO_4$ . Але рослина неоднаково сприймає основу і кислоту розчиненої солі, і введення навіть цілком нейтральних солей не гарантує збереження нейтральної реакції в дальшому. Тому треба одрізняти первинну реакцію солей від тієї тенденції до зміни реакції середовища, яка спричинюється самою рослиною, що живиться даною сіллю. Вважаючи на те, що в одних випадках у розчині накопчуються лужні, а в інших кислі лишки, хоча вихідні солі й були нейтральні, в цьому розумінні солі поділяють на фізіологічно-лужні і фізіологічно-кислі. Так, наприклад, коли ми дамо рослині азот у вигляді  $NaNO_3$ , то азот рослині потрібний, а натрій не потрібний, і механізм, описаний попереду, який спричиняє безперервний вступ з розчину щодалі нових кількостей речовини, діятиме тільки щодо аніону солі, а не до катіону. Тому в розчині накопчуватимуться лужні лишки, у зв'язку з чим  $NaNO_3$  і характеризується, як фізіологічно-лужна сіль.

Цей процес треба представити так:  $NaNO_3$  частково розпадається з участю води за схемою  $NaNO_3 + H_2O = NaOH + HNO_3$ <sup>1</sup>. Хоч би це була нескінченно мала концентрація  $HNO_3$ , рослина не тільки вбиратиме її, а й перетворюватиме на білкові сполуки, тобто виводитиме з сфери реакції, тому станеться дальший розпад.  $HNO_3$  знову перейде в клітини і т. д., а  $NaOH$  рослиною не споживається, він тільки реагуватиме з вуглекислотою, виділюваною клітинами кореня під час дихання, а зовнішній розчин збагачуватиметься на  $NaHCO_3$ , від чого реакція ставатиме лужною.

Протилежне маємо, наприклад у випадку  $NH_4Cl$ : рослина значно енергійніше вбирає  $NH_3$ , ніж  $HCl$ , і середовище, що оточує корені, може ставати таким кислим, що рослина страждатиме і навіть загине від утвореної нею ж таки кислій реакції,

<sup>1</sup> Коли відразу взяти на увагу присутність  $CO_2$ , то можна написати  $NaNO_3 + H_2CO_3 = HNO_3 + NaHCO_3$ .



якщо тільки одночасно в навколишньому середовищі немає речовин, здатних нейтралізувати накопчувану кислоту, як наприклад,  $\text{CaCO}_3$ . В зв'язку з цим такі сполуки, як  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Cl}$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  належать до групи солей фізіологічно-кислих.

Залежно від складу поживного розчину, він може бути різної стійкості в збереженні реакції, і та сама кількість кислоти або лугу (однаково, чи внесена ця кількість готовою, чи утворилася під впливом діяльності самої рослини) може в одних випадках спричинитися до швидкого здвигу реакції, а в інших випадках цей здвиг наставатиме при внесенні далеко більших кількостей кислоти або лугу. Як приклад наведемо такий випадок. Уявімо собі, що розчин багатий на кальцій-бікарбонат  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , який утворюється при розчиненні  $\text{CaCO}_3$  у воді, де є вуглекислота. Тоді, при нагромадженні, наприклад, кислих лишків (або введенні кислоти зовні), зайвинна кислота (наприклад,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) розкладатиме частину кальцій-бікарбонату з утворенням  $\text{CaSO}_4$  і виділенням води і  $\text{CO}_2$ , через що в реакції розчину помітних змін нестанеться, а без кальцій-бікарбонату здвиг реакції був би різким. З цією властивістю—не піддаватися відразу зміні реакції при введенні кислоти або лугу, що зветься б у ф е р н і с т ю, ми зустрінемося далі, коли говоритимемо про реакцію ґрунтового розчину, властивості якого доводиться розглядати ізольовано, але в зв'язку з явищами вбирання в ґрунті (див. далі).

Через те, що добрива можуть впливати на реакцію ґрунтового розчину і безпосередньо і посередньо, то при вживанні їх треба зважати на чутливість рослин до реакції середовища.

Крім загальної концентрації розчину та його реакції, значення має ще й кількісне співвідношення між катіонами, що містяться в розчинних солях; розчин не повинен бути складений однобічно, він повинен бути, як кажуть „фізіологічно-зрівноваженим“; порушення цієї зрівноваженості може бути згубним для всіх організмів як рослинних, так і тваринних.

Щоб показати значення цієї зрівноваженості розчину наведемо такий приклад з тваринної фізіології. Коли взяти личинку якої-небудь морської тварини і покласти її в розчин кухонної солі тої самої концентрації, в якій ця сіль є в морській воді, то тварина так швидко гине, що цього не можна пояснити голодуванням на інші елементи. Щоб тварина могла жити, треба додати якунебудь сіль кальцію.— тоді однобічний вплив натрію знешкоджується.

Те саме і з рослинами: якщо, наприклад, дати проросткам тільки магній (у вигляді солі  $\text{Mg SO}_4$ , яку звичайно вноситься в поживний розчин), то рослини від цього терпітимуть і почувать себе гірше, ніж на дистильованій воді, але треба тільки додати ще сіль кальцію ( $\text{CaSO}_4$  або  $\text{CaCl}_2$ ), то й шкідливий вплив магнію паралізується, а при наявності решти поживних речовин далі виявиться позитивний вплив магнію. Тут позначається захисний вплив кальцію проти шкідливого впливу однобічно переважних катіонів. У даному випадку ми маємо діло з антагонізмом основ, і кальцій є дуже енергійним антагоністом відносно одновалентних катіонів; так



наприклад, щоб знешкодити вплив натрію, досить ввести кальцію 5% від кількості натрію; тоді як, щоб досягти того самого ефекту з допомогою калію, треба ввести калію в 6 раз більше.

Треба відзначити, що шкідливий вплив зайвини іонів водню в розчині також можна до певної міри пом'якшити введенням певної кількості „антагоніста“. Так, наприклад, рослин в присутності  $\text{CaSO}_4$  витримують такі ступені кислотності, які без такого додатку для них згубні, хоч кальцій у вигляді гіпсу не може нейтралізувати кислотності,—це знов явище захисної дії одного з іонів проти шкідливої зайвини другого. Тому можна думати, що при гіпсуванні клеверу на кислих підзолистих ґрунтах, крім інших елементів дії гіпсу, відіграє роль і збагачення ґрунтового розчину на іони кальцію, що допомагає клеверу краще розвиватися при тому самому значенні рН ґрунтового розчину.

Введення до вжитку нашого господарства значної кількості мінеральних добрив змушує уважніше поставитися до описуваних явищ, ніж це робилося досі. Так, при однобічному вдобрюванні калійними солями на ґрунтах, бідних на інші основи, поруч з позитивною дією калію, як необхідного для рослин елементу, може позначитися негативний вплив однобічного складу розчину, і тоді наявність інших катіонів у супровідних добривах (кальцій у суперфосфаті, магній у карналіті) може усувати цю однобічність складу поживного розчину.

Ше більшою мірою може позначитися на таких ґрунтах (бідних на основи) внесення значних кількостей аміачних солей. В таких випадках одночасне внесення інших основ (кальцій, магній, калій) виявлятиме корисну врівноважуючу дію, додаткову до прямого поживного значення для рослини.

#### 4. ОСОБЛИВОСТІ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН АЗОТОМ

Хоч дослідями у водних і піскових культурах було ясно встановлено, що рослини тільки постільки бувають забезпечені азотом, поскільки ми даємо кореням азот у зв'язаній формі (більшість поживних сумішей у вигляді селітри), а вільний азот повітря рослинами не використовується, проте були факти, які показують, що цим азотне питання не вичерпане і що в природних умовах існує якась зв'язуюча ланка між атмосферою, поверхнею, і рослинами або ґрунтом, подруге.

Сюди належали насамперед факти, встановлені Буссенго, що, як уже згадувалося, перший створив лабораторію в господарстві і поставив завдання провести кількісний облік кругобігу речовин при різних сівозмінах; він визначав у врожаях (зерні, соломі бульбах картоплі, коренях буряка, в листках цих рослин, у клевері, люцерні тощо) кількість органогенів (С, О, Н) і зольних речовин, підсумовуючи винесення азоту і зольних речовин за всю сівозміну. Порівнюючи з тим, що було дано з добривом, він дійшов загального висновку, що в той час як кількість зольних речовин у врожаях була менша, ніж у добривах, для азоту, навпаки,



часто спостерігалася значна зайвина. Даємо баланс азоту для ряду сівозмін, вивчених Буссенго в період 1836—1841 рр.

Буссенго тоді ж таки висловив думку, що ці зайвини азоту походять з повітря і що цією здатністю клеверу збагачувати ґрунт на азот пояснюються вищі врожаї пшениці після клеверу, ніж після коренеплодів. Неперервна культура люцерни приводила до ще більшого збагачення ґрунту на азот. Але коли Буссенго спробував був повторити ці явища в строго поставленому фізіологічному досліді, то наткнувся на невдачі. Тепер нам зрозумілі причини цих невдач. Буссенго почав цю роботу за чверть сторіччя до Пастера і тому не міг зважити на бактеріальне населення ґрунту, а коли він прожарював ґрунт або брав прожарений пісок, щоб мати середовище, цілком вільне від азоту, то при цьому усувалися і всі мікроорганізми. Цим і відрізнялися як досліді Буссенго 1837 р., так і численні досліді з водними культурами, проведені 60-х років, від природних умов.

Чим пильніше проробляв Буссенго дальші досліді, усуваючи всякі сліди зв'язаного азоту як у ґрунті, так і в повітрі, очищаючи повітря від можливої домішки амоніакової пари, тим ясніший негативний результат він одержував: в таких умовах рослини не засвоювали вільного повітряного азоту.

Тоді Буссенго почав перевіряти можливість збагачення ґрунту на азот через атмосферні опади, які приносять певну кількість азотистих сполук, але це джерело, на яке великі такі надії покладав Лібіх, виявилось дуже бідним. Крім того, принесені таким способом у ґрунт сполуки азоту доступні всім рослинам, а в с. г. дійсності виявилось щоразу більше фактів, які свідчили про особливе становище бобових серед інших культурних рослин щодо джерел азоту. Крім попередніх спостережень щодо клеверу і люцерни, вельми рельєфно це виявилось для бобів у дослідях на Ротамстедській станції (Англія), проведених у період 1850—1860 рр. При цьому на одній ділянці (I) висівалося неперервно пшеницю, на другій (II) пшениця чергувалася з

Сівозміни	Азот у гної	Взято в урожаях	Зайвини азоту (за сівозміню)
I 1) Угноєний пар, 2) пшениця, 3) пшениця	82,8	87,4	4,6
II 1) Картопля, 2) пшениця, 3) клевер, 4) пшениця, 5) турнепс післяжнивний, 6) овес	203,2	250,7	47,5
III 1) Бурак, 2) пшениця, 3) клевер, 4) пшениця, 5) турнепс післяжнивний, 6) овес	203,2	254,2	51,0
IV 1) Картопля, 2) пшениця, 3) клевер, 4) пшениця, турнепс післяжнивний, 5) горох, 6) жито	243,8	353,6	109,8
V 1) Коренеплоди, 2) ярина, 3) клевер, 4) озимина	182,1	304,5	122,4
VI Пшениця (один урожай) і 5 років люцерни	224,0	1078,0	854,0



бобами. Врожаї пшениці в другому випадку були значно вищі, при чому вміст азоту в урожаях був такий:

I.	10 урожаїв пшениці . . . . .	262 кг азоту на га
II.	{ 5 урожаїв пшениці . . . . .	253 " " "
	{ 5 урожаїв бобів . . . . .	574 " " "

На II ділянці врожаї мали в сумі втрое більше азоту, ніж на I, і в той же час ґрунт не тільки не став бідніший на азот, але урожаї пшениці на ньому збільшилися. Очевидно, боби мали якесь особливе джерело азоту, а пшениця вигравала від збагачення ґрунту на кореневі залишки бобів.

Далі, давно була відома здатність люпину рости на бідних піскових ґрунтах і робити ці ґрунти придатними для культури жита й картоплі. Що тут замішане питання про азот, це добре вияснилося в господарському досліді Шульца в Люпці (Німеччина), який показав, що на бідному пісковому ґрунті можна одержувати задовільні врожаї жита і картоплі, не застосовуючи ні селітри, ні гною, але культивуючи люпини на зелене добриво і вносячи під них калініт і фосфати.

Якщо у 60-х роках Шульц не міг добитися врожаю картоплі вище 80 ц, то з 70-х років, після введення системи „люпин-фосфати — калійні солі“, врожаї ці почали зростати так:

1874—1876 рр.	1877—1879 рр.	1880—1882 рр.	1883—1885 рр.	1886—1888 рр.
91 ц	122 ц	138 ц	176 ц	185 ц

При цьому не тільки врожаї відбирали значно більше азоту, ніж при культурі без люпину, а й ґрунт поступивно збагачувався на азот (це показали аналізи люпинового ґрунту, зроблені Меркером у 1881 р.). Стало очевидним, що люпин є якимсь містом між азотом атмосфери і ґрунтом (отже, і культурними рослинами, які не мають особливостей люпину).

Поліпшуючи ґрунти для інших рослин, одночасно самі бобові виявлялися мало чутливими до азотистого добрива або зовсім на нього не реагували, тобто поводилися в природі інакше, ніж у дослідях Буссенго 50-х років<sup>1</sup>.

Причини своєрідної поведінки бобових були нарешті виявлені Гельрігелем 80 років. Його досліді були близькі до дослідів Буссенго кінця 30-х років, але вони припадали на іншу епоху, коли не тільки вчення Пастера про бактерії стало загальнови-знаним, а й почали вже звертати увагу і на мікроорганізми ґрунту.

Все це спонукало Гельрігеля в 1886 р. дослідити вплив як стерилізації ґрунту, так і зараження ґрунту на засвоєння азоту

<sup>1</sup> Так, у 1856 р. в Ротамстеді (Англія) були закладені досліді, щоб вивчити дію мінеральних добрив на мішану лугову рослинність; вони показали, що під впливом однобічного азотистого добрива підвищується процент злаків і понижується процент бобових. А вдобрення калієм і фосфором, навпаки стимулювало розвиток тільки бобових (бо злакові не могли скористатися з цих речовин через відсутність азоту). У 1869 р. аналізами, проведеними в тому таки Ротамстеді, було виявлено, що хліба при культурі без азоту містили в урожаї з 1 га 34 кг азоту, а врожаї конюшини в середньому за три роки виносив по 135 кг азоту за рік з кожного га (коли б тоді ж таки було визначено вміст азоту в ґрунті, то переконалися б, що й він збільшився, але цього тоді не було зроблено).



бобовими. Результат вийшов цілком рельєфний: тільки ті із стерилізованих посудин, які були наново заражені ґрунтовою настоянкою, дали рослини з бульбочками, здатні розвиватися незалежно від внесення зв'язаного азоту. А коли зараження не було, не було й бульбочок, то бобові не відрізнялися від злакових своїм ставленням до азотистого добрива.

Та кількість азоту, що мимоволі вносилася з водною витяжкою з ґрунту, була зовсім нікчемна і не могла зумовити собою буйного розвитку рослин. Крім того, контрольний дослід з внесенням такої самої кількості кип'яченого екстракту з ґрунту показав, що весь ефект від нього під впливом кип'ятіння зникає, і горох у цьому випадку не засвоює азоту, бульбочок на його коренях немає. Роботи Гельрігеля, що тривали протягом багатьох років, відзначалися великою ґрунтовністю; він ставив не окремі досліди, а цілі серії їх, в яких заражені посудини чергувалися з незараженими. Ось приклад із серії дослідів з сераделюю.

	зараження	Урожай на посудину (г)	Прибуток азоту (г)	Бульбочки
1	—	0,092	0	0
2	+	16,864	0,348	+
3	—	0,063	0	0
4	+	18,190	0,395	+
5	—	0,084	0	0
6	+	16,411	0,443	+

Звідси Гельрігель зробив висновок, що бобові, розвиваючись на ґрунті, в якому містяться відповідні бактерії, заражаються ними і утворюють на коренях бульбочки, після чого стають здатними засвоювати вільний азот повітря, без такого симбіозу бобові нездатні його використати, як і рослини інших родин.

Повідомивши про свої спостереження на з'їзді натуралістів у Берліні 1886 р., Гельрігель тим дав ключ до розв'язання давньої загадки, до встановлення того винятку, який не підпорядковувався загальному правилу Буссенго (цей останній, бажаючи працювати в якомога чистих умовах і усуваючи всякі сліди азоту, тим самим здебільшого усуває і бактерії, головних винуватців цього „винятку“)<sup>1</sup>.

Досліди Гельрігеля звернули на себе загальну увагу і були повторені в кількох місцях (в тому числі в Москві Коссовічем), причому підтвердилися роботи Гельрігеля; були одержані додаткові дані про способи проникання азоту в рослину, про спосіб зараження бактеріями і про будову бульбочок.

Отже, Гельрігель показав, що в певній мірі праві були старі автори, даючи деяким рослинам назву збагачуючих ґрунт, але тільки їх розуміння цього збагачення було недостатнє: бобові збільшують у ґрунті не тільки кількості органічної речовини, вони ще є азотозбирачами. Облік виявляє, що після вдалого

<sup>1</sup> Ці бульбочки досліджував ще в 1865 р. Воронін, який визнав мікроорганізми за винні в утворенні їх, але ці витвори аж ніяк не зв'язували тоді з засвоєнням азоту.



посіву клеверу ґрунт може одержати не менше того і другого, ніж із звичайною нормою гнойового добрива (30—35 т гною на 1 га).

Крім бактерій, що живуть у бульбочках бобових, здатність зв'язувати азот атмосфери, переводячи його через амоніак в амінокислоти і білки, властива ще деяким (небагатьом) з вільних бактерій, що також потребують безазотистої органічної речовини, як джерела енергії (наприклад *Azotobacter*). Проте, ці бактерії не так легко використати, бо якщо навіть вносити в ґрунт збільшені кількості органічної речовини (знайшовши для цього дешеві форми її), то не можна досягти того, щоб її не використала вся маса бактерій і грибів, яка живе в ґрунті, а не тільки ті бактерії, розвиток яких нам бажаний. Щодо цього симбіоз з бобовими становить далеко важливіший випадок, бо бобова живить вуглеводами тільки даний вид бактерій і не впускає в корінь інших видів (ближче про таке використання повітряного азоту мовитиметься в розділі про зелене добриво).

Живлення рослин зв'язаним азотом. Крім того, що для азоту, протилежно зольним елементам, існує кругобіг, в який втягується атмосферний азот, є свої особливості в живленні рослини і зв'язаним азотом, а саме: в той час як, наприклад, у випадку фосфору і сірки тільки оксидована форма сполук (сірчана, фосфатна кислота) придатні на живлення рослин, у випадку азоту ми маємо можливість давати азот у двох формах, бо тут не тільки оксидовані сполуки (нітрати), а й відновлені (аміачні солі) можуть правити за джерело азоту для утворення головної складової частини протоплазми — білкових речовин. Питання про порівняльну якість амоніаку і нітратів пережило кілька фаз.

Обидва основоположники агрономічної хемії — Буссенго (1837) і Лібіх (1840) — надавали головного значення серед джерел азоту аміакові, але Буссенго мав на увазі аміак удобрень, — як готовий аміак гуано і гноевої рідини, так і аміак, який утворюється в ґрунті при розкладі всякого роду органічних речовин, а Лібіх мав на увазі вуглекислий амоніак атмосфери. Пізніше, коли в Європу почали привозити чилійську селітру, Буссенго поставив досліди в чистому середовищі (прожареному піску) з нітратами і показав, що вони безпосередньо доступні рослинам без попереднього відновлення в ґрунті в амоніак діянням органічних речовин, що тоді припускали деякі автори.

Отже, 50-х років обидві форми були визнані однаково засвоюваними для рослини (це визначається і тепер), але через те, що все це відбувалося тоді, коли ще не підозрівали наявності в ґрунті бактеріальних процесів, потім довелося ці питання переглянути, принаймні щодо аміаку.

Приводом для цього було таке. В 60-х роках, у період розроблення методики водних і піскових культур, намагалися звичайно, вводити і те й друге джерело азоту, але тому, що амоніаку почали вживати у вигляді амоній-сульфату і амоній-хлориду (яких не мали на увазі Буссенго і Лібіх), то результати були надто невдалими: річ у тім, що такі солі, які вводили як



нейтральні в хемічному розумінні, є фізіологічно кислими, тобто рослина енергійно вбирає з них основи і залишає в розчині зайвину кислоти, яка шкідливо діє. Це нагромадження вільної кислоти в розчині було помічено ще в 60-х роках, і звідси зроблено негативний висновок для амонію взагалі. Далі після праць Пастера звернули увагу на бактеріальне життя ґрунту і встановили наявність і широку розповсюдженість у ґунтах нітрифікуючих організмів, які оксидують аміак в азотну кислоту (про цей процес див. далі).

Поширеність процесу нітрифікації далі вважали за його обов'язковим, гадаючи, що як у випадку сірки і фосфору, так і у випадку азоту рослині потрібна обов'язково найбільш окисована форма, тобто солі азотної кислоти, а аміак, як такий, не придатний на живлення рослин, і це твердження ввійшло в підручники не тільки кінця XIX, а й початку XX ст.

Але деякі уважні спостережники ще 80-х років помітили таку розбіжність цього погляду з деякими фактами дійсності: через те, що все таки є ґрунти, в яких нітрифікаційні процеси не відбуваються (болотяні і деякі лісові ґрунти), значить і рослинність, яка вкриває їх, обходиться без нітратів. Звідси постала потреба переглянути питання про аміачне живлення, але вже в новій постановці, а саме в стерильних культурах, щоб виключити можливість нітрифікації, і з введенням основ, щоб паралізувати вплив фізіологічної кислотності. Один з найдосконаліших дослідів був проведений Коссовічем у 1897 р.; цей дослід показав, що амоніакове живлення може дати результати не гірші від нітратного, якщо тільки відповідно регулювати реакцію середовища і концентрацію поживного розчину. Тоді рослина енергійно вбирає аміак, як такий. Далі виявилось, що, наприклад, з розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  амоніак переходить навіть швидше, ніж  $\text{HNO}_3$ . Тому в питанні про застосування аміачних солей доводиться зважати зовсім на інші труднощі, ніж на погане надходження амоніаку (в рослини, як це раніше думали). Але швидкість надходження азоту в рослини і висота врожаю це не те саме, і якщо застосовують солей амонію з сильними кислотами, то саме велика швидкість вбирання амоніаку, рівняючи з кислотою, і спричиняється до кислої реакції. Тому, щоб одержати добрі результати при застосуванні амоніакових солей, треба додержувати певних умов, а саме: 1) насамперед, якщо аміак введено у вигляді чистих солей, як  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  або  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , то треба, для регулювання реакції, дбати про те, щоб у навколишньому середовищі був запас основ (наприклад  $\text{CaCO}_3$ ) для зв'язування мінеральних кислот, які залишаються. Про це доводиться дбати більше, ніж про усунення лужних лишків від  $\text{NaNO}_3$ , бо при вбиранні азотної кислоти залишиться не їдкий натрій, а натрій-бікарбонат (через те, що корені рослини виділяють вуглекислоту і таким способом самі зменшують шкоду від фізіологічної лужності; а у випадку фізіологічно-кислих солей рослина сама позбавлена можливості пом'якшити кислотність, і результат залежатиме від наявності основ у тому середовищі, що оточує коріння).



Тому внесення таких солей як амоній-нітрат і амоній-фосфат дає перевагу перед внесенням  $\text{NH}_4 \text{Cl}$  і  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ , бо в перших фізіологічна кислотність виявлена далеко слабше, ніж у других.

Але навіть, при цілковитому усуненні фізіологічної кислотності, є все таки ще інша різниця між аміачним і нітратним живленням. Так, наприклад, шкода від підвищеної концентрації настає далеко раніше у випадку аміаку, нітрати ж можуть навіть скупчуватися в самій клітині ряду рослин, не шкодячи їм. Особливо легко перейти межу припустимої концентрації при живленні аміаком тих рослин, які мають малий запас вуглеводів (наприклад, сходи цукрового буряка, які ще не почали енергійної асиміляції).

Далі, відіграє роль ще такий факт: крім концентрації водневих іонів (тобто реакції середовища) і концентрації іонів самого амонію, потрібен ще певний вміст у розчині іонів кальцію, більший, ніж у випадку нітратів, бо, вносячи  $\text{NH}_4$  замість  $\text{NO}_3$ , ми замість аніону вносимо катіон, і якраз одновалентний катіон, чим можемо порушити співвідношення між одновалентними і двовалентними катіонами на користь першим, отже, одержимо розчин „фізіологічно-неврівноважений“ (що можливе на ґрунтах, бідних на кальцій). Тому бувають випадки, коли при внесенні аміачних солей наявність гіпсу (наприклад, у суперфосфаті) виявляється корисною. В таких випадках ми маємо справу з явищем антагонізму основ, про що мовилося попередю.

Отже, з погляду фізіологічного треба визнати аміак і нітрати в принципі за рівноцінні, але, щоб одержувати однакові результати, треба при аміачному живленні точніше додержувати ряду умов, для яких при нітратному живленні припустима ширша амплітуда коливань; поскільки ж в умовах с. г. дійсності регулювати реакції, концентрації і співвідношення катіонів зовсім не так просто, як у фізіологічному досліді, то з фізіологічної рівнозначності обох джерел азоту не слід робити висновку про однакову легкість застосування їх в польових умовах. Вважаючи на те, що сучасна промисловість постачає сільському господарству не так нітрати, як аміачні солі, на все сказане попередю доводиться по змозі зважати, щоб уникнути невдач при вживанні азотистих добрив.

## Б. ГРУНТ ЯК ПОСЕРЕДНИК МІЖ РОСЛИНОЮ І ДОБРИВОМ

### 1. ВБИРНА ЗДАТНІСТЬ ГРУНТІВ

Внесення добрив у ґрунт з багатьох поглядів відрізняється від того простого випадку, що його ми маємо при внесенні солей у водні й піскові культури. Крім прямого діяння, ми маємо ще тут ряд побічних. Іноді навіть таке побічне діяння править за головну мету внесення добрива. Тому для нас важливо дізнатися, як ґрунт ставиться до вношуваних в нього солей, яка його роль як посередника між добривом і рослиною.

Вельми важливою властивістю ґрунту є здатність його затримувати певні речовини з розчинів, які проходять через нього,



вбирати їх, при чому це вбирання, відрізняється в двох моментах від того чисто фізичного вбирання, яке властиве кожній роздрібненій речовині, хоч і цілком інертній, наприклад, кварцевому піску, а саме: 1) великою тривкістю зв'язування і здатністю вдержувати у ввібраній речовині від вимивання водою; 2) наявністю обмінних реакцій, тобто явними ознаками хемізму у цьому процесі.

Часточки піску або іншого роздрібненого тіла, що не вступає ні в яку хемічну реакцію з розчищеною в воді речовиною, створюють тільки певну різницю концентрації навколо таких часточок. Якщо молекули розчинених солей сильніше притягуються піщинками, ніж молекули води, то біля поверхні піщинок, у шарі рідини, яка безпосередньо до них прилягає, утворюється дещо більша концентрація, ніж на деякі відстані, де концентрація буде понижена, але при цьому утворюється тільки інший розподіл у просторі тих таки молекул<sup>1</sup>. Ніякі хемічні реакції при цьому не відбуваються, і наявність такого явища, що зветься адсорбцією, не перешкодить, промиваючи водою, усунути націло адсорбовану речовину.

У ґрунті ж відбувається щось більше, ніж в описаних явищах з піском; там відбуваються ще й обмінні реакції з розчинними солями і ґрунтом.

Так, якщо збовтати пробу якогонебудь ґрунту з розчином калій-хлориду і потім дослідити склад розчину, то виявимо, що кількість хлору в розчині не змінилася, а вміст калію зменшився; зате в розчині з'явилися інші основи, переважно кальцій, у вигляді кальцій-хлориду. Коли ж ми той самий ґрунт обробимо не розчином солі, а дистильованою водою, то в розчин не перейдуть помітні кількості кальцію. Значить кальцій, витискується з якихось нерозчинних сполук, а калій стає на його місце в цих сполуках. Якщо ми після цього промиватимемо ґрунт чистою водою, то ввібрана частина калію не переходитиме в цю воду — калій тривко зв'язується ґрунтом. Але які ж складові частини ґрунту спричиняються до таких явищ? Ясно, що такі прості тіла, як зерна кварцу і каолін<sup>2</sup>, не можуть мати вбирної здатності цього типу, бо в них нічому обмінюватися, в них немає рухливих основ; але якщо взяти не чистий каолін, а звичайну глину, то вона вже виявляє явища вбирання. Чим же глина відрізняється від каоліну? Тим, що в ній, крім стійкої сполуки глинозему з силікатною кислотою, є ще домішки нестійких сполук, які, крім глинозему з крем'яною, містять ще й різні основи в рухливій формі, при чому ці домішки, відмінно від самого каоліну, розкладаються розведеними кислотами з виділенням силікатної кислоти. Вважаючи на те, що є мінерали, відомі під назвою

<sup>1</sup> Явищем адсорбції пояснюється, наприклад, той факт, що в піщаних культурах рослини витримують більшу концентрацію солей, ніж у водних. Тому при піщаних культурах дають стільки ж ґрамів солей на 1 кг піску, скільки у водних зається на 1 л води, не зважаючи на те, що вода, яка зволожує пісок, становить звичайно лише близько 15% від його ваги.

<sup>2</sup> Каолін — це стійка сполука глинозему з крем'яною.



цеолітів, які також складаються з нестійких водних<sup>1</sup> сполук алюмосилікатних кислот з різними основами і також виявляють здатність до обмінних реакцій, почали позначати сумарно як „цеолітну частину“ ґрунту і ті мінеральні сполуки, які беруть участь у явищах вбирання. Але, крім мінеральної частини, в цих явищах беруть участь і органічні сполуки, а саме нерозчинні у воді, так звані гумінові кислоти, і теж можуть зв'язувати основи (кальцій та інші катіони), даючи з ними солевидні сполуки (гумати), що також нерозчинні у воді, але здатні реагувати з розчинами солей і віддавати свої основи замість тих, що вбираються. Не зважаючи на різницю своєї природи, цеолітна і гуматна частини ґрунту однаково беруть участь у явищах вбирання і тому разом позначаються загальною назвою ґрунтового вбираючого комплексу. Якщо з хемічного погляду обидві частини вбираючого комплексу об'єднуються тим, що містять увібрані основи, здатні до обміну, то з фізичного погляду вбираючий комплекс становить сукупність тих частин ґрунту, які перебувають у роздрібненому стані,—це, наприклад, колоїдальна частина ґрунту разом з фракціями або з сусідніми по величині колоїдальними часточками. Завдяки високому ступеневі роздрібненості (дисперсності) своїх часточок і, значить, більшій поверхні<sup>2</sup> вбираючий комплекс відзначається дуже виявленою реакційною здатністю. Тому, не зважаючи на нерозчинність цих часточок у воді, вони дуже енергійно реагують у водному середовищі як з справжніми розчинами солей, так

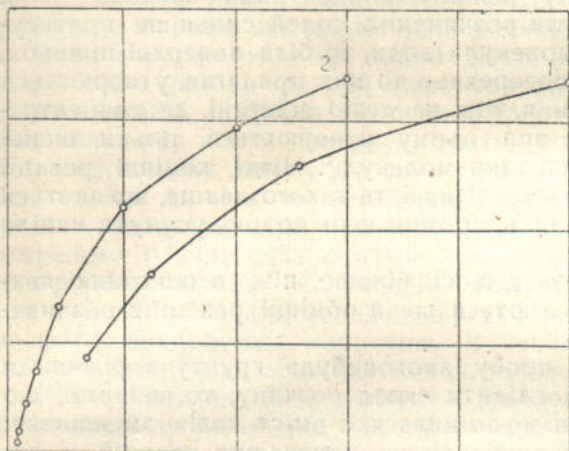


Рис. 2. Вплив концентрації розчину на енергію вбирання ґрунтом (1) та штучним цеолітом (2)

вони дуже енергійно реагують з розчинами солей і віддавати свої основи замість тих, що вбираються. Не зважаючи на різницю своєї природи, цеолітна і гуматна частини ґрунту однаково беруть участь у явищах вбирання і тому разом позначаються загальною назвою ґрунтового вбираючого комплексу. Якщо з хемічного погляду обидві частини вбираючого комплексу об'єднуються тим, що містять увібрані основи, здатні до обміну, то з фізичного погляду вбираючий комплекс становить сукупність тих частин ґрунту, які перебувають у роздрібненому стані,—це, наприклад, колоїдальна частина ґрунту разом з фракціями або з сусідніми по величині колоїдальними часточками. Завдяки високому ступеневі роздрібненості (дисперсності) своїх часточок і, значить, більшій поверхні<sup>2</sup> вбираючий комплекс відзначається дуже виявленою реакційною здатністю. Тому, не зважаючи на нерозчинність цих часточок у воді, вони дуже енергійно реагують у водному середовищі як з справжніми розчинами солей, так

яються тим, що містять увібрані основи, здатні до обміну, то з фізичного погляду вбираючий комплекс становить сукупність тих частин ґрунту, які перебувають у роздрібненому стані,—це, наприклад, колоїдальна частина ґрунту разом з фракціями або з сусідніми по величині колоїдальними часточками. Завдяки високому ступеневі роздрібненості (дисперсності) своїх часточок і, значить, більшій поверхні<sup>2</sup> вбираючий комплекс відзначається дуже виявленою реакційною здатністю. Тому, не зважаючи на нерозчинність цих часточок у воді, вони дуже енергійно реагують у водному середовищі як з справжніми розчинами солей, так

<sup>1</sup> Протилежно безводним силікатам, як слюда і польовий шпат, які стійкіші щодо кислот і в яких основи не мають такої рухливості.

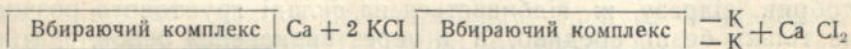
<sup>2</sup> Наскільки ступінь роздрібнення твердого тіла сприяє послідовному збільшенню реагуючої поверхні, бачимо з такого порівняння, наприклад, для часточок кубічної форми:

Довжина ребра	Число кубів	Їх загальна поверхня
1 мм . . . . .	1	6 мм <sup>2</sup>
0,01 мм . . . . .	10 <sup>5</sup>	600 „
0,0001 (— 0,1 мікрона) . . . . .	10 <sup>12</sup>	600 см <sup>2</sup>
0,01 мікрона . . . . .	10 <sup>18</sup>	60000 „ і т. д.

Отже, та сама вагова кількість речовини, залежно від ступеня роздрібненості, може мати вельми різну реакцію поверхні.



і з змуленими часточками інших колоїдів (такими є колоїдальні розчини органічних речовин, силікатні кислоти, гідрати оксидів заліза і глинозему). Якщо висока роздрібненість занадто підвищує реакційну здатність колоїдальної частини ґрунту, та все таки залишається присутня різниця між поведінкою колоїдальних часточок, поперше, і окремих молекул у справжньому розчині будьякої солі, подруге. Через те, що колоїдальні часточки (міцели) складаються з десятків або сотень тисяч молекул, а в реакції беруть участь тільки поверхнево розміщені молекули, то при всій типовості хемічної реакції, яка здійснюється на поверхні, нам все таки здаватиметься, що ми маємо справу з якимсь відхиленням від законів загальної хемії. Так, ми не можемо при аналізі відокремити активні поверхневі молекули від маси внутрішніх молекул, що їх супроводять і не беруть участі в реакції. Тому цей вид реакцій доводиться назвати колоїдно-хемічними реакціями, а той вид вбирної здатності, який ми розглядаємо, назвати колоїдно-хемічною вбирною здатністю<sup>1</sup>, в протилежність фізичній адсорбції, про яку мовилося попереду; її ж таки, на відзнаку від тих випадків типових хемічних реакцій, які зв'язані з утворенням нерозчинних сполук без явища обміну (про що мовитиметься далі), можна назвати обмінною вбирною здатністю. Якщо ми вбираючий комплекс умовно уявимо собі, як щось ціле, то вищезгаданий приклад вбирання ґрунтом калію з розчину будьякої калійної солі витисненням кальцію можна показати у вигляді такої схеми:



Треба мати на увазі, що тут ми маємо справу з оборотними реакціями, тобто можна змусити ґрунт назад вбирати кальцій і віддавати в розчин калій, якщо подіяти на нього розчином  $\text{CaCl}_2$ . Тому при однократному збовтуванні ґрунту з розчином  $\text{KCl}$  не весь увібраний кальцій витискується з ґрунту, а в міру нагромадження його в розчині встановлюється певна рівновага між калієм і кальцієм, і реакція припиняється, не закінчившись.

Цей характер рухливої рівноваги і оборотність реакції, що не йде до кінця, при однократній обробці ґрунту розчином солі за часів Лібиха заважав визнати хемічною природу такого типу вбирання, який ми назвали вбиранням колоїдно-хемічним у попереду викладеному розумінні слова, бо тоді не знали властивостей колоїдів, і закони хемічної рівноваги взагалі не були встановлені.

Якщо ми маємо справу з рухливою рівновагою, то, ясна річ, кількість витискуваної основи при однократній обробці буде різна, залежно від того, яка буде концентрація тої солі,

<sup>1</sup> Її ж таки звуть фізико-хемічною, але така назва менше говорить про суть явища, ніж термін „колоїдно-хемічна вбирна здатність“.



розчином якої ми діятимемо на ґрунт. Ось приклад із дослідів Гедройца, проведеним ним над самарським чорноземом (наважка 10 г), об'єм розчину 50 см<sup>3</sup>, тривалість діяння 48 годин.

Концентрація розчину NH <sub>4</sub> Cl	Витиснено в процентах від ваги ґрунту	
	Ca	Mg
0,01	0,064	0,010
0,10	0,321	0,042
0,50	0,571	0,062
1,0	0,651	0,068
2,0	0,711	0,070

Як бачимо, витиснення кальцію і магнію увібраним амонієм зростає з концентрацією розчину взятої солі, але не пропорційно, при тому в легких розчинах вплив зростаючої концентрації позначається сильніше, а перехід від напівнормальної концентрації до нормальної і вище вже не дає тих ефектів, як перехід від 0,01 до 0,1 нормальної.

Так само, якщо змінювати об'єм розчину, не змінюючи концентрації, то енергія вбирання (і витиснення) збільшується, але непропорційно збільшенню об'єму розчину.

Але тривалість дотикання розчину з ґрунтом не має помітного впливу, бо рівновага встановлюється швидко в наслідок того, що реакція відбувається на поверхні часточок. Тому відфільтрування після першої хвилини збовтування дає такий самий результат, як і триваліше збовтування розчину з ґрунтом.

Отже, швидкість обмінних реакцій дуже велика, і внесення добрив відразу ж відбивається на складі ґрунтового розчину не тільки безпосередньо, а й через витиснення основ, здатних до обміну, з вбираючого комплексу ґрунту.

Крім зазначених попереду умов, розмір вбирання залежить ще від природи тої основи, чию сіль ми вводимо в розчин. Ставлячи досліди, щоб порівняти енергію вбирання різних катіонів з будьякого ґрунту, треба виключити випадкові обставини—наявність в даному ґрунті вже перед дослідом значних кількостей досліджуваного катіону. Так, якщо ми візьмемо ґрунт, у вбираючому комплексі якого є багато кальцію, і почнемо визначати енергію вбирання ним кальцію, то одержимо малі величини, але звідси було б невірно робити висновок щодо кальцію взагалі і говорити, що його енергія вбирання мала. Проте таку помилку раніше робилося, і щоб уникнути її, Гедройц запропонував поставити дослід так: спочатку ґрунт насичують якимсь одним катіоном, а потім уже визначають відносну енергію витиснення цього катіону іншим. При цьому зручно наситити ґрунт будьяким легко визначуваним катіоном, якого в природних ґрунтах не буває, наприклад, барієм, і тоді визначати енергію витиснення барію тими катіонами, які нас цікавлять.

Так Гедройцу вдалося встановити певні законності, і показати що двозначні катіони—кальцій і магній—відзначаються більшою енергією вбирання, ніж однозначні (калій, натрій, амоній), а тризначні (залізо і алюміній)



стоять ще вище. В межах же кожної групи загалом помітний зв'язок з атомною вагою<sup>1</sup> відповідних елементів.

Ось приклад з дослідів Гедройца, який характеризує енергію вбирання різних катіонів (у процентах від ваги ґрунту) при тому самому аніоні (Cl), при однократній обробці ґрунту розчином 0,1 нормального.

Витиснено барія з ґрунту, насиченого ним:

Однозначні	{	Натрій . . . . .	0,625
		Амоній . . . . .	0,886
		Калій . . . . .	0,932
		Рубідій . . . . .	1,062
Двозначні	{	Магній . . . . .	1,058
		Кальцій . . . . .	1,400
Тризначні катіони	{	Алюміній . . . . .	2,291
		Залізо . . . . .	2,492

Меншою енергією вбирання натрію проти калію пояснюють те, що він легше вимивається з ґрунтів і що в морській воді його більше, ніж калію. Перевага ж кальцію у вбираючому комплексі над однозначними катіонами зв'язана, між іншим, з більшою енергією вбирання кальцію (крім цього впливають і інші фактори, наприклад, загальна кількість даного елементу на земній поверхні).

Чи впливає природа кислоти на енергію вбирання основи тої солі, яка дотикається з ґрунтом?

Цей вплив може позначатися тільки вторинним шляхом, якщо ця кислота дає нерозчинні сполуки з витискуваними з ґрунту катіонами. Так, якщо ми діятимемо на ґрунт розчином калій-фосфату, то калій витискуватиме кальцій до встановлення рівноваги між ними, але через те, що фосфорна кислота даватиме кальцій-фосфат, який важко розчинюється, і кальцій буде в осаді, то рівноваги не буде, і нова кількість калію вбереться й витисне кальцій і т. д. Тому з таких солей, як фосфати і карбонати, лужні метали вбираються далеко енергійніше, ніж з хлоратів, нітратів і сульфатів<sup>2</sup>, як бачимо з даних дальшого досліді, в якому давалося однакові кількості натрію у вигляді солей з різними кислотами.

Увібрано натрію (в мг):

Сірчана кислота . . . . .	22
Азотна " . . . . .	22
Фосфорна " . . . . .	41
Вугільна " . . . . .	35

<sup>1</sup> Але є винятки. Так, амоній щодо енергії вбирання стоїть на вищому місці, ніж це відповідає його вазі, а водень, який має найменшу атомну вагу, виявляє найбільшу спорідненість до аніонної частини вбираючого комплексу і легко витискує інші катіони (пояснення цього є в теоретичній хемії).

<sup>2</sup> Хоча  $\text{CaSO}_4$  є значно менше розчинним, ніж  $\text{CaCl}_2$  або  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , але тому, що його розчинність все таки становить близько 2 : 1000, то з погляду земній ґрунту утворення  $\text{CaSO}_4$  не є утворенням важкорозчинних сполук, бо в ґрунтовому розчині, як і при водних культурах, ми завжди маємо справу тільки з слабкими розчинами.



Як наочно показали дослідження Гедройца, від кількості й від природи тих основ, які увібрані цеолітною частиною залежить не тільки ряд хемічних реакцій, а й фізичні властивості ґрунту.

Так, видаляючи увібраний кальцій, ми можемо перетворити чорнозем на в'язку і клейку безструктурну масу, яка, висихаючи, дає тріщини і стає надзвичайно твердою, подібною солонцям. Увібраний кальцій можна усувати двома способами, а саме: або заміщаючи його іншою основою (наприклад, повторно промиваючи розчином  $\text{NaCl}$  і вимиваючи зайвину солі водою), або без такого заміщення, кілька разів промиваючи ґрунт водою, насиченою вуглекислою; після 20-кратного промивання водою  $+\text{CO}_2$  набагато збільшилася „колоїдальність“ ґрунту, піднялась і здатність його набрякати та при достатній кількості води з'єднуватися в загальну масу, яка, висихаючи, розтріскується як солонець і твердне так, що для роздрібнення потрібні великі зусилля, тоді як і при вимиванні самою водою без  $\text{CO}_2$  і без  $\text{NaCl}$ , грудочки висушеного ґрунту розчавлювалися майже так само легко, як і до промивання. Навпаки, вводячи кальцій (а також  $\text{Al}$  і  $\text{Fe}$ ), можна понизити „колоїдальність“ ґрунту і вернути йому структурність і взагалі попередні властивості.

Тому можна думати, що самі цеолітоподібні речовини являють собою драглисті колоїди, які дуже затримують воду; такими ж є продукти насичення їх натрієм. Навпаки, введення кальцію (а ще більше  $\text{Fe}$  і  $\text{Al}$ ) приводить до іншого виду аморфних витворів, які не схильні набрякати і давати драгли. Введення  $\text{K}$  і  $\text{NH}_4$  дає продукти проміжних властивостей. Це ще більше підкреслює інтерес вивчення не тільки того, що ґрунт здатний вбирати (виключно цим займалися раніше), а й того, що він уже сам по собі містить в увібраному стані.

Далі ми дізнаємося про те, чим відрізняються щодо цього один від одного різні типи ґрунтів, а покищо відзначимо, що при внесенні добрив також доводиться зважати на ці зміни фізичного стану вбираючого комплексу під впливом зміни одних увібраних катіонів іншими. Якщо, наприклад, систематично, протягом ряду років, вносити в ґрунт великі кількості добрива у вигляді солей з однозначними катіонами, як, наприклад,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , то кількість увібраного кальцію в наслідок витиснення однозначними катіонами і дальшого вимивання дощами може понизитися так, що фізичні властивості ґрунту погіршуються; він схильний буде запливати і утворювати корку, тоді як, навпаки, внесення солей, які містять кальцій, як  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  та  $\text{CaSO}_4$ , може спричинитися до поступінного поліпшення фізичних властивостей і тих ґрунтів, які спочатку відзначалися значним вмістом однозначних катіонів і малою кількістю кальцію у вбираючому комплексі. Тому треба вміти комбінувати солі в добривах, виходячи не тільки з потреб рослини на поживні речовини, а й зважаючи ще на властивості вбираючого



комплексу, від яких головню залежать і фізичні властивості ґрунту, взятого в цілому.

Ємність вбирання. Як ми бачили попередю чим міцніший розчин солі ми візьмемо, тим більше вбере ґрунт введеної з цією сіллю основи (наприклад, амоній з розчину  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) і тим більше витиснеться з ґрунту інших основ (насамперед, кальцію). Але хоч який міцний розчин було вжито, однаково реакція до кінця не йде: встановлюється якась рівновага між зайвинним амонієм, що міститься в розчині, і витискуваним з ґрунту кальцієм. Однак, цю рівновагу можна порушити, якщо відфільтрувати прореагований розчин і замінити його свіжим. Тоді реакція просунеться далі, але все ж ще не весь кальцій буде витиснено з збираючого комплексу, і послідовні промивання відніматимуть від ґрунту нові, але дедалі все менші кількості кальцію. Кінець-кінцем не тільки кальцій, а й всі інші катіони (магній тощо) будуть витиснені з ґрунту, і через те, що обмін відбувається в еквівалентних відношеннях, то кількість амонію, яку вбере ґрунт, відповідатиме сумі еквівалентів витиснених основ.

Через те, що ми маємо тут справу з оборотною реакцією, можна потім амоній своєю чергою витиснити першим-ліпшим катіоном способом многократного промивання ґрунту відповідною сіллю, при чому новий катіон увійде знову такою кількістю, еквівалентною витисненому ним амонію, а через те, що амоній наситив собою вбираючий комплекс кількістю, еквівалентною сумі катіонів, яка містилася у вихідному зразку ґрунту в стані, здатному до обміну, то, значить, взагалі всі катіони вбираються ґрунтом в еквівалентних співвідношеннях, якщо тільки ми доведемо процес витиснення до кінця (те, що мовилося попередю про різну енергію входження окремих катіонів у вбираючий комплекс, стосується до окремих етапів витиснення новим катіоном тих катіонів, які раніше були в ґрунті, але при проведенні витиснення повторними промиваннями до кінця, результат буде однаковий для всіх катіонів, якщо перерахувати один із них в еквівалентну кількість).

Отже, сума вбраних ґрунтом катіонів, витискувана при остаточному насиченні вбираючого комплексу будьяким новим катіоном, є величина стала для даного ґрунту, хоч би з якими нейтральними солями ми проробляли дослід; вона позначається терміном ємність вбирання ґрунту (звичайно для підсумовування перераховують усі катіони в еквівалентну кількість кальцію). Замість визначати окремо кількість кожного катіону в з'єднаних витяжках і підсумовувати їх у перерахунку на загальний еквівалент, можна робити простіше: витиснивши всі вбрані катіони з допомогою  $\text{NH}_4\text{Cl}$  або  $\text{BaCl}_2$ , і вимивши зайвину солі, визначити в ґрунті кількість увбраного амонію або барію,—тоді вона й відповідатиме ємності вбирання, бо вона еквівалентна сумі витиснених катіонів.

Різні ґрунти відзначаються вельми неоднаковою ємністю вбирання, і на це доводиться зважати, вносячи добрива, як ми це побачимо далі.



З ґрунтовим вбираючим комплексом і з ємністю вбирання ґрунту не зв'язані ті випадки, коли перехід у нерозчинний стан відбувається внаслідок хемічних реакцій між простими тілами, при чому ці реакції можуть бути і не зв'язані з явищами обміну і не бути оборотними. Так, якщо, наприклад, до ґрунту, в якому містяться гідрати оксидів заліза і глинозему, доливати розчин фосфорної кислоти, то утворюються фосфати заліза і алюмінію, які важко розчинюються, і якщо й кажуть, що при цьому фосфорна кислота вбирається ґрунтом, то суть цього вбирання інша, ніж у вищеописаних явищах обміну ввібраних основ. Далі, те саме стосується зв'язування фосфорної кислоти вапном з утворенням кальцій-ортофосфату  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , який відзначається тим, що важко розчинюється. Силікатна кислота також може утворювати осаді, сполучаючись з кальцієм, залізом і глиноземом. Можуть бути випадки обмінних реакцій між простими тілами, які призводять до утворення осадів, наприклад, якщо в ґрунт, в якому є сода, внести гіпс:



Тому що  $\text{CaCO}_3$  у воді не розчиняється, то умовно кажуть, що в даному разі кальцій увібраний ґрунтом, але на ділі ґрунт і його вбираючий комплекс тут ні до чого; отже, в таких випадках краще було б просто говорити про перехід тих чи тих речовин у нерозчинний стан при хемічних реакціях, ніж про „хемічне вбирання“; але тому, що такий термін трапляється в літературі, то треба знати значення його і відрізнити такий тип явищ від типових явищ колоїдно-хемічного або обмінного вбирання, в яких бере участь складний гуматний і алюмосилікатний комплекс, при чому участь ця стосується не всієї складної молекули, а тільки рухомо зв'язаних з нею катіонів.

Кінчаючи, зупинімося на значенні вбирної здатності для живлення рослин та її впливі на діяння добрив.

В самій загальній формі з с. г. практики давно відомо, що явища вбирання треба брати до уваги, вносячи добрива, що глинистий ґрунт (багатий на колоїдальну частину) інакше ставиться до добрива, ніж пісковий: пісковий ґрунт, відзначаючись малою вбирною здатністю, легко допускає зайве підвищення концентрації ґрунтового розчину. Цим пояснюється легше вигорання посівів на пісковому ґрунті сухого літа під діянням довільного добрива; а дощової пори року на пісковому ґрунті легко настає вимивання поживних речовин. Глинистий ґрунт, навпаки, виявляє цілком протилежне ставлення,—звідси давнє практичне правило: піскові ґрунти треба удобрювати невеликими порціями, але частіше; а глинисті можна удобрювати відразу великими кількостями, на них діяння добрив позначається поступінно і розподіляється на кілька років.

Відомо, що корені рослин сприймають поживу з вельми слабих розчинів: при водних культурах уживається розчини 1—3 на тисячу частин води, 5 на тисячу часто буває вже зайвим. У ґрунті саме завдяки явищам вбирання концентрація підтримується на невисокому рівні. Розчинні поживні речовини не нагромаджуються значними кількостями, але, вбираючись ґрунтом, вони перебувають у стані, завжди готовому для сприйняття коренями. Перебіг засвоєння треба уявляти собі так: рослина вбирає з слабого розчину поживні речовини в більшій пропорції, ніж решту, не тільки тому, що плазма для цих солей проникніша, ніж для інших, а й тому, що засвоювані речовини виключаються з сфери діяння, переходячи в нерозчинні



(або недифундуючі) сполуки, і весь час у клітинку може проходити нова кількість засвоєної речовини. Коли певних речовин в розчині стало менше, вбираючий комплекс наслідком порушення рівноваги, віддає знову частину їх, і рослина може знову засвоювати їх і т. д.

Так само при внесенні в ґрунт добрива у вигляді розчинних солей концентрація могла б надмірно підвищуватися, коли б не було пом'якшуючого діяння ґрунтів завдяки явищам як фізичного, так і обмінного вбирання.

Як ми вже відзначали, якщо навіть кварцевий пісок понижує концентрацію розчину (що видно з порівняння піскових культур з водними), то на скільки ж сильніше діє щодо цього колоїдальна частина ґрунту?

У помірному кліматі концентрація ґрунтового розчину звичайно змінюється в межах близьких до встановлених як оптимальні для рослин у водних культурах або ще нижчих. Так, спостерігалися коливання у вмісті розчинених солей від 0,5 до 2 г на 1 л ґрунтового розчину. У посушливих районах, де ґрунти багатші на солі, звичайно, концентрація ґрунтового розчину може бути вищою і переходити межу, припустиму для рослин; але такі моменти наставали б частіше, коли б вбирна здатність (в сумарному розумінні) не відсувала граничної межі, виводячи частину речовин з сфери безпосереднього діяння на корені рослин.

Вбирна здатність є регулятором ґрунтового розчину не тільки щодо концентрації його; вона забезпечує і різноманітність ґрунтового розчину. При внесенні в ґрунт, наприклад, солей калію, частина його вбереться, і натомість у розчин переходять сполуки вапна, магnezії тощо. Тому ніяке добриво не діє тільки безпосередньо, а, спричиняючись у ґрунті до ряду змін, діє і побічно.

Звичайно вважають, що саме у вібрані ґрунтом речовини є засвоюваними і визначають родючість його, а інші сполуки — це лише той запас, з якого поступінно при вивітрюванні утворюються легко засвоювані речовини.

Далі, вбирна здатність запобігає вимиванню дощами з ґрунту цілого ряду поживних речовин. Якраз такі важливі поживні речовини, як калій, кальцій, фосфорна кислота і аміак, вбираються ґрунтом і тому добре протистоять вимиванню. Але друга форма азотистої поживи рослин — нітрати — легко вимиваються з ґрунту. Тому в дуже вологих кліматах, або при довільному зрошуванні (культура рису) часто уникають вносити селітру, і віддають перевагу або аміачним солям, або нерозчинним у воді органічним азотистим добривам, а хоч застосовують зелене добриво. Японія, культивуючи багато рису, вживає багато аміачних солей, рибного гуано та інших органічних добрив.

Якщо на явища вбирання доводиться зважати при внесенні кожного добрива, то діяння так званих побічних добрив основне головне на явищах вбирання з них і витиснення інших едтонів з вбираючого комплексу.



Мало того, на явища вбирання доводиться зважати не тільки тоді, коли ми вносимо в ґрунт речовини, яких не вистачає, а й тоді, коли ми хочемо усунути зайвинні або шкідливі солі з ґрунту, наприклад, при боротьбі з солончаками і солонцями, про що буде сказано далі.

Тільки при близькому ознайомленні з явищами вбирання ми можемо сподіватися на успіх у заходах, мета яких — змінити хемічні властивості ґрунту в бажаному для нас напрямку, а також уникнути несприятливих наслідків здвигу реакції в кислу або лужну сторону, що можливе при одноманітному внесенні тих самих форм, наприклад, азотистих добрив без належного чергування їх. Але для того, щоб говорити про роль вбираючого комплексу в регулюванні реакції ґрунту і надання йому здатності протистояти здвигам реакції (так званій буферності ґрунту), нам треба попереду ближче обізнатися з тим, що являє собою ґрунтова кислотність.

## 2. ЗАЛЕЖНІСТЬ РЕАКЦІЇ ТА ІНШИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ВІД СКЛАДУ ВБИРАЮЧОГО КОМПЛЕКСУ

Ми бачили попереду, що при діянні на ґрунти нейтральних солей відбувається обмін основами в еквівалентних відношеннях, і якщо кислотна частина взятої солі не вбирається ґрунтом, то розчин повинен після дотикання з ґрунтом залишатися нейтральним. Так це звичайно й буває, але трапляється іноді і інше: нейтральний розчин солі після дотикання з ґрунтом стає кислим. У таких випадках виявляється, що сума витиснених з ґрунту основ не еквівалентна кількості вбіраного катіону, — а саме, вона менша від цієї кількості. Раніше вбачали в цьому особливий тип „безобмінного вбирання“, але виявилось, що й це явище підходить під тип обміну. Для того ми повинні взяти на увагу, що коли розчин солі, яким ми діяли на ґрунт, наприклад,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , став кислим, то це значить, що в ньому, крім  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  та інших солей соляної кислоти, є частина вільного водень-хлориду —  $\text{HCl}$ , отже, в ньому містяться й водневі іони. Якщо цей водень прирахувати до решти катіонів, витиснених амонієм, то правило про еквівалентність увібраного і витиснених катіонів буде вірним і для таких випадків.

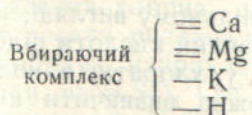
Алеж відки взявся цей водень у розчині? Він міг утворитися тільки з вбираючого комплексу. Якщо ми знову уявимо собі вбираючий комплекс, як щось ціле, як аніон певної складної, нерозчинної у воді кислоти<sup>1</sup>, з якою зв'язані увібрані основи, то в таких випадках, коли розчин солі, що дотикається з ґрунтом, залишається нейтральним, треба думати, що ґрунтовий комплекс був насичений основами. Коли ж розчин стає кислим, тоді, очевидно, в комплексі, поряд інших катіонів, був незаміщений

<sup>1</sup> Такі тіла кислотного характеру, в яких немає незаміщеного водню, але які через свою нерозчинність не можуть збагачувати розчин на водневі іони, звуться ацидоідами,



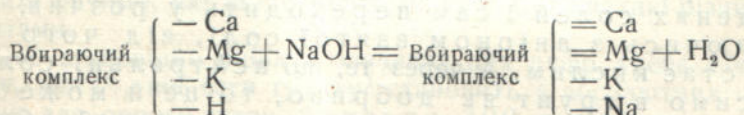
водень, який перебував у тому самому стані, що і інші катіони, і тому здатний також обмінюватися місцями і переходити в розчин замість увібраного катіону.

Описану участь водню у вбираючому комплексі, поряд інших катіонів, можна показати у вигляді такої схеми:



Такий випадок ми маємо в так званих кислих ґрунтах (підзоли, вересові землі, мохові торф'яники). Однак цю кислотність треба розуміти інакше, ніж у випадку типових кислот, не тільки сильних, як сірчана і соляна, а й навіть і слабших, як укусна. Саме від типових кислот ті сполуки, які зумовлюють ґрунтову кислотність, відрізняються нерозчинністю в воді (це стосується і органічних кислот ґрунту, гумінових, і мінеральних, алюмо-силікатних сполук кислотного характеру). Коли ж немає розчинності, то немає й дисоціації, а відомо, що типові кислоти характеризуються саме тим, що у водному розчині вони більш або менш дисоційовані, розщеплені на водневі іони та відповідний аніон кислоти, і ступень такої явної або активної кислотності вимірюється кількістю водневих іонів у розчині. Кислі ж ґрунти можуть не виявляти ніякої кислотності у водній витяжці; їх кислоти можна порівняти скоріше до такої нерозчинної в воді кислоти, як стеаринова, яка також не віддає в розчин помітних кількостей водневих іонів (її кислотність не відчувається на смак), однак вона здатна зв'язати певну кількість луґу (при утворенні мила).

Так і ґрунтові кислоти або, точніше, кислотоподібні сполуки — ацидоїди, як зветься такі нерозчинні у воді сполуки, можуть реагувати з лугами, заміщаючи свій водень металом за схемою:



Отже, можна вигнати водень з ґрунтового комплексу і знижити ґрунтову кислотність, що й роблять в господарстві, тільки не з допомогою розчинних луґів, а з допомогою дешевшого вапна<sup>1</sup>. І навпаки можна, ввести водень у вбираючий комплекс,

<sup>1</sup> Крім того, тут важно потрібне і по суті, незалежно від дешевини, бо важливо одержати колоїди, які зсідуються і випадають з води, а не розпливаються в ній як мило. А у випадку мила вапно, навпаки, непридатне: вапнова сіль стеаринової кислоти „не мильє“, — це відомо з діяння жорсткої води на мило, але коли хотять в лабораторії з метою виділення змусити вбираючий комплекс ґрунту розливатися в воді і відокремлюватися від грубіших часточок, то так само з нього вводять луґи, замість увібраного кальцію; тоді він переходить у колоїдний розчин.



щоб вивчити властивість ґрунтових ацидоїдів або інших, якщо обробляти ґрунт якоюнебудь дуже розведеною кислотою, хоч би й соляною, концентрації 0,05 нормальної. Не можна брати міцніших розчинів кислоти, бо кислота тоді зруйнує вбираючий комплекс, відокремить глинозем від силікатної кислоти; силікатна кислота виділиться у вільному вигляді, а глинозем дасть алюміній-хлорид; легкі ж розчини кислоти відбирають тільки увібрані основи, переводячи їх у хлорати, а водень стає на їх місце.

Таким способом можна визначити кількість і склад увібраних основ у ґрунті, витискуючи їх воднем розведеної кислоти, і це легше зробити, ніж промивання ґрунту розчином амоній-хлориду, бо водень відзначається найбільшою, як порівняти з іншими катіонами, енергією витиснення (з другого боку, можна визначити кількість водню в первісному ґрунті, якщо повторно промивати ґрунт, наприклад, розчином барій-хлориду і потім обчислити сумарну кислотність цих витяжків).

ґрунти, які містять водень у вбираючому комплексі, є тим більше кислими або, точніше ненасиченими основами, чим більша частка від загальної ємності вбирання зайнята воднем. Облік кількості увібраних основ, з одного боку, і кількості увібраного водню — з другого, дає можливість скласти уявлення про ступінь насиченості або ненасиченості ґрунту.

Але чи має будьякий практичний інтерес ненасиченість ґрунту основами, якщо увібраний водень міститься у важкорозчинних сполуках і його не можна облічити у водній витяжці? Щоб відповісти на це питання, треба зважити, при яких обставинах цей увібраний водень може значними кількостями звільнитися з нерозчинного вбираючого комплексу і переходити в іонній формі в ґрунтовий розчин у сполученні з тими або тими аніонами. В дійсності це відбувається під впливом тих самих способів, якими ми виявляємо захований водень у лабораторіях, а саме: цей увібраний (або обмінний) водень при дотиканні з нейтральними солями заміщається катіонами введених солей і сам переходить у розчин, сполучаючись з аніоном взятої солі, від чого розчин стає кислим. А через те, що нейтральні солі ми вносимо в ґрунт як добриво, то це й може правити за фактор перетворення захованої або пасивної кислотності в явну, активну, яка може спричинити значну шкоду рослинам, якщо ми не вживаємо заходів до усунення її. Особливо легко така шкода постає на ґрунтах, що відзначаються обмінною кислотністю, в тому випадку, коли вносять велику кількість солей, а це буває, наприклад, при застосуванні низькопроцентних калійних солей, коли доводиться разом з необхідною кількістю калію, не бажуючи того, вносити великі кількості натрій-хлориду. В таких випадках, не зважаючи на усунення недостатності калію в ґрунті, може постати шкода від великого збагачення ґрунтового розчину на водневій іоні. Щоб уникнути цього, в таких випадках доводиться перед внесенням калійних (та інших) солей вживати заходів до збагачення



грунту на основи (вапнування, удобрення ґрунту фосфоритною мукою, внесення золи).

Крім планового діяннн на реакцію ґрунту, як це буває при внесенні вапна в кислі ґрунти або підкислювачів у лужні ґрунти, в практиці удобрення доводиться зважати ще на побічне діяннн на цю реакцію деяких добрив, що вносяться з іншою метою, наприклад, щоб давати рослинам азот. Попереду ми відзначали, що азотисті добрива, наприклад, можуть залишати в ґрунті або кислі залишки, як  $H_2SO_4$  і  $HCl$ , при внесенні  $(NH)_2SO_4$  і  $NH_4Cl$ , або лужні залишки, як  $NaNO_3$ , і при частому внесенні того самого типу добрив без належного їх чергування реакція ґрунту може ставати або кислішою або лужнішою, ніж спочатку. Але при нагромадженні тої самої кількості кислих або лужних залишків різні ґрунти виявлять неоднаковий здвиґ реакції, що можна показати в лабораторії в простому досліді додавання зростаючих доз кислоти і луґу до окремих проб ґрунту. Тоді ми побачимо, що в одних ґрунтів реакція легко змінюватиметься, швидко віддаляючись від нейтральної точки, а інші ґрунти виявлять велику стійкість щодо цього і здатні протистояти введенню значних кількостей кислот і луґів без помітної зміни первісної реакції. Таку здатність ґрунтів протистояти здвиґу реакції звать буферною здатністю.

Здатність ґрунту протистояти здвиґу реакції в кислу сторону, крім  $CaCO_3$  (якого в багатьох ґрунтах немає), залежить від багатства ґрунту на увібрані основи, між якими переважає увібраний кальцій. Тому, чим більша ємність вбирання ґрунту, чим вища насиченість його основами, тим більші кількості кислоти можна ввести в нього, не ризкуючи створити шкідливу для рослини кислотність; отже, тим довше витримає він удобрення такими солями, як амоній-сульфат або амоній-хлорид, при чому ґрунт не тільки не змінюватиме помітно реакцію, а й не збіднюватиметься на увібраний кальцій так, щоб могли змінитися на гірше його фізичні властивості. З дальших даних (в процентах) бачимо, які щодо цього можуть бути великі різниці між ґрунтами.

Щоб відповідно оцінити значення цих цифр, треба взяти на увагу, що 1% від ваги ґрунту<sup>1</sup> становить в абсолютних цифрах тільки для орного шару близько 300 ц кальцію (обчислено в даному разі на  $Ca$ , а не на  $CaO$ ), а тим часом і підорний горизонт у цьому разі не можна залишити без уваги.

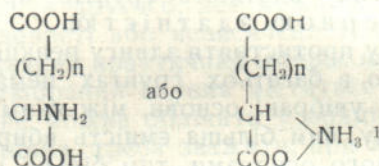
#### Ємність вбирання (з розрахунку на кальцій)

Багатий чорнозем . . . . .	1,5
Дегралований чорнозем . . . . .	0,55
Суглинок . . . . .	0,115
Пісковий ґрунт . . . . .	0,023

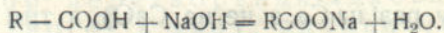
<sup>1</sup> Вага орного шару, що для різних ґрунтів звичайно не тотожня, становить близько 3000 т.



Для того, щоб ясніше уявити собі ставлення ґрунту до лугів, нам треба зробити певне доповнення до попереднього викладу. Що луги здатні зразу заміщати той водень, який лише поступінно заміщається основами нейтральних солей і який ми вище назвали обмінним воднем, це ясно з викладеного попереду, але чи ввесь водень, що міститься в ґрунтових сполуках, є обмінним, тобто здатним заміщатися катіонами нейтральних солей, чи є ще якийсь залишок водню, який не бере участі в такому обміні, але який піддається заміщенню при реакції з лугами? Виявляється, що такий водень є. Щоб пояснити це простішим прикладом, замість складних алюміно-силікатних кислот мінеральної частини ґрунту візьмемо простішу сполуку — фосфорну кислоту ( $H_3PO_4$ ), яка містить 3 атоми водню, здатні заміщатися металом, однак заміщаються вони не однаково, а з послідовно дедалі меншою легкістю, і якщо 2 атоми водню вже заміщені металом, то третій водень такої вочевидь ненасиченої сполуки, наприклад,  $CaHPO_4$ , можна замістити тільки в лужному розчині. Так і в ґрунті, крім водню обмінного, який можна витіснити нейтральними солями, є водень, що нейтральними солями не витіснюється, він немов би глибше сидить, але його можна витіснити діянням лугу, і тому його не ураховують при визначенні ємності вбирання в тому розумінні, як ми цю ємність схарактеризували вище. Такий „неврахований“ в означеному розумінні водень може бути як у мінеральних сполуках, так і в органічних, при чому знову таки для простоти ми замість складних і різноманітних гумінових кислот, візьмемо хемічну сполуку певної формули. Уявімо собі якунебудь органічну кислоту з двома характерними для таких кислот групами —  $COOH$  (карбоксильна група), які відрізняються одна від одної тим, що одна з них міститься поряд групи  $NH_2$  тобто аміної групи, яка має характер слабкої основи, наприклад:



Якщо число  $n$  досить велике, то така сполука відзначатиметься нерозчинністю в воді (як стеаринова кислота) і цим буде подібна до гумінових кислот (тип ацидоїдів, в раніше поясненому розумінні). Якщо ми таку сполуку оброблятимемо повторно розчином  $BaCl_2$  (тобто визначатимемо в ній „обмінну кислотність за Гедройцем“), то водень одної з карбоксильних груп витіснюватиметься барієм і переходитиме в розчин у вигляді  $HCl$ , а другий (сусідній з групою  $NH_2$ ) залишиться індиферентним і не буде зачеплений при обробленні розчином нейтральної солі (так само, як не зачеплюється при цьому третій водень фосфорної кислоти в згаданому прикладі з  $CaHPO_4$ ). Але треба тільки взяти замість нейтральної солі вільний луг,  $NaOH$  або  $Ba(OH)_2$  і тоді можна витіснити і цей водень, а замість нього стане  $Na$  або  $Ba$ , водень же з групою  $OH$  дасть воду за схемою:



Наявність у ґрунті такого водню, що вступає в реакцію тільки в лужному середовищі, зветься додатковою або гідролітичною кислотністю, хоча про кислотність тут можна говорити лише умовно, в розумінні наявності водню, заміщуваного тільки лугами, але не виявлюваного ні у водній витяжці, ні в солевій витяжці, якщо остання нейтральна.

Якщо підсумувати все те, що ми говорили попереду про різні види кислотності активної, обмінної і гідролітичної, то вони характеризуються різною наявністю водню в різних сполуках або в різному стані навіть у тій самій сполуці, як показано далі (див. 57 стор.).

<sup>1</sup> При першому способі зображення азот бере участь у цій сполуці трьома одиницями спорідненості, в другому — п'ятьма.



Вид кислотності	I	II	III
	Активна	Обмінна	Гідролітична
Розчинність сполук, в яких є водень	Легка	Дуже важка	Дуже важка
Схильність до дисоціації	Значна	Мізерна	Мізерна
Спосіб переведення водню в розчин	Водна витяжка	Солева витяжка	Лужний розчин
З чим сполучається Н у розчині	З тим самим аніоном	З аніоном солі	З аніоном лугу, тобто з групою ОН
Характер одержуваної сполуки	Кислота	Кислота	Вода

З гідролітичною кислотністю доводиться стикатися між іншим в питанні про вапнування. Не знаючи її, не можна було б уявити собі, як ґрунт може реагувати з більшими кількостями вапна, ніж потрібно для насичення обмінної кислотності. Але, щоб розуміти суть методів, застосовуваних для визначення гідролітичної кислотності, треба взяти до уваги ще одно: той водень „третього розряду“, про який мовиться при гідролітичній кислотності, заміщається не тільки тоді, коли ми візьмемо вільний луг, а й тоді, коли ми візьмемо сполуки, що в розчині частково розщеплюються з утворенням лугу, тобто розчини яких багаті на гідроксильні іони. Такими є солі сильних основ і слабкої кислоти, як натрій-карбонат і натрій-ацетат, розчини яких мають лужну реакцію, тобто містять більше гідроксильних іонів, ніж водневих. У таких випадках після реакції звільниться певна кількість слабкої кислоти (вугільної або уксусної). З міркувань аналітичної техніки, яких ми тут не розглядатимемо, зручніше брати такі лужно-реагуючі солі, ніж вільні луґи, а тому в інструкціях до визначення гідролітичної кислотності постійно знаходимо рецепти застосування натрій-ацетату або кальцій-ацетату.

Крім того, треба мати на увазі, що в літературі про ґрунтову кислотність звичайно (якщо не зроблено особливих застережень) під назвою гідролітичної кислотності наводиться дані, одержані безпосередньо при обробленні ґрунту розчином натрій-ацетату. Тим часом ясно, що всякий лужний реактив реагуватиме не тільки з воднем „третьої черги“, а й з усіма видами водню, тобто такі покази охоплюють в дійсності суму всіх видів кислотності, тобто I + II + III (правильніше було б сказати, що це є показник ґрунтової кислотності, включаючи гідролітичну кислотність), і щоб одержати окремі дані для III виду кислотності, слід було б з загального показника відняти величину обмінної кислотності, але це звичайно дається зробити читачеві.

Через те, що присутність водню у вбираючому комплексі і взагалі склад увібраних катіонів визначають не тільки реакцію ґрунтового розчину, а й ряд інших найважливіших властивостей ґрунту, на які доводиться зважати, вносячи добриво, зупинімося трохи докладніше на цьому питанні в зв'язку з різними типами ґрунтоутворення.

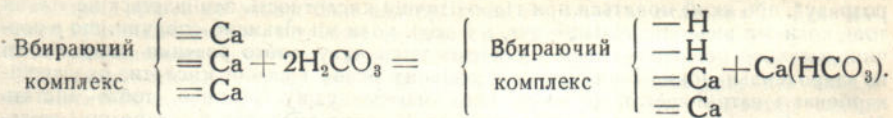
Залежно від складу увібраних катіонів бувають такі головні випадки:

1. Водень бере участь у вбираючому комплексі (підзолисті ґрунти на півночі і латеритні ґрунти на півдні).

2. Вбираючий комплекс не має обмінного водню, його властивості визначаються наявністю в ньому головної кальцію (чорнозем) або натрію (солончаки й солонці).



З першої групи найбільше поширені підзолисті ґрунти, які утворюються в помірному поясі і на півночі при умовах вимивання дощовими водами<sup>1</sup> всіх розчинних речовин, або речовин, здатних поступінно переходити в розчинні форми завдяки гідролізуючому діянню води на мінеральні речовини ґрунту. Слід відзначити, що вода діє не сама, а в усякому ґрунті при розкладі рослинних залишків утворюється вуглекислота. Тому в умовах промивання в розчин поступінно переходить кальцій з кальцій-карбонату і вимивається з ґрунту у вигляді бікарбонатної солі  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Наслідком цього підзолисті ґрунти, протилежно південним ґрунтам, не мають кальцій-карбонату, але мало того, далі діяння води з вуглекислою спрямовується на основи вбираючого комплексу; вони також переходять у розчин, і поступінно у вбираючий комплекс входить водень (див. схему).



Це входження водню у вбираючий комплекс починається лише після того, як з ґрунту вимито весь кальцій-карбонат. Поки ж кальцій-карбонат ще є в ґрунті, він захищає собою основи вбираючого комплексу від заміщення воднем.

Але процес утворення підзолу не обмежується самим тільки входженням водню у вбираючий комплекс замість витиснених основ, а потім водень<sup>2</sup> води, підкисленої вуглекислою, починає діяти руйнаційно на самий вбираючий комплекс, розкладаючи складне цеолітовидне ядро на простіші сполуки (оксиди силіцію, алюмінію, заліза). Таким чином ґрунт збіднюється на колоїди, вбираючий комплекс зменшується кількісно, а та частина його, що залишається, виявляється більш або менш ненасиченою основами. Кінець-кінцем у дуже опідзолених ґрунтах ми маємо малу ємність вбирання, значну обмінну кислотність і малу буферність, а через те, що й гуматна частина вбираючого комплексу також значною мірою руйнується, то бідні разом з тим на кальцій підзоли звичайно мають погані фізичні властивості, а саме, вони погано зберігають структуру і схильні до запливання.

Як приклад наведемо такі дані складу увібраних катіонів для підзолистого ґрунту (див. 59 стор.).

<sup>1</sup> Відбувається промивання ґрунту чи не відбувається, — це залежить не тільки від кількості, опадів, а й від величини випарування: наприклад, різниця між кліматом Москви й Самари залежить не стільки від кількості опадів, скільки від різниці в перебігу випарування, бо при малому випаруванні переважає рух води вниз, в підґрунтя, а при значному випаруванні переважає рух води вгору, і тоді ґрунт не промивається.

<sup>2</sup> Хоча вугільна кислота і є слабою кислотою, та все ж тут є деякий ступінь дисоціації  $\text{H}_2\text{CO}_3$  на іони  $\text{H}^+$  і  $\text{HCO}_3^-$ .



Процентн. склад вбираючих катіонів (м. екв.)			Вміст вбираючих катіонів у % від ваги ґрунту		
H	Ca	Mg	H	Ca	Mg
39,1	40,5	20,1	0,0007	0,014	0,004

Ще більша частина припадає на водень у кислих і бідних на золу мохових торф'яниках, а лучний торф містить більше зольних речовин, і відповідно цьому його вбираючий комплекс може мати мало водню і багато кальцію. Ось приклади:

Води торфу	Процентне співвіднош. вбираючих основ			
	H	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>
Моховий . . . . .	79	11	3	6%
Лучний . . . . .	7	88	1	3%

Як сказано попередю, ненасичені ґрунти поширені в помірному поясі і на півночі. В тропічних і субтропічних місцевостях як виняток можуть також утворюватися ненасичені ґрунти, хоча й іншого типу, ніж підзоли, а саме: у випадку надзвичайно великої кількості опадів утворюються латеритні ґрунти або червоноземи. Такі ґрунти в межах Союзу ми маємо, наприклад, на чайних плантаціях Батумського узбережжя, де велика кількість вологи (понад 2000 мм дощу) діє на ґрунт в умовах підвищеної температури. Бувши подібними до підзолів малою ємністю вбирання, значною участю в заповнюванні цієї ємності увібраного водню та бідністю на кальцій<sup>1</sup>, латерити відрізняються від підзолів нагромадженням інших залишків від зруйнування вбираючого комплексу, а саме, гідратних оксидів заліза та алюмінію, тоді як у підзолах нагромаджуються значні кількості силікатної кислоти. Крім того, латеритні ґрунти відзначаються прониканням процесу розпаду вбираючого комплексу на далеко більшу глибину, ніж у підзолистих ґрунтах.

Споміж ґрунтів, в яких немає увібраного водню, найбільше значення має чорноземний тип, поширений в тій зоні, де ґрунти не промиваються на велику глибину навіть зимовою вологою, і кальцій-бікарбонат та інші розчинні речовини не йдуть у підґрунтя, але, при значному випаровуванні, яке починається з ранньої весни, повертаються назад у ґрунтовий горизонт. Тому ґрунтовий шар тут не збіднений на кальцій-карбонат, і наявність кальцій-карбонату захищає собою від вимивання кальцій вбираючого комплексу; у зв'язку з цим сам вбираючий комплекс відзначається в чорноземах особливою стійкістю, при чому в ньому багато є і гуматної частини. Якщо ґрунтовий розчин має кальцій, а кальцій відзначається великою здатністю вбиратися і витискувати інші катіони, то у вбираючому комплексі чорноземів як правило, панує кальцій; на другому місці стоїть

<sup>1</sup> Це заважає розвиткові культури, наприклад, люцерни, для якої клімат цього району надзвичайно сприятливий, але без попереднього вапнування вона не може рости на кислих ґрунтах.



магній, на третьому — калій. Увібраного натрію і водню в типових чорноземах немає. Ємність вбирання чорнозему у зв'язку з сказаним велика, а при великій ємності і високому проценті органічних речовин і фізичні властивості чорнозему також вельми сприятливі; завдяки насиченості кальцієм цеолітно-гуматна частина несхильна до зайвого набрякання і спливання і добре зберігає структуру при змочуванні дощовою водою. Прикладом для сказаного про склад катіонів можуть бути і такі дані для одного зразка тульського чорнозему.

Процентний склад увібраних катіонів (м. екв).

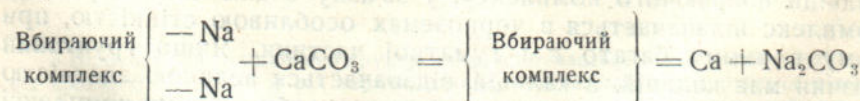
Ca	Mg	K
82,1	15,1	2,7

Процентний вміст увібраних катіонів у ґрунті

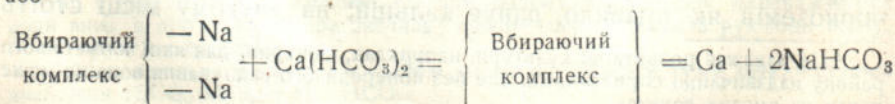
Ca	Mg	K
0,90	0,10	0,06

Усе сказане стосується типових чорноземів, але біля північної межі чорноземної смуги залягає перехідна зона деградованих чорноземів, в яких уже можна констатувати початок входження водневого іону у вбираючий комплекс через те, що і ґрунти збідніли на кальцій-карбонат.

Інші властивості, ніж чорнозем, мають ті ґрунти, в яких при відсутності водню в комплексі є увібраний натрій, як це буває в солончаккових ґрунтах, де міститься багато розчинних солей натрію. Тому не зважаючи на велику енергію вбирання кальцію, натрій тут може частково ввійти у вбираючий комплекс в наслідок кількісної переваги над кальцієм. Через входження натрію у вбираючий комплекс ґрунтові колоїди стають здатними більше набрякати і спливатися від діяння води,—звідси легке втрачання структури в таких ґрунтах. Стадію солончака можна одержати штучним способом, якщо чорнозем кілька разів обробити розчином натрій-хлориду, але цікаво ось що: якщо ми потім вимиемо натрій-хлорид водою, то первісного чорнозему не одержимо. Замість нього утворюється солонець лужного характеру, для якого характерна присутність у ґрунтового розчині соди. Раніше думали, що солонець можна поліпшити, вимиваючи з нього соду водою. Але Гедройц показав, що тут справа зовсім не в наявності в ґрунті готової соди, а в здатності ґрунту постійно наново утворювати соду, що залежить від наявності у вбираючому комплексі натрію. Механізм утворювання соди, пояснений Гедройцем, можна показати такими схемами:



або





Отже, утворенню соди сприяє одночасна наявність натрію у вбираючому комплексі і кальцій-карбонату в навколишньому середовищі. Тому, хоч би скільки ми промивали солонець водою, якщо в ньому є  $\text{CaCO}_3$ , то ми при дальших промиваннях водою одержуватимемо весь час лужні витяжки в наслідок утворювання  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Таким чином промивання не виганяє соди, бо вона знов і знов утворюється в результаті взаємодіяння між  $\text{Na}$  цеолітної частини і кальцій-карбонатом ґрунту. Щоб позбутися процесу утворювання соди, треба змінити самий склад цеолітної частини нашого ґрунту, замінити в ньому натрій кальцієм. Цього досягають внесенням гіпсу ( $\text{CaSO}_4$ ), при чому кількість гіпсу не треба вираховувати за кількістю готової соди в ґрунті, як це думали раніше (вважаючи), що все діяння гіпсу зводиться до обмінного розкладу:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 = \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ , вона повинна бути значно більшою, достатньою, щоб витиснити весь  $\text{Na}$  з цеолітної частини ґрунту, тобто достатньою, щоб зруйнувати в основі апарат содотворення (причому  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  виходить з ґрунту при промиванні ґрунту водою). Як приклад наведемо такі дані про склад увібраних катіонів у солонцях (в процентах):

	Процентний розподіл увібраних катіонів			
	Ca	Ng	K	Na
Дуже солонцюватий ґрунт (з Каліфорнії) . . . . .	0	0	14,6	85,4
Середньо-солонцюватий . . . . .	35,7	25,5	14,0	24,7
Слабо-солонцюватий (Челябінський район) . . . . .	52,9	39,7	—	7,4

Завдяки присутності натрію у вбираючому комплексі і лужності реакції розчину, колоїди солонцевих ґрунтів особливо схильні набрякати і розпливатися в воді, через те ці ґрунти у вологому стані стають в'язкими і клейкими; з підвищенням вологоємності вони виявляють слабу водопроникність і повільне піднімання води; при висиханні такі ґрунти утворюють дуже тверду масу, що важко роздрібнюється.

З наведених прикладів бачимо, яку важливу роль відіграє вбираючий комплекс у житті ґрунту.

Отже, хоча рослини беруть поживу тільки в розчиненому вигляді, але і вмість поживних речовин, і кислотність, і лужність ґрунтового розчину залежать від складу увібраних катіонів, при чому абсолютна кількість їх залежить від ємності вбирання даного ґрунту. Тому, вносячі добрива і борючись з кислотністю або лужністю в ґрунті, недосить зважати на наявні в ґрунтовому розчині небажані компоненти або на недостатність у ньому поживних речовин.

Треба пам'ятати, що найчастіше головний резерв складових частин ґрунтового розчину міститься у вбираючому комплексі, і без обліку цього резерву не можна регулювати хемічний склад ґрунтового розчину.

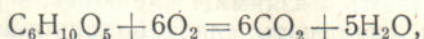


### 3. ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА ҐРУНТУ

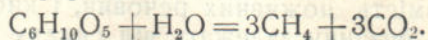
Попереду ми вже відзначали, що органічна речовина ґрунту в своїй колоїдальній частині зумовлює, поряд алюмо-силікатного (цеолітного) комплексу, вбирну здатність ґрунтів, але ми не розглядали докладніше склад ґрунтового гумусу і не спинялися на ряді інших його властивостей, що мають значення з погляду застосування добрив.

Так, органічна речовина ґрунту містить азот, який при мінералізації переходить у доступні для рослин сполуки. При розкладі органічних речовин виділяється вуглекислота, яка є розчинюючим агентом для ряду мінеральних речовин. Вільні гумінові кислоти можуть розкласти фосфорит. Далі, органічна речовина дуже підвищує буферність ґрунту, а також може поліпшувати деякі важливі фізичні властивості ґрунту (насамперед вологоємність); вона ж таки служить поживою для ряду мікроорганізмів, а виділювана цими мікроорганізмами вуглекислота дифундує з ґрунту в прилежні шари атмосфери; це підвищення процента вуглекислоти в повітрі, що безпосередньо омиває листя культурних рослин, підвищує асиміляційну діяльність цих рослин. Крім органічної речовини, яка міститься в ґрунті, ми вносимо її з добривами (особливо великими кількостями у вигляді гною і зеленого добрива). Тому важливо мати уявлення про склад і загальний характер перетворень органічних речовин у ґрунті.

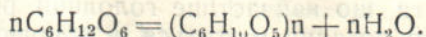
Головна роль при розкладі рослинних залишків у ґрунті належить мікроорганізмам різноманітним (бактеріям і грибам), які великою кількістю оселяються на цих залишках. Як ми попереду бачили, в складі рослини велику роль відіграють вуглеводи, особливо крохмаль і клітковина; вони переважно і дають поживу численним мікроорганізмам, при чому головне витрачання матеріалу йде на процеси дихання. В результаті крохмаль і клітковина оксидуються за рахунок повітряного кисню до вуглекислоти і води за схемою:



а частина вуглеводів йде на побудову тіла мікроорганізмів (утворювання білків та інших складних сполук, у тому числі і клітинних стінок грибів). В анаеробних умовах ці такі сполуки першими розпадаються, хоча й за іншим типом, переважно шляхом метанової ферментації за схемою:



Ці схеми є лише спрощеним виразом підсумку далеко складніших перетворень крохмалю і клітковини. Так, обидва ці тіла є складні вуглеводи; їх молекули побудовані з великого числа часточок простого вуглеводу — глюкози, шляхом полімеризації з виділенням води за схемою:



При розкладі бактерії й гриби з допомогою виділюваних ними ферментів спричиняють зворотний процес, тобто розще-



плюють крохмаль і клітковину на часточки глюкози і живляться нею. Те саме стосується „заступників клітковини“, так званих геміцелюлоз, які відрізняються від клітковини меншою стійкістю, але це також речовини вуглеводного типу, що правляють за джерело енергії для грибів і бактерій, а також ідуть на побудову їх тіла (в тім числі і на синтез білків). Очевидно, безпосередньо всі ці речовини вуглеводного типу прямо не дають гумусу, але побічно, даючи матеріал для утворення білків, вони потім можуть входити своїм вуглецем в азотисту частину гумусу.

Але крім клітковини, в клітинних стінках звичайно є ще лігнін. Це речовина не вуглеводного типу, зовсім іншого складу; вона важко розкладається, і тому при розкладі рослинних залишків її може кінець-кінцем бути більше ніж клітковини, яка швидко розкладається<sup>1</sup>.

Так само може відносно зростати процент білкових речовин не тому, щоб вони були, дійсно, стійкими проти розкладу, а тому, що їх уявна стійкість залежить від того, що простішими азотистими продуктами, які утворюються при обміні речовин і при відмиранні одних бактерій живляться нові покоління, які йдуть їм на зміну, поки є запас клітковини або інших безазотистих сполук; тому загальна кількість білка може залишитися досить стаюлою. Через те, що загальна маса органічної речовини зменшується, то в ній звичайно зростає процентний вміст білкових речовин.

Щоб краще уявити собі, як утворюється перегній (процес гуміфікації), порівняймо вміст вуглецю та інших елементів у головних складових частинах рослинного організму і в продуктах їх розкладу:

	С	О	Н	N
Клітковина . . . . .	44,4	49,4	6,2	0
Білок . . . . .	53,0	22,0	6,8	17,0
Лігнін . . . . .	65,5	28,8	5,7	0

<sup>1</sup> Лігнін відрізняється від клітковини тим, що він не піддається гідролізу. Тому після оброблення деревини сильними кислотами, які переводять клітковину в розчинні сполуки, лігнін залишається незмінним, зберігаючи обриси здеревілих клітин, як це бачимо при мікроскопічному дослідженні. Молоді клітини не мають лігніну і він відкладається в стінках готових клітин вторинно (відки й назва— „інкрустуюча речовина“), надаючи твердості тканинам, які деревіють. Хемічна будова тих ланок, з яких побудований лігнін, зовсім особлива; вони належать не до жирного ряду, як клітковина, а до ароматичного. В їх основі лежить бензольне ядро, ускладнене входженням бічних ланцюжків. У зв'язку з цим вміст вуглецю в лігніні значно більший, ніж у клітковині і у вуглеводах взагалі, як це бачимо з наведених далі цифр. При більшій стійкості проти кислот лігнін легше, ніж клітковина, піддається діянню лугів і окислювачів (в тім числі діянню хлору), на чому і основане відокремлення лігніну при одержанні целюлози в паперовому виробництві. Протилежно діють бактеріальні процеси при розкладі органічної речовини в ґрунті: подібно діянню кислот, вони руйнують клітковину і мало зачеплюють лігнін.



Через те, що цих речовин у рослині неоднакова кількість клітковина переважає, то середній склад рослинної маси не різко відрізняється від складу клітковини. В міру ж розкладання виявляється, поперше, зростання процентного вмісту для вуглецю і зменшення його для кисню; це є наслідком того, що клітковина легко розкладається, а лігнін стійкіший. Подруге, зростає відносний вміст азоту, бо азот при відмиранні одних організмів використовується іншими і звичайно в газуватому вигляді не виділюється (виходять  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  і вода).

В результаті склад маси, що розкладається, поступінно наближається до складу гумінової кислоти, яка вважається за головну складову частину гумусу; це бачимо з дальшого порівняння складу дубових листків у різних стадіях розкладу і гумінової кислоти (в процентах):

		C	O	H	N
Дубові листки	Свіжі . . . . .	50,6	42,1	6,0	1,3
	Напіврозкладені	53,6	38,7	5,2	2,5
	Розкладені . . . . .	56,2	36,1	4,9	2,8
Гумінова кислота . . . . .		58,5	32,5	5,0	3,5

В дальшому процес збагачення на вуглець іде ще далі, і поступінно маса, яка розкладається, наближається щодо цього до лігніну, як це ми бачимо, наприклад, з такого порівняння складу торфу різного віку з складом лігніну:

		C	O	H	N
Торф . . . . .	}	57,8	36,0	5,4	0,8
		62,0	30,7	6,2	2,1
Лігнін . . . . .	}	64,1	26,8	5,0	4,1
		65,5	28,6	5,7	0

Для характеристики напрямку цього процесу відзначимо, що далі протягом геологічних періодів він закінчується утворенням бурого і кам'яного вугілля <sup>1</sup>.

Але все сказане лише в загальних рисах, у вигляді певної схеми змальовує походження гумусу. А насправді гумус

<sup>1</sup> Ось кілька ступенів цього процесу:

		C	O	H	N
Буре вугілля (лігніт) . . . . .		69,5	24,0	5,6	0,9
Кам'яне вугілля . . . . .		83,2	10,5	5,1	1,2
Антрацит . . . . .		96,0	1,6	1,6	0,8
Графіт . . . . .		99,9	0	0,1	0



відповідно до свого походження являє собою складну суміш як речовин, що входили до складу рослини<sup>1</sup> і частково не піддалися розкладові, так і продуктів діяльності ряду різноманітних мікроорганізмів, а крім того в ньому можуть відбуватися і реакції чисто хемічного порядку (вторинний синтез), в наслідок яких утворюються темнокольорові продукти (така, наприклад, реакція ряду амінокислот з вуглеводами). При діянні на гумус різних розчинників (лугів, спирту, ефіру, натрій-флуориду), в них переходить більша або менша частина органічної речовини, але найменше розчиняється в воді, що й природно бо водорозчинні частини рослин перші стають здобиччю мікроорганізмів. Цілком умовно та частина гумусу, яка відбирається лугами і осаджується з розчину кислотами, зветься гуміною кислотою, але це безумовно є суміш вельми різноманітних сполук з різним вмістом не тільки вуглецю, водню і кисню, а й також азоту, сірки, фосфору та інших зольних речовин. Що в цю суміш увіходять тіла кислотного характеру, в цьому немає сумніву, бо присутність характерних для органічних кислот карбоксильних груп у ній даведена, але до неї домішуються й тіла іншого типу, як, наприклад, білки (з тіла грибів і бактерій), бо вони також розчиняються в лугах і осаджуються кислотами. Однак і крім білків, є ще азотисті сполуки в складі цих препаратів „гумінової“ кислоти; при чому почасти вдається встановити, скільки азоту припадає на певні угруповання (аміди, амінокислоти) і скільки на деякі стійкіші форми сполук, які важче піддаються діянню звичайних реактивів<sup>2</sup>. Для нас важливо відзначити, поперше, що одночасна присутність основних (аміних) і кислотних (карбоксильних) угруповань у гуміновій кислоті пояснює, чому органічні речовини так сприяють підвищенню буферних властивостей ґрунту і стійкості реакції проти здвигу її як у кислоту, так і в лужну сторону, а це вельми важливо для практики внесення мінеральних добрив, і, подруге, зважити значення величезної кількості азоту (з розрахунку на 1 га), що міститься в органічній речовині ґрунту, здатного поступінно переходити в простіші сполуки — джерело азотистої поживи для

<sup>1</sup> А в склад рослини входять, крім білків, крохмалю і клітковини, ще жири, віск, смоли, алкалоїди, глюкозиди, органічні кислоти, пектини, дубильні речовини, гемицелюлози та інші сполуки вельми різноманітного складу.

<sup>2</sup> Так, наприклад, для препаратів гумінової кислоти (з чорноземних ґрунтів) загальний вміст азоту і розподіл його по групах був такий:

	N в гуміновій кислоті	Від усього азоту припадає на		
		азот амінокислот R (NH <sub>2</sub> ) COOH	азот амідів RCONH <sub>2</sub>	решта азоту гумінової кислоти
№ 1 (кол. Нижньогор. губ.)	2,73 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	49,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	11,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	39,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
№ 2 ( „ Самарська „ )	3,33 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	70,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	9,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	20,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
№ 3 ( „ Тульська „ )	4,59 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	22,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	10,5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	67,5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>



рослин. Сама органічна речовина, звісно, не може правити за безпосереднє джерело азоту для рослин, тому вміст в орному шарі загальної кількості азоту, яка перевищує потребу найвищих урожаїв у 30 разів (суглинки) і навіть в 100 разів (чорноземи), сама собою ще не забезпечує рослину достатньою кількістю азотистої поживи, і тільки той незначний процент азоту, який під дією мікроорганізмів перейде в найпростіші сполуки, має безпосереднє значення, як азотиста пожива для рослин.

В якій формі міститься решта азоту, точно невідомо, але, наприклад, при діянні водень-пероксиду або повторному розчиненні в луги і осадженні кислотою зменшується кількість гумінового азоту і збільшується за його рахунок амідний і аміачний азот. Можна думати, що й у природних умовах перед утворенням аміаку утворюються розчинні сполуки, амінокислоти і амідні.

Проте органічна речовина становить основний запасний фонд азоту, і чим більше органічної речовини в ґрунті, чим глибший ґрунтовий шар, тим краще забезпечуються рослини за рахунок переходу хоча б процентно і невеликої частини цього запасу в засвоюваний стан, але абсолютно це може мати велике значення. В цьому й полягає, наприклад, одна з важливих відзнак багатих чорноземів, в яких органічна речовина насочує значну товщу, в кілька разів більшу за глибину ріллі, від ґрунтів підзолистої зони, де не тільки вміст органічної речовини в орному шарі невеликий, а й ґрунт не глибший від орного шару.

В результаті мінералізації органічної речовини азот переходить кінець-кінцем у форму азотнокислих солей (нітратів), причому нагромадження цієї форми азотистих сполук зветься нітрифікацією. Але нітрифікація є тільки останньою ланкою в цілому ряді перетворень азотистих речовин перегною, які відбуваються в такій послідовності:

1. Нерозчинні азотисті сполуки (білки, гумінові кислоти).
2. Розчинні сполуки (переважно амінокислотного і амідного типу).
3. Аміак.
4. Азотиста (нітрітна) і
5. Азотна кислота, яка утворює солі з кальцієм та іншими катіонами.

Перші ступені розкладу до аміаку включно не становлять специфічних функцій будьякого окремого мікроорганізму, а спричинені цілим рядом бактерій та цвільових грибків; через те ж, що поміж бактеріями, які спричиняються до цих стадій розкладу органічної речовини, є і аеробні і анаеробні форми, то аміак може утворюватися і з допливом повітря і без нього. Крім того, в наслідок різноманітності форм, що беруть тут участь і пристосовані до різної реакції середовища, цей процес не належить до якогось певного відтинку реакції, а тому утворення аміаку являє собою досить універсальний процес, що відбувається власне в усіх ґрунтах, але тільки з різною енергією (залежно від температури, вологості та інших умов). До того ж в одних ґрунтах процес на утворенні аміаку припиняється

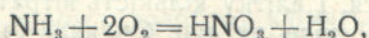


(при анаеробному розкладі), а в інших — аміак і далі перетворюється, а саме оксидується<sup>1</sup>.

Так, ще 70-х років минулого сторіччя було встановлено, що нітрифікація є бактеріальний процес, бо нагрівання і діяння анестезуючих речовин його припиняють. Однак, усі спроби виділити і культивувати ці бактерії на желатині, з доданням глюкози, як це звичайно робиться, не вдавалися, поки Виноградський не довів, що цим бактеріям органічна речовина взагалі не потрібна, глюкоза ж, зокрема, шкідлива; йому вдалося їх виділити культурою на мінеральному субстраті — драглистій силікатній кислоті, при чому джерелом енергії для них виявилася саме оксидация аміаку до нітрітної і азотної кислот (бактерії, що спричиняють першу стадію оксидации зветься *Nitrosomonas* другу — *Nitrobacter*) і за рахунок цієї енергії нітрифікатори будують самі свою органічну речовину, беручи вуглець з карбонатів. Отже, їх розвиток не залежить від хлорофілоносних рослин (і через них сонячного світла), як залежить розвиток решти бактерій та грибів, а також і всього тваринного світу.

Відмінно від процесу утворювання аміаку, оксидация його відбувається тільки з допомогою специфічних бактерій і тому проходить у певніших умовах, при чому обмін речовин таких бактерій так відрізняється від звичайного для мікроорганізмів, що їх довго не могли виділити з ґрунту звичайними методами. Нітрифікація потребує допліву повітря, а тому певної, але не зайвинної вологості, певної температури (найкраще 25—30°) і вельми залежить від реакції середовища.

А через те, що кінець-кінцем цей процес полягає в переході лужної речовини (аміаку) в сильну кислоту за схемою:



то повинна бути якась підстава для нейтралізації кислоти, бо в дуже кислому середовищі нітрифікація припиняється. Такою підставою в ґрунтах є звичайно кальцій, незалежно від того чи буде це кальцій, який міститься в ґрунті у вигляді вугле-

<sup>1</sup> Через те, що аміак добре вбирається ґрунтом і в водній витяжці його неможливо виявити, то раніше незрідка робилося неправильні висновки про перебіг утворювання аміаку в ґрунті. Крім зміни методики (витяжка не водою, а розчином солі або кислоти), можна виявити напрям ґрунтових процесів, посиливши їх енергію внесенням азотистих речовин, які легко розкладаються, наприклад, кров'яної муки. В одному досліді одержано при цьому такі дані (в мг):

	Нітрати		Аміак	
	Без добрива	Кров'яна мука	Без добрива	Кров'яна мука
Городній ґрунт . . . . .	24,0	99,3	0,9	23,9
Торф'яна земля . . . . .	0	0	2,1	39,7
Вересова земля . . . . .	0	0	2,5	73,9

Отже, в культурному ґрунті процес відбувався до кінцевої стадії з утворенням нітратів, а в ґрунтах з великим вмістом кислого перегною і поганою аерацією нагромаджувався тільки аміак, при чому в першому ґрунті розклад відбувався взагалі енергійніше, якщо взяти за мірило суму аміачного і нітратного азоту.



кислого, абож, при його відсутності, кальцій вбираючого комплексу<sup>1</sup>.

Тому, коли кажуть про утворення нітратів в ґрунті, то треба мати на увазі переважно  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Із сказаного зрозуміло, що не тільки всяке підпушування ґрунту, посилюючи доплив повітря в ґрунт, підвищує нітрифікацію, а й вапнування є також засобом підсилити нітрифікацію (і взагалі мінералізацію органічної речовини), якщо ґрунт бідний на увібраний кальцій. Потреба на вапно зростає, якщо нітрифікується не амоніак, який утворився з органічних речовин, а, наприклад,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  або  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , внесені як добриво. Тоді, крім зв'язування азотної кислоти, потрібен ще кальцій для тих кислот, що залишилися — сірчаної або соляної.

Раніше думали, що нітрифікація потрібна фізіологічно, бо аміак є погане джерело азоту для рослин. А тепер, коли ми знаємо, що аміак може чудово засвоюватися рослинами, ми повинні сказати, що нітрифікація потрібніша з ґрунтово-хімічних, аніж з фізіологічних міркувань, бо нітрифікація є вірною ознакою культурного ґрунту, в якому є всі умови для сприятливого розвитку рослин, бо, якщо процес мінералізації азотистих сполук припиняється на аміаку, то це значить, що в ґрунті не вистачає або кальцію для нітрифікації кислот або повітря для діяльності нітрифікаторів (і те і те так само необхідне самій культурній рослині, як і бактеріям).

Нітрифікація, повільно починаючися весною, в міру прогрівання ґрунту посилюється, і влітку кількість нітратів може бути великою значною, якщо поле не має бур'янів (чисті пари), а ґрунт багатий на гумус з природи (чорнозем) або збагачений ним у наслідок внесення органічної речовини з сторони (гній, зелене добриво), або в наслідок попередньої культури багаторічних азотозбирачів (люцерна, клевер)<sup>2</sup>. Як приклад посиленого нагромадження нітратів при застосуванні чорного пару наведемо дані таких дослідних станцій чорноземної смуги:

Дослідні станції	Нітрати на 1 кг ґрунту (в мг)	Це відповідає вмістові селітри із 1 га в орному шарі (в кг)
Тамбовська . . . . .	29,8	682
Шатіловська (кол. Тульськ. губ.) . . . . .	35,7	778
Чишмінська (Башкірська АССР) . . . . .	26,7	565
Кубанська . . . . .	44,0	932

<sup>1</sup> В цьому випадку замість кальцію в комплекс входить водень азотнокислоти, але таке запозичення є здебільша тимчасове, бо після використання рослиною кальцій-нітрату як джерела азоту, значна частина кальцію залишається в ґрунті, в воді  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , і тоді кальцій знов увійде у вбираючий комплекс з виділенням вуглекислоти в ґрунтовий розчин.

<sup>2</sup> Не треба плутати впливу клеверу з впливом мішанки клеверу з тимофівкою, — остання на третій рік користання є споживачем того азоту, який перед тим скучив клевер, і знижує вміст азоту в ґрунті, а не підвищує його. Тому в інтенсивних господарствах Заходу сіють клевер без тимофівки, зменшуючи строк користання до одного року (при двох укосах).



Пізній пар нагромаджує далеко менше нітратів, ніж чорний і ранньої весни. Наприклад, на 1 липня вміст нітратів такий: пар чорний — 46,0; ранньої весни — 40,5; пізньої весни — 8,6.

Отже, в певних умовах на момент посіву озимих можна створити резерв нітратів або вживаючи раннього пару, або ж зайнявши пар рослинами, що рано збираються, і після них вносячи селітру. Вибір того чи того способу залежить від того, що в мінімумі — земельна площа чи мінеральні добрива; чим більше мінеральних добрив, тим менша потреба на парове поле. Однак, на ґрунтах, бідних з природи, що не одержують достатньої кількості гнойового добрива, нітрати слабо утворюються. Взагалі є зв'язок між здатністю ґрунту нагромаджувати нітрати і родючистю його. Але нітрати можуть не тільки нагромаджуватися в ґрунті, а й зменшуватися; зменшення може бути потрійного роду: 1) вимивання нітратів, 2) їх руйнування (денітрифікація), 3) зворотний перехід в органічні азотисті сполуки, переважно білки.

Втрати нітратів від вимивання бувають дуже неоднакові, залежно головню від клімату (кількість опадів у даній місцевості і розмір випаровання), від того, чи зайняте поле рослинами, чи воно під паром.

Парові поля у вологих кліматах мають найбільші втрати нітратів, рослинність же запобігає вимиванню нітратів, поперше, тим, що корені рослин вбирають нітрати, а, подруге, тим, що, випаровуючи значні кількості води, рослини зменшують кількість дренажних вод.

Як крайній випадок, що характеризує вплив тривалого перебування поля під паром у вологому кліматі, можна навести один з дослідів, проведених у Ротамстеді (Англія), коли ґрунт, будиши протягом 47 років без рослинності, втратив третину свого азоту, вміст якого з 1,46 г на 1 кг ґрунту зменшився до 0,098, при чому в дренажних водах знайдено відповідну кількість азоту у вигляді нітратів, що першого періоду досліді становила близько 50 кг азоту за рік на 1 га, а потім поступінно зменшувалася до 30 кг. Ґрунт, зайнятий хлібами, навіть в англійському (вологому) кліматі проводився різно: саме при достатньому удобренні були втрати нітратів, а при культурі без удобрення спостерігалось навіть деяке збільшення азоту (7—8 кг азоту на 1 га). Якщо підсумувати азот ґрунту і азот урожаю, то це пояснюється так: крім вимивання нітратів з ґрунту, атмосферні опади приносять у ґрунт деяку кількість азотистих сполук (наприклад, 15 кг азоту за рік, — це залежить від кількості опадів) і якщо на удобрюваних ґрунтах вимивається азоту більше, ніж його надходить, то при відсутності добрива, при мізерному вимиванні починається приріст азоту в наслідок уловлювання коренями не тільки ґрунтових, а й атмосферних сполук азоту.

Ще більше збагачується на азот ґрунт, який вкривається рослинністю, якщо він залишений в довгорічному перелозі. Так, на тому ж таки ротамстедському дослідному полі за 23 роки вміст азоту в ґрунті збільшився з 1,08 до 1,45 г на 1 кг ґрунту. Це залежить, поперше, від меншого промивання задернілого



грунту, рівняючи з ріллею (частина води стікає на сторону). Подруге, в такому разі, крім азоту атмосферних опадів, присутність певної кількості бобових сприяє нагромадженню азоту; цьому сприяє також діяльність деяких вільних бактерій (Azotobacter), які виконують роботу за рахунок органічної речовини ґрунту, якщо тільки ґрунт достатньо забезпечений кальцієм.

Процеси збільшування і зменшування азоту в ґрунтах відбуваються паралельно з змінами кількості органічної речовини.

Якщо нерозораний ґрунт навіть у кліматі Англії протистоїть вимиваючому діянню опадів і виявляє певне нагромадження азоту в органічній речовині, то ще більше це стосується місцевостей з сухим кліматом, як, наприклад, значна частина нашої чорноземної смуги. Тут не доводиться побоюватися вимивання нітратів, при тому не тільки на цілині, а й на ріллі, бо здебільша ґрунтові води не з'єднуються з підґрунтовими, і весною, незабаром після танення снігу, через дедалі більше випаровування зимова волога, яка неглибоко спустилася, підіймається назад угору.

Однак, у даному випадку, крім клімату, може діяти і ґрунт. Так, піскові ґрунти, які зустрічаються, як оазиси серед чорнозему, в наслідок великої проникності їх і спускання атмосферних опадів на велику глибину, промиваються, і тому їх не рекомендується залишати під чистим паром.

Тим більше це стосується умов півночі, де є великі масиви піскових ґрунтів (наприклад, кол. Шенкурський повіт, Архангельської губ.) і де при пониженому випаровуванні промивання ґрунту, а значить, і втрати нітратів можуть бути дуже великі.

Якою мірою на парових полях, збагачених нітратами, може збільшуватися просочування нітратів у глибші шари навіть на суглинках, показують дані, одержані Ключарьовим на дослідному полі в Петровсько-Разумовському: у воді, що просочилася крізь лізіметри (циліндри на 50 см заввишки, врізані в ґрунт без порушення його структури) на різних полях знайдено такі кількості нітратного азоту (за рік на 1 га) залежно від роду культури (в кг): парове поле—42,0; вика—5,25; овес—0,23; ячмінь—0,27.

Але просочування на 50 см це ще не втрата нітратів. Вони можуть в суху пору року підніматися назад, наближаючись до поверхні ґрунту. Під час вивчення поширення розподілу нітратів на великі глибини в нас у ряді дослідних закладів дійшли висновку, що побоювання щодо вимивання нітратів прибільшені<sup>1</sup>. Однак, остаточну думку про це питання можна скласти тоді, коли є аналізи дренажних вод. У нас дренавання покищо мало поширене (протилежно Англії та іншим країнам Заходу), і тому таких даних небагато. Для околиць Москви є дані в праці Перітуріна про облік нітратів у дренажних водах для радгоспу Ново-Іванівського (тепер „Красные зори“), з якої ми наводимо таку таблицю (див. 71 стор.).

<sup>1</sup> Див. огляд у книзі Кудрявцевої „Селитра в почве“. 1927 р.



Вимивання поживних речовин залежно від попередньої культури

(з 31 березня до 20 травня 1924 р.)

	Після вівса (не зорано)	Після жита (зо- рано з осені)	Після жи- та (зорано й угноєно з осені)	Після корене- плодів	Після клеверу
Кількість води (в м <sup>2</sup> на га) . . . . .	800	1600	1620	1621	1100
Азот . . . . .	1,3	13,0	19,8	18,1	4,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,8	1,8	2,5	2,5	1,1
CaO . . . . .	6,0	23,2	35,0	75,2	8,5

Тут взято весняний період, бо взимку в умовах Москви дренажної води звичайно немає; пізніше, влітку, відплив також припиняється (крім випадків великих дощів). Тому можна говорити про небезпеку вимивання переважно лише на весні, і то на зораних з осені і добре удобрених ланах, але й для весни не кожного разу повторюється картина 1924 року (в роки з малою кількістю опадів витрат майже не буває).

Ще один шлях, який дає змогу скласти уявлення про вимивання нітратів у сумарній формі для великих площ, є облік нітратів у річкових водах, при чому характернішими є покази аналізів для зимових місяців, бо влітку водяна рослинність, яка споживає нітрати, може зменшувати їх кількість. Такі аналізи у Франції для р. Сени робив Шлезінг, який визначив 8—9 мг на 1 л; а в нас для р. Москви—Ключарьов, який знайшов далеко меншу кількість—від 1,2 до 1,4 мг на 1 л. Шлезінг вважає, що втрати азоту в басейні р. Сени становлять 5—8 кг на 1 га. В басейні р. Москви, де менше ріллі, яка гірше удобрюється, природно, загальні втрати менші; крім того, якщо ми облічуємо втрати нітратів, то до загального балансу важливо ще облічити, скільки зв'язаного азоту приноситься за рік з дощем і снігом. Для Франції Шлезінг дійшов висновку, що втрати від вимивання компенсуються сполуками азоту, які ґрунт одержує з опадами, і безпосереднім вбиранням аміаку з атмосфери. Можна думати, що в середньому (якщо не говорити про піскові ґрунти) є така компенсація і в нас (хоча даних покищо й недосить), але для окремих полів, у зв'язку з часом орання і внесення добрив, можлива перевага витрат нітратів над надходженням зв'язаного азоту з атмосфери.

Денітрифікація єю зветься відновлювальний процес, отже, напрямком він протилежний нітрифікації, але приводить не назад до аміаку, а до виділення вільного азоту. Тут беруть участь інші бактерії, руйнаційна робота яких стає особливо інтенсивною, якщо разом із тим немає допливу повітря і є зайвина нерозкладеної органічної речовини, багатой на клітковину або інші вуглеводи. Тоді починається оксидація органічної речовини за рахунок кисню нітратів і відновлення нітратів, в наслідок чого



безповоротно втрачається азот у вигляді газу. Дальша схема показує суть цього процесу:



Крім відсутності допливу повітря і зайвини органічних речовин (наприклад, неперепрілої соломи), лужна реакція сприяє роботі денітрифікаторів. Вважаючи на особливу специфічність, умов, які потрібні для того, щоб руйнаційна діяльність денітрифікаторів набула великих розмірів, у звичайних умовах польової культури не доводиться побоюватися великих втрат нітратів з цієї причини.

Далеко частіше доводиться мати діло не з такими безповоротними втратами нітратного азоту, а з тимчасовим відновленням нітратів при зворотному переході в органічну речовину, коли їх споживають деякі мікроорганізми, що буває, наприклад, при внесенні в парове поле неперепрілої соломи. Тоді клітковина і пентозани цієї соломи йдуть на живлення різних мікроорганізмів, які будують свій білок за рахунок азоту нітратів і вуглеводів, внесених з соломною. Але якщо це відбулося не перед посівом озимини, а завчасно, то зайвина вуглеводів поступінно зникає; мікроорганізми, які потребують вуглеводів, не можуть більше розмножуватися і в процесі поступінного відмирання вони звільнюватимуть азот у вигляді аміаку. Тоді нітрифікатори знову оксидують його до азотної кислоти. Ближче ми торкнемося цього питання в розділі про застосування гною.

Крім азоту, в органічній речовині ґрунту містяться в органічно-мінеральних сполуках фосфор і сірка, але значна частина цих елементів є і в чисто мінеральних сполуках ґрунту. Тут немає такого зосередження в органічній речовині, як у випадку азоту. Крім того, входження фосфору в органічні сполуки не таке тривке, як у випадку азоту<sup>1</sup>.

Проте, ми не можемо способом оброблення так вплинути на перехід фосфору у засвоюваний стан, як це можна зробити щодо нітрифікації. Часто тут буває навіть протилежне: чим енергійніша нітрифікація, тим більше  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  в ґрунтовому розчині, а збагачення розчину на кальцій означає більше або менше збіднення його на фосфорну кислоту. Перехід фосфатів у більш розчинний стан скорше можливий іншими способами ніж обробленням, а саме: внесення деяких прямих добрив, які зсувають реакції ґрунту в кислу сторону (амоній-сульфат), деяких побічних добрив (сірка) або таких способів, як культура на зеленому добриві рослин, здатних розкладати важкозасвоювані (для інших рослин) фосфати, як люпин тощо. Про ці способи мовитиметься далі, у відповідних розділах.

<sup>1</sup> Ми бачили, що до складу „гумусу“ входять білки і нуклеопротейди бактерій та цвільових грибів, а нуклеїнова кислота є похідна фосфорної кислоти. Отже, фосфор міститься тут уже в окисдованій формі. Досить тільки відщеплення фосфорної кислоти, а не окисдації, як у випадку азоту (те саме стосується фосфору).



#### 4. ВИНЕСЕННЯ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН З ҐРУНТУ З УРОЖАЄМ І ВІДНОВЛЕННЯ ЇХ З ДОПОМОГОЮ ДОБРІВ

Щороку рослини виносять з ґрунту значні кількості азоту і зольних речовин, і якщо цю втрату не відновлювати, то поступінно ґрунт виснажується і врожаї зменшуються. При цьому зменшення врожаїв настає часто тоді, коли ґрунт, здавалося б, має ще багато поживних речовин і про абсолютне виснаження будьякого „виораного“ чорнозему не могло б бути й мови, коли б урожай залежав від гуртового вмісту поживних речовин у ґрунті, але на ділі він залежить тільки від тієї частини їх, яка є засвоюваною, а ця частина становить тільки незначний процент від гуртового запасу їх у ґрунті.

Правда, за рахунок цього гуртового запасу поступінно частково поповнюється і та частина його, яка є засвоюваною; але темп такого поповнення здебільш не такий, щоб урівноважити винесення азоту і зольних елементів з урожаями, які поступінно, як правило, зменшуються, якщо не вносити добрив, хоча темп цього зменшування для різних ґрунтів неоднаковий.

Щоб обізнатися з порядком тих величин, якими, з одного боку, зумовлюється процес виснажування ґрунту врожаями, а з другого, виражається загальний запас поживних речовин у ґрунтах різного типу, наведемо кілька прикладів.

Поживні речовини виносяться, звичайно, різними кількостями, залежно від рівня врожаю.

Так, за даними Миронівської дослідної станції озима пшениця виносить при високих урожаях в 30 ц на 1 га такі кількості (в кг):

N — 112; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 39; K<sub>2</sub>O — 77.

Для врожаїв в 15 ц, згідно з іншими джерелами, даються такі величини:

N — 46; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 22; K<sub>2</sub>O — 28.

Ті самі врожаї в 7-8 ц, які були в нас досі звичайними, виносять, звісно, ще менше.

Для цукрової буряка, що взагалі вибагливіший, ніж хліба, тою ж таки Миронівською станцією при врожаї в 270 ц даються такі величини (беручи до уваги відповідну кількість листків):

N — 166; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 42; K<sub>2</sub>O — 157.

При менших урожаях одержуються величини в 65—85 кг N і відповідно менші кількості калію та фосфору.

Щодо гуртового вмісту поживних речовин у ґрунті, то він визначається для орного шару в різних випадках приблизно такими величинами (див. 74 стор.).



	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Бідний підзол . . . . .	1021	1700	15000
Суглинок . . . . .	3720	2834	42500
Чорнозем . . . . .	10630	6022	68600

Якби ці запаси були засвоюваними<sup>1</sup> або легко переходили у засвоюваний стан, то виявилось би, що в чорноземі їх вис-тачить на 100 добрих урожаїв пшениці (а через те, що глибина чор-нозему більша від орного шару, то й ще більше), і навіть бід-ний підзол міг би дати 50 поганих або 25 середніх урожаїв зерна жита або вівса без внесення добрив.

А насправді в наслідок швидшого темпу виснаження проти темпів переходу елементів багатства ґрунту в еле-менти родючості, тобто в засвоювану форму, на бідних опідзолених ґрунтах урожаї відносно швидко зменшуються (для цього досить небагатьох років).

Довше виснаженню протистоїть суглинок, ще довше чорно-земи; але кінець-кінцем, рано чи пізно і на них стає неможливою культура без добрив.

Найтриваліший дослід культури без добрива з повним облі-ком результатів проведено на Ротамстедський дослідній стан-ції (Англія), яка була заснована 1844 р. і на якій провадяться протягом довгого ряду десятиріччів з рідкою сталістю досліди беззмінної культури; їх повторюють щороку за тою самою схемою і на тих самих ділянках, на яких вони були закладені 40-х і 50-х років минулого сторіччя. Візьмемо приклад з дослідів з беззмінною культурою ячменю, в яких перебіг виснаження ґрунту культури без добрив і вплив добрива визначалися такими цифрами (див. табл. на стор. 76).

На рис. 3 дані 1852—1892 рр. нанесено графічно, при-чому для того, щоб виключити вплив коливань, які зале-жать від клімату, врожай по гною для поживного періоду взято за 100.

Звідси бачимо, що врожаї, які спочатку зменшуються швидко, а потім дедалі повільніше, все ж таки увесь час зменшуються і становляться кінець-кінцем менше 20% від урожаю, одержу-ваного при регулярному удобрюванні. При цьому потрібно було 30 років культури без удобрення, щоб урожаї зменшилися до рівня середніх урожаїв при тому примітивному господарюванні, яке велося досі нашим селянством; через 60 років вони спусти-лися до рівня, що буває в нас на тих віддалених від сіл запіль-них землях, які ніколи не одержують гною (наприклад, нечорно-земна частина кол. Тульської губ.). При чому вже постає питання, чи варт орати таку землю, чи краще залишити її під переліг, використовуючи її як пасовище, щоб знову виорати через кілька років, коли, завдяки процесам вивітрювання і діяльності мікро-

<sup>1</sup> Але якби це могло бути наслідком зайвньої концентрації поживних речо-вин, то найбагатші ґрунти виявили б себе найменш родючими.



організмів та невеликому приростові азоту за рахунок атмосферних опадів, родючість ґрунту досить зростає, щоб дати скільки-будь прийнятний урожай.

З даних від дослідів, проведених у Ротамстеді, видно, що нагострішою у виснаженому ґрунті була недостатність азоту; на другому місці стоїть фосфор, а калій без фосфору і азоту майже не діє<sup>1</sup>. Така послідовність є звичайною для суглинків,

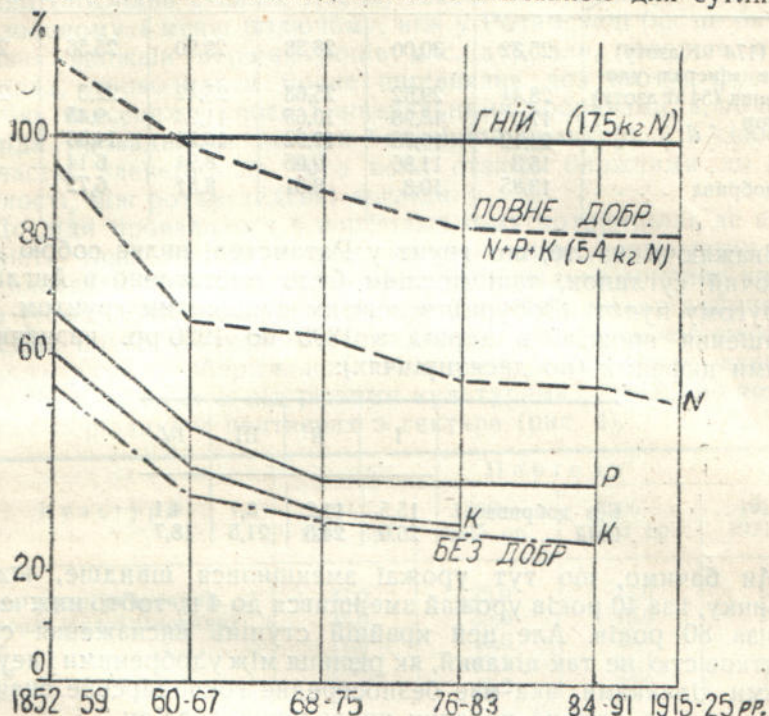


Рис. 3

на піскових жé ґрунтах порядок мінімуму може змінюватися; і тут, замість спостережуваної послідовності у виснаженості ( $N > P > K$ ), може виявлятися послідовність  $N > K > P$ .

<sup>1</sup> Під кінець помічається навіть немов би негативне діяння удобрення самим калієм (див. цифри врожаю 1884—1912 pp.), але тут замішані і побічні обставини: при закладанні дослідів 40-х років, коли ще не було твердого списку необхідних рослинам елементів, крім N, K і P вводили ще солі, яких, як ми тепер знаємо, не слід було вводити. Тому те, що ми коротко назвали калій, на ділі було сумішшю сульфатів, а саме  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$  і  $MgSO_4$ , внаслідок чого негативне діяння могло бути спричинене нагромадженням солей і витисненням увібраного кальцію одновалентними катіонами, що за півсторіччя щорічного внесення могло, звісно, несприятливо відбитися і на фізичних властивостях ґрунту. Бажаючи зберегти незмінним дослід, закладений засновником Ротамстедської станції, ці непотрібні солі вносяться й досі. Це ж таки може зменшувати врожай і на всіх інших ділянках (крім неудобреної і гнійової), але на ділянці з „повним“ добривом позначилася ще недостатня, як порівняти з гноєм, доза азоту, про що мовитиметься далі.



Середні врожаї (в центнерах на га)

Добрива	Періоди (по роках)	1852— 1859 рр.	1860— 1867 рр.	1868— 1875 рр.	1876— 1883 рр.	1884— 1891 рр.	1910— 1920 рр.
	Гній (174 кг азоту) .		25,32	30,00	28,38	29,90	25,56
Повне мінерал. удо- брення (54 кг азоту)		28,41	29,52	25,68	25,42	22,3	23,6
Фосфор . . . . .		17,0	13,98	10,65	11,23	9,45	—
Азот . . . . .		24,12	19,76	17,92	16,95	14,36	—
Калій . . . . .		15,3	11,86	9,05	8,94	6,14	—
Без добрива . . . . .		13,85	10,3	8,31	8,51	6,72	5,0

Вважаючи на те, що ґрунт у Ротамстеді являє собою дуже родючий суглинок, такі досліди було поставлено в Англії ще в другому пункті (Вобурн), з легшим супісковим ґрунтом. Тоді зменшення врожаю в період з 1890 по 1920 рр. визначилося такими цифрами (по десятиріччях):

	I	II	III	IV
Без добрива . . . . .	15,5	11,2	8,7	4,1
Гній . . . . .	26,0	24,5	21,5	18,7

Ми бачимо, що тут урожаї зменшилися швидше, ніж на суглинку, і за 40 років урожай зменшився до 4 ц, тобто нижче, ніж там за 80 років. Але цей крайній ступінь виснаження своєю винятковістю не так цікавий, як різниця між удобреними і неудобреними ділянками, яка має безпосереднє господарське значення і виявляється вже на початку проведення досліду.

Ротамстедські дані стосуються беззмінної культури. При чергуванні ж культур і наявності в сівозміні клеверу можна сподіватися певного заганяння у виснаженні, бо клевер має пом'якшити гостроту азотного голодування, а для ґрунтів нечорноземних саме азот найчастіше буває в мінімумі.

Крім того, в цих дослідах, зроблених для порівняння значення гною і мінеральних добрив, як засобів, що протидіють зменшенню врожаїв, немає такої необхідної умови, як вирівнювання кількостей поживних речовин, вношування тим і тим<sup>1</sup>.

Тут же доводиться порівнювати щорічне внесення 174 кг азоту в гної (що безумовно є зайвинним) з щорічним внесенням 54 кг азоту в селітрі, безперечно недостатнім для одержання таких самих урожаїв, які були при удобренні гноем, що бачимо з простого арифметичного підрахунку за середнім складом урожаю (порів. також дані Миронівської станції, наведені попе-

<sup>1</sup> Наприклад, у такій формі: з гноем вноситься 160 кг азоту один раз за чотири роки, з селітрою вноситься по 40 кг азоту щороку.



реду). Цей факт часто залишається непоміченим, і тому звичайно з цих дослідів роблять неправильні висновки про порівняльне значення гною мінеральних добрив. А насправді для такого порівняння ці досліді непридатні.

У зв'язку з цим наведемо дані 30-річних дослідів, проведених у Данії (дослідна станція Асков) також на суглинку, хоч більш опідзоленому і менш родючому, ніж у Ротамстеді (як це бачимо з рівня врожаїв перших років дослідів), але, поперше, в цих дослідях, проводилося повне вирівнювання доз азоту, фосфору і калію, внесених з гноем і мінеральними добривами, а, подруге, досліді провадилося не при беззмінній культурі, а в сівозміні з участю клеверу, від чого вони стають ближчими до с. г. дійсності, ніж ротамстедські досліді.

Досліді провадилося в норфольському чотирипіллі, де послідовність така: просапне, яре, клевер, озиме, при чому гній вносилося двічі протягом сівозміни, а мінеральне добриво чотири рази (тому сума поживних речовин в обох видах добрива по окремих роках частково не збігалася, але за весь час сівозміни рівність строго зберігалась). Наведімо, насамперед, дані для неудобренних ділянок під різними культурами (середні по чотирірічних періодах) у центнерах з гектара (рис. 4).

Культури	Періоди			
	1894— 1897 рр.	1898— 1905 рр.	1906— 1913 рр.	1914— 1921 рр.
Бурак (сухої речовини) . .	37,0	22,0	13,0	13,0
Картопля (сухої речовини) .	35,0	35,0	19,0	19,0
Овес . . . . .	17,0	16,0	12,7	10,5
Жито . . . . .	13,8	12,1	11,1	10,9
Клевер . . . . .	51,4	46,3	32,9	27,9

З цих даних бачимо, що врожаї на ділянках без удобрення послідовно зменшувалися для всіх культур, не зважаючи на присутність клеверу в сівозміні, бо клевер дає тільки азот і не послаблює, а посилює внесення калію і фосфору, рівняючи з хлібами. Треба взяти до уваги, що тут і по азоту клевер давав тільки те, що було в кореневих залишках, бо азот надземних органів, що звичайно повертається в ґрунт через гній, тут у ґрунт не потрапляв.

Культури, які споживають більше азоту, фосфору і калію, як бурак і картопля (або, принаймні, фосфору і калію, як клевер) виявили швидше зменшення врожаїв, ніж хліба, які виносять меншу кількість поживних речовин. Кінець-кінцем зменшення врожаїв хлібів усе таки не доходило таких низьких меж, як в англійських дослідях (з беззмінною культурою). Тут урожаї жита зменшуються лише до рівня в 10 ц (що треба пояснити, звичайно, присутністю клеверу в сівозміні).

Далі з одержаних дослідних даних видно, що щорічне повертання в ґрунт поживних речовин з мінеральними добривами за нормою N — 40; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 30; — K<sub>2</sub>O — 36 дозволяє при сівозміні



з клевером мати в зоні опідзолених (отже, і достатнього зволоження) ґрунтів стійкі і досить високі врожаї, а саме: 22—23 ц зерна, 200 ц картоплі, 480—500 ц кормового буряка та 50—60 ц клеверного сіна (див. таблицю) в центнерах на га.

Культури	Періоди						
	1894—1897 рр.	1898—1901 рр.	1902—1905 рр.	1906—1909 рр.	1910—1913 рр.	1914—1917 рр.	
Буряк	518	469	466	491	606	503	552
Картопля	186	246	230	182	203	198	238
Овес	24,8	27,6	23,7	25,7	26,0	21,8	22,0
Жито	22,7	22,7	22,1	22,6	26,6	23,1	21,4
Трави	63,1	59,1	59,6	69,0	50,8	(40,8)	64,1

Відзначим проте, що ці врожаї далеко не максимальні (статистичне середнє для Данії 29 ц пшениці) при даній дозі азоту неможливо сподіватися більшого навіть на фоні клеверу (див. дані щодо винесення азоту, наведені на стор. 117).

Далі, дані цих дослідів показали, що при умові вирівнювання кількостей, поживні речовини в розчинних формах мінеральних добрив активніші, ніж поживні речовини гною (рис. 5).

Навіть 30-річна тривалість дослідів не привела до повного переходу азоту гною в засвоюваний стан, а підсумовання ефектів від внесення гною за попередні роки (так зване „післядіяння“ (не дало все таки вирівнювання врожаїв по гною і мінеральних добривах (про причини цього говоритиметься докладніше потім).

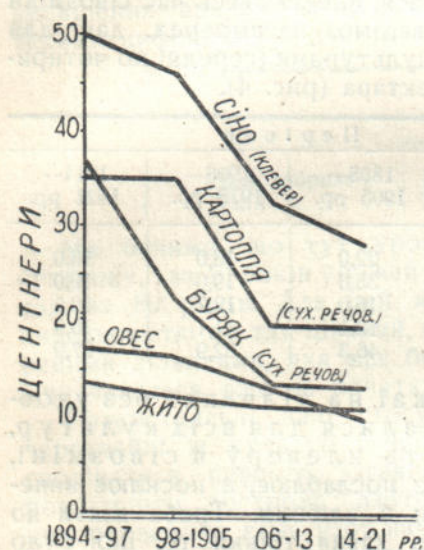


Рис. 4

Відзначимо, що порівняння діяння гною і мінеральних добрив було необхідним у справі дослідження не тільки з погляду в'яснення можливої ролі мінеральних добрив у боротьбі з виснаженням ґрунту, а й з погляду розуміння ролі самого гнойового удобрення, бо треба знати засвоюваність поживних речовин гною. Не в'яснивши ролі гнойових азоту, фосфору і калію, неможливо скласти уявлення і про розмір діяння органічної речовини та про інші моменти діяння гною. Але в господарстві зовсім не доводиться протиставляти гною мінеральні добрива і говорити про заміну одного одним для боротьби з виснаженням ґрунту. Навпаки, введення мінеральних добрив навіть збільшує кількість гною в господарстві (більший урожай



зерна — більше соломи; вищі врожаї клеверу та інших кормів — більше скоту, більше гною), а досвід показує, що коли говорити не про штучну обстановку, яка допускає можливість точно регулювати всі умови, а про умови, звичайні в господарстві, то найбільших урожаїв досягають при комбінуванні гною з мінеральними добривами.

Попереду ми торкалися перебігу виснаження ґрунтів дерново-підзолистій зони. Для багатих чорноземів на початку їх культури це виснаження відбувається повільніше, але кінець-кінцем — це питання часу. Можливі випадки, що і 100 років в культурі без удобрення на чорноземі не приведуть до таких низьких

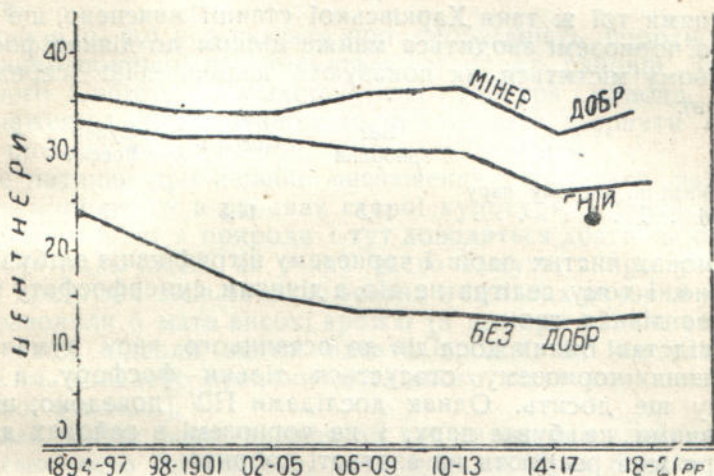


Рис. 5

урожаїв, як 10 років культури на нещодавно розораному підзолистому ґрунті. Але в районах старої культури і на чорноземі ми маємо насамперед справу з різко вираженою недостатністю фосфору і з неможливістю одержати більш-менш пристойні без удобрення.

Для різних частин нашої, чорноземної смуги цей перехід від непотрібності добрива до гострої потреби на нього відбувався в різні періоди<sup>1</sup>. Так 30-х років минулого сторіччя в кол. Харківській губ. вважалося за шкідливе застосовувати гній. 80-х років становище визначалося формулою, що для чорноземної смуги обробіток (равня оранка пару) важливіший, ніж удобрення, а на початку цього сторіччя вже констатовано переміщення

<sup>1</sup> Тепер не легко уявити, що раніше в кол. Рязанській губ. гній був не потрібен, як це наочно описано очевидцем: „Земля жирна, в селянина ледве-ледве вистачає сили, щоб зібрати врожай. Весь гній звозиться до річок, і коли сходить сніг і прибуває вода, то гній уноситься водою“ (Записки Штадена, німця-опричника часів Івана Грозного). Такий тип господарства поступово відходить дедалі на південь і південний схід і очевидно, можна простежити рух цієї хвилі виснаження ґрунту за історичними даними, наприклад, початок згадування про вивіз гною в господарських договорах).



центру ваги, і Харківська дослідна станція з ясністю довела, що удобрення стало важливіше, ніж рання оранка пару, як це бачимо з дальших цифр для врожаїв жита — в центнерах на га:

	Без добрива	По гною	Прирст від гною
Пізній пар . . . . .	12,0	19,8	7,8
Ранній пар . . . . .	15,9	24,9	9,0
Приріст від ранньої оранки . . . . .	3,9	5,1	—

Працями тої ж таки Харківської станції вияснено, що діяння гною на чорноземі зводиться майже цілком до діяння фосфору, що в ньому міститься, як показують дальші дані (середнє за 10 років):

	Без добрива	Селітра	Суперфосфат	Гній
Врожай жита по чистому пару (в ц/га) . . . . .	11,5	11,5	19,2	20,1

В умовах чистих парів і чорнозему нітрифікація відбувається енергійно, і тому селітра не діє, а діянням суперфосфату майже дорівнює діяння гною.

На підставі таких дослідів до останнього часу думали, що виснаження чорнозему стосується тільки фосфору, а азоту в ньому ще досить. Однак дослідями НІУ доведено, що ярі, перед якими не буває пару, і на чорноземі в районах давньої культури вже реагують на азотисті добрива.

Далі, треба відзначити, що коли чорнозем довго протистоїть виснаженню при культурі хлібів, то при культурі технічних рослин урожаї зменшуються швидко, як це показано дослідями Сумської і Миронівської станцій для цукрового буряка. Ось приклад (в центнерах з га):

Урожай буряка	1914 р.	1915 р.	1916 р.	1917 р.	1918 р.	1919 р.
Без добрива . . . . .	160	85	54	67	65	54
По гною . . . . .	220	234	270	214	203	230

При цьому буряк потребує внесення не тільки фосфору, а й азоту. Далі, дослідями Миронівської станції показано, що при сівозміні з 40% буряка, якщо в добривах давати тільки азот і фосфор, то вже через 10 років чорнозем виявляє явну недостатність і калію.

Отже, на фоні звичайного процесу виснаження чорноземів у районах старої, раніше тільки зернової культури, завдяки таким заходам, як зменшення площі під чистими парами і збільшення участі в сівозміні технічних культур набагато збільшується потреба вносити, крім гною і мінеральні добрива, тим більше,



що й на гній у нас звичайно відчувається дуже гостра недостатність, через те, що не вистачає або зовсім немає і через недостатній розвиток кормового кліна на полях в дуже багатьох областях, особливо в ЦЧО і в Північній частині України.

Але крім того доводиться зважати й на те, що нам треба тепер не тільки боротися з виснаженням ґрунту, щоб протидіяти дальшому зменшенню врожаїв; ми стоїмо також перед завданням збільшити врожаї.

Тому треба не задовольнятися підрахунками винесення поживних речовин сучасними врожаями, а врахувати той підвищений рівень, якого ми хочемо досягти з допомогою добрив, беручи при цьому на увагу значення і решти агротехнічних заходів.

Зрозуміло, що усе сказане про необхідність боротися з виснаженням покищо не стосується степових районів Заволжя, Західного Сибіру і Казакстану, де культура молода, ґрунти невиснажені, і недостатність вологи змушує звернути головну увагу покищо на обробіток, а не на удобрення.

Але питання про перебіг виснаження стосується найбільше чорноземної смуги в районах старої культури. Ґрунти ж підзолистої зони бідні з природи і тут доводиться дбати не про „відновлення родючості“, як у нас часто кажуть, а про утворення нових достатніх запасів засвоюваних поживних речовин у ґрунті, які дозволили б мати високі врожаї (а що при належному удобренні наші підзоли здатні давати врожаї, які не уступають датським, доведено працями дослідного поля колишньої Петровської академії).

У нас раніше мало працювали над питаннями удобрення, і ми не маємо свого Ротамстеда, хоча повинні були б мати їх цілу серію, бо різноманітність ґрунтових типів у межах Союзу досить велика.

Тільки за п'ятиріччя 1926—1930 рр. є дані з дослідів географічної сітки НІУ, які дозволяють, однак, дати лише попередню характеристику потреби на удобрення ґрунту різних типів (бо число дослідів для величезної території Союзу все таки недостатнє).

З сукупності наявних на даний момент матеріалів потребу окремих ґрунтових зон на добриво можна охарактеризувати так:

Ґрунтові зони	Азот	Фосфор	Калій
Підзолиста	Дуже сильна	Сильна	Сильна
Північно - чорноземна	Середня	Сильна	Середня
Південно - чорноземна	Слаба	Середня	Слаба
Каштанова	Слаба	Середня	Слаба
Сіроземи	Сильна	Сильна	Слаба
Латерити	Середня	Дуже сильна	Слаба

Загальні підсумки діяння повного добрива (NPK) та окремих добрив бачимо з дальшої таблиці (середнє за 1928, 1929 і 1930 рр.).



Типи ґрунтів	Врожай по повному добриву	Діяння окремих добрив		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Підзолисті болотяні . . . . .	258	218	223	186
Підзолисті супіскові . . . . .	187	177	128	120
Підзолисті суглинки . . . . .	150	133	124	115
Сірі лісові . . . . .	160	142	124	109
Деградовані чорноземи . . . . .	149	126	125	109
Багаті чорноземи . . . . .	122	108	115	109
Звичайні чорноземи . . . . .	116	108	118	102
Передкавказький чорнозем . . . . .	110	107	103	102

Само собою зрозуміло, що потребу різних ґрунтів на добриво можна порівнювати тільки в тому випадку, коли на всіх ґрунтах поставлені дослід з одною рослиною. Тому в дослідях НІУ, поряд культур зональних, скрізь вставлялося дослід з вівсом, як реактивною рослиною (бо овес може рости майже в усіх зонах, якщо як слід вибрати час посіву). При постійній наявності, крім того, дослідів з культурами, спеціальними для кожної області, завжди можна скласти уявлення про різницю в потребах окремих культур між собою.

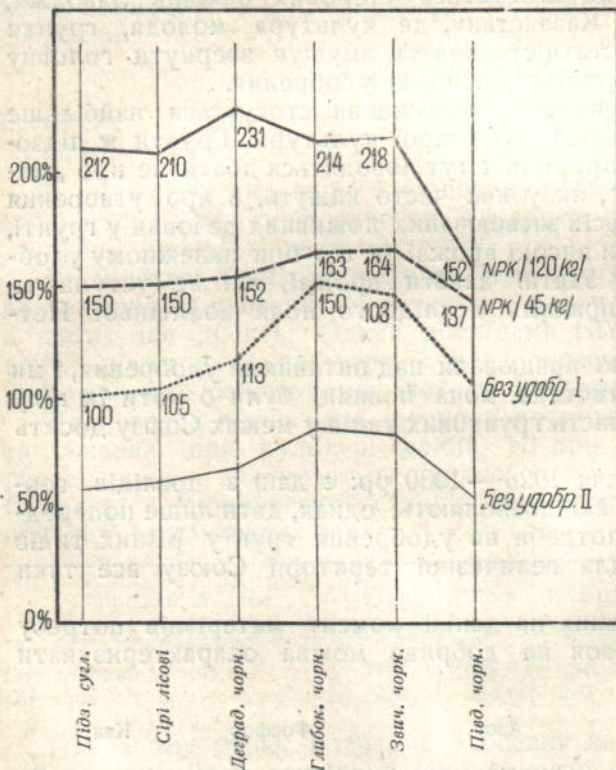


Рис. 6

Лінія „Без добрива I“ означає врожай неудобрених ділянок на полях дослідних станцій, а „Без добрива II“ відповідає рівневі врожайів ярих посівів у радгоспах та колгоспах за масовими даними

Найбільші прирости від повного добрива і, отже, найбільша потреба на добрива спостерігаються на підзолистих ґрунтах, сірих лісових ґрунтах і деградованих чорноземах, які разом становлять область

найбільшої ефективності добрив. З ґрунтових різниць, що належать сюди, особливо виділяються висотою приростів болотяні ґрунти, які навіть при дозах добрив в 45—60—45 кг (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O)



збільшують урожай удвоє, а при підвищених дозах — в  $2\frac{1}{2}$  рази.

Дальший по черзі тип ґрунту — багаті чорноземи — займають проміжне становище, найближачись ефективністю добрив в одних випадках, при високих дозах добрив, до деградованих чорноземів, в інших випадках, при малих дозах, до звичайних чорноземів.

Найменші прирости дають добрива на передкавказьких чорноземах, де вони ні при яких дозах не перевищують 17%. Далі на південь, на каштанових ґрунтах і сіроземах, але при умові зрошення, ефективність добрив знову підвищується.

Щодо діяння окремих добрив, то для всіх них діяння на південь також зменшується, але крім того видно, що внесення азоту і фосфору загалом має більше значення, ніж внесення калію<sup>1</sup>.

Якщо виразити величини врожаю без добрива і по повному добриву для всіх ґрунтів у процентах від урожаїв на підзолі без добрива, то матимемо таку картину (рис. 6).

Звідси бачимо, що підзоли, які без добрива дають найнижчі врожаї, при добриві дають далеко більші врожаї ніж чорнозем без добрива, але й на останніх добриво дає також велике збільшення, і на цьому підвищеному рівні виявляється майже повне вирівнювання врожаїв на підзолах і чорноземах під діянням добрива, крім південного сходу, де дуже позначається вплив посухи.

В результаті удобрення високими дозами подвоєє врожаї на величезній площі, яка охоплює не тільки зони підзолистих ґрунтів, сірих лісових земель і північних (більш або менш деградованих) чорноземів, а й в зонах типового чорнозему, крім посушливої смуги (але й там, у певній частині, можливе підвищення врожаїв в  $1\frac{1}{2}$  рази). Відзначимо, що прийнятий за 100 середній врожай на підзолах без добрив стосується тільки дослідних станцій і господарств, ще брали участь у дослідях географічної сітки; він вищий від загальносоюзного середнього в наслідок іншого рівня агротехніки. Тому подвоєння проти неудобрених ділянок, що були в дослідях, відповідає приблизно потроєнню врожаю проти сучасного статистичного середнього для всього Союзу.

<sup>1</sup> У наведених цифрах діяння азоту, фосфору і калію визначені за рівністю між діянням потрійної комбінації (NPK) і подвійної (KP, NK, NP). Врожай на неудобрених ділянках прийнято за 100. Див. Лебединцев, Бородіч і Перегудов. „Итоги географических опытов НИУ. 1926 — 1930 гг. Труды агрохимического отдела НИУ“, вип. 93 (1933).



## АЗОТИСТІ ДОБРИВА

Жоден з елементів мінеральної поживи рослин, що надходять через корені, не входить безпосередньо до складу органічних речовин, утворюваних рослинами такою кількістю, як азот, на який припадає близько одної шостої частини (16—18%) від ваги головної складової частини протоплазми — білкових речовин. У нашій колишній літературі незрідка недооцінювалося необхідність достатнього постачання рослинам азоту, і бували твердження, що врожай хліба виносить азоту тільки 16—20 кг на 1 га. Але при цьому не бралось до уваги, що ця цифра стосується того низького рівня врожаю (7 ц), на якому революція застала нашу країну і від якого ми прагнемо якомога швидше відійти. Такий рівень живлення азотом означає не тільки низькі врожаї, а й низький процент азоту (отже, і білків) в урожаї. Коли ж говорити про врожай в 15 ц, то вони виносять уже близько 40—45 га азоту, а при 30 ц урожаю винесення азоту може дорівнювати 100 кг. Технічні рослини виносять ще більше азоту, як це ми бачимо з дальшого порівняння (Німеччина, дослідна ферма поблизу Галле):

### Винесення азоту (в кг з 1 га)

Зернові хліба . . . . .	60—85
Картопля . . . . .	90—110
Олійні . . . . .	125
Цукровий буряк . . . . .	200

Крім того, треба мати на увазі, що азотисті добрива можна вносити тільки за розміром винесеного азоту в урожаєх підвищеного рівня лише після того, як ґрунт належно удобрено, тобто в ньому нагромаджено певний запас засвоюваних речовин. Відразу ж на бідному ґрунті неможливо досягти близькості між внесеною дозою азоту і споживанням азоту рослинами бо рослини не сприймають увесь чисто азот, внесений навіть в найбільш розчинних сполуках, через що потрібна певна зайвина добрива. Ясна річ, розмір винесення необхідно правильно облічити, але не тільки розмір розв'язує питання про норму азотистих добрив, треба ще врахувати долю врожаю. Так в одних випадках поживні речовини цілком виходять з господарства (льон, тютюн); у других випадках тільки частина їх виходить (наприклад, азот у зерні злакових), а друга — з гноєм (азот соломи) повертається в ґрунт; у третіх випадках



(принаймні теоретично) все повертається в ґрунт (азот кормових коренеплодів) і в четвертих—у ґрунт повертається більше, ніж з нього взято (азот у сні клеверу і люцерни). На ділі, однак, азот повертається з гноєм у ґрунт далеко не такою кількістю, як підраховують на підставі складу соломи і кормів, бо при зберіганні гною втрачається азот, при чому треба вважати, щоб в нас, поки умови зберігання гною не зміняться, втрати азоту становлять 30—50%. Поліпшення азотного балансу способом великого розширення засівів клеверу, що дає найдешевший азот, принципіально можливе, якщо воно не зв'язане з скороченням площі інших культур (що неприйнятне) або з великим розширенням посівної площі, на що потрібен час.<sup>1</sup> Але й в майбутньому, коли це буде можливо, після того, як хемічна промисловість задовольнить потреби наявної посівної площі і почне давати зайвини для хемічної меліорації нових площ, завжди між азотом гною, клеверу, зеленого добрива і торфу, поперше мінеральним добривом, подруге, буде така різниця. У першому випадку ми маємо справу з джерелами азоту, хоча й дешевими, але мало рухомими, вони зручні тільки на місці, їх неможливо мобілізувати і спримувати на ту ділянку „азотного фронту“, який таких ресурсів не має (наприклад, у Середню Азію). Концентровані ж азотисті добрива рухомі і їх можна спрямувати туди, де місцеві господарські джерела азоту мінімальні, що найчастіше буває в районах інтенсивного розвитку технічних культур. Всі ці міркування треба брати до уваги, оцінюючи значення концентрованих азотистих добрив для нашого хліборобства на сучасному етапі його розвитку.

Як азотисті добрива застосовується матеріали, в яких міститься азот і в окисдованій і у відновленій формі. До першого типу належать різні види селітри, тобто азотнокислі солі різних основ, до другого — аміачні солі і органічні азотисті сполуки (переважно білки в різних відходах від переробки продуктів тваринництва).

Найбільше число дослідів щодо діянн азотистих добрив на кількість і якість урожаю було проведено на земній кулі з селітрою; її ж таки вводять як стандарт при вивчанні діянн інших азотистих добрив. Крім того, необхідно взяти до уваги, що решта видів азотистих добрив, внесені в ґрунт, звичайно в головній своїй масі також перетворюються на нітрати в наслідок процесу нітрифікації. Тому й розгляд діянн азотистих добрив ми почнемо саме з селітри, як прототипу цього виду добрив, не зважаючи на те, що азотна промисловість в даний момент виготовляє значно більше аміачних солей, ніж селітри, але треба сподіватися, що в дальшому частка азоту, яка припадає на синтетичну селітру, все таки буде збільшена (незалежно від того, з яким катіоном зв'язуватиметься  $\text{NO}_3$ ).

<sup>1</sup> У нас ще можлива така перебудова сівозмін, при якій площа клеверу розшириться за рахунок парових полів, але там, де парові поля майже зникли (Бельгія, Голландія, Данія, Німеччина), цього не можна зробити.



## 1. ЧІЛІЙСЬКА СЕЛІТРА АБО НАТРІЙ-НІТРАТ ( $\text{NaNO}_3$ )

Чилійську селітру привозять в Європу з Південної Америки, де найбагатші поклади її є головно в Чілі (в пустинних і безлісних високорівнях, на висоті близько 1000 м над рівнем моря, між Кордільєрами і пасмом узбережних гір), а також і в деяких районах Болівії. Селітроносні верстви доходять товщини від 1 до 5 м і звичайно бувають вкриті піском та глиною. Прошарки цих домішок трапляються впереміж з шарами селітри) або вірніше суміші солей, в яких є селітра).

Про походження покладів селітри, що для нас цікаво в зв'язку з розшуками селітри в Середній Азії, немає точних даних. Треба думати, що тут відіграв роль процес нітрифікації, який дуже енергійно відбувається в тих кліматичних умовах. За матеріал для нітрифікації могли правити, як гадає дехто, відклади гуано або, як гадають інші, маси морських водорослей, викинуті на берег океаном (або скорше ті, що залишилися в басейні, відрізаному від моря під час горотвірних або інших процесів і потім висушли).

Але якщо селітра могла так утворитися, то не на тих місцях, де вона тепер відкладена. Так слід думати на тій підставі, що при розкладі органічної речовини повинна залишитися на місці фосфорна кислота звичайно у вигляді вапняних солей, як малорозчинних. Поклади селітри не мають цієї речовини. Звідси можна думати, що селітра перенесена сюди водою з інших місць. Далі припускали, що в процесі утворення селітри брала участь морська вода, бо в ґрунті при розкладі органічної речовини частіше утворюється не  $\text{NaNO}_3$ , а  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , заміщення ж  $\text{Ca}$  з допомогою  $\text{Na}$  найлегше пояснити участю морської води, тим більше, що така реакція буває, коли змішати розчин  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  та  $\text{NaCl}$ . При випаровуванні суміші викристалізовується  $\text{NaNO}_3$ , а  $\text{CaCl}_2$  залишається в розчині. З складом морської води за цією гіпотезою зв'язана присутність в натрійній селітрі, крім домішки  $\text{NaCl}$  ще й калій та натрій-йодату і натрій та калій-бромату.

Пізніше ж була висловлена думка, що ця селітра — звичайного ґрунтового походження, що вона поступінно вимивалася з схилів Кордільєрського ланцюга; а на високорівні підґрунтові води, через те, що підстилаючі глинисті сланці і кристалічні породи були непроникні, а узбережний ланцюг гір стояв на перешкоді дальшому рухові, повинні були скупчуватися, і, виступаючи на поверхні, випаровуватися і виділяти відклади селітри та інших солей, що не вбираються ґрунтом. Подібність же до складу морської води не є щось особливе, бо солі морської води принесені в неї річками і теж вимиті з ґрунту<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Щодо відсутності скупчення селітри в морській воді, то це пояснюється поступінним споживанням її рослинними організмами. А при умовах утворення покладів у Чілі рослинність, очевидно, не могла розвиватися через високу концентрацію розчину солей.



Крім того в місцях відкладання селітри немає вказівок на близькість моря в минулому (каміння необкочене і т. д.).

Сира маса, що видобувається з покладів, складається таким чином з  $\text{NaNO}_3$  в суміші з натрій-хлоридом, натрій-сульфатом, глиною, піском та іншими домішками. Спочатку використовували тільки високопроцентні поклади, наприклад, такого складу (дані двох аналізів у процентах):

	I	II
$\text{NaNO}_3$ . . . . .	60,97	47,2
$\text{NaCl}$ . . . . .	16,85	7,4
$\text{Na}_2 \text{SO}_4$ (і $\text{H}_2\text{O}$ ) . . . . .	4,06	26,0
Калій-йодат . . . . .	0,73	0,2
Пісок, глина . . . . .	—	18,7

Пізніше довелося перейти до використання і біднішого матеріалу.

Видобуваючи селітру, звичайно тверду масу висаджують порошком, великі грудки домішок відбирають руками, а потім обробляють одержану масу гарячою водою, застосовуючи методичне вилугування. Розчин випаровується; з нього при охолодженні викристалізується селітра, яка являє собою вже продажний матеріал, де міститься близько 95%  $\text{NaNO}_3$ . Таке діяння однократної кристалізації пояснюється тим, що для селітри розчинність різко змінюється залежно від температури, а для домішаного до неї натрій-хлориду вона змінюється дуже мало. Тому при охолодженні гарячого розчину випадає переважно селітра, а  $\text{NaCl}$  залишається головню в маточній рідині.

Висушену під сонцем перекристалізовану масу, насипану в мішки, раніше в'юками (на мулах) доставляли до гаваней; тепер же до більшості великих гаваней прокладені рейкові шляхи і широко використовується автотранспорт. Хемічно чиста натрієва селітра повинна б містити за формулою 16,47% азоту, але звичайно селітра, яка надходить на європейський ринок, має до 15—16%, при чому оплата проводиться відповідно до вмісту азоту, що перевіряється аналізами на контрольних станціях.

За право володіти пустинями, в яких розміщені поклади селітри, 1879 р. постала війна між Чілі та суміжними державами — Перу і Болівією. Ця „селітряна війна“ скінчилася перемогою Чілі, і ця держава надовго оволоділа монополіями на селітру, при чому вивізне мито на селітру (2,5 фунта стерлінгів за тону) стало головним джерелом державних прибутків.

Вивіз селітри з Чілі, що розпочався ще з 1830 р., почав особливо швидко зростати з 80-х років минулого сторіччя і на 1913 р. дійшов 2.740.000 т, при чому головним споживачем стала Європа, і лише меншу частину використовувалося в Америці (Сполучені штати). Єдиним значним конкурентом селітри до війни був тільки аміак коксових печей, але тому, що попит на азотисті добрива зростав, а виробництво аміаку було несамостійне (воно визначалося потребою металургії на кокс), то становище чіліської промисловості було блискуче. Війна створила тимчасові труднощі в транспорті, але серйозніша для Чілі загроза після війни постала через появу в Європі нового потужного конкурента в вигляді



синтетичного аміаку, що змусило чилійський уряд зменшити війну на селітру, керуючись цінами на синтетичні продукти. Вивіз селітри з Чілі змінювався в часі так:

1830 р. . . . .	850 т	1895 р. . . . .	1.210.000 т
1850 „ . . . . .	23.000 „	1900 „ . . . . .	1.453.700 „
1870 „ . . . . .	132.450 „	1910 „ . . . . .	2.359.000 „
1885 „ . . . . .	430.000 „	1913 „ . . . . .	2.738.300 „

Для післявоєнної продукції характерні дальші цифри:

	Експорт	Невивезені запаси
1927 р. . . . .	2.378 тис. т	1.028 тис. т
1928 „ . . . . .	2.801 „	2.133 „
1929 „ . . . . .	2.898 „	2.662 „

Отже, ще до загострення кризи в Європі, в Чілі непродані запаси дійшли того самого розміру, що й річний експорт. При збереженні попереднього рівня за абсолютними розмірами загального вивозу відносна участь Чілі в світовій азотній промисловості зменшилася тепер з 64% (передвоєнного часу) до 20—22% в наслідок розвитку синтетичної азотної промисловості.

В період загального панування селітри на європейських ринках передвоєнна Росія майже зовсім не застосовувала її, що представники західної агрономії загалом пояснювали нецвтом російського селянина. А насправді основною причиною була невідповідність цін привозної селітри до цін на головні продукти нашого хліборобства, що бачимо з дальшого порівняння<sup>1</sup>.

	I. Пшениця	II. Селітра	III в % від I
Росія . . . . .	11 крб.	9 крб.	80
Німеччина . . . . .	3,6—4,8 крб.	15—18 крб.	300—500

Отже, в передвоєнних умовах при культурі хлібів було неможливо здебільше застосовувати селітру через наші економічні умови, відмінні від Західної Європи.

Але й у нас помічалася різниця між Заходом і Сходом. Польща і Прибалтійські губернії вже могли застосовувати селітру, бо для них співвідношення цін було ближче до західно-європейського, ніж ціни на меридіані Москви, не кажучи вже про Східну Росію. Отже, те, що звичайно пояснювали більшою культурністю населення західних частин колишньої Росії, в дійсності було простим виявленням інших економічних умов поблизу західного кордону. Не тільки селітра, а й інші добрива (калійні солі, суперфосфат) могли поширюватися тільки на Заході і не могли проходити на Схід, бо ціни на хліб були там нижчі (а на добриво тим вищі), чим більше почали ми віддалятися від західного кордону. Можна виставити ще більше загальне положення: якщо по земній кулі хлібні вантажі пересуваються в якомусь напрямку, то селітра рухатиметься головню в тому самому напрямку, а зовсім не в протилежному, бо вигідніше везти на місця споживання 2 ц селітри, ніж 3—4 ц хліба, які вона може дати. Тому селітра з Чілі перевозиться переважно в Європу.

Діяння селітри та її заступників<sup>2</sup> на рослини. Для жодної групи добрив не спостерігаються такої різниці у ставленні до них різних груп рослин, як для групи азотистих добрив, зокрема селітри. Так, доводиться виключити всі рослини родини бобових з числа рослин, удобрюваних селітрою. Не можна сказати, щоб селітра на такі рослини зовсім не діяла, але

<sup>1</sup> Ціна за 1 ц в золотих карбованцях.

<sup>2</sup> Ми розглянемо на прикладі селітри, як діють азотисті добрива на рослини з тим, щоб при інших добривах можна було відзначити тільки різницю їх діяння від діяння селітри.



це діяння, якщо воно й буває, розмірами мале, і через це невідгідно вживати селітру під бобові.

Мало того, іноді вживання її може бути прямо шкідливим, наприклад, при культурі зернових бобових, коли зайвина азоту, зтягаючи розвиток рослини і посилюючи утворення вегетативних органів, зменшує врожай зерна; або при культурі люцерні, коли селітра сприяє розвитку пір'ю, а не люцерні.

В контрасті з бобовими решта культурних рослин. Урожай їх так правильно підвищується залежно від кількості засвоєного азоту, що для нечорноземних ґрунтів є можливість приблизно підрахувати, скільки треба внести азоту в формі селітри, щоб досягти такого-от підвищення врожаю. Наведемо тут приклад такого підрахунку, щоб показати, що для досягнення помітних результатів потрібні не ті малі дози селітри, які в нас раніше застосовувалося і які не діяли відповідно, а значно більші, бо селітра не стимулятор, а поживна речовина, і тому від малих доз не можна сподіватися значних ефектів.

Припустімо, що ми хочемо замість 10 ц зерна мати 20 ц, при чому ґрунт забезпечений фосфором і калієм, вологи досить, відповідним обробітком забезпечено доплив повітря до коренів, а бур'янів немає. Вважаючи, що в зерні міститься близько 20% азоту, визначимо, що потреба на азот для утворення додаткової кількості зерна, становить 20 кг; але тому, що більшу кількість зерна неможливо одержати без відповідної кількості соломи, треба врахувати і азот соломи. Для озимих хлібів на 10 ц зерна припадає до 25 ц соломи. Вважаючи, що в соломі є 0,5 азоту, одержуємо 12,5 N, а в сумі—32,5 кг N, що відповідає 2,1 ц селітри. Але треба ще підрахувати певну кількість азоту на посилений розвиток кореневої системи; головно ж треба взяти до уваги, що рослина не може використати внесену селітру цілком, засвоюючи 60—70% від внесеної кількості азоту. Отже, щоб одержати зайвих 10 ц зерна, треба внести не 2,1, а близько 3,2 ц селітри на 1 га. Ця цифра і відповідає західній європейській практиці. А в нас раніше, під впливом передової економіки, якщо й вносили селітру, то надто малими дозами (1 ц на га), при чому ці малі дози застосовувалося не тільки в господарствах (наприклад, бурякових), що було правильно в колишніх економічних умовах, а ними обмежувалися і в дослідях, що призводило до невірних висновків про значення мінеральних добрив для нас взагалі, бо без азоту калій і фосфор не діяли інакше, як на фоні клеверу, тим то й склалася думка, що, ніби, не „пройшовши через травопільну систему, не можна вводити мінеральні добрива“. А пізніші дані, особливо досліді географічної сітки НІУ (1927—1931 рр.); в проведенні яких брала участь більшість дослідних станцій НКЗС (до 300 станцій), показали, що при внесенні селітри дозами 3—4 ц діяння її на наших ґрунтах виявляється в таких же самих розмірах, як і в усьому світі, якщо тільки додержано елементарних правил агротехніки. Наведемо приклад даних Новозибківської дослідної станції (пісковий ґрунт) (у центнерах):



	Без азоту <sup>1</sup>	Селітра		
		1 ц	2 ц	3 ц
Урожай жита в середньому за 3 роки . . . . .	11,2	14,0	18,4	20,4
Приріст зерна . . . . .	—	3,8	7,2	9,24

З господарського погляду вельми важливим є питання про оплату селітри одержуваним від неї приростом урожаю. Для цього зручно виражати розмір приросту в вигляді частки, одержуваної від ділення всього приросту на кількість ужитої селітри. Тоді ми дізнаємося, що дає розмір приросту врожаю на кожний центнер внесеної селітри.

Звичайно, відповідь на таке питання може бути лише, умовна, бо оплата змінюється залежно від дози добрива, та все ж і умовна відповідь, що її дає західноєвропейський досвід відповідно до звичайних доз селітри, має значення. Так, за даними Вагнера кожний центнер селітри в середньому дає в прирості врожаю такі кількості зерна (в центнерах): жита — 3; ячменю — 4; вівса — 5,5.

Ці норми Вагнера здійснюються, звичайно, тільки тоді, коли дійсно азоту мінімум, тобто коли немає посухи і коли колію та фосфору внесено вочевидь достатню кількість і т. д.; їх треба вважати скорше за максимальні, чого на практиці не завжди можна досягти (але в цитованому попередю Новозибківському досліді так і було).

Взагалі ж такий коефіцієнт оплати залежить, при наявності азотного мінімуму, від стану агротехніки та загальних умов росту, але ми вважаємо за потрібне підкреслити, що і в наших кліматичних умовах вагнерівські коефіцієнти можуть здійснитися, якщо є відповідний агротехнічний фон. Так, у наведеному попередю досліді Новозибківської станції з житом при 3 ц селітри одержали 9,2 ц приросту, тобто здійснився вагнерівський коефіцієнт для жита (3). В даних Вятської станції ми знаходимо випадки здійснення вагнерівського коефіцієнта для вівса: наприклад:

Фон	О	Фосфорит	Вапнування
Без азоту . . . . .	15,9 ц	16,8 ц	21,2 ц
2 ц NaNO <sub>3</sub> . . . . .	25,6 „	27,0 „	29,6 „
Коефіцієнт . . . . .	4,8 „	5,5 „	4,2 „

З цієї таки серії дослідів наведемо дані щодо впливу зростаючих доз селітри на овес на фоні попереднього внесення фосфориту і потім вапна:

Дози селітри (в ц) . . . . .	0	2	4	8
Врожай зерна (в ц) . . . . .	21,2	28,2	32,5	41,1

<sup>1</sup> При забезпеченості калієм і фосфором врожаї, одержані в цьому досліді при внесенні 3 ц селітри, відповідають якраз тому теоретичному підрахунку, який наведено вище, тобто близькі до максимуму, який взагалі можна одержати при даній дозі азоту.



Якщо ми згадаємо, що в передвоєнних дослідах вносилося лише 1 ц селітри, то нам стане зрозуміло, що інтервал високого діяння добрив зовсім не вловлювалося попередніми досвідами. Те, що при більш низькому стані агротехніки, ніж на дослідних станціях, коефіцієнти оплати можуть бути найрізноманітніші, залежно від фону, на якому ставиться дослід, так само не становить нашої особливості, бо й за кордоном при масових дослідах на селянських полях також бувають інші коефіцієнти.

Так, у Данії в середньому з 7430 дослідів, проведених у період 1901—1918 рр. в різних місцях, на 1 ц селітри<sup>1</sup> одержано такі прирости зерна (в центнерах): жита—3,1; вівса—2,2; ячменю—2,1; сухої речовини буряка—4,0.

Отже, немає ніяких особливостей ні в наших ґрунтах, ні в кліматі смуги достатнього зволоження, що завадили б нам тепер же одержати від добрива такі ефекти, як на Заході, якщо ми застосуємо нормальні кількості добрив і створимо задовільний агротехнічний фон.

Далі, не треба забувати, що коефіцієнти Вагнера стосуються деяких середніх доз селітри (3—4 ц/га). Коли ж ми збільшуватимемо дози поверх тої кількості азоту, що може бути використана на даному фоні, то ми даремно збільшуватимемо ділник при незмінному діленнику, тобто знижуватимемо коефіцієнт оплати; так само і при надто малих дозах коефіцієнт оплати може не доходити оптимуму. Така залежність спостерігалася Вагнером при зіставленні результатів як колективних дослідів, що їх проводило Німецьке товариство сільського господарства, так і дослідів, проведених у різних умовах. В середньому спостерігалася таку залежність між дозами селітри і висотою врожаю (на фоні КР):

	Доза селітри (в ц)						
	1	2	3	4	5	6	7
Приріст зерна . . . . .	2,5	7	13	16	19	20	20
Середня оплата зерном 1 ц . . .	2,5	3,5	4,3	4,0	3,8	3,3	2,9
Оплата останнього центнера . . .	2,5	4,5	6,0	3,0	3,0	1,0	0

Як бачимо, є певна оптимальна доза (для даного рівня культури), яка дає найбільшу середню оплату зерном для кожного центнера добрива (залежно від фону, на якому ставиться дослід, стан оптимуму змінюється). Якраз у наших передвоєнних дослідах, коли давалося 1 ц селітри, була понижена оплата цього центнера зерном, як і в дослідах Вагнера. Причина неповного ефекту малих доз селітри на бідних ґрунтах Вагнер пояснює так: 1) голодуючі (на азот) рослини мають ненормальний склад: у них понижений вміст азоту; з внесенням обмеженої кількості селітри частина азоту піде на виправлення ненормального складу і тільки друга частина піде на підвищення врожаю жита, звідси неповність оплати при малих дозах; 2) у голодуючих рослин співвідношення в розвитку органів не відповідає нормальному, а саме: процент кореневої маси в них більший проти звичайного (або процент надземних органів більший); перші дози азоту йдуть на виправлення цього співвідношення (посилення розвитку надземних органів—стебел і листків) і тільки дальші дози позначаються переважно на утворенні зерна (так, у вівса без добрива на надземні органи припадає 42% від загальної ваги і 98% на корені). При першій дозі азоту це співвідношення було 65 і 35%, а при дальшій дозі азоту—81 і 19%. Словом, рослина має немов би свої необхідні загальні витрати, і тільки після покриття їх настає можливість продуктивного внесення дальших доз азоту.

<sup>1</sup> При дозах 1—3 ц/га.



Звідси Вагнер робить такий висновок: на бідних ґрунтах, що дають урожай 10—12 ц зерна, але фізичними властивостями непоганих, треба давати селітру не меншими дозами, як 2,5—3 ц/га; коли ж селітри мало, то краще на меншій площі дати за цією нормою, ніж всю площу удобрювати малими дозами селітри. Навпаки, коли ґрунт „заправлений“ і дає по калійно-фосфорному фону врожай 25 ц зерна, то на нього можна винести і меншу дозу (1,5—2 ц) з шансом належного приросту зерна на кожній центнер.

Перший випадок, коли не варто застосовувати малих доз, був у нас у передвоєнних дослідах, коли на тощі селянські землі давали 1 ц селітри.

Внесення селітри (та інших азотистих добрив) впливає не тільки на врожай, а й на якість зерна: збільшується вміст білків, і число склуватих зерен збільшується за рахунок зерен крохмалистих. Розмір цього впливу може бути різним; він сильніший, звичайно в умовах не чорноземної смуги, де ґрунти бідні на азот, ніж, наприклад, у Заволжі, де й без добрива багатий на азот чорнозем і сухість клімату дають пшеницю, найбагатшу на білки (клейковину); але, наприклад, згідно з дослідями, проведеними в Німеччині, можливі такі різниці:

	Процент білку в зерні
Без селітри . . . . .	{14,4
	{16,3
З селітрою . . . . .	{19,9
	{22,6

Отже, азотисте добриво впливає на склад зерна настільки, що „білковістю“ воно наближається до м'яса (якщо порівнювати не на суху речовину, а на рівні вагові одиниці)<sup>1</sup>.

Для харчових і кормових цілей ціниться висока білковість зерна, але для деяких технічних цілей уникають великого проценту білків і бажають мати більше крохмалю.

Це стосується броварського ячменю, при культурі якого доводиться уникати внесення значних кількостей селітри та інших азотистих добрив.

Крім того, селітра може впливати на співвідношення в розвитку органів хлібних злаків. Через те, що азотисті добрива взагалі спричиняють більший розвиток вегетативних органів, то й в хлібів підвищується енергія кушіння й утворення стебел, і якщо в період наливу зерна не вистає, скажімо, фосфору (або навіть просто вологу, якої добре розвинена маса випаровує багато), то можливо, що при щедрому удобренні селітрою врожай зерна збільшиться не так, як урожай соломи. Тому зменшиться „умолотність“, тобто процент зерна в загальній масі врожаю зменшиться, хоча абсолютно зерна вийшло більше, ніж без селітри. Звичайно ці різниці невеликі, але в тих місцевостях, де цінують скоростиглість хлібів, зайве живлення азотом, подовжуючи вегетаційний період, може збільшити можливість небезпеки від „захвату“ (діяння суховіїв, що припиняють

<sup>1</sup> А саме: 100 ч пшениці, багаті на білок, містять: 2) ч білка, 60 ч крохмалю; 120% води, трохи клітковини, жирів і золи; 100 ч м'яса: 20 ч білка, 70 ч води; деяку кількість жиру і зольних речовин.



налив зерна, не зважаючи на вологість ґрунту) або від ранніх приморозків (Сибір)<sup>1</sup>.

У Західній Європі водночас з прагненням одержати максимальний урожай бувають, однак, інші несприятливі впливи зайвинного внесення азоту,— такою є небезпека полягання хлібів, що рясно кущаться і буйно розвиваються. Звідси особливе завдання для селекціонерів Заходу,— вивести сорти пшениці, які здатні без полегання витримати великі дози азоту, крім того, внесення селітри супроводиться внесенням відповідних кількостей фосфору й калію.

Далі, у випадку пошкодження хлібів грибними захворюваннями (наприклад, іржею), рослини, що довільно живилися азотом, легше пошкоджуються грибками, ніж при помірному азотному живленні.

Крім можливості несприятливого впливу зайвинного добрива на рослини відзначимо, що при надмірному односторонньому удобрюванні ґрунту тільки селітрою кальцій витискується натрієм з вбираючого комплексу, і тоді структура ґрунту може погіршитися. Постає схильність до спливання і створення корки. Але цього побоюються більше на підставі аналогії з діями на ґрунт натрій-хлориду, що дійсно буває різким; це спостерігається, наприклад, у Голландії, коли прориваються греблі і орні землі затоплюються морською водою<sup>2</sup>.

Але звичайно селітру вносять не такими кількостями, як у цьому випадку  $\text{NaCl}$ , і головно в добрива водночас вноситься кальцій (в суперфосфат, в томашлак), отже, таке побоювання нереальне. Але ми вважаємо за потрібне відзначити й цей момент удобрювання селітрою, бо він дав підставу говорити, ніби мінеральні добрива взагалі псуують структуру ґрунту замість сказати, що застосування мінеральних добрив потребує знань. При виключно невмілому застосуванні їх можна зіпсувати структуру ґрунту так само, як при вмілому — виправити її. Але цілком вірно, що натрій в селітрі є зовсім зайвим, тому, коли перейшли до синтетичної селітри, почали замість натрійної селітри виготовляти кальцієву, про яку мовитиметься далі.

Вносячи селітру, треба дбати, поперше, про дуже рівномірний розподіл її по поверхні, для чого передрозсіванням її

<sup>1</sup> Ми відзначаємо ці впливи незалежно від того, вживається селітра, як така, в тій або тій місцевості, чи зайвини її утворюються в ґрунті в результаті внесення значних кількостей гною.

<sup>2</sup> Крім витиснення кальцію з вбираючого комплексу безпосередньо при внесенні селітра може сприяти нагромадженню лужних залишків у ґрунті, бо  $\text{HNO}_3$  вбирається швидше, ніж  $\text{NaNO}_3$ , і останній даватиме соду з вуглекислотою, виділюваною кореннями. В Ротамстеді після 60 років щорічного внесення  $\text{NaNO}_3$  було констатовано, не зважаючи на вологий клімат Англії, настання солонцевого типу ґрунотворення, підлугування ґрунтового розчину і відповідна зміна рослинності (дослід проводилося на луках). Звичайно, на ґрунтах Середньої Азії той самий ефект від щорічного внесення дедалі нових порцій селітри настане далеко швидше, ніж у Ротамстеді, але тепер немає ніякої потреби (і навіть можливості) вживати часто  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  та  $\text{CaCN}_2$  не спричиняють утворення соди, а аміачні солі залишають кислі залишки, і чергуванням добрив можна запобігти всякій односторонній зміні складу вбираючого комплексу та ґрунтового розчину.



треба роздрібнити, інакше бо одні місця будуть переудобрені, і постане шкода від зайвинної концентрації, а інші не будуть удобрені, і тоді утвориться неповна оплата добрива приростом урожаю. Подруге, треба добирати час для внесення так, щоб не було небезпеки вимивання селітри з ґрунту, який не вбирає нітратів. Тому не слід, наприклад, удобрюючи озимі хліба, вносити всю селітру з осені. Краще внести одну третину, і, принаймні, дві третини залишити до весни, коли селітру можна внести поверхнево. На Заході охоче вносять селітру в кілька прийомів і при удобрюванні ярих. Зокрема, цукровий буряк удобрюють селітрою під час росту, щоб доповнити основне добриво, внесене під час оранки. Однак у кліматах, континентальних такий спосіб непридатний, бо в чорноземній смузї влітку переважає не спускання, а підняття вологи вгору, тому поверхневе внесення селітри може не дати наслідків.

Звичайно не рекомендують вносити селітру при зрошуванні, а замінити її аміачними солями. Однак, це стосується випадків довільного зрошення, коли зрушувальні води з'єднуються з підґрунтовими, або, коли на сторону стікають зайвинні („скидні“) води; це буває, наприклад, при культурі рису, під який через це краще вносити або аміачні солі або органічні азотисті добрива. Але при такому зрошенні, коли немає ні глибокого спускання вод і промивання ґрунту, ні стікання на сторону, побоювання щодо вимивання відпадають.

На Заході, де майже всі культури одержують селітру (або азотисті добрива, що її замінюють), природно, що хліба, які займають найбільшу площу, являють собою і найбільших споживачів селітри (особливо пшениця). У нас на даній стадії розвитку нашої хемічної промисловості, принаймні протягом найближчого п'ятиріччя, доведеться порядком черговості застосовувати азотисті добрива насамперед під технічні культури, з тим, щоб наступні за ними в сівозміні хліба використали тільки „післядію“ внесених добрив, і тільки потім, у міру зростання продукції мінеральних добрив, стане можливим підвищувати врожаї хлібів безпосереднім внесенням під них азотистих та інших добрив (а покищо для хлібів треба використовувати азот ґною, клеверу, зеленого добрива, азот цілинних земель на південному сході і азот торфу на півночі).

З технічних культур цукровий буряк став першим провідником застосування селітри (з суперфосфатом) ще за передвоєнного часу. Коренеплоди взагалі потребують більше поживних речовин, ніж хліба, але культура кормових коренеплодів не була так розвинена і не мала тих економічних переваг, в наслідок яких цукровий буряк міг би вже оплатити застосування хоч би невисоких доз селітри навіть при колишній економіці.

Одиниця азоту, засвоєного буряком, означає більшу продукцію, ніж у хлібів, не тільки тому, що в буряковому корені на кожну одиницю сухої речовини припадає три одиниці води (вважаючи, що в корені є 25% сухих речовин), а й тому, що корінь



буряка відкладає багато вуглеводів, і навіть у сухій речовині вміст азоту менший, ніж у хлібних зерен (отже, підвищення продукції сухої маси на кожен одиницю засвоєного азоту в буряках більше).

За тими ж таки дослідами Вагнера в Німеччині з хлібами, кожний центнер селітри дає 60 ц коренів бурияка, або 14 ц сухої речовини (проти 4 ц у хлібах). Однак, у цьому випадку, ще більше, ніж у хлібів, коефіцієнт Вагнера треба вважати за вищу межу, а не за середню оплату центнера селітри. В Німеччині при колективних дослідах у 36 господарствах було одержано відношення значно менше, саме: 1:25, в Бельгії — 1:35 і лише в окремих випадках воно доходило 1:50. Але навіть якщо взяти розмір оплати по 1:25, то все ж таки це буде вище, ніж у хлібів, якщо навіть зробити розрахунок на суху речовину.

Така оплата була в Німеччині при 4 ц, але фактичне застосування селітри під буряк на Заході часто перевищує цю норму (в Бельгії дорівнює 8 ц/га).

Зовсім інший масштаб застосування селітри було взято у нас з запровадженням її в бурякові господарства. При дорожничі селітри застосування зменшених доз її було можливе ще й тому, що в нас (всупереч Німеччині) буряк культивується на чорноземних ґрунтах, багатих на органічну речовину, за рахунок якої нітрати (тобто та ж таки селітра, тільки не натрієва, а кальційна) можуть нагромаджуватися в ґрунті далеко більшою кількістю, ніж в тих умовах, в яких культивується буряк у Німеччині.

Але, через те, що в нашому континентальному кліматі ми маємо швидкий перекид від зими до весни і через необхідність сіяти раніше, ніж ґрунт прогрівся б на всю товщу і нітрифікація пішла б повним ходом, молоді рослини потребують розчинної азотистої поживи. Тому, якщо дати в рядки зовсім невелику кількість цієї поживи (наприклад, 0,5 ц на га), то це прискорює розвиток кореневої системи, допомагає бурякові краще „тікати“ від земляної блохи, боротися з підгризем та іншими „дитячими хворобами“. Такі вчасно підготовані селітрою рослини краще забезпечують себе вологою поживною також і тоді, коли в ґрунті починають дедалі більше посилюватися біологічні процеси, і нітрати утворюються вже достатньою кількістю. Що при цьому кількості вношуваного азоту аж ніяк не залежить від сумарної потреби бурияка на азот, видно вже із зіставлення таких цифр: урожай бурияка відбирає 150—200 кг азоту, а при внесенні 0,5 ц  $\text{NaNO}_3$  в рядки ми даємо якихось 8 кг азоту, тому рядкове удобрення сходів не заміняє основного удобрення буриякової плантації, — це тільки тимчасова підгодівля молодих ростків.

Такий вид внесення азотистих добрив був раніше єдиним, але в міру того, як сівозміня насичувалися буряком і зникали незайняті парові поля перед буряком, що в нас раніше були крім пару перед озиминою, почала виявлятися потреба ще й на попереднє суцільне удобрення, крім рядкового. Однак, таке суцільне удобрення нам доведеться вносити у вигляді амонійних



солей, селітра, ж зберігає своє значення для додаткового внесення в рядки на весні, бо для цього аміачні солі менш придатні.

Щодо питання про вплив селітри на якість буряка, то, не кажучи про рядкове удобрення, і суцільне внесення не знижує якості, якщо воно не надмірне і якщо одночасно з ним вноситься фосфор. Раніше, коли селітрою удобрявали однобічно, дійсно помічалось, що листки надто розвиваються, досягання спізнюється і, зв'язку з цим, зменшується цукристість і понижується доброякісність соку. Тому в колишніх договорах заводи забороняли плантаторам удобрявати буряк селітрою. Але коли виявилось, що при правильному дозуванні і при одночасному внесенні суперфосфату, який підвищує цукристість і пришвидшує досягання, можна з допомогою селітри збільшити врожай, не погіршуючи при цьому якості, застосування селітри під буряк стало регулярним способом.

Ще більше, ніж цукровий буряк, чутливі до підвищення дози азоту кормові корнеплоди як рослини, культура яких є і поза чорноземною смугою. Це ми бачимо, наприклад, з дальших даних Горещької дослідної станції:

	Врожай	Приріст урожаю				
		20 кг	40 кг	60 кг	80 кг	100 кг
Дано азоту (на фоні 20 т гною) . . . . .	— кг					
Брюква . . . . .	239 ц	49 ц	67 ц	90 ц	93 ц	102 ц
Турнепс . . . . .	246 „	58 „	80 „	118 „	148 „	171 „
Буряк . . . . .	95 „	8 „	9 „	30 „	69 „	—

На цих цифрах ми знову бачимо, наскільки колишні досліди з 15—20 кг азоту давали невірне уявлення про значення мінеральних добрив для нашого хліборобства.

До картоплі стосується багато з того, що було сказано про застосування селітри під буряк як у розумінні впливу на розмір урожаю, так і впливу на якість (у цьому разі—вміст крохмалю). Так само, як і там, одночасне внесення фосфатів дозволяє досягти значного впливу добрив на приріст урожаю без пониження якості. Коефіцієнт оплати 1 центнера селітри за Вагнером дорівнює 35, що становить 9 ц сухої речовини (проти 3 4 в хлібів), але знову таки це не середній коефіцієнт, а, скорше, верхня границя, що її можна досягти лише в найкращих умовах діяння добрива. Але протилежно буряковій культурі картоплі, поширена і в нечорноземній смузі, має велике значення на піскових ґрунтах, а в таких випадках зразу треба говорити про постачання картоплі тої кількості азоту, яка потрібна на одержання нормального врожаю. „Весняна підгодівля“ малими дозами тут не дає того ефекту, як на чорноземі, тим більше, що й посівний матеріал у картоплі має далеко більший запас поживи, ніж дрібне насіння буряка, яке дає слабі сходи. Площа під картоплею у нас далеко більша, ніж



площа під буряком. Ця культура далеко простіша і менш вибаглива і, крім технічного значення, має велике харчове значення, але досі врожаї картоплі були в нас удвоє менші, ніж у Німеччині, а площа—вдвоє більша. Отже, через незастосування добрив ми витрачали подвійну працю на те, щоб одержати ту саму кількість картоплі, яку має Німеччина.

Так само, як і щодо хлібів, у наших передвоєнних дослідах справжній розмір діяння на картоплю не виявлявся через дуже малі дози азоту; досліди за програмою НІУ (1927—1931 рр.) і тут дали іншу картину.

Грунт	Без до- брив	РК	Приріст від азоту (на фоні КР) в кг						
			10	15	20	30	45	60	90 кг N
Ленінградська дослідна стан- ція, суглинок . . . . .	186	212	—	17	—	23	48	—	71
Бутилицька досл. станц., супісок	43	63	5	—	14	26	—	51	—
Семблєйвська дослідна станція, сірий лісовий . . . . .	96	97	12	—	22	37	—	62	—
Чуваська досл. ст., сірий лісовий	130	132	—	20	—	34	49	59	78
Поліська досл. ст., супісок . . .	84	109	—	4	—	17	63	61	—
Колгосп Петровськ. (Полісся), супісок . . . . .	107	114	—	—	—	56	60	71	—

З цих даних бачимо, що в нечорноземній смузі картопля надзвичайно чутлива до підвищення доз азоту, а діяння калію та фосфору затримується через відсутність азоту або надто малі дози його.

На чорноземних ґрунтах, з причин зрозумілих, діяння азоту не таке велике. Однак, при підвищених дозах все таки можна одержати прирости на 20—30 ц/га. При дозах 45—50 кг азоту звичайно не помічається зменшення крохмалистості.

При надмірному застосовуванні селітри під картоплю (або якщо селітра утворюється в ґрунті після внесення гною, аміачних солей тощо) не тільки подовжується вегетаційний період і загаюється досягання бульб (в наслідок відкладання в них крохмалю), а ще й підвищується схильність до захворування в роки поширення мокрої гнилі (*Phytophthora infestans*).

Для прядивних культур удобрення селітрою (або її заступниками) має велике значення, хоча й неоднакове, залежно як від природи рослини, так особливо від ґрунту. Так, значна потреба бавовника на азот посилюється тим, що в наслідок кліматичних умов його культура найбільш розвинена на лесових ґрунтах, які бідні на азот. Далі, через великий процент площі під бавовником і малу площу під кормовими рослинами помічається дуже велика недостатність гною у зв'язку з тим, що покищо, немає можливості провести, як правило, культуру бавовника на фоні азотозбирача (люцерни); тому азотне питання



для бавовника гостріше, ніж для всякої іншої культури в Союзі. Так, буряк має азот чорнозему, культивується в сівозміні, тому більш забезпечений гноем; для азотозбирача (клеверу) також більше місця. Льон (на волокно), хоча й культивується в районі ґрунтів, з бідним вмістом азоту (підзоли), має сівозміну з клевером; при недостатності площі льон можна легше просушувати в нові райони культури, ніж бавовник; так само й для конопель можливе таке просування на схід. Тому зрозуміло, що бавовник, який взагалі споживає значні кількості азоту, в даних умовах надзвичайно чутливий до азотистого добрива, незалежно від того, чи буде це селітра, чи її заступники. З дальших даних Каунчинської дослідної станції (біля Ташкента) бачимо, як діють різні дози азоту.

Дози азоту (в кг) <sup>1</sup> . . . . .	30	90	120	180	300
Приріст урожаю за 2 роки (в кг) . . . . .	3,5	10,3	19,8	22,9	24,5
На 1 кг азоту одержано сирцю (в кг) . . . . .	11,6	11,4	16,5	12,7	8,2

Щодо порівняння селітри з іншим добривом, то, дарма що бавовник зрошувальна культура <sup>2</sup>, селітра діяла не гірше інших форм, які добре вбираються ґрунтом, і навіть трохи краще їх. Щодо впливу на якість урожаю, то він демонструється дальшими дослідями, проведеними на Каунчинській дослідній станції Сабініним.

Доза азоту на 1 рослину (в г) . . . . .	0	1,5	3,0	6
Урожай бавовни—сировини на 1 рослину (в т) . . . . .	12	31	73	78
Вихід волокна (в %) . . . . .	29,6	29,6	35,1	36,2
Те саме при одночасному внесенні суперфосфату (в %) . . . . .	—	36,3	39,2	37,1

Отже, посилення азотистого живлення підвищувало вихід волокна. Утворювання волокна, характерне для кожного сорту довжини, звичайно, можливе також лише при нормальному живленні рослин азотом.

Для льону на волокно (зона підзолистих ґрунтів) даними географічної сітки дослідів НІУ доведено, що здебільша азот є в першому мінімумі. Разом із тим за наявними літературними даними зайвіна азоту небажана, бо при цьому може зменшуватися вихід волокна. Особливо ж несприятливо діє на льон нерівномірний розподіл добрив, що спричиняється до неоднакового розвитку рослини, а звідси трудність добрати відповідний час на збирання і правильно провести мочіння льону. Тим то для льону так цінять „стару силу ґрунту“, тобто

<sup>1</sup> Дані за 2 роки наведено тому, що в умовах зрошення нітрати переміщуються на глибину до 2 м і діяння добрива розтягується на 2 роки (і більше).

<sup>2</sup> Випробовувалося переважно  $\text{KNO}_3$  та  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , при чому мається на увазі діяння тільки аніону. А в інших випадках селітра сама є стандартом; при зрошуванні доводиться перевіряти повноту її використання порівнянням з аміачними солями та іншими добривами, не такими небезпечними щодо вимивання, як селітра незабаром після внесення (але далі нітрифікація, що вельми енергійно відбувається в ґрунтах середньої Азії, зближує між собою всі азотисті добрива).



запас азоту в органічній речовині, який при нітрифікації надзвичайно рівномірно постачає рослині азот. Щоб внесення селітри (та інших азотистих добрив) могло замінити цю „стару силу ґрунту“, треба дуже пильно розподіляти їх. Звідси неповна погодженість даних про діяння азотистих добрив на льон, особливо на якість урожаю. В Західній Європі під льон дають звичайно не більше 40 кг азоту, а під інші рослини в тих самих умовах вносять значно вищі дози. В середньому, у згаданих дослідях НІУ з льоном (1928—1931 рр.) були такі прирости врожаю від різних доз азоту (рівняючи з РК) для різних ґрунтів (в ц/га):

						Урожай	контр.
						по 0	РК
Дози азоту (в кг/га) . . . . .	30	40	60	90	по 0	РК	
Підзолиста зона	{ Насіння . . . . .	0,2	0,7	0,9	1,4	4,2	4,4
	{ Солома . . . . .	2,8	4,6	4,1	2,2	18,6	18,0
Сірі лісові землі	{ Насіння . . . . .	1,6	1,8	2,1	2,2	2,8	3,2
	{ Солома . . . . .	4,7	8,7	6,8	8,7	17,4	21,0

Щодо впливу на якість урожаю зростаючих доз селітри є такий дослід (Довгопрудне дослідне поле, НІУ).

Доза азоту (кг/га) . . . . .	40	45	67
Вихід гіпаного волокна (в %)	12,0	12,9	11,8

Отже, в даних умовах при дозах, не більших від 45 кг, не помічався понижуючий вплив селітри на вихід волокна, діяння ж на врожай такої дози може бути вже вельми значним (при тому на сірих лісових землях значно вищим, ніж на підзолах).

Але крім потреби старанно розподіляти селітру та інші добрива, при культурі льону треба звертати ще особливу увагу на чистоту поля від бур'янів, бо вони можуть випереджати льон у розвитку і тоді використати селітру раніше, ніж її використає льон. В одному досліді спостерігалось, що при 60 кг азоту врожай льняного насіння становив 164%, урожай волокна — 172%, а „врожай“ бур'янів — 342% (якщо для неудобреної ділянки відповідні величини взято за 100).

Коноплі потребують азоту далеко більше, ніж льон, і найбільше врожаї дають при дозі 120, а іноді 180 кг (при достатніх дозах калію і фосфору). При цьому прирости врожаїв стебел становлять на підзолистих ґрунтах 50—60%, а на сірих лісових землях і на деградованих чорноземах доходять 80-90% при абсолютній величині приросту в 20—30, а іноді і 40—45 ц стебел на 1 га. Так само південні прядивні (кенаф і рамі), особливо при зрошенні, надзвичайно чутливі до азотистих добрив.

Овочеві культури також споживають великі кількості азоту і добре реагують на внесення значних доз його. Ось приклад з дослідів з удобренням капусти на легкому суглинку (Ленінградський район).

Врожай по	{	Доза N . . . . .	30	60	120	180 кг на га
		РК 512	{	Приріст урожаю	83	97



Тютюн надзвичайно чутливий до азоту, але залежно від того, з чим ми маємо справу — з махоркою, „сигарним“ тютюном чи „жовтим“ (цигарковим) тютюном, різною мірою доводиться зважати на вплив азоту на якість урожаю. Особливо при культурі „жовтого“ тютюну кількість і якість урожаю можуть змінюватися в протилежних напрямках. Не вважаючи за можливе розглядати тут це окреме питання, наведемо лише приклад впливу азотистих добрив на розмір урожаю за даними Ялтинської дослідної станції (середнє за 1914—1919 рр.):

	О	КР	НКР
Урожай . . . . .	8,3	8,5	13,9 ц/га

Так само велике значення мають азотисті добрива при культурі чаю на червоноземлях у Грузії як з погляду приросту врожаю, так і з погляду вмісту теїну в ньому (що проте не є єдиним фактором визначення якості чаю).

При культурі багатьох лікарських рослин ми також стикаємося з впливом азотистих добрив не тільки на кількість, а й на якість урожаю. Підвищення вмісту морфіну в опійному маці або вміст хініну в хінному дереві<sup>1</sup> (для останнього, наприклад, одночасне підвищення врожаю і якості його) може привести до такого результату:

Доза азоту . . . . .	56	85	127	190	285 кг/га
Одержано хінін-сульфату	177	224	262	323	359 кг/га

При недостатній кількості азотистих добрив їх треба використати насамперед під технічні культури, не тільки вважаючи на велику цінність їх, а також і тому, що ці вибагливі до азоту культури при інтенсивному розвитку в особливо відповідних для них районах витісняють і гній з господарства. Щодо цього ми, перебуваючи в початковій стадії розвитку азотної промисловості, повинні в межах наступного п'ятиріччя (до 1937 р.) йти іншим шляхом, ніж Західна Європа, де пшениця є головним споживачем чилійської селітри; у нас же, поперше, ще є пшеничні райони, де господарство ведеться не тільки без селітри, ба навіть і без гною, що неможливо для Західної Європи, яка не має чорнозему, а в районах нечорноземних (або виснажених чорноземів) ми повинні компенсувати недостатність азоту для хлібів посиленням розвитком сіяння клеверу.

Останнім угіддям, до якого підходить черга застосування азотистих добрив, є луки, що в Західній Європі почали одержувати азотисті добрива тільки останнього часу, коли ціни на них дуже зменшилися. Однак у нас бувають особливі умови, при яких тепер же доводиться застосовувати азотисті добрива, щоб створити кормову площу, — це хліборобство за полярним колом і взагалі в таких широтах, де вся культура не зернова, а кормова, що зв'язане з необхідністю постачати молоко новим промисловим центрам (Хібіни і Монча-Тундра на Кольському

<sup>1</sup> Досліди над акліматизацією хінного дерева проваляться під Сухумом.



півострові, низов'я Єнісея та інші райони на півночі Сибіру). З злакових особливо чутливими до азотистих добрив є кормові трави, і коефіцієнт оплати сіном тут вищий, ніж оплата зерном при культурі хлібів. Згідно з досвідом Західної Європи центнер селітри дає 7—8 ц сіна (якщо потребу на фосфор і калій задоволено), тобто оплата сіном удвоє більша, ніж оплата зерном (ураховуючі тільки вагові відношення). Крім того, створюється можливість раніше косити, тому в південній Німеччині вважають, що з допомогою азотистого добрива можна перетворити двоукісні луки триукісні.

Найчутливішими до азоту є суходільні і деякі заплавні луки. Для низинних лук і болот азот відіграє другорядну роль (крім півночі, де процеси росту йдуть повільно і де після висушення болот треба спочатку давати значні кількості азоту).

З дослідів Ленінградської зональної станції наведемо такі цифри (врожай сіна в ц/га):

	Без добр.	КР	НКР
Суходіл . . . . .	16,0	21,5	58,3
Заплавні луки . . . . .	44,7	55,0	74,7

Усе сказане стосується чисто злакового складу лучної рослинності. Коли ж є значний процент бобових (наприклад, 20% і більше), то діяння азотистих добрив ускладнюється збільшенням розвитку бобових, як це було показано давніми дослідями в Ротамстеді. При повторенні цього досліді на низинних луках у Петровсько-Разумовському ми одержали такі дані щодо впливу добрив на ботанічний склад:

#### Процент бобових

Без добрива . . . . .	12
Селітра . . . . .	5
Суперфосфат . . . . .	8
Калітг . . . . .	24

Тому при недостатності азотистих добрив на луках з мішаною рослинністю можна збільшити врожай, поліпшуючи водночас і азотний баланс, якщо вносити калійно-фосфатне добриво, щоб збільшити процент бобових.

У дослідіх НІУ, рівняючи з формами азотистих добрив (на фоні суперфосфату і калійної солі), селітра далеко краще діяла, ніж інші азотисті добрива при культурі льону на підзолистих ґрунтах (6,2 ц приросту врожаю соломи проти 4,7 ц в середньому, від інших форм). Те саме стосується і ячменю (11,2 ц, в середньому, проти 6,4). На вівсі різниця була не така велика (10,4 проти 8,9). Для картоплі такої різниці на користь селітри зовсім не було. Цукровий буряк, в протилежність картоплі, показує перевагу на стороні селітри (66 ц проти 54, в середньому для всієї решти форм). В сумі прирост урожаю від селітри для всіх культур становив 40%, для решти форм азоту — від 28 до 38%.



Усе це стосується дослідів з однократним внесенням добрива. а при щорічному внесенні на тій самій площі перевага селітри перед іншими добривами зростає (крім ґрунтів, особливо багатих на основи, або випадків регулярного застосування вапнування).

## 2. КАЛІЙНА АБО ТУРКЕСТАНСЬКА СЕЛІТРА. ( $KNO_3$ )

Калійна селітра досі не відіграла помітної ролі в практиці удобрення ґодовно тому, що дешевше було застосовувати суміш  $NaNO_2$  з калійними солями, ніж вести дороге виробництво чистої солі з тої таки чілійської селітри і калійних солей. Крім того  $KNO_3$ , яка здавалось би цікава тим, що може відразу забезпечити рослини калієм і азотом, в дійсності для цього непридатна без додавання інших добрив, бо азоту вона містить менше як утрое, ніж калію (менше 14% N і більше 46%  $K_2O$ ), а в добривах потрібні звичайно або рівні кількості азоту й калію, або азоту треба давати більше, ніж калію; тому, якщо давати  $KNO_3$  по азоту, то даремно витрачатиметься калій, а якщо давати по калію, то буде дано недосить азоту. Тому калійна селітра, яку тепер можна виготовляти і синтетичним способом, має значення найчастіше при виготовленні складних сумішей (про що мовитиметься далі), абож при одночасному внесенні інших джерел азоту, а хоч на фоні певної забезпеченості ґрунту азотом іншими способами як культура азотозбирачів (не кажучи про фосфатний фон, який завжди повинен бути супутником застосування азотистих добрив).

Великий інтерес мають родовища природних покладів селітри в Середній Азії („туркестанська селітра“). Хоча досі й не знайдено відкладів великого промислового значення, але не виключена можливість, що серед багатьох соляних відкладів у Середній Азії будуть знайдені і багатші на селітру, ніж ті, що досі відомі.

Це відклади подвійного роду.

1. Нагромадження селітри тих або тих форм у сухих, безстічних улоговинах. Процес утворення селітри констатовано в ряді випадків від снігових вершин Паміра до вапнових скель на березі Каспія (Красноводськ). Подекуди трапляються нітратні солончаки з вмістом селітри до 15% (в цих випадках мовиться про нітрати взагалі, незалежно від того, з чим зв'язана азотна кислота—з калієм, чи з натрієм).

2. Родовища калійної селітри, зв'язані з стародавніми фортецями, скотопрогонними дворами та іншими пунктами нагромадження органічних азотових речовин за різних історичних періодів („курманна“ селітра).

У наслідок нітрифікаційного процесу в умовах сухого клімату, коли не відбувалося вимивання, утворилися нагромадження селітри в місцях колишніх селищ, потім залишених. Звичайно на поверхні залягає тонка корочка з підвищеним вмістом селітри, іноді до 20–30%, глибше йде рихла маса з вмістом до 4–6%  $KNO_3$ , далі лесовидний суглинок, бідний на селітру. Коли волога опадів підіймається по капілярах угору і висихає на поверхні, часто помітні вицвіти кристалів, ґрунтова поверхня вкривається немов інеєм. При кустарному видобуванні змітають ці вицвіти мітками, потім селітру розчиняють у воді і, відокремивши розчин від землястих частин, доводять його випаровуванням до кристалізації  $KNO_3$ .

Щодо діяння  $KNO_3$  на рослини, то з того, як діє азот, немає підста, сподіватися помітної різниці від діяння  $NaNO_2$ .

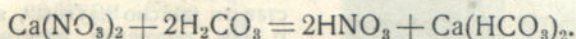


(також і оцінка калію в цій формі дуже висока, якщо тільки співвідношення між калієм і азотом погоджене з потребами культури і властивостями ґрунту).

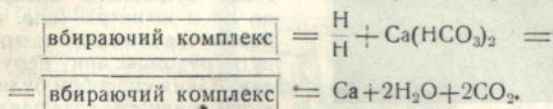
### 3. КАЛЬЦІЄВА АБО НОРВЕЗЬКА СЕЛІТРА [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

Цей вид селітри широко розповсюджений у природі, — в усіх культурних ґрунтах і більшій частині ґрунтів, де росте дика рослинність. Азотна кислота, що утворюється під час процесу нітрифікації, зв'язується з кальцієм, а тому й азот надходить у рослину головню з Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Це є разом із тим краща форма для внесення азоту з добривом у ґрунти, в яких мало калію, бо в такому разі, протилежно натрійній селітри і аміачним солям, навіть при довільному і частому внесенні не тільки не може бути погіршуючого впливу на структуру ґрунту, ба, навпаки, на опідзолених ґрунтах, у наслідок того, що у вбираючий комплекс замість водню входить кальцій, фізичні властивості повинні поступінно поліпшуватися.

Рослини вбирають з Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> більше азоту, ніж кальцію, за схемою:



Тоді вбираючий комплекс, якщо до його складу входить водень, зв'язує кальцій-бікарбонат, витискуючи вуглекислоту:



Однаке в природі немає покладів кальцієвої селітри (вона важко кристалізується і гігроскопічна), і тільки цього сторіччя на європейських ринках з'явився синтетичний кальцій-нітрат під назвою норвезької селітри, бо виробництво його виникло в Норвегії.

Правда, тепер кальцій-нітрат виготовляють уже не „норвезьким“ способом, але цей спосіб має історичний інтерес, як перший етап розвитку сучасної азотної промисловості, згрунтованої на використуванні газуватого азоту атмосфери. Відкриття способу для цього використання не було випадковим, — воно з'явилося в наслідок планомірних шукань видатних представників хемічної думки кінця XIX і початку XX ст. ст.

1898 р. видатний представник загальної хемії в Англії Крукс надрукував статтю, де вказував на величезне зростання вивозу селітри з Чілі і на неможливість базувати в майбутньому виробництво пшениці в Європі на цьому азотному джерелі, що загрожує зникнути<sup>1</sup>, а тим часом помічається, що на земній

<sup>1</sup> Крукс тоді пророкував виснаження чілійських покладів в 1925 р., але в наслідок переходу до переробки низькопроцентних покладів, кількість яких раніше не була повною облічена, постала можливість продовжити експлуатацію чілійських покладів ще на значний період.



кулі споживання пшениці зростає за рахунок жита й інших менш вибагливих до добрива рослин. Незадовго до цього в працях над вивченням складу атмосфери, які привели до відкриття аргону, було показано в лабораторних дослідах, що з повітря можна вибрати весь азот, змушуючи його сполучатися з киснем, під впливом електричної іскри (при чому доведеться ввести додаткову кількість кисню). Крук запропонував застосувати цей спосіб у техніці, щоб одержати азотну кислоту з використанням дешевої водної енергії.

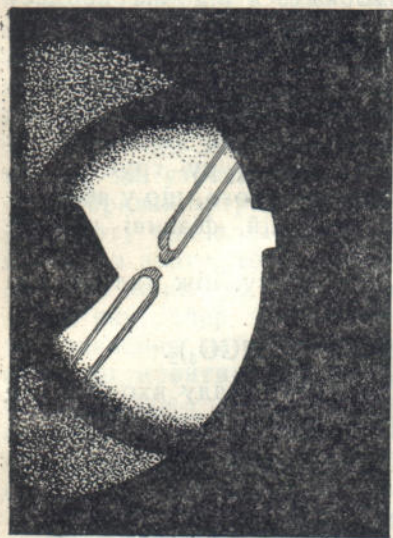


Рис. 7. Електроди і диск полум'я

Незабаром (1902 р) в Америці утворилося акціонерне товариство для використання частини енергії Ніагари для цього, але постали труднощі в тому, щоб утворити достатньо велику поверхню дотикання вольтової дуги з повітрям; потрібні були великі затрати на апаратуру (платинові електроди, розміщені на поверхні обертового циліндра), виявилось швидко зношування цієї апаратури, тому це підприємство закрилось в 1904 р. В цей час норвезький фізик Біркеланд зробив відкриття, яке виявило здатність вольтової дуги відхилятися в сторону, ставати дійсно „дугою“, якщо вмістити її між полюсами електромагніта. При змінному струмі достатньої частоти дуга вібрає, при чому полум'я набуває вигляду суцільного диска, що світиться до 1,8 м діаметра (див. рисунок). Отже, виявилось можливим зробити вольтову дугу рухомою при нерухомих електродах. Таким способом були досягнені стійкість, тривкість і здешевлення установки, при чому платинові електроди були замінені мідними, але порожніми, щоб пропусканням водяної течії захистити їх від стоплення. Температура в печі Біркеланда

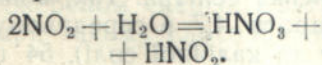
доходить  $3000^{\circ}$  С, але доводиться вдвувати зайвину повітря, і тоді відхідні гази з температурою  $600-800^{\circ}$ , містять близько 5% оксиду азоту (NO), який далі переходить в азотну кислоту, відки нейтралізацією можна одержати той чи той вид селітри. Норвегія багата на водопади і електрична енергія там дешева, ніж в інших країнах Європи, тому відкриття Біркеланда було використане для створення нової галузі промисловості, фабрикації „норвезької селітри“. Так утворилося перше стійке підприємство по використанню повітряного азоту для синтезу азотистих добрив.

Шлях до азотної кислоти та її солей іде при цьому через такі етапи: оксид азоту NO (безбарвний газ), який утворився при високій температурі, здатний уже при звичайній температурі в присутності зайвини повітря оксидуватися далі, утворюючи буру пару двооксиду азоту  $\text{NO}_2$ . Цей процес відбувається в „окисних вежах“, просторих приміщеннях, з стінками з кислотостійкого матеріалу, після чого гази проводяться у „вбирні вежі“, де оксиди азоту, реагуючи з водою, дають азотну кислоту.

Вважаючи на те, що перша стадія окисації повітряного азоту потребує надто великих затрат енергії, тепер роблять інакше, а саме: оксидують не вільний повітряний



азот, а синтетичний аміак, на утворення якого потрібно в 15 раз менше енергії, ніж витрачається при прямій окисації азоту, а сама окисація аміаку відбувається з виділенням тепла. Тому він не тільки не потребує енергії, але ще являє собою джерело тепла на заводі. Дальші стадії відбуваються в окисних і вбирних вежах в основному так само, як і в первісному способі одержання норвезької селітри: а саме, у вбирних вежах, наповнених грудками кварциту, назустріч газу пускають водяну струмину; тоді й утворюються азотна й нітратна кислоти:



Азотна кислота добре вбирається водою; повторною циркуляцією доводять її концентрацію до 30%, що вже є достатнім для виготовлення кальцієвої селітри (для інших потреб концентрацію  $\text{HNO}_3$  доводять до 98%).

Щодо нітритної кислоти, то вона нестійка, її ангідрид  $\text{N}_2\text{O}_3$  розпадається на суміш  $\text{NO}_2$  і  $\text{NO}$ ; ці гази знову проводять через окисні і вбирні вежі, і так поступінно нітритна кислота також дооксидується до азотної.

Азотна кислота нейтралізується вапняком, як найдешевшим матеріалом, потім розчин  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  випаровують так, щоб маса, яка твердне, містила не менш 13% азоту. Вважаючи на гігроскопічність норвезької селітри, її запаковують в особливі мішки, всередині викладені шаром тривкого, непроникного для води паперу.

Тепер „норвезьку“ селітру можна виготовляти на всякому заводі синтетичного аміаку, де є окисні установки. Між іншим, її виготовляють і в Німеччині, де ринок платить за азот селітри значно дорожче, ніж за азот амоній-сульфату (в 1927 р. один кг азоту коштував 87 пфенігів у сульфаті і 1 марку 15 пф. в кальцієвій селітрі). Отже, видатки на окисацію аміаку виправдуються (тим більше, що уникають витрати на сірчану кислоту, замість неї потрібен дешевший матеріал — вапняк).

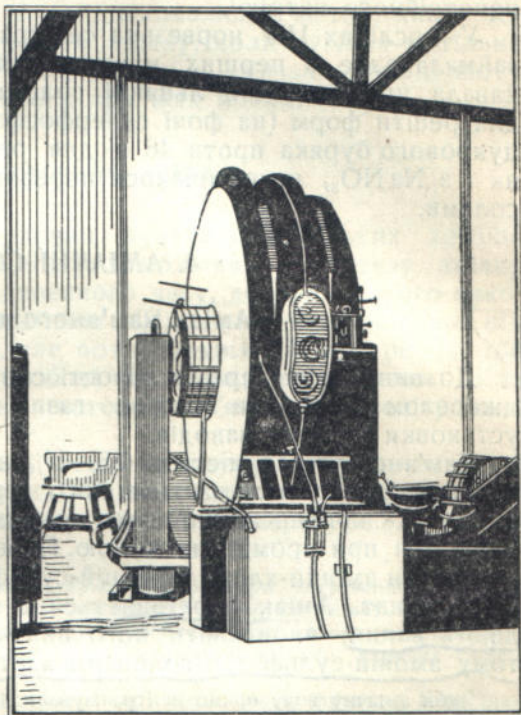


Рис 8. Зовнішній вигляд печі



Попит на кальцієву селітру в Німеччині пояснюється тим, що вона є універсальним добривом, придатним для всіх ґрунтів, при ній не постає небезпека, що в ґрунті нагромадяться кислотні залишки, як при застосуванні амоній-сульфату, а через те, що амоній-сульфат тепер застосовують великими кількостями, то постала потреба чергувати його з добривом фізіологічно лужним, вибір же між чилійською і кальцієвою селітрою визначається тим, що в ній міститься кальцій, замість непотрібного натрію<sup>1</sup>.

У дослідах НІУ норвезька селітра споміж азотистих добрив займала одне з перших місць, як чилійська селітра. Так, вона давала прирости 6 ц льняної соломи проти 4,7 в середньому для решти форм (на фоні суперфосфату та калійної солі), 54 ц цукрового буряка проти 46 ц для решти форм; для картоплі, як і з  $\text{NaNO}_3$ , не помічалось переваги  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  над аміачними солями.

#### 4. АМІАЧНІ СОЛІ

##### Аміак кам'яного вугілля

До виникнення промисловості синтетичного аміаку головним джерелом його були відхідні газы коксових печей і очисні установки газових заводів.

Кам'яне вугілля містить 0,5—1% азоту, але при сухій перегонці вугілля тільки частина його переходить в аміак, що міститься і в конденсаційній воді, у відхідних газах, відки він виділяється при промиванні водою. Переважно це амоній-карбонат, а почасти амоній-хлорид, амоній-сульфід і амоній-сульфіт та амоній роданат. Аміак переганяється з аміачної води, до якої додають вапно; вловлюють його звичайно сірчаною кислотою, і тому амоній-сульфат є головним азотистим добривом.

Якби аміачну воду прямо нейтралізували сірчаною кислотою і випаровували, то не тільки потрібно було б багато палива на те, щоб випарувати всю масу води, але при цьому залишалися б і всі домішки, поміж якими є дуже отруйні. Таким є амоній-роданат: 10 кг амоній роданату досить, щоб зовсім отруїти рослини на площі одного га.

При сухій перегонці вугілля одержують, крім аміаку, ряд цінних рідких і газуватих продуктів; використовуючи їх можна легко вловлювати і аміак. За передвоєнного часу коксові печі Донецького басейна випускали переважно в повітря всі ці цінні матеріали, тоді як Німеччина перед війною одержувала стільки ж азоту в аміаку від коксових печей, скільки його було в селітрі, яку привозили з Чілі кількістю 500000 тонн. А тепер у нас, крім використання відхідних газів коксових печей у Донбасі, те саме проводиться на дуже великих установках в Магнітогорську,

<sup>1</sup> Є пропозиція замість такого чергування вживати суміш  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , чим водночас підвищується процент N проти  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  і усувається гігроскопічність (тоді, поскільки є волога, утворюватиметься  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а кристалізаційна вода гіпсу є вже усунена вода).



Кузнецьку і Кемерові<sup>1</sup>, до яких мноть потім приєднатися такі самі установки в Черемхові (біля Іркутська) і в Караганді (Казакстан).

Однак, використанням аміаку коксувальних установок, розмір яких визначається потребами металургії, неможливо задовольнити потреби Союзу на зв'язаний азот. Тому необхідно було, як і на Заході, перейти до використання повітряного азоту, при чому ми мали можливість, не проходячи всього шляху, яким ішла Західна Європа, взяти найдосконаліший метод, яким тепер є виробництво синтетичного аміаку, коли вугілля є тільки джерелом енергії, і затрата цієї енергії на зв'язані одиниці азоту при такому способі менша, ніж при всіх інших.

### Синтетичний аміак

Хоча теоретичними працями видатних німецьких хеміків (Нернста і Габера) принципіально можливість синтезу аміаку була доведена ще за передвоєнного часу, до практичного використання цього способу перейшли в Німеччині під час війни, під натиском гострої потреби, але потім технічний прогрес у цій галузі дозволив цьому способові не тільки вдержатися після війни, а й стати панівним методом зв'язування повітряного азоту.

Ці представники фізичної хемії спочатку вивчали загальні законності рівноваги між нестійкими сполуками і продуктами їх дисоціації при різних умовах тиску і температури. До числа

<sup>1</sup> Крім кам'яного вугілля є ще матеріал, здатний при нагріванні в певних умовах відщеплювати більшу частину свого азоту у вигляді аміаку, а саме торф, для використання якого останнього часу розроблено нові методи, основані, відмінно від простого спалювання торфу, на одержуванні з торфу гарячих газів і аміаку.

Найбільше розробляється і завойовує собі місце спосіб франка і Каро (які, власне застосовували до торфу принцип раніше відомої генераторної печі, призначеної для кам'яного вугілля). Суть цього способу є в тому, що торф нагріванням при недостатньому (для повної окисації) допливі повітря в присутності водяної пари перетворюється на горючі гази, з переважанням серед них оксиду вуглецю, водню і вуглеводнів. При цьому значна частина (70—75%) азоту торфу, що переходить в аміак, вловлюється сірчаною кислотою і після випаровання одержується у вигляді амоній-сульфату. Такий спосіб зручний тим, що при ньому не ставиться високі вимоги до якості торфу: в ньому може бути багато золи, він може бути досить вогким (40—50% води). Чим більше в торфі азоту, тим більше відповідає він такому способові переробки, бо одержання амоній-сульфату є економічно важливою стороною в ньому (другою стороною є використання генераторних газів для нагрівання паровиків, абож частіше ними урухомлюються газові двигуни, що дають електричну енергію). За Франком 100 кг торфу з 1,45% N можуть дати до 40 кг амоній-сульфату, 100 кг з 2,8% N давали до 110 кг, що відповідає 73% всього азоту торфу. Отже азот торфу при такому „газуванні“ можна використати далеко повніше, ніж азот вугілля при газовому виробництві. Але цей дослід показав, що для найбільшого виходу аміаку доводиться впускати стільки водяної пари, що при цьому зменшується тепловидатність газів; тому звичайно воліють миритися з зменшенням виходу аміаку, щоб не втратити багато на тепловидатності.



таких нестійких сполук належить і аміак: при нагріванні аміак поступінно розпадається на азот і водень, а при  $1000^{\circ}$  розпад цей майже повний (залишається менше  $0.001 \text{ NH}_3$ ). Але той факт, що розпад цей все ж таки не відбувається до кінця, вказує на те, що десь близько лежить можливість зворотного ходу реакції, тобто утворення аміаку за рахунок вільних азоту і водню при високій температурі.

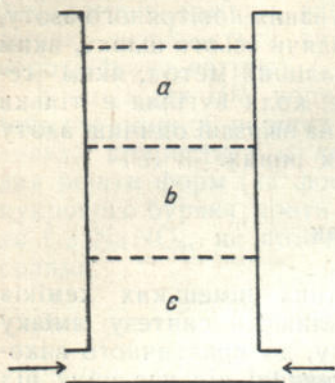


Рис. 9. *a*—зона сушіння і підігрівання; *b*—зона перегонки; *c*—зона горіння

Виходячи з теоретичних міркувань, Нернст зробив здогад, що, поскільки при утворенні аміаку зменшується об'єм (з 4 об'ємів суміші газів утворюється два об'єми аміаку, згідно з рівнянням:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ ), треба сподіватися, що підвищений тиск сприятиме перебігу цієї реакції.

Але воєнна небезпека змусила докласти нових зусиль і цю реакцію, яку раніше вважали за таку, що не має практичного інтересу, реалізувати, створивши відповідне технічне устаткування.

Трудність розв'язання азотного питання в Німеччині постала через непередбачене для неї втручання у війну Англії, в наслідок чого Німеччина була відрізана від Чилі, а також і від Норвегії. Створюючи блокаду, Англія сподівалася примусити Німеччину скоритися влітку 1915 р. через азотний (а не хлібний) голод, але використання відкриття Габера в промисловому розмірі перешкодило здійсненню англійських планів.

Як війна скінчилася, вся продукція азотних заводів пішла на потреби удобрення і Німеччина позбулася необхідності платити щороку сотні мільйонів марок золотом за чилійську салітру, як це доводилося робити їй раніше. На цьому прикладі ясно позначився зв'язок між хемічною промисловістю, забезпеченням хліборобства азотними добривами і обороноспроможністю країни.

Вважаючи на те, що спосіб Габера лежить в основі розвитку і нашої азотної промисловості, зупинімося коротенько на обстанові, в якій здійснюється ця реакція, що раніше ніби мала „чисто академічний“ інтерес, і як відбувається перехід від сировини (вода, повітря і вугілля) до синтетичного аміаку.

На шляху перенесення лабораторних дослідів у заводську обстановку довелось подолати ряд великих труднощів. Так при температурах, близьких до червоного жару, змінюються властивості матеріалів, з яких будується апарати. Наприклад, сталь у таких умовах, дотикаючись з воднем, втрачає вуглець, і тривкість її зменшується. Залізо, сприймаючи водень, змінює властивості і, крім того, при великому тискові стає проникним для водню. Звідси небезпека вибухів або виникнення водневого полум'я і необхідність особливих пристроїв для контролю та особлива стійка сталь.

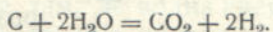
Крім особливих вимог до тривкості апаратури, доводиться ставити виключно високі вимоги до чистоти газів, що зв'язане з участю каталізаторів.



Варто уваги, що домішка деяких речовин (які самі собою недіяльні), може посилювати діяння каталізаторів (так, наприклад, оксид хрому) і, навпаки, домішка інших може „огруювати“ каталізатор, тобто понижувати його діяння. Такими „отрутами“ є, наприклад, такі металоїди: сірка, селен, телур, фосфор, арсен, бор. Мезерні сліди цих отрут уже заважають перебігу процесу, тому доводиться пильно очищати газу (азот і водень) від домішок сірчанних сполук; неможливо навіть при сушінні їх вживати сірчану кислоту.

Крім зазначених перешкод, треба було подолати ще й доможечу здобування водню й азоту. Через те, що Німеччина не має водної енергії, щоб одержувати водень способом електролізу води, довелося розкладати воду діянням високої температури, використовуючи енергію вугілля. Тут було застосовано стару, але поновлену доповненнями реакцію одержання „водяного газу“: вдування водяної пари в розжарене вугілля.

При цьому вугілля відбирає кисень води, і утворюється суміш водню з оксидом вуглецю:  $C + H_2O = CO + H_2$ . Але далі було знайдено, що оксид вуглецю при високій температурі і в присутності певних каталізаторів, дотикаючись до нових кількостей водяної пари, реагує далі:  $CO + H_2O = CH_4 + H_2$ , або в сумі обидві реакції зводяться до такого рівняння:



А через те вуглекислота легко вбирається водою (при великому тискові), то це й є здешевленим способом одержувати водень великими кількостями.

Щоб одержати азот, є другий генератор, наповнений коксом, який горить при відрегульованому допливі повітря, так щоб кисень був спожитий в процесі горіння якомога повніше, і щоб замість суміші азоту з киснем, яка входить, з генератора виходила суміш азоту з вуглекислою. Знову таки, вбираючи вуглекислоту водою, під тиском 25 атмосфер, одержують азот, що після счистки йде в той самий газгольдер, як і водень. Ця суміш, приведена до відношення одного об'єму азоту на 3 об'єми водню і служить для синтезу аміаку; для цього її поступінно стискають до 200 атмосфер, і тоді вона переходить у контактну піч, де впливом каталізатора певна частина азоту у водні дає аміак, який виводиться з сфери реакції (вбиранням водою або розрідненням при глибокому охолодженні), а непрореагована частина суміші направляється ще раз у контактну піч разом з азотом і воднем, які знову надходять.

Процес виробництва аміаку в його кінцевій стадії може бути поданий такою схемою (рис. 10).

Суміш азоту і водню надходить у компресор К, де вона піддається тискові 200 атмосфер, підтримуваний далі в усій системі, в якій відбувається коловий рух газів (це необхідно тому, що тільки певний процент газової суміші вступає в реакцію, а решта азоту і водню має бути після вбирання аміаку повернена до вихідного пункту системи). Літерою Е на рисунку позначене місце входження газів, що йдуть від компресора. Далі суміш йде в камеру (піч) R, де відбувається реакція. Ця камера, наповнена контактною масою (= каталізатор), нагрівається до температури, сприятливої для синтезу (650 і вище), при чому тепло газів, що з нього виходять, використовується на підігрівання вхідних газів. Потім, суміш



газів, що далі проходить через каталізатор, охолоджується і проводиться через вбирач А, де вода, введена пульверизатором, вбирає аміак, який утворився, а потім міцний розчин аміаку виводиться з системи в точці Z. Через те, що тільки менша частина азоту і водню, проходячи через каталізатор, дає аміак, решта газів, не залишаючи системи (отже, залишаючись під великим тиском), перепомпуюється насосом V знову до початкового пункту кругобігу E.

Але недосить ще одержати аміак; щоб застосувати його в хліборобстві, треба з нього виготовити сіль, зручну для транспорту і розсівання (під час війни це не було потрібне, бо весь аміак ішов на окисні установки і перетворювався на азотну кислоту). Щоб уникнути витрат на сірчану кислоту, в Німеччині замість кислоти вдалися до найдешевшої солі сірчаної кислоти, а саме

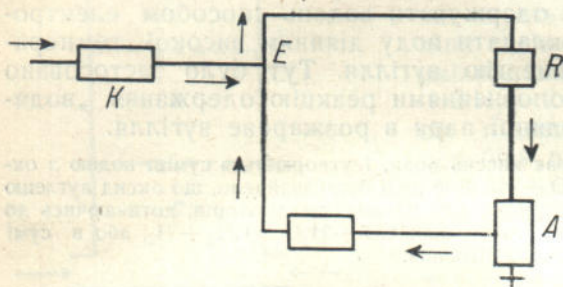


Рис. 10.

до гіпсу, що цілими поїздами підвозять до азотних заводів. З ним роблять так: роздробивши гіпс, збовтують його в аміачній воді і туди ж проводять вуглекислоту, що з зайвиною одержується на тому ж заводі в результаті очистки від неї водню і азоту.

Амоній-карбонат, що при цьому утворюється, реагує з гіпсом, даючи при обмінному розкладі амоній-сульфат:



Розчин амоній-сульфату відфільтровують від осаду крейди, згущують, а сіль, що кристалізується, центрофугуванням звільнюють від маточної рідини.

Цей спосіб здешевленого одержання амоній-сульфату доведеться й нам використати там, де не на дуже великих віддалях від азотних заводів виявляється поклади гіпсу (Сибір).

Але, очевидно, ми матимемо більший вибір способів, ніж Німеччина, щоб здешевити виробництво амоній-сульфату. Так, якщо замість гіпсу взяти натрій-сульфат, то способом обмінного розкладу можна було б одержати не тільки амоній-сульфат, а й соду, що становить велику цінність для ряду галузей хімічної промисловості (в тім числі і для одержання термофосфатів, про які мовитиметься далі).

Умови використання на виробництві відповідної обмінної реакції в спрощеному вигляді подаються такою схемою:



Ці процеси тепер вивчаються і мають гарні перспективи.

Зупинімося коротенько на удосконаленнях, зроблених у способі Габера після війни, які тепер ми маємо використати.



Одна з введених спочатку у Франції<sup>1</sup> видозмін є в тому, щоб використати ще дешевше джерело водню, ніж водняний газ, а саме, відхідні гази коксових печей, в яких міститься близько 50% водню (за об'ємом).

При сильному охолодженні під тиском на рідину перетворюються всі вуглеводні (метан, етилен та інші), а водень залишається в газуватому стані і легко відокремлюється від розрідненої суміші інших продуктів. Цей французький метод буде використано в нас поряд німецького (Габерового) способу там, де є відповідні умови.

Іншого напрямку набула промисловість синтетичного аміаку в Італії, де немає кам'яного вугілля, але є водна енергія. В зв'язку з цим розклад води провадиться способом електролізу. Так одержується чистий водень, і відпадають складні пристрої для очистки газів. Але такий спосіб зв'язаний з величезними витратами енергії. Наприклад, коли на зв'язування 1 кг азоту на заводі, що робить за системою Казале (біля Риму), на синтез витрачається лише 1,5 квтг (робота компресора тощо), на одержання відповідної кількості водню треба витратити 15 квтг в сумі 16,5 квтг, а при роботі на вугіллі витрата палива в перерахунку на квтг становить лише 4 квтг. Тому такі установки можливі лише там, де водна енергія дуже дешева (не застосовується за нормальною оплатою). Але тому, що електроліз можна вести періодично в години перестрою динамомашин, установлених на інші потреби (освітлення міст тощо), в таких умовах електроліз можна застосовувати не тільки там, де електрика не має такого застосування.

Крім Казале в Італії над удосконаленням способу Габера працював ще Фаузер. З ряду особливостей системи Фаузера ми згадаємо тільки одну. В той час, як Клод і Казале одержують рідкий аміак (100%) в результаті застосовуваних ними дуже високих тисків (750 — 1000 атм), при яких досить охолодження водою (не вбирання водою, як у Габера), щоб аміак перетворився на рідину, Фаузер знайшов вдалий підхід, щоб одержати рідкий (100%) аміак і при нижчому тиску (250 атм). Для того досить відхідні гази охолоджувати не водою, а якою-небудь рідиною, що кипить значно нижче нуля. Але рідкий аміак сам кипить при — 34° і являє собою на аміачному заводі найдоступнішу рідину для одержання низьких температур. Звідси можливість такого теплообміну: через те, що рідкий аміак однаково треба перетворювати на газ, щоб направити його на окисні установки або до відділів заводу, де виготовляють амоній-сульфат, то цю перегонку рідкого аміаку провадять не витрачаючи палива, а користуючись теплом гарячих газів, що йдуть з контактної печі. Віддаючи тепло визгонюваному аміакові, ці гази сами охолоджуються, а аміак, що міститься в них, пере-

<sup>1</sup> Це було одною з рис способу Клода, що почав працювати над удосконаленням способу Габера після того, як французи, на підставі Версальського договору, в числі репарацій одержали право доступу на німецькі азотні заводи і право ознайомлення з усіма деталями процесу. Здивовані грандіозністю споруди і розміром апаратури для переробки величезних об'ємів газів (наприклад, завод Лейна повинен очищати щодня 8 млн м<sup>3</sup> генераторних газів), вони не зважилися будувати такі заводи, і Клод розробив метод роботи з апаратурою далеко менших об'ємів, що було досягнуто ціною збільшення тиску в 5 разів проти Габера, тобто 1000 атмосфер; це дозволило одержувати не розчин аміаку в воді, а рідкий аміак (100%). Водночас Клод застосував високий тиск і для відокремлення вуглеводнів від водню в коксових газах.



ходить у рідкий стан; залишок же непрореагованого азоту і водню йде знову до контактної печі. Тепер це „Колумбове яйце“ застосовують у різних країнах, у тому числі й на батьківщині синтетичного аміаку — в Німеччині (у нас цей спосіб використано в Березниках).

## 5. ЗНАЧЕННЯ АМОНІЙ-СУЛЬФАТУ ЯК АЗОТИСТОГО ДОБРИВА

Не зважаючи на те, що в амоній-сульфаті тільки 25% припадає на корисну основу (аміак), а 75% на дорогий баласт ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), що стає іноді шкідливим, промисловість перетворює більшу частину синтетичного аміаку на амоній-сульфат, і нам доводиться саме з нього почати розгляд того, як діють аміачні солі.

Продажний амоній-сульфат має звичайно близько 20% азоту (замість 21,2%). Отже, сульфат має більше азоту, ніж селітра, в якій звичайно 15—16% азоту. Але при оцінці цього азоту доводиться зважати на те, що амоній-сульфат поводить ся інакше, ніж селітра як щодо рослин, так і щодо ґрунту.

В наслідок того, що рослина значно швидше вбирає  $\text{NH}_3$ , між  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і через те, що потім азот асимілюється при синтезі білків далеко більшою кількістю, ніж сірка, амоній-сульфат, як уже попереду вказувалося, відзначається ясно виявленими властивостями фізіологічно кислої солі, тобто він залишає в ґрунті частину сірчаної кислоти; а тому щорічно вживати амоній-сульфат значило б систематично обробляти ґрунт сірчаною кислотою, хоча й невеликими дозами (при внесенні 3 ц сульфату це становить 2,25 ц  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на 3000 тонн ґрунту при 20-сантиметровому шарі). Тому ґрунти з гарною буферністю здатні протягом значного ряду років витримувати удобрення амоній-сульфатом; ненасичені ж ґрунти, з малою кількістю увібраних основ, можуть незабаром виявити небажані результати через здвиг реакцій в кислоту сторону (а можливо через недостатність кальцію, як необхідного антагоніста при збагаченні ґрунту на одновалентні катіони амонію).

Тому найчастіше результат удобрення амоній-сульфатом визначається, насамперед, властивостями ґрунту. Колишні спроби встановити для різних рослин коефіцієнт діяння аміаку (у вигляді сульфату) рівняючи з селітрою для тої чи тої культури мають інтерес, як деякий середній господарський результат для звичайних умов, але їх не можна використати для характеристики рослин. Так, якщо, наприклад, у деяких дослідах для пшениці виходив коефіцієнт рівний 90<sup>1</sup>, а для жита — 80, то це зовсім не тому, що пшениця краще витримує фізіологічну кислотність, ніж жито, а тільки не зважаючи на те, що пшениця витримує її гірше, але культивується на більш багатих і зв'язних ґрунтах, буферність цих ґрунтів далеко більша, ніж буферність більш легких „житніх“ ґрунтів, і цей результат непридатний, щоб вивести будьякий фізіологічний коефіцієнт, проте ним

<sup>1</sup> При цьому порівнюються не рівні кількості селітри і сульфату, а рівні кількості азоту в них, і діяння одиниці азоту в сульфаті виражається в процентах від діяння азоту в селітрі.



можна користуватися для практичних потреб у межах тих ґрунтів, на яких ставилося подібні досліді. Як крайній приклад одержання різних коефіцієнтів для тої самої рослини візьмемо випадок з дослідів того таки Вагнера, коли на торфяному ґрунті він одержав для сульфату коефіцієнт, рівний тільки 28<sup>0</sup>%, а на тому самому ґрунті і під ту саму рослину він одержував коефіцієнт 90<sup>0</sup>%, якщо водночас з сульфатом було внесено крейду, що нейтралізувала кислотність і „фізіологічну“, і ґрунтову. Але при решті однакових умов рослина може накладати певний відбиток на результати дослідів. Так, наприклад, на тому самом угрунті можна спостерігати, що картопля краще витримує удобрення сульфатом, ніж буряк, якому бажаніший нітрат. Овес — краще, ніж ячмінь, бо картопля і овес легше витримують підкислення ґрунту від сульфату, ніж буряк і ячмінь. При цьому треба мати на увазі, що таке підкислення рослина відчуває раніше, ніж ми це можемо констатувати дослідженням середньої проби ґрунту, бо кореневі волоски створюють навколо себе місцеві вогнища підкислення, що можуть дуже мало відбитися на середній пробі, але можуть діяти вже на рослину.

В середньому для Німеччини Вагнером був установлений для амоній-сульфату коефіцієнт діяння рівний 90<sup>0</sup>% від діяння азоту селітри, але на практиці важливо знати не знеособлене середнє, а розмір діяння на даному ґрунті і під дану рослину.

В дійсності ж бувають випадки, коли сульфат вивеється навіть вищим від нітрату (селітри), — наприклад, на ґрунтах з зайвиною основою, з схильністю до лужної реакції, яку пом'якшує удобрення сульфатом, або ґрунти містять важкорозчинні фосфати і кінцева кислотність сульфату буде більша, ніж їх засвоюваність, нейтралізуючись при цьому основами фосфату. До прямого діяння азоту приєднається побічне діяння фосфору, що разом може дати більший ефект, ніж від нітрату. На ґрунтах же бідних на основи ми одержимо протилежний результат.

Відповідно до цього у нас в районі опідзолених ґрунтів можна сподіватися, що сульфат діятиме гірше нітратів. При переході до чорнозему їх діяння вирівнюватиметься, а ще далі на південь діяння сульфату може виявитися вищим від діяння нітрату.

Крім різного впливу на реакцію ґрунту, є різниця, рівняючи з селітрою, в тому, що аміак добре вбирається ґрунтом, тому він не вимивається (поки аміачний азот, у наслідок нітрифікації, не перетворився на нітратний). Тому з осені під озимину часто буває зручніше вносити аміачні солі, ніж нітрати. При довільному зрошенні також віддають перевагу аміакові. Наприклад, при культурі рису, що запливає водою, застосовування селітри було б зв'язане з колосальними втратами, аміак же добре вбирається ґрунтом, і, крім того, сам собою рис, незалежно від явищ вбирання, пристосований до аміачного живлення. У зв'язку з цим в Японії, де рис є головною культурною рослиною, аміачним солям віддають перевагу перед селітрою.



Отже, питання про порівняльну оцінку азоту в амоній-сульфаті і в селітрі розв'язується в різних умовах різно.

У питанні про коефіцієнт діяння амоній-сульфату, рівняючи з селітрою, треба відзначити ще таку умовність: усі ці величини (85—90 або навіть 100%) стосуються однократного внесення добрив.

А що буде, коли щороку удобрювати ґрунт амоній-сульфатом, який буде коефіцієнт через п'ять, десять, двадцять років?

Відповідь на це питання буде вельми різною залежно від ґрунту і виду рослини. На легких ґрунтах, в яких немає  $\text{CaCO}_3$  і бідних на увібрані основи, відносно швидко настане здвиг реакції в бік кислотності і витиснення увібраного кальцію, що вимивається дощем у вигляді  $\text{CaSO}_4$ . А це позбавляє ґрун здатності підтримувати, крім нейтральної реакції, ще й урівноваженість ґрунтового розчину, де може утворитися перевага впливу щороку засвоєного іону амонію над іоном кальцію, кількість якого весь час зменшується.

Приклад такого негативного впливу щорічного внесення амоній-сульфату на легкому ґрунті дають досліди у Вобурні (Англія), результати яких графічно подано на рис. 11 (при побудові кривих урожай по гною прийнято за 100, решту величин виражено в процентах).

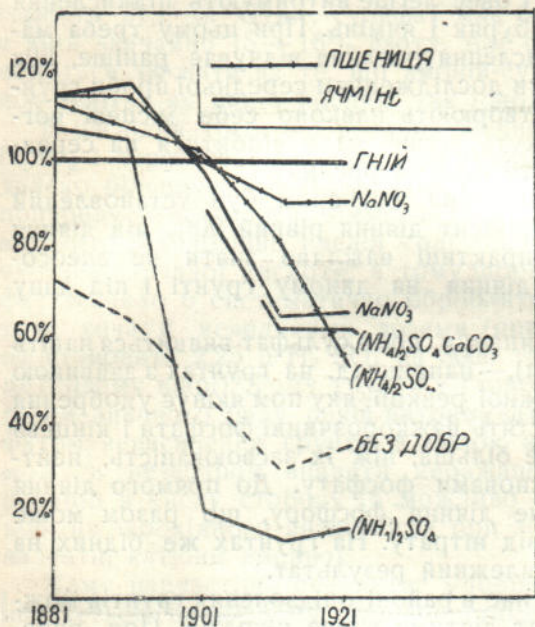


Рис. 11

кривих урожай по гною прийнято за 100, решту величин виражено в процентах).

Порівнюючи рух урожаїв по періодах, ми бачимо, що врожаї по селітрі і для озимої пшениці і для ячменю наближаються до якогось сталого для кожної рослини рівня, що, очевидно, визначається дозою азоту в селітрі, яка була нижча, ніж у гної (дорівнювала 50 кг на 1 га<sup>1</sup> проти 174 кг в гної).

<sup>1</sup> Те, що для озимої пшениці при тій самій обмеженій дозі азоту (150 кг) рівень урожаїв установився інший, ніж для ячменю, достатньою мірою пояснюється вже тим, що в англійському вологому кліматі залишки невикористаної ячменем селітри вимиваються протягом усієї осені і зими, озима ж пшениця, вловлюючи нітрати в період осіннього розвитку, тим самим зменшує і зимове вимивання їх.



Відмінно від цього врожаї ячменю по амоній-сульфату, не зважаючи на таку саму дозу азоту, як у селітрі, після першого десятиріччя виявляють певну схильність знижуватись; через 15 років діяння азоту у вигляді аміачної солі стає рівним нулю, а пізніше — негативним.

Пшениця значно довше, ніж ячмінь, витримує одностороннє удобрення сульфатом, а потім і для неї виявляється різке спадання кривої врожайності. В таких умовах коефіцієнт діяння  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , рівняючи з  $\text{NaNO}_3$ , зазнає в часі різкі зміни від позитивного значення в перші роки до нульового і негативного в подальших. Але введенням  $\text{CaCO}_3$  водночас з  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  вдається запобігти цим явищам і дуже зблизити криві врожайності по аміаку і нітратах.

Наведений випадок у Вобурні не є винятковим. Підкиснення ґрунту щорічним удобренням амоній-сульфатом протягом ряду років без внесення вапна спостерігається, як правило, на ґрунтах, що не мають великого запасу кальцію. Так, на дослідній станції Нью-Джерсей (Півн. Америка), щорічне внесення різних азотистих добрив протягом 20 років привело до таких результатів (середнє за останнє п'ятиріччя):

	$\text{NaNO}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{CaCN}_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$
Кукуруза . . . . .	21,8	7,6	25,7	28,0
Овес . . . . .	11,9	3,9	12,1	11,3
Пшениця . . . . .	14,4	1,0	18,8	17,3

Спочатку в цьому досліді був ще ячмінь, але тому, що його врожаї по амоній-сульфату зменшилися майже до нуля (не давав зерна), то десятини з ячменем були виключені з досліді. На дослідній станції в штаті Огайо було констатовано випадання клеверу і повне заміщення його бур'янами, якщо його попередників систематично удобрювалося амоній-сульфатом.

Інакше поведуться ґрунти, багаті на кальцій-карбонат. Вони здатні витримувати тривале удобрення амоній-сульфатом без вапнування, як це спостерігалось в Ротамстеді.

У нас, на підзолистих ґрунтах треба сподіватися несприятливого діяння повторного внесення  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (без вапнування), а в Середній Азії, очевидно, як і в Ротамстеді, його можна довго застосовувати без шкоди для врожаю. Чорноземні ґрунти мають зайняти проміжне місце. Недостатність багаторічних дослідів з мінеральними добривами не дозволяє навести дані, подібні одержаним у Вобурні та Нью-Джерсей, для наших ґрунтів підзолистої зони, на яких застосовувалося амоній-сульфат.

Для чорноземної смуги є дані Миронівської станції про вплив 14-річного удобрення амоній-сульфатом на реакцію ґрунту:

	pH(KCl)	Обмінна	Гідролітична кислотність
Без добрива . . . . .	6,0	0,15	69,6
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .	4,9	0,24	164,0

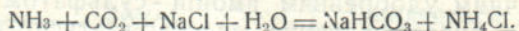


Але вплив на врожай за цей період ще не позначився.

У дослідях НІУ амоній-сульфат діяв гірше за селітру при культурі льону і ячменю в підзолистій зоні і при культурі цукрового буряка в зоні деградованих чорноземів (а також при рядковому внесенні взагалі). Але він дав добрі результати при культурі картоплі, конопель, капусти, вівса та озимого жита, віддаючи перевагу селітрі лише на кислих ґрунтах при кислому калі-фосфатному фоні. Цілком задовільним був амоній-сульфат при культурі бавовника на сіроземах Середньої Азії.

Але не треба забувати, що при повторному внесенні амоній сульфату його відносна оцінка може понижуватися, якщо водночас не вноситься  $\text{CaCO}_3$ , як показано вище.

Амоній-хлорид  $\text{NH}_4\text{Cl}$  утворюється як побічний продукт при виробництві соди за способом Сальвея згідно з рівнянням:



Вважаючи на те, що заводи синтетичного аміаку, якщо вони роблять на вугіллі, завжди мають великі кількості покидної вуглекислоти, зручно комбінувати виробництво соди з амонійними заводами, що при цьому позбавляються витрат на сірчану кислоту для зв'язування аміаку, від чого може здешевитися одиниця азоту  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , рівняючи з  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Звичайно  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , який випускається заводами, містить 24—25% N (замість 25—28 у хемічно чистій солі). Удобрювальним значенням обидві солі близькі; та сама фізіологічна кислотність характерна для амоній-хлориду, як і для амоній-сульфату, тому загалом правила застосування мають силу і тут, тобто ґрунт повинен бути багатий на основи, або водночас треба дбати про вапнування. Якщо ці умови додержано, то для хлібів і навіть цукрового буряка діяння хлориду близько до діяння сульфату, але не можна того сказати про картоплю. Для картоплі амоній-хлорид протипоказаний, бо, даючи підвищення врожаю сиріої маси, амоній-хлорид зменшує вміст у бульбах сухої речовини взагалі і крохмалю, зокрема. Так, наприклад, в одному досліді (Шнейдевінда в Німеччині) крохмалистість змінювалася залежно від джерела азоту (при дозі азоту 30 кг/га) так:

	$\text{NaNO}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NH}_4\text{Cl}$
Крохмалю в %/о . . . . .	17,9	17,7	16,3
Приріст урожаю сухої речовини (ц/га) . . . . .	10,0	9,2	7,9

У тих випадках, коли солі амонію взагалі мало придатні (на ґрунтах, ненасичених основами), діяння амоній-хлориду, може бути гіршим, ніж діяння амоній-сульфату, особливо на рослини, чутливі до кислій реакції, в наслідок того, що  $\text{HCl}$  швидше переходить у клітини, ніж  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і при однаковій кислотності внесеного розчинурослина раніше відчує шкоду від соляної кислоти, ніж від сірчаної. Щоб пом'якшити шкоду від фізіологічної кислотності, в Німеччині частково йде в продаж суміш  $\text{NH}_4\text{Cl}$  з 30%  $\text{CaCO}_3$ , яка містить 17% азоту.

Згідно з вищесказаним, у дослідях НІУ амоній-хлорид діяв далеко гірше інших форм (при культурі льону на підзолистих ґрунтах він давав 3,9 ц приросту проти 4,7 для інших форм). До картоплі це стосується не тільки на підзолів (48 ц проти 62 ц від амоній-сульфату) й чорноземів. Крім того,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  завжди зменшує процент крохмалю (на 0,7—1,5% проти амоній-сульфату). З городніх рослин несприятливі результати були одержані для цибулі і частково для капусти.

Навпаки, щодо цукрового буряка на чорноземних ґрунтах діяння амоній-хлориду було подібне до діяння сульфату (при суцільному внесенні з осені), так само і щодо конопель (але на підзолистих ґрунтах він був гіршим від сульфату і для конопель). При культурі бавовника для середніх доз азоту немає різниці між хлоридом і сульфатом, а при високих дозах помічається певна різниця на користь сульфату.



З усього попереднього ясно, що наявність у солях амонію 75% баласту у вигляді сірчаної кислоти (або 68% HCl) не потрібна ні з яких агрономічних міркувань. Це є лише своєрідний „примусовий“ асортимент, спричинений необхідністю для промисловості зв'язати аміак з кислотою, по змозі дешевою. Проте, цього „примусового асортименту“ можна уникнути, якщо замість все таки не дуже дешевої, але зовсім непотрібної кислоти, взяти хоч і дорожчу, але потрібну, наприклад, азотну кислоту, тобто виготовляти амоній-нітрат,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Ця сіль часто зветься аміачною селітрою (скорочено амселітрою), однак вона відрізняється від натрійної і кальцієвої селітри тим, що не тільки відзначається фізіологічною лужністю, типовою для названих добрив, ба має навіть певну фізіологічну кислотність хоча й значно меншу, ніж амоній-сульфат. При цьому завод звільнюється від підвозу сировини для виробництва сірчаної кислоти, азотну кислоту тут же одержується в наслідок оксидації частини аміаку, транспорт звільнюється від перевозу 75% баласту в продукті, а хліборобство звільнюється від тягара сульфату з його дуже виявленою фізіологічною кислотністю, з чим не на всіх ґрунтах легко боротися. Правда, з амоній-нітрату рослина спочатку також бере переважно основу, але потім вона все таки споживає і кислоту, отже, в результаті від такого добрива не може нагромадитися стільки кислих залишків у ґрунті, як від сульфату. Завдяки тому,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  містить 35% азоту (проти 15% в селітрі і 20% в сульфаті), його доводиться менше вносити; отже, не тільки залізничний транспорт, а й розвозка на поля і робота сіялок мають полегшитися з переходом до цього добрива, але тут доводиться вважати на іншу трудність. Ця сіль гідроскопічна, що утрудняє механізацію внесення, а при далекому транспорті і зберіганні спостерігається злежування, і тому постає питання про домішки, які поліпшували б її фізичні властивості. Цього можна досягти кількома способами, хоча бездоганого розв'язання покищо не знайдено. Так, при внесенні 40% кальцій-карбонату утворюється мало гідроскопічна суміш, зручна для машинного висіву<sup>1</sup>. В наших умовах така суміш була б зручна для застосування в зоні опідзолених ґрунтів, де важить вносити вапно (однак, можна поставити питання, чи не буде для підзолів доцільніше змішувати  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  з фосфоритною мукою); але для транспорту в Середню Азію, де ґрунт має досить вапна, було б недоцільно вводити 40% баласту. Для Середньої Азії мало б більше значення, якби відповідні властивості мала суміш  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  з преципітатом<sup>2</sup>, що з нею проводиться дослід в НІУ. Крім того, в Німеччині одна з фірм випускає гранульовану амселітру (тобто в дрібних зернах) з домішкою невеликої кількості тонкої глини, від чого одержують

<sup>1</sup> Однак, при підмочуванні така суміш втрачатиме аміак; безпечніша щодо цього домішка  $\text{CaSO}_4$ .

<sup>2</sup> Доцільність змішувати  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  з преципітатом підтвердилися тепер у Франції — цей напрям визнано там за найкращий з усіх форм використання синтетичного аміаку.



продукт з 30% N. У нас в інституті азоту провадять досліди над вкриванням зерняток амселітри легкою парафіною змазкою, але треба сказати, що припудрювати гранулі будьякою мінеральною речовиною було б доцільніше.

Тепер, поки буде знайдено кращий вихід, звичайно змішують амселітру з амоній-сульфатом, і така суміш двох солей амоній-нітрату і амоній-сульфату („нітросульфат“) відзначається меншою гігроскопічністю і може краще зберігатися в роздрібненому стані, але, звісно, відзначається далеко більшою фізіологічною кислотністю, ніж  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

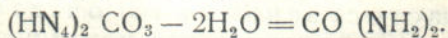
Через те, що цю суміш у Німеччині виготовляє завод Лейна, то й добриво це назвали ім'ям заводу, але якщо це добриво виготовляють у нас в Березниках, то нам нема чого говорити про добриво „марки Лейна“; якщо ж бажано замінити термін „нітросульфат“ якимсь спрощеним позначенням, то краще говорити „Березники, такий то“.

Тим більше неправильно це добриво називати селітрою, як зробив Німецький азотний синдикат для реклами, бажаючи протиставити чужоземній „чільській“ селітри свій продукт під привабною для покупців назвою; але, якщо в цьому продукті з 26% азоту 18—19% припадає на аміачний, і тільки 7% на селітряний азот, то на ділі це скорше „Лейненський аміак“, ніж „лейненська селітра“, при чому з значним вмістом сірчаної кислоти. Ця рекламна назва тільки спантеличує німецького селянина, що звик до чільської селітри, і що боїться зробити свій ґрунт кислим в результаті застосування аміачних солей. З цього й користуються торговельні фірми, щоб збувати аміачні солі під назвою селітри.

Таке розв'язання компромісне, це є поворот до того ж таки амоній-сульфату, від якого бажано позбутися, тому краще застосувати інші способи, про які мовилося попереду.

Крім зв'язування аміаку з азотною кислотою, його можна зв'язувати з вугільною і фосфорною кислотами.

Вважаючи на те, що вугільна кислота є з зайвиною, майже як покидь, на всіх азотних заводах, що роблять за способом Габера, то амоній-карбонат є найдешевшою сіллю, яку тільки може дати азотний завод. Але тому, що летучість цієї солі легко впринциється до втрати азоту, то в Німеччині було здійснено перехід від амоній-карбонату до карбаміду, тобто синтетичної сечовини. Для того застосовується нагрівання в замкненому просторі, в наслідок чого виділюється вода.



Кристалічний карбамід є чудовий концентрат. Він не гігроскопічний, містить утрое більше азоту, ніж селітра (46%), тому він зручний для транспорту. У ґрунті карбамід швидко розпадається на вуглекислоту і аміак, що вбирається ґрунтом і потім нітрифікується, але кінець-кінцем ніяких залишків — ні кислих, ні лужних — у ґрунті не залишається. Але те, що є плюсом для транспорту (високопроцентність) спричиняється іноді до труднощі рівномірного розподілу (а це важливіше в даному разі, ніж щодо нітратного азоту), тому карбамід іноді перед наповненням сіялки змішують, наприклад, з фосфатами (а якщо вносять тільки його, то хоч з піском), якщо треба залежно від будови сіялки надати звичайний об'єм вношуваному добриву для рівномірнішого розподілу його.



Про зв'язування аміаку з фосфорною кислотою мовитиметься далі (див. виробництво амофосу в розділі про складні добрива), тут на закінчення цього переліку можливостей зв'язувати аміак з іншими кислотами, крім сірчаної, вкажемо, що при деяких умовах можна ще так вирішити питання, — не зв'язувати аміак з жодною кислотою, а застосовувати його у вигляді розчину прямо на удобрення<sup>1</sup>. Це особливо зручно в городній культурі, де можна застосовувати слабкі розчини аміаку, поливаючи рослини (питання про застосування не таких слабких розчинів у ґрунт з допомогою відповідно пристосованих комбінованих сіялок перебуває в стадії розробки).

У дослідах НІУ амоній-нітрат частенько стояв на першому місці серед азотистих добрив (під бавовник, буряк при суцільному внесенні, з городніх культур — під капусту), в інших випадках він стояв на середньому місці (льон, картопля). Карбамід часто давав високі прирости, а іноді (особливо при підвищених дозах) помічалися відступи (очевидно, в зв'язку з недостатнім розподілом цього найбільш концентрованого з азотистих добрив).

## 6. ЦІАНАМІД (КАЛЬЦІЄВА ПОХІДНА, $\text{CaCN}_2$ )

Крім сполуки азоту з киснем, що було першим етапом розвитку синтетичної азотної промисловості (Норвегія), і сполуки з воднем, що тепер переважає (синтетичний аміак), є ще й третій спосіб зв'язувати повітряний азот, це — сполука азоту з вуглецем, з утворенням ціаністих сполук та їх похідних, при чому за вихідний матеріал править не сам вуглець, а сполука його з металами, так звані карбіди.

Як і в двох попередніх випадках, перед винаходом, що має велике практичне значення, протягом довгого часу опрацьовувалося питання: хоча й раніше було відомо, що при пропусканні азоту через суміш розжареного вугілля і лугів утворюються ціаністі сполуки, але тільки після того, як було винайдено і удосконалено динамо-машину, і після того, як французький хемік Муассан вивчив сполуки вуглецю з різними металами, стало можливим технічно видобувати карбіди, і досліди зв'язування азоту ними можна було поставити в більших розмірах. Вивчення цього питання — азотування карбідів — було особливо просу- нуте працями німецьких хеміків Франка і Каро, і з 1905 р. виникла промис- ловість ціаністих сполук, основана на використанні кальцій-карбіду; хоча най- простіше йде реакція приєднання азоту до барій-карбіду з утворенням барій- ціанату  $\text{BaC}_2 + \text{N}_2 = \text{Ba}(\text{CN})_2$ , однак, з ряду міркувань не варто застосовувати барій на сільськогосподарські потреби (сполуки барію отруйні), а тому звер- нули більше уваги на кальцій-карбід, хоча тут реакція і не така проста, як у попередньому випадку.

Кальцій-карбід у нагрітому стані здатний приєднувати азот, але при цьому утворюється не просто кальцій-ціанід, а тіло трохи складнішої структури, при чому частина вуглецю від- щеплюється в вільній формі, в наслідок чого одержаний таким способом ціанамід завжди має домішку вугілля:  $\text{CaC}_2 + \text{N}_2 = \text{CaCN}_2 + \text{C}$ . В сполуці  $\text{CaCN}_2$  кальцій не тривко зв'язаний, а зв'язок вуглецю з азотом тривкий. Через те, що на місце кальцію легко

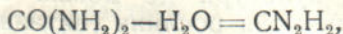
<sup>1</sup> При цьому мається на увазі транспорт рідкого (100%) аміаку в особливих цистернах і рзведення його водою на місцях.



стає водень, то цю сполуку кальцію треба уявляти як похідну вільного ціанаміду, будова якого така:



сумарно ж пишуть  $\text{H}_2\text{CN}_2$ . Ціанамід має зв'язок з карбамідом, з якого можна його одержати відняттям води:



і, навпаки, сприймаючи воду, ціанамід переходить у карбамід. Знаючи цей факт, можна зрозуміти перетворення ціанаміду в ґрунті; а саме, він, як і карбамід, здатний переходити у вуглекислий аміак.

Виробництво ціанаміду<sup>1</sup> складається з двох головних процесів а саме, одержання карбіду, поперше, і азотування його подруге. Карбід одержують нагріванням суміші вапна з вугіллям в електричній печі до  $1800^\circ$ . Коли проб'ють глиняну затичку, розтоплений карбід витікає з печі, виблискуючи, як струмина розтопленого металу, потім він застигає в тверду масу, яку роздрібнюють на млинах. Потім роздрібненим карбідом наповнюють циліндри, куди пропускають азот; щоб почалась реакція приєднання азоту, досить нагріти карбід в якомунебудь одному місці до  $700-800^\circ$ ; далі процес відбувається вже сам собою, з виділенням тепла.

Щоб одержати азот, на ціанамідних заводах звичайно користуються рідким повітрям (машина Лінде); відокремлюють азот від кисню, користуючись різницею в точках кипіння того і того.

Отже, таке виробництво потребує значної затрати енергії тільки в першому процесі — одержання карбіду, і не потребує підвищення тиску ні в цій стадії, ні в дальшій. Азотування йде легко при звичайному тискові. В результаті таке виробництво далеко простіше, ніж виробництво синтетичного аміаку, і не потребує дорогої апаратури, хоча витрата енергії при ньому більша, ніж при синтетичному аміакові. Але синтетичний аміак треба ще зв'язувати кислотою, тоді як ціанамід не потребує більше вже ніякої хемічної обробки. На європейських ринках ціанамід продається дешевше (за одиницю азоту), ніж усі інші види азотистих добрив.

При нагріванні з водяною парою ціанамід легко дає аміак, розпадаючись за рівнянням:



а від аміаку можливий перехід і до азотної кислоти; отже, цей процес зв'язування повітряного азоту можна використати в різних напрямках (що й робилося в Німеччині під час війни). Але ще раніше Франк висловив думку, що для

<sup>1</sup> Далі ми вживатимемо короткий термін ціанамід, замість складнішого: кальцева похідна ціанаміду. Коли ж мовитиметься не про  $\text{CaCN}_2$ , а про  $\text{CN}_2\text{H}_2$ , то, щоб підкреслити відсутність кальцію, ми називатимемо цю сполуку „вільним ціанамідом“.



сільськогосподарських потреб можливо й непотрібні будуть ніякі додаткові коперації, бо розпад з утворенням аміаку повинен поступіно відбуватися в ґрунті без всякого нагрівання, а перехід від аміаку до азотної кислоти в ґрунті забезпечений діяльністю нітрифікаторів. Все це повною підтвердилося, і навіть виявилось, що в ґрунті аміак утворюється далеко швидше, ніж це раніше можна було думати; однак, сам ціанамід є отруйна речовина, а тому треба поводитися з ним обережно, і, вносячи його, не можна робити з ним так, як з селітрою.

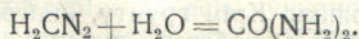
Вміст азоту в технічному ціанаміді не відповідає формулі  $\text{CaCN}_2$  (тобто 35% N), поперше, тому, що, як сказано попереду, відщеплюється один атом вуглецю з карбіду (що вже зменшує вміст азоту на 30%, а крім того, технічний карбід завжди має домішки  $\text{CaO}$ , непрореаговані залишки вугілля, почасті сірчані сполуки, бо вугілля звичайно містить сірку. Тому ціанамід, що йде в продаж, вугіллям забарвлений у чорний колір і містить звичайно 20—22% азоту. Через те, що роздрібнений ціанамід являє собою порошок, який дуже пилить не тільки при розсіюванні руками, а й при засипанні сіялок тощо, і вдихування його шкідливо впливає на здоров'я працюючих, то почали вживати таких заходів, щоб усунути властивість: або 1) в ціанамід вводять невелику кількість (3%) важких нафтових олій або ж 2) випускають „гранульований“ ціанамід у вигляді дрібних зерниток, що не так легко виносяться повітряною течією, як дрібний пил. Але в усіх цих випадках ціанамід треба висівати сіялками, а не руками, і вживати запобіжних заходів при наповненні сіялок (рукавички, окуляри тощо).

Останнього часу в Німеччині з'явився „білий ціанамід“ іншого походження, а саме: якщо аміаком діяти на крейду при певних умовах тиску і температури, то постає реакція, протилежна наведеній попереду, а саме:



такий продукт не має домішок вугілля і тому більш високопроцентний. Такий спосіб запропоновано для того, щоб перейти від вільного аміаку до форми, придатної для транспорту та застосування на удобрення без затрати сірчаної (або іншої) кислоти.

При внесенні ціанаміду в ґрунт кальцій зв'язується вбираючим комплексом ґрунту (в нормальних ґрунтах), і вільний ціанамід швидко переходить в карбамід:



Такий процес відбувається при слабокислій реакції, незалежно від мікроорганізмів, під дією ряду каталізаторів, що містяться в ґрунті (цеолітна частина вбираючого комплексу, гідрат оксиду заліза, полевошпатові мінерали тощо); від швидкості його перебігу залежить успіх застосування ціанаміду, бо сам собою він дуже отруйний і не повинен дотикатися з насінням. Дальший же розпад карбаміду до вуглекислоти і аміаку за схемою:



іде так само легко під дією бактерії, і тільки поступіно відбувається дальший перехід аміачного азоту і нітратний.



На ґрунтах же, де немає (або дуже мало) названих попереду каталізаторів і де бактеріальна діяльність мало розвинена, ціанамід може довго залишатися не зовсім розкладеним і тим шкодити сходам,—такими є бідні піски і торф'яні ґрунти, щодо них слід уникати застосування ціанаміду.

На ґрунтах, багатих на вбираючий комплекс (і взагалі на каталізатори процесу утворювання карбаміду), вже за 12 годин тісного змішання ціанаміду з ґрунтом шкода від нього дуже пом'якшується; через 36 годин шкода від нього стає невеликою, а через 60 годин її навіть не можна більше виявити. Через п'ять день кількість аміаку, що утворилася коштом ціанаміду вирівнюється з кількістю аміаку на ділянці, що одержала безпосередньо аміачну сіль. Отже, вміле внесення ціанаміду на діяльних ґрунтах рівнозначне внесенню аміачної солі без її негативної якості (внесення сірчаної або соляної кислоти), але з додатком позитивного супутника—кальцію, цього корисного антагоніста амонію.

Крім властивостей ґрунту, перешкодою до швидкого переходу в карбамід може бути нерівномірний розподіл ціанаміду (місцеві зайвини його) або внесення надто великих доз. Річ у тім, що нормально кальцій, який відщеплюється від ціанаміду, зв'язується вбираючим комплексом ґрунту, і реакція розчину не змінюється помітно, залишаючись слабокислою; при зайвині ж ціанаміду (однаково, місцевій чи загальній) ґрунтовий розчин підлогується, а при лужній реакції замість розпаду ціанаміду через карбамід до аміаку і вуглекислоти настає інший процес (саме: полімеризація з утворенням діціан-діаміду  $2\text{H}_2\text{CN}_2 = \text{H}_4\text{C}_2\text{N}_4$ ). При цьому ціанамід зменшується повільніше, а новоутворений продукт є стійкішим і хоча він не такий отруйний, як незмінний ціанамід, усе ж таки він зменшує нітрифікацію і несприятливо діє на рослини; в усякому разі утворення його небажане.

З усього викладеного попереду впливає правило: вносити ціанамід не перед самим посівом, а, скажімо, за тиждень до нього, добре розподіляючи і перемішуючи з ґрунтом.

Для ґрунтів діяльних, з великою ємністю вбирання, з великим бактеріальним населенням, як чорнозем, такий строк може бути і непотрібним, але на інших ґрунтах краще його дотримувати (на легких ґрунтах—подовжувати). Ціанамід зручно вносити під час осінньої оранки. Крім ґрунту, відіграє роль ще природа рослини: так, хрестоцвіті набагато чутливіші до ціанаміду, ніж злаки.

На цій підставі в Німеччині застосовують ціанамід у боротьбі з бур'янами (в дрібному порошок, а не в зернах і без домішки мінеральної олії). Так роблять, наприклад, тоді, коли між сходами вівса, вже досить зміцнілими, з'являється суріпиця. Тоді поверхнєве внесення ціанаміду (кількістю 1,2—1,5 ц/га) вбиває суріпицю (а також деякі бур'яни з кошикоцвітних); вівсу ж воно не шкодить, бо в листків вівса поверхнєві клітини захищені далеко товстішою кутикулою, ніж у суріпиці (можливо, що тут відіграє роль, крім механічної і хемічна причина: краще постачання вуглеводів сходам вівса, ніж гірчиці). Крім того, в Німеччині проведено вдалі досліди над лікуванням хлібів, пошкоджених іржею, для чого посипали їх 60—80 кг/га порошком ціанаміду. При цьому посипати треба ранком, коли рослини вкриті росюю. При правильному доборі строку протягом кількох тижнів менше розвивається іржа. Далі, посипання ціанамідом добре знищує слизовиків (доза 1—1,5 ц), дротяників (2—3 ц), а при завчасному внесенні великих



доз (4—5 ц), при дуже доброму розподілі можна водночас з удобренням під озимину зменшувати й розвиток бур'янів (виключається, звісно, ґрунти, раніше названі, як взагалі непридатні для застосування ціанаміду; не можна висівати культурні рослини, особливо чутливі до ціанаміду, наприклад, озимий рапс; озиме жито і пшениця менш чутливі до ціанаміду).

Із загального збуту ціанаміду в Німеччині в 402 тис. т на боротьбу з бур'янами іде 25 тис. т.

Але тому, що під злаки часто підсівається клевер, то доводиться цікавитися тим, наскільки цю рослину можна висівати в ті самі строки, як покрівну рослину (наприклад, овес).

З багатьох дослідів, які цього стосуються, наведемо дослід, проведений у посудинах, отже, при старанному змішанні добрива з ґрунтом (суглинок).

#### Схожість насіння клеверу

Посів після внесення добрива через . . . . .	0	7	14	21 день
При дозі 0,05 ч азоту на 100 ч ґрунту . . . .	26	91	92	92%
При дозі 0,025 ч N . . .	93%	—	—	95%

Цей дослід стосується надзвичайно високих доз азоту, що в 10—20 разів перевищують кількість, застосоввану на практиці (це робилося, щоб урахувати можливість підвищення концентрації від нерівномірного розподілу добрива, в господарствах), проте через тиждень не було шкоди від найбільшої дози (20-кратної), а при 10-кратній дозі на даному ґрунті (очевидно, дуже активному), навіть висів у день внесення не був шкідливим.

Але якщо взяти ґрунти, не такі багаті на мінеральні каталізатори, що сприяються до швидкого зникнення ціанаміду (перехід у карбамід), то результат може бути інший, особливо, якщо культурна рослина відзначається чутливістю до ціанаміду. Так, в тій самій серії дослідів з гірчицею на ґрунтах, мало придатних для удобрення ціанамідом, був такий результат (при дозі 0,25 г на 100 ч ґрунту):

Посів через . . . . .	0	7	14	21 день	
схожість {	пісковий ґрунт . . . . .	35	88	95	95%
	торф'яний ґрунт . . . . .	0	0	46	46%

З ціанамідом проведено дуже багато дослідів, щоб визначити, як він діє, і дати коефіцієнт для порівняння з селітрою. Так, у Німеччині Вагнер на підставі всієї сукупності польових і вегетаційних дослідів дійшов висновку, що, коли приріст урожаю від селітри взяти за 100, то приріст від рівної кількості азоту в ціанаміді в середньому дорівнюватиме 90. Коли ж діяння азоту в  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  взяти за 100, то для ціанаміду одержимо 95. Проте ці дані стосуються не всіх ґрунтів і помірних доз добрива; при високих же дозах ціанамід даватиме інші коефіцієнти. Так, наприклад, в одному з дослідів (у посудинах) спостерігалось таку послідовність:

Дано азоту на посудину (відносно селітри) (в грамах) . . . . .	0,2	0,4	1,5
Коефіцієнт для ціанаміду (відносно селітри) (в процентах) . . . . .	97	86	69



Відповідно цьому в нас при дослідах у Середній Азії з помірними дозами азоту (60 кг/га) ціанамід давав однакові результати з іншими азотистими добривами (на ґрунтах, багатих на кальцій, як сіроземи, діяння селітри і аміачних солей також зближується). А при збільшенні дози до 90 кг спостерігалось трохи менше діяння ціанаміду, ніж інших добрив, коли ж ще більше підвищувати дози (до 120—150 кг), то різниця буде ще більшою.

Але якщо не говорити про надмірні дози азоту і виключити невідповідні ґрунти, то можна сподіватися одержати від ціанаміду 80—100% того ефекту, що дає рівна кількість азоту в селітрі. У Західній Європі, не зважаючи на те, що ціанамід діє гірше селітри і навіть аміаку, він має збут, бо це найдешевше з азотистих добрив<sup>1</sup>.

Поряд деяких негативних властивостей ціанамід має і позитивні, принаймні, на підзолистих ґрунтах. Внаслідок того, що в ґрунті ціанамід дає кінець-кінцем  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , то після використання азоту рослинами залишаються зайвини кальцію, тому, відмінно від амоній-сульфату, ґрунт не збіднюється, а збагачується на увібраний кальцій.

На одній з північно-американських дослідних станцій (Нью-Джерсей) спостерігалось за 20 років такі зміни в складі увібраних катіонів, у процентах від ємності вбирання (для суглинку):

	Без добрива	Суперфосфат та KCl	Селітра	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Ціанамід
Увібраний кальцій . . . . .	45,5	46,0	51,1	8,7	59,9
Ненасиченість . . . . .	41,5	46,9	39,9	79,4	38,3
pH . . . . .	5,0	5,0	5,5	3,9	5,6

З цифр двох останніх колонок бачимо ясно, наскільки ціанамід сприятливо діє на ґрунт, як порівняти з амоній-сульфатом: застосування ціанаміду звільняє від великих витрат на вапнування, неминучих на підзолистих ґрунтах при систематичному застосуванні амоній-сульфату.

Щодо врожаїв, то в цьому досліді вони для ціанаміду в період між 15-м і 20-м роками ведіння досліді були не тільки значно вищі, ніж по  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , ба навіть трохи вищі, ніж по  $\text{NaNO}_3$  (врожаї ці наведено попереду, див. стор. 115).

Тому, коли встановлюють коефіцієнти порівняльного діяння ціанаміду, проти амоній-сульфату і селітри, треба не забувати, що коефіцієнт через 10—20 років може виявитися зовсім іншим, ніж за 1—2 роки.

Крім сказаного про діяння ціанаміду на ґрунт і рослини, треба сказати ще про особливості, виявлювані ним при збері-

<sup>1</sup> В 1927 р. Азотний синдикат у Німеччині (I. G.) встановив такі ціни на 1 кг азоту: ціанамід 0,80, амоній-сульфат — 0,87, кальцева селітра — 1,13 марки (ціна на чилійську селітру була тоді 1,40 марки). В Німеччині на ціанамід припадає 15% від продукції синтетичної азотної промисловості.



ганні. При зберіганні у вогкому приміщенні він здатний притягати воду та вуглекислоту з повітря<sup>1</sup>.

Через те, що при цьому збільшується вага ціанаміду, то процентний вміст азоту зменшується („уявні“ втрати азоту), а від того, що разом з тим збільшується і його об'єм, мішки, в яких зберігається ціанамід, рвуться.

Якщо у вогкому приміщенні зберігаються невеликі кількості ціанаміду і поверхня дотикання з повітрям велика, то можуть поставати не тільки уявні, а й дійсні втрати азоту через перехід карбаміду при дальшому вбиранні води у вуглекислий аміак; крім того, може знецінитися і той азот, що залишився в наслідок утворення діціан-діаміду. Тим більше зв'язане з втратами азоту підмочування мішків з ціанамідом. Але якщо ціанамід зберігати в сухому приміщенні, в міцних мішках, то не доводиться побоюватися втрат азоту, але всеж таки краще застосовувати увесь одержаний ціанамід протягом одного сезону, не залишаючи його на майбутній рік.

У дослідях НІУ ціанамід дав добрі результати при удобренні ним бавовника в Середній Азії (4 ц приросту проти 4, в середньому, для інших форм) і в Закавказзі (2,9 проти 3,1), так само добрі під буряк, на звичайних чорноземах (49 проти 43), але гірші — на сірих лісових землях (40 проти 46) і особливо деградованих чорноземах (39 проти 54). Під овес — дуже добрі результати дав він на фоні суперфосфату на підзолах (8,9 проти 8,9), на деградованих чорноземах (4,7 проти 4,0), дуже добрі під картоплю на підзолах (51 проти 52) і сірих лісових землях (51 проти 55), але гірші під льон (3,3 проти 4,7) і особливо під капусту й помідори (див. табл. на стор. 126).

Якщо вивести загальне середнє з процентних приростів для різних рослин і на різних ґрунтах (за дослідями НІУ), то порівняльну оцінку ціанаміду та інших азотистих добрив виражають такі цифри:

Прирости (в процентах)

NaNO <sub>3</sub> . . . . .	39,8	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> . . . . .	38,0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	40,2	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	38,3
CaCN <sub>2</sub> . . . . .	30,5	NH <sub>4</sub> Cl . . . . .	32,0

Однак, через те, що ціанамід для дослідів надсилалося дрібними порціями, могли бути втрати азоту у випадку відволоження і підмочування в дорозі.

Тому бажано продовжити досліди і або надсилати ціанамід великими кількостями, або вживати особливих запобіжних заходів проти відволоження його в дорозі, якщо він надісланий малими кількостями.

<sup>1</sup> CaCN<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> = CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>CN<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CN<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O = CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.



Зведена таблиця за дослідями НІУ з азотистими добривами (процентні прирости для всіх рослин)

Грунтові зони	Число дослідів	Прирости в процентах (проти РК)					
		Чилійська селітра	Норвезька селітра	Кальційціанамід	Амонійнітрат	Амонійсульфат	Амонійхлорид
Підзол . . . . .	110	42,4	40	31	22	45,3	37
Сірі лісові землі . . . . .	36	66	59	37	72	61	26
Деград. і вимиті чорноземи	129	59	55	35	57	23	24
Багаті чорноземи . . . . .	23	16	15	—	—	18	13
Звичайні чорноземи . . . . .	13	—	—	18	—	—	—
Середня Азія . . . . .	30	—	—	21	23	22	—
Закавказзя . . . . .	15	—	—	16	17	16	—
Разом . . . . .	—	30,8	40,2	30,5 <sup>1</sup>	38,0	38,3	32,0
Якщо діяння $\text{NaNO}_3$ взяти за 100 . . . . .	—	—	101,1	76,6 <sup>2</sup>	95,4	9,62	80,8

## 7. СВІТОВА АЗОТНА ПРОМИСЛОВІСТЬ І ШЛЯХИ МОЖЛИВОГО РОЗВИТКУ АЗОТНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ У НАС

Синтетична азотна промисловість, що зародилася на початку ХХ ст. ішла вперед в удосконаленні техніки зв'язування азоту надзвичайно швидкими кроками, тому заводи синтетичної селітри, що 25 років тому були гордістю Норвегії, тепер змушені були загасити полум'я вольтової дуги в печах Біркеланда і замінити ці печі колонами для синтезу аміаку за принципом Габера. Ціанамідний спосіб, який виник ще до війни, був значним прогресом (рівняючи з норвезькою селітрою), бо ним було досягнуто зниження затрати енергії спочатку в 4, а потім у 6 разів проти норвезької селітри. Потім він зустрів потужного конкурента — спосіб Габера, при якому спочатку витрачалося також у 5–6 разів менше енергії, ніж при норвезькому способі, але після удосконалень, зроблених французькими та італійськими дослідниками, тепер уже кажуть про витрату енергії на 1 кг зв'язаного азоту тільки в 4 квтг (і навіть менше), тобто разів у 15 менше, ніж при норвезькому способі. Тому синтетичний аміак є переможцем у цій боротьбі скрізь, де є достатньо вугілля. Ціанамід удержується тільки в умовах особливо для нього сприятливих, а селітру, таку цінну для сільського господарства, вигідніше тепер добувати окисацією аміаку, ніж прямою окисацією азоту киснем (оскільки чилійська селітра не скрізь доступна).

Ця боротьба напрямків в азотній промисловості відбилася на продукції по окремих галузях так (в тисячах тонн азоту):

<sup>1</sup> Див. зроблені попереду застереження щодо умовності цих цифр. Для карбаміду не можна дати порівнюваних середніх, бо його вводили в досліді не з усіма рослинами, а реакція різних груп на азотисті добрива неоднакова розмірами.



Види добрива	1907 р.	1913 р.	1925 р.	1930 р.
Норвезька селітра . . . .	0,2	15,0	33,9	16,8
Ціанамід . . . . .	0,3	38,2	167,4	254,1
Синтетичний $\text{NH}_3$ . . . .	—	7,0	422,5	454,0
$\text{NH}_3$ коксових печей . . .	187,1	284,1	360,2	425,0
Чілійська селітра . . . .	286,1	429,7	391,2	510,0
Усі види азотистих добрив.	482	784	1397	266,0

Якщо 1907 р, Чілі давало 61% всього азоту, то на 1930 р. відносне значення чілійського експорту зменшилося до 20%

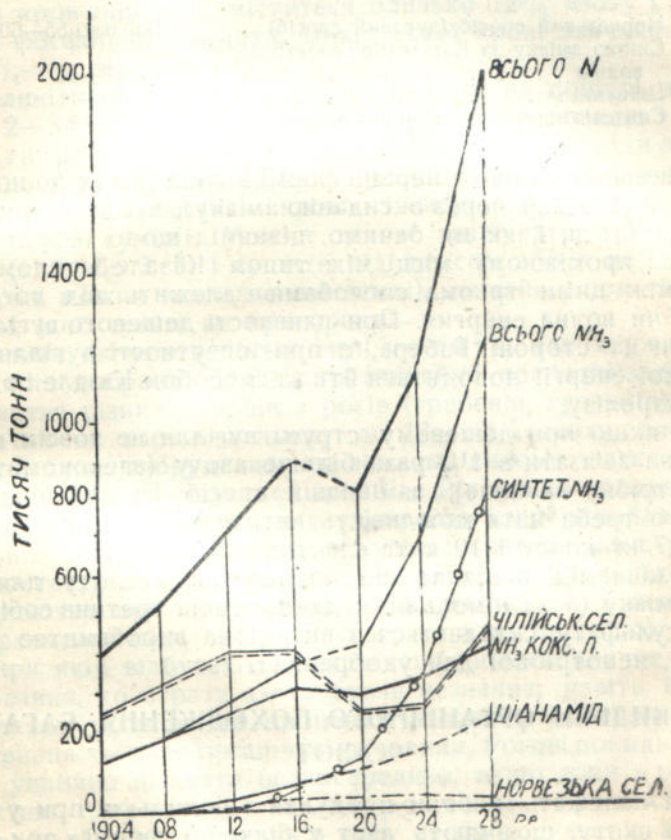


Рис. 12. Зростання світового виробництва азоту (в тис. тонн азоту)

не зважаючи на те, що залишилася та сама абсолютна величина, і ціни на азот на світовому ринку диктуються тепер не чілійським урядом, як було до війни, а синтетичною азотною промисловістю (рис. 12).

При створенні азотної промисловості у нас, в основу, природно кладеться для районів, багатих на вугілля, спосіб Габера,



як такий, що потребує менше енергії, ніж усі інші способи (об'єднуючи під цим ім'ям і всі дальші варіанти, запропоновані Клодом, Казале, Фаузером і Nitrogen Company). Однак цей мотив залишається вірним, поки водень для синтезу аміаку одержують з водяного газу (з допомогою вугілля) або з відхідних газів коксових печей. Там, де водень доводиться здобувати електролізом води, загальна витрата енергії зростає разів у чотири, і тоді виробництво синтетичного аміаку потребує більших затрат енергії, ніж виробництво ціанаміду.

Для порівняння, наведемо дані про кількість енергії, витраченої на зв'язання 1 кг азоту при різних методах (у перерахунок квтг):

Норвезький спосіб (дуговий спосіб) . . .	Близько 55—60
Синтез аміаку за Казале (при електролітич. водню . . . . .)	17—18
Ціанамід . . . . .	10—11
Синтез аміаку за Габером, Клодом та ін.	3—4

Норвезький спосіб у першій формі відпав (шлях до норвезької селітри йде тепер через окисацію аміаку), всі інші три способи застосовується, і, як ми бачимо, ціанамід щодо витрати енергії стоїть на проміжному місці між типом Казале і типом Габера. Вибір між цими трьома способами залежить від того, що є вугілля чи водна енергія. При наявності дешевого вугілля — всі переваги на стороні Габера, а при відсутності вугілля і дешевої водної енергії доводиться йти за способом Казале і вдаватися до електролізу.

Але, якщо при дешевому струмі вугілля не зовсім відсутнє, то можна зв'язати в  $1\frac{1}{2}$  рази більше азоту (заекономити енергію, потрібну на інше), замінивши спосіб Казале ціанамідним. Для того треба мати можливість витрачати на зв'язування 1 кг азоту 1,7 кг коксу і 10 квтг електричної енергії<sup>1</sup>.

При ціанаміді відпадає ще потреба на кислоту для зв'язування аміаку (а за німецькими даними ціла третина собівартості амоній-сульфату складається з витрат на виробництво сірчаної кислоти, непотрібної для удобрення<sup>2</sup>).

## 8. ПОКИДЬКИ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ, БАГАТІ НА АЗОТ

Сюди належать побічні продукти і покидьки при утилізації м'ясного скоту, що мають азот у білковій формі, при чому ці білки можуть бути або такими, що легко розкладаються, як білки крові, або ж, навпаки, такими, що дуже повільно розкладаються, як білкові речовини шерстяних покидьків. Через

<sup>1</sup> За деякими авторами навіть у сумі еквівалент затрати енергії дорівнює 10 квтг.

<sup>2</sup> Крім того, виробництво ціанаміду не потребує тої дорогої апаратури, недостатність якої становить головну перешкоду для розвитку азотної промисловості, якщо йти тільки шляхом синтезу аміаку.



велику різнорідність цієї групи треба окремо розглянути головні типи цих покидьків.

Кров'яну муку одержують при утилізації крові, якої дуже багато на бойнях по великих містах (так, 1913 р. на московських бойнях одержали близько  $7\frac{1}{2}$  тис. т крові, в Парижі — 10 тис.).

У тих місцях, де є альбумінні заводи, висушуючи кров, виділяють з кров'яної сироватки альбумін, а загусток<sup>1</sup> іде на виготовлення кров'яної муки. Коли ж не йдеться про одержання альбуміну, то всю кров нагрівають водяною парою, при чому білки зсідаються, осідають. Рідині (бідній на азот) дають стекти, решту маси сушать, перемелюють и випускають на продаж під назвою кров'яної муки. Залежно від чистоти продукту, в кров'яній муці міститься близько 12% азоту і близько 0,5—1% фосфорної кислоти. Вихід сухої крові звичайно близький до  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  від ваги сирові.

Невеликі кількості крові можна сушити на повітрі, додаючи по вазі 2—3% СаО, щоб утворити лужне середовище і тим запобігти гниттю маси. Замість вапна можна застосувати золу (але більшу дозу), при чому ту саму кількість золи можна після висушення ще раз змочити кров'ю і висушити, щоб підвищити вміст азоту в суміші. Можна також змішувати кров з сухою землею (1:6 або 1:8) і сушити під навісом або в печі (в останньому разі можна взяти менше землі), звичайно, при такій температурі, щоб суміш не пригорала.

Речовини, які утворюють роги, копита, також уживаються як азотисте добриво. Для цього звичайно придатні залишки від виробництва різних виробів з рогів (гребенів, гудзиків). Чистий ріг багатий на азот, — в ньому до 17—18% азоту, але рогові покидьки дуже забруднюються землею, пилом, кістками, через що вміст азоту зменшується до 12%. Ріг важко піддається змінню й розкладові, тому для удобрення іноді обробляють його парою під тиском, при чому виходить склувата маса, що легко розмелюється, вона дуже розкладна; абож ріг підігрівають (піджарюють), при чому він набрякає, рихлиться і в такому стані легко розмелюється. Якщо ріг нагрівати не вище тої температури, при якій відбуваються зазначені процеси, але ще не настає звуглювання, то втрата азоту буває незначна; навіть буває помітне деяке підвищення проценту азотного вмісту, в наслідок зруйнування частини органічної речовини. Рогові покидьки можна проте, успішно вживати безпосередньо, якщо вони в роздрібненому стані, наприклад, у вигляді рогової стружки, що залишається від виготовлення з рогу гребнів, гудзиків тощо.

<sup>1</sup> Іноді для удобрення вживають не тільки кров, а й м'ясо, наприклад, одержане від тварин, хворих чи з інших причин, непридатних для їжі. Звичайно таке м'ясо виварюють (знешкоджують), сушать і розмелюють. У деяких місцевостях (Південна Америка, Австралія), де скот дешевий, можна було великими розмірами виготовляти м'ясну муку, почасти безпосередньо, почасти, як побічний продукт при виготовленні лібіховського бульйону. М'ясну муку, яку ввозять в Європу, нормально використовують як концентрований корм, але, якщо вона зіпсована, то вона, йде на удобрення (іноді суміш таких м'ясних покидьків, кісток, сухожиль позначається терміном гуано спеціальної марки).



Роздрібнені обрізки шкіри під назвою шкіряної муки так само йдуть у продаж, як добриво. Але ці матеріали важко розкладаються, особливо дублена шкіра. Крім того в них не дуже багато азоту (7—8%). Так само шерстяні покидьки повільно розкладаються в необробленому стані. При нагріванні з лугами або при діянні пари при 5 або 6 атмосферах тиску з цих матеріалів утворюється досить розчинна маса, що багато легше розкладається в ґрунті.

Через те, що кров, м'ясо, роги, шкіра містять азот у вигляді тих чи тих модифікацій білка, вміст азоту в них не може бути більший, ніж у білка (звичайно 16%, рідше 17—18), а може бути тільки нижчий, залежно від кількості домішок, що забруднюють продукт. Однак, це білок різної стійкості, далеко меншої у крові та м'ясі, ніж у розі, а особливо шерсті та шкірі.

Через те, що роги, копита, шерсть, пир'я важко перегнивають, для застосування на удобрення їх іноді піддають також хемічній переробці.

Було запропоновано для утилізації туш здохлих тварин на удобрення при одночасній дезинфекції робити так: туші кладуть у дерев'яні освинцьовані ящики і обливають достатньою кількістю міцної сірчаної кислоти. Приблизно за добу туша розчинюється (тільки роги і копита протистоять діянню сірчаної кислоти), і тоді кладуть нову. Кислота може переробити масу, рівну  $\frac{3}{4}$  своєї ваги. В наслідок того, що кислота розріднюється, вона в дальшому діє вже неенергійно; після обробки туш кислота містить близько  $1\frac{1}{2}\%$  азоту. Відпрацьовану кислоту пропонують вживати на виготовлення суперфосфату. Для того ж пропонувалося обробляти туші лугами, при чому діють на них на холоді вапном або піддають сухій перегонці з  $\text{Ca(OH)}_2$  та невеликими кількостями  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , щоб одержати аміак (Франція).

Такі одержувані в господарстві покидьки найчастіше компостують, при чому при переробці рогових і шерстяних покидьків рекомендують змішувати їх з лужними речовинами (вапно, зола). Іноді застосовують спосіб, подібний до того, що його було в нас запропоновано Енгельгардтом для розкладу костей. Цей спосіб є в тому, що на кожні 10 частин органічної речовини беруть 2 частини  $\text{CaO}$  та  $1\frac{1}{2}$  частини поташу; суміш у діжці обливають достатньою кількістю води і перемішують.  $\text{KOH}$ , що при цьому утворюється, розм'якшує і почасти розчинює азотисті речовини.

Після розкладу матеріалу, одержану драглисту масу змішують з торфом або перегноем, щоб уникнути втрат аміаку.

В усіх згаданих матеріалах органічного походження азот міститься в формі не безпосередньо засвоюваної, через що їх і треба попереду розкласти. Чим швидше відбувається цей процес розкладу, тим ефект удобрення вищий.

При удобренні ґрунту різними вищезгаданими азотистими матеріалами одержано такі цифри, що характеризують легкість переходу азоту різних органічних сполук у засвоювану форму (див. табл. далі).

Легкості переходу азоту органічної речовини різних речовин у форму  $\text{NH}_3$  і  $\text{HNO}_3$  цілком паралельне їх діянню на рослини вивчене як польовими дослідями, так і в штучних умовах.



	I Кількість HNO <sub>3</sub>	II Кількість аміаку (в ін- шому грун- ті) <sup>1</sup>
Без добрива . . . . .	5 мг	3—5 мг
Кількість нітратів через 4 місяці після удобрення шкіряною мукою.	5 "	5,6 "
Те саме сушеною кров'ю . . . . .	75 "	29,2 "
" " пудретом . . . . .	19 "	15,0 "
" " піджареним рогом . . . . .	84 "	27,0 "

Вагнер на підставі великого числа польових дослідів дає такі величини для використання азоту різних добрив (в розумінні надходження його в рослину, в процентах від засвоєного селітряного азоту):

Види добрив	За засвоєнням азоту		Те саме за врожайністю	
	1 рік	В серед- ньому за 3 роки	Вагнер	Зігмонд
Селітра (NaNO <sub>3</sub> ) . . . . .	100	100	100	100
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	85	88	90	90
Кров'яна мука . . . . .	67	69	83	67
Рицинова макуха . . . . .	62	67	83	—
Зелене добриво . . . . .	62	68	83	69
Рогова мука . . . . .	63	63	83	—
Шерстяна мука . . . . .	27	33	25	—
Шкіряна мука . . . . .	13	20	15	—

Отже, шерстяна мука коефіцієнтом засвоюваності азоту наближається вже до гною, для якого Вагнер визначає 25% засвоюваності азоту в перший рік, а шкіряна мука стоїть ще нижче.

Але ці коефіцієнти неоднакові при різних умовах і на різних ґрунтах. Наприклад, коров'яна мука може при деяких умовах — при великій кількості опадів і при пухкому ґрунті — мати коефіцієнт використання навіть більший за 100, рівняючи з селітрою. Такі випадки дійсно спостерігалося в Японії. В таких умовах селітра швидко вимивається, кров'яна ж мука поступинно розкладається і поступинно таки звільнює азот у засвоюваній формі, що в наслідок цього не нагромаджується значними кількостями і майже не вимивається, швидко використовується рослинами.

Макуха містить від 5 до 7% азоту і як добриво дещо подібна до тваринних покидьків; звичайно вона йде на корм, але якщо вона зіпсована або походить від насіння, в якому були шкідливі речовини (рицина), то її застосовують на удобрення. Зокрема рицинова макуха своєю дешевшою ціною, в наслідок непридатності на корм і здатності легко розкладатися

<sup>1</sup> Ґрунт без нітрифікаторів.



з цього погляду цікавіша. В одному досліді було одержано так прирости від азоту макухи проти інших матеріалів (приріст від селітри прирівняно до 100):

Рицинова макуха . . . . .	74,85
Льняна макуха . . . . .	79,6
Бавовникова макуха . . . . .	75,5
Коров'яна мука . . . . .	77,1
Шкіряна мука (парена) . . . . .	6,3
Шкіряна мука (необроблена) . . . . .	0

У наших дослідях (в посудинах) рицинова макуха давала дуже добрі результати: так, 1907 р. дослід з вівсом дали:

	Без азоту	Селітра	Рицинова макуха	Махорковий пил
Підзол з фермерського вигону	3,3	17,3	14,4	15,4
Суглинок з XII поля . . . . .	15,7	32,0	23,1	28,5

У нас в середній Азії на добриво часто йде бавовникова макуха, яка являє собою найцінніший корм для молочного скоту. Ця ненормальність пояснюється загальною недостатністю азоту, що досі спостерігається в бавовниковому господарстві. Крім того, в сухому кліматі, на ґрунтах, часто багатих на солі можуть бути висунені доводи за те, ще частину азоту давати не з солями, а в органічній речовині і цим уникнути зайвого підвищення концентрації ґрунтового розчину. Але таке цілком законне бажання треба задовольняти іншими способами (люцерновий фон, зелене добриво, гній, а бавовникова макуха повинна йти на своє пряме призначення.

Користуючись наведеними попереду коефіцієнтами використання азоту різних удобрювальних речовин, що для звичайних умов все таки є середніми, можна кількість їх для удобрення розраховувати приблизно, виходячи з норм для селітри (і гною).

До згаданих попереду органічних азотистих добрив належать ще продукти, що звуться рибним гуано, — це покидьки рибного промисла, обезжирені, висушені й перетворені на муку. Крім азотистих речовин (білків) вони мають ще й фосфор, бо в них є більша або менша домішка кісток. Найбільш помітних розмірів дійшло виробництво рибного гуано в Норвегії (Лафоденські острови, фіорди біля Трондъема тощо), де ловлять багато оселедців і та частина улову, яку не можуть посолити йде на виготовлення рибного гуано.

Завод звичайно являє собою легку дерев'яну триповерхову будівлю, що стоїть біля самого берега фіорда, куди суда з рибою щільно підходять, рибу елеватором подають на верхній поверх, де в запарних циліндрах її перетворюють під дією пари й мішалок на однорідну масу, що потім через люк витікає в другий поверх. Тут цю масу загортають у „серветки“ і відтискають на гідравлічному пресі. Вода разом з жиром стікає у відстійні резервуари першого поверху (жир становить не менш важливий продукт такої переробки, ніж гуано). Добуту макуху розмелюють і передають на сушарку, що міститься на першому поверсі, після чого розмелену й просіяну муку насипають певними порціями в мішки з допомогою автоматичних терезів.



В інших випадках на виготовлення „рибного гуано“ використовують покидьки китобійного промислу та різних консервних заводів (наприклад, голови сардинок). Іноді, як подекуди в Англії, цілими масами ловлять дрібну рибу, що не йде в їжу, сушать і товчуть її, щоб застосувати на удобрення. Коли ж ідеться про застосування в своєму господарстві, тоді узбережні мешканці іноді навіть не сушать рибу, а застосовують до неї цюсь подібне до силосування, щоб виготовити рибний тук, — так роблять в Японії. І не тільки рибу, а й різні морські тварини переробляють на гуано. Так у тій таки Японії на переробку йдуть морські зірки й голотурії. Подекуди виготовляється „крабове гуано“ (Ньюфаундленд). Сюди ж таки належить виготовлення „гранатового гуано“<sup>1</sup> з дрібних раків на берегах Північного моря, — все це на основі загального прагнення вернути в ґрунт той азот, що з нього вимивається у вигляді нітратів річками, виноситься в море, там споживається водоростями і потім концентрується в тілі тварин, що живляться цими водоростями.

Первинний матеріал, що дав назву гуано, був зовсім іншого походження й іншого складу. В ньому містилися не білкові речовини, а продукти азотистого обміну речовин, виділені з організму птиць.

Саме колишнє перуанське гуано являло собою скупчення калу морських птиць, почасти подібне до того, що утворюється за наших часів, коли екскременти птиць захищені від дощу, наприклад, під дахом. Але гуано утворилося в теплих країнах (на берегах і островах Південної Америки), де дощі бувають дуже рідко і дах, отже був непотрібний. Морські птиці, з чийх екскрементів утворилося гуано, живляться переважно рибою і, відзначаючись прожерливістю, відкладають дуже багато екскрементів. Вважають приблизно, що населення з 600.000 морських птиць могло за 5.000 років відкласти наявно в Перу товщу гуано.

Пожива цих птиць багата на азот і фосфор. Ще більшою мірою це стосується їх екскрементів, бо після окисації органічної речовини стравної частини в організмі під час процесу дихання в повітря виділяються тільки  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  (але не N і P, що повноюго переходить у кал). Тому завжди екскременти відносно багатші на азот і золу, ніж корм і таке збільшення процента азоту тим більше, чим краще перетравлюється пожива. До екскрементів птиць почасти домішується пір'я, кістки й інші сторонні речовини.

Уперше гуано почали вживати в Європі тільки в XIX ст., але гувільці застосовували гуано здавна. Перші партії його відзначалися більшим вмістом азоту, ніж дальші, бо експлуатацію почали з цінніших покладів (Перу), а виснаживши їх, перейшли до видів гуано, не таких багатих на азот. Перуанське гуано дуже рідко зазнавало діяння дощу; на інші ж види гуано дощі діяли значною мірою, при чому органічна речовина розкладалася, азот виділявся у вигляді  $\text{NH}_3$  і вимивався, а фосфорна кислота, зв'язана з Ca, залишалася на місці, отже, гуано, змочуване дощами, стає чимраз далі відносно багатшим на кальцій-фосфат (кінець-кінцем таким способом можливий перехід від гуано до створення покладів фосфоритів).

Азот міститься в екскрементах птиць головне в формі карбамідної кислоти взагалі в розчинних сполуках (відмінно від рибного „гуано“). Карбамідна кислота в гуано більш або менш розкладалася з утворенням аміаку і оксалатової кислоти, тому вміст у гуано карбамідної та оксалатової кислоти з аміаком

В „гранатовому гуано“ міститься звичайно близько 11% N та 5%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Морські зірки за одними аналізами дають матеріал з 6% N, за іншими лише близько 2%; голотурії мають від 2% до 5% N.



є в зворотній залежності. Взагалі вміст азоту в різних сортах гуано коливається в значних межах — від 4 до 20%. Приблизний склад гуано, що не вимивався дощами (старого перуанського), такий:

Азоту . . . . .	15,3%
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	25,0% (або близько 12% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Органічної речовини . . . . .	50,60%

А сучасне гуано з покладів, що зазнали вплив дощів, містить:

Азоту . . . . .	7,8% (або ще менше)
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	20,40% (або 10—20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) і більше.

Завдяки тому, що азот у гуано міститься в формі, яка легко і поступінно переходить в аміак і нітрати, це добриво не підвищує концентрації розчину, і в цьому розумінні має деякі переваги перед селітрою (не кажучи про вміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Віддалену подібність до гуано мають екскременти домашніх птиць. Ще здавна надавалося великого значення екскрементам голубів, їх застосовували на удобрення. Ці екскременти містять у сухій речовині 5—6% азоту і до 7—14% кальцій-фосфату. Склад екскрементів різних домашніх птиць неоднаковий: гусі і качки, наприклад, дають продукти найбільш водянисті, в яких є до 75% води і від 1/2 до 3/4 азоту, що властивостями вже близькі до гною, а не до концентрованих добрив.

Наскільки склад такого виду добрив залежить від походження і зберігання (домішки піску, землі, вмісту води), показують докладно такі аналізи:

Склад	Голуби			Кури		Качки	Гуси
	1	2	3	1	2		
Води . . . . .	22,4	45,7	58,0	61,0	60,9	46,6	77,0
Піску . . . . .	20,8	28,7	7,0	7,0	6,7	10,7	5,6
N . . . . .	5,0	1,4	2,0	0,7	0,6	0,7	0,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	1,8	1,1	1,2	2,0	2,0	1,5	0,4
Органічної речовини . . . . .	49,0	20,1	26,0	29,3	29,8	40,5	16,5

Крім того склад екскрементів залежить, звичайно, від роду поживи одержуваної птицями.

Якщо одержують невелику кількість таких матеріалів, то їх звичайно домішують до компосту. Застосовуючи їх окремо, треба дбати, щоб матеріал був добре роздрібнений і цим забезпечити можливість рівномірного розподілу, інакше рослини на місцях переудобрених можуть вигорати. На гектар кладуть від 6 до 16 і більше центнерів (залежно від складу), зважаючи на значну засвоюваність N та P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в цих добривах.

Іноді вважають за можливе застосовувати такі матеріали і як поверхнєве добриво, але такий спосіб зв'язаний з імовірністю втрат азоту, з пониженням коефіцієнта використання (особливо в зв'язку з погодою, наприклад, з відсутністю дощів після



розподілу добрива); тому краще заорювати їх, при чому важливо подбати про рівномірний розподіл.

## 9. БЕЗПОСЕРЕДНЕ ВИКОРИСТОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО АЗОТУ НА УДОБРЮВАНОМУ ПОЛІ (ЗЕЛЕНЕ ДОБРИВО)

Крім технічних способів зв'язувати повітряний азот за рахунок енергії вугілля і водоспадів, можна використовувати сонячну енергію для безпосереднього збагачення на азот поля, що має бути удобрено, це шлях культури на зелене добриво найбільш активних азотозбирачів, тобто рослин родини бобових. Це найдешевший спосіб, але для цього треба зайняти поле на деякий час під рослину, що не дає врожаю, — його треба в певній стадії розвитку заорати, як добриво для наступної рослини.

Здавалося б навіщо ж заорювати зелену масу, коли її можна згодувати тваринам, а гній вжити на добриво, адже весь азот поживи буде в гної. Але такого заперечення не можна застосувати до бідних піскових ґрунтів, на яких ніякого корму не виростиш, не поліпшивши їх зеленим добривом, на зелене ж добриво придатні рослини, що й не поїдаються тваринами, аби вони були здатні рости на пісках і засвоювати повітряний азот. Такою рослиною, що здатна миритися з найбільш бідними пісковими ґрунтами і давати велику масу багатого на азот надземного врожаю, але непридатного для згодовування скоту у великих розмірах, є люпин, завдяки якому на піскових ґрунтах може розвиватися „безгнойове господарство“, основане на застосуванні зеленого добрива. В Німеччині значення люпину для таких умов було таке велике, що люпин почали називати „благоденням піскових ґрунтів“.

Класичним прикладом відродження господарства, що до введення люпину не мало можливості стати на ноги, є господарство Шульца в Люпіці (Німеччина), яке стало всесвітньо відомим. Шульц довгим дослідом (при тонкій спостережливості) дійшов практичного розв'язання азотного питання для піскових ґрунтів раніше, ніж Гельрігель вияснив загальну причину особливої поведінки бобових (але це коштувало Шульцу не одного десятка років упертих зусиль і господарських невдач).

Виходячи з учення Лібіха, що рослинам треба дати калій, фосфор, вапно, а азот вони самі знайдуть у повітрі, Шульц 60-х років почав на своєму бідному ґрунті застосовувати чисто мінеральні добрива, не купуючи дорогої селітри; він зазнав систематичних невдач, поки не помітив, що на колекційному питомнику одна рослина виділялася своїм пишним ростом, — це люпин<sup>1</sup>. Тоді він вирішив використати особливості цієї рослини, що має якісь особливі (тоді ще невідомі) поживні джерела для підвищення врожаю решти культур, і після ряду дослідів йому вдалося встановити, що тут замішане питання про азот і що врожаї жита та картоплі можна підвищити, не вносячи ні

<sup>1</sup> Клевер не ріс у Люпіці навіть при калійно-фосфатному удобренні через кислотність ґрунту, що люпин краще витримує.



гною, ні селітри, а застосовуючи комбінацію люпину з калійно-фосфатним добривом.

Ось як поступінно збільшувалися врожаї картоплі в господарстві Шульца (в центнерах з га):

1874—1876 рр. . . . .	95	1883—1885 рр. . . . .	184
1877—1879 " . . . . .	128	1886—1888 " . . . . .	194
1880—1882 " . . . . .	144		

Але тепер, коли суть явища відома, врожаї хлібів і картоплі можна швидше збільшити; навіть при однократному заоранні добре розвиненого люпину незрідка спостерігається подвоєння врожаю, що безпосередньо йде за цією рослиною. Одним з піонерів у галузі люпинового добрива був у нас проф. Будрін. Ось приклад з повідомлених ним даних (з періоду робіт у Н. Олександрії).

**Врожай озимої пшениці (в центнерах з га)**

По удобреному пару . . . . .	7,3
По цвітучому люпину, заораному на удобрення . . . . .	12,4
Після люпину, зібраного стиглим . . . . .	12,1
Після заораної цвітучої гірчиці . . . . .	6,7

Крім того, Будрін одержував протягом 20 років добрі врожаї жита (17 ц.) в такій дворічній сівозміні: 1) картопля, 2) озиме жито плюс післяживний посів люпину на удобрення.

Пізніше, в Чернігівській губернії (1914 р.) при колективних дослідах, організованих земством на селянських полях, спостерігалось в більшості випадків подвоєння врожаю жита під впливом самого тільки люпинового добрива (без фосфатів і калійних солей).

Наведемо такі приклади з звіту Кулжинського про досліди Чернігівського земства (1914 р.).

**Урожай жита**

Де провадилося дослідження	На якому ґрунті	Жито дало ц/га зерна		
		Без до- брива.	По люп. добриву	По люп. більше на
У Городнянському повіті . . . . .	Супісковий	4,0	13,0	9,0
У Ніженському п. м. Верхівка . . . . .	"	10,2	21,3	11,2
У Кролевецькому п. с. Конятин . . . . .	Пісковий	6,4	13,6	7,2
У Кролевецькому п. х. Зайців- ський . . . . .	Легк. суглинок	9,6	22,0	12,3
У Новгород-Сіверському п. в Ромашкові . . . . .	Суглинок	3,2	7,5	4,3
В Остерському п. с. Борки . . . . .	Легкий суглинок	6,7	23,8	17,1
У Глухівському п. м. Вороніж . . . . .	Пісковий	6,4	19,2	12,8
У Чернігівському п. м. Миколаєв- ські . . . . .	Пісковий	6,1	11	5
У Суражському п. с. Перелазі . . . . .	Припадь (сугл.)	4,0	7,0	3,4

Так люпинове добриво замінило тут гній, але воно має ту перевагу перед гноєм, що при ньому не треба возити великі маси з садиби на поле,— треба привезти тільки насіння,



можна сказати, що це гній, нагромаджуваний на тому самому полі, яке має бути удобрено. Далі такий спосіб утилізації повітряного азоту має не тільки ту перевагу, що не потребує ніякої апаратури, він не потребує і затрати коштів на енергію, тут непотрібні ні чорне, ні „біле“ вугілля (водоспади), бо тут та сама сонячна енергія, що її вловлюють листки рослини в процесі розкладу вуглекислоти, іде і на зв'язування повітряного азоту. При цьому бобові краще використовують сонячну енергію, ніж злаки, через що затрата частини енергії на фіксацію азоту не зв'язана з жодною шкодою для процесу асиміляції вуглецю бобовими (відомо, що взагалі вплив сонячної енергії в багато разів більший за ту її кількість, яка відкладається рослиною в процесі утворення органічної речовини).

Щодо кількості азоту, яку люпин може засвоїти з повітря поки він незаораний на добриво (що роблять, звичайно, як він цвіте), то його в польових умовах можна визначити лише приблизно, бо бобові, звичайно, крім атмосферного азоту засвоюють ще азот ґрунту, поскільки в ґрунті азот міститься в доступному стані. Вагнер (Німеччина) визначив, що при вдаль культурі люпину в надземних органах міститься азоту від 100 до 160 кг на га (при 35—50 т. зеленої маси), а також і при сераделі.

Довільно припускаючи, що з ґрунту рослинами взято не більше ніж є в кореневій системі, Вагнер вважав що наведені цифри відповідають кількості азоту, взятого з повітря; відзначимо, що з гноем вноситься від 90 до 180 кг азоту на га (при внесенні від 18 до 36 т), отже, ми маємо і в тому і в другому випадку справу з величинами близького порядку, але засвоюваність азоту в зеленому добриві більша, ніж у гної.

Підрахунок Вагнера potwierджується такими нашими даними (хоча й для інших рослин): при посіві на тому самому ґрунті (дослідне поле в Петровсько-Разумовському) бобових і не бобових урожаї містили, звичайно, різну кількість азоту. Так, аналізи показали, що гречка містила 60 кг N в урожаї, рапс — 64 кг; бобові ж виявили такі кількості азоту: кінські боби — 230 кг, вика з вівсом — 189 кг, інкаріатний клевер — 160 кг. Віднявши відци кількість азоту, засвоєну з ґрунту рапсом або гречкою, ми можемо вважати різницю за показник розміру засвоєння азоту з повітря. Цифри будуть такого самого порядку, як у Вагнера.

Проте, сама тільки здатність енергійно фіксувати повітряний азот не могла б пояснити, чому люпин здатний добре рости на таких бідних пісках, де бобові типу клеверу зовсім не вдаються. Тут відігравали роль особливості кореневої системи люпину, що характеризується великою здатністю брати мінеральну поживу з важкорозчинних сполук. Так, наші досліди 1897 р. і дальших років показали, що люпин вільно засвоює фосфорну кислоту з таких фосфатів, що хлібам абсолютно недоступні. Він розкладає фосфорит без допомоги ґрунтової кислотності, тому і в ґрунті люпин знаходить поживу там, де хліба її не знаходять (але фосфор, засвоєний люпином, уже буде засвоюваним і для тої рослини, під яку люпин буде заорано, як добриво). Але крім того, що люпин бере мінеральну поживу з інших сполук, ніж хліба, він бере її ще з інших горизонтів: його коренева



система глибоко проходить у неопідзолене підґрунтя і збагачує ґрунтовий шар на взяті відти мінеральні речовини. Ця здатність проходити кріз ті ущільнені шари, які звичайно підстилають підзол, іде на користь не тільки самому люпинові, а після нього і слабші корені хлібних злаків здатні проходити глибше, ніж до культури люпину. Якщо до цього додати, що люпин належить до рослин „кислого інтервала рН“ (див. попереду), то буде зрозумілою його здатність рости на тих ґрунтах, що для інших рослин непридатні.

Тому люпин може дати кілька врожаїв, не потребуючи мінеральних добрив, особливо фосфору, а коли виявиться потреба на фосфор, то його можна дати у вигляді найдешевшого добрива — фосфоритної муки; потреба на калійні добрива при повторній культурі люпину позначається звичайно раніше, ніж на фосфаті.

З різних видів люпинів найбільше значення мають однорічні форми, а з них синій люпин (або вузколистий, *Lupinus angustifolius*), інший бо поширений на заході вид — жовтий люпин (*L. luteus*) — має для наших умов надто довгий вегетаційний період (але він ще краще, ніж синій, росте на найбідніших пісках і на півдні заслуговує на увагу).

Над селекцією синього люпину на прискорення досягання працювала Новозибківська дослідна станція, створена в після-революційний період спеціально, щоб вивчати культури піскових ґрунтів. Там таки розроблено всю техніку культури люпину на зелене добриво в наших умовах.

Насамперед у дослідях 1918-19 рр. була встановлена залежність урожаю від маси заораного люпину. Щоб спостерігати відразу широкі градації, в одній серії дослідів було застосовано спосіб заорювання різних кількостей взятої з сторони люпинової маси на врожай різних рослин, при чому в 1919 р. одержано такі дані (в центнерах з га)<sup>1</sup>

Заорано люпину . . . . .	0	200,0	400,0	600,0
Жито озиме . . . . .	5,4	11,1	16,3	16,8
Жито яре . . . . .	1,4	7,4	9,1	8,3
Картопля . . . . .	43,0	91,2	121,0	159,0

Тут ясно виявлялася залежність урожаю наступної культури від кількості заораної люпинової маси, при чому картопля виявила здатність особливо добре використати зелене добриво і реагувала майже пропорціональним приростом на потроєну кількість його, а в жита після подвоєння дози приріст припинявся (звичайно на рівні потрійного врожаю проти контролю). При вивчанні діяння окремих складових частин люпину було одержано такі результати:

Дано 100 ц/га	Коренів	Стебел у листочках <sup>2</sup>	Нестиглих бо- бів люпину
Урожай жита ц/га	1918 р. 6,6	6,1	9,3
	1919 р. 7,0	6,9	10,4

<sup>1</sup>) Е. К. Алексеев. Люпины, сераделла и минеральные удобрения. Новозибків, 1922 р.

<sup>2</sup>) Тут листки звичайно, мають більше значення, відповідно до їх багатства на білки, ніж стебла.



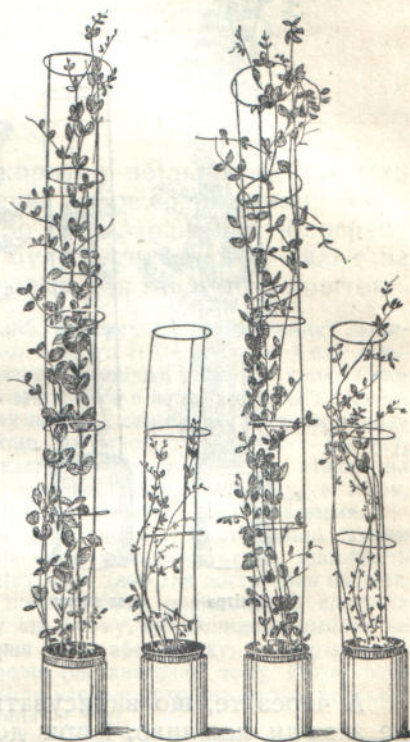
У зв'язку з найкращим дінням бобів (як найбагатших на білки), в дальшому виявилася перевага заорювання люпину не „в стадії цвітіння“ (як писалося за загальним шаблоном у підручниках), а по змозі в пізній стадії, коли вже починається плодоношення і коли кількість азоту (як і загальної маси) більша, ніж у стадії цвітіння, наприклад:

	До цвітіння	Люпин заорано		
		В стадії цвітіння	В стадії „сизих бобиків“	В стадії „блискучих бобиків“
Урожай жита (в центнерах з га) . . . . .	35	42	50	71

Отже там, де довжина вегетаційного періоду і строки посіву жита це дозволяють, люпин краще заорювати пізніше, але не так пізно, щоб стебла почали деревіти, з другого боку, що залишився потрібний проміжок до посіву жита.

Вельми важливим способом при введенні культури люпину в нових для нього районах є зараження ґрунту відповідними бактеріями.

При наблизчому вивчанні бульбчкових бактерій, участь яких у процесі засвоювання повітряного азоту бобовими була встановлена Гельрігелем, виявилось, що бактерії різних видів бобових неоднакові, і при зараженні одного виду бактеріями іншого виду результат буває різний: а саме в близьких видів (горох, боби, вика) можливе зараження бактеріями іншої рослини, а для більш віддалених форм тої самої родини (люпини, *Cytisus*, *Robinia*, а *Gleditsia*) зараження бактеріями гороху або клеверу буде недейсним, як це показали досліди Ноббе і Гільтнера. При повторенні цих дослідів у нас було одержано в піщових культурах, наприклад, такі результати (на фоні поживної суміші, що не має азоту):



Селітра Без азоту Заражено бактеріями гороху люпину

Рис. 13

	Селітра	Без селітри і без зараження	Заражено ґрунтовою витяжкою	Бактеріями	
				Вики	Люпину
Горох . . . . .	34,5	3,5	33,0	14,0	3,9
Вика . . . . .	26,7	1,2	19,0	18,2	1,6







перед посівом, абож люпинову землю (2—3 ц) змочували водою і такою масою обкочували насіння; 3) посилення розмноження бактерій з допомогою гною; 4) для порівняння заражали ґрунт нітрагіном.

Процент дуже заражених рослин змінювався так:

	1917 р.	1918 р.
Без зараження . . . . .	28	24
Обкочування насіння землею . . . . .	32	64
Внесення землі в рядки . . . . .	51	42
Зараження бульбочками . . . . .	49	48
Нітрагін . . . . .	37	—
Вплив гною	{10 т	47
	{20 т	56

Щодо розкидання люпинової землі по полю, то виявилось, що результат його дуже залежить від кількості землі. Так, наприклад, 1918 р. спостерігалось:

Без зараження	Процент дуже заражених рослин
0,5 т землі	24
1 " "	47
1,5 " "	54
2 " "	64

Пізнiші досліді показали, що корисно збільшити кількість землі до 2—2,5 т. Очевидно зараження добре збереженими бульбочками має найбільший інтерес, бо для зараження кілограма посівного зерна потрібно 1—1,5 г. бульбочок або 200—300 г на один га, що дозволяє надсилати матеріал для зараження поштою<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> На малих площах можна застосувати гній, щоб утворити „питомник“ люпинових бактерій і потім користуватися землею з нього (і бульбочками) для дальшого зараження великим розмірами. Очевидно, органічна речовина гною допомагає розмножуватися бактеріям, що завжди заносяться з насінням, хоча і невеликою кількістю. Тому, повторний посів люпину на тому самому місці також сприяє зараженню ґрунту бактеріями, і навіть, якщо до рівса, попередника люпину, домішати небагато люпинового насіння, то наступного року процент заражених рослин буде вже більший. Усі такі заходи потрібні тільки спочатку, а потім, коли люпин пройде по всіх полях, не доводиться вже дбати про зараження.

Час посіву люпину визначається двома обставинами. Надто ранні посіви терплять від приморозків, пізні посіви в північних межах культури залишають мало часу на утворення зеленої маси до посіву жита (або для досягання насіння, поки настануть холоди). Посіви на насіння повинні бути ранішими. З способів посіву рядковий кращий в даному випадку ще й тому, що люпинове насіння не можна загортати на різну глибину, як насіння вики або гороху, бо прогидежно цим рослинам люпин виносить сім'ядолі назовні (як квасоля), тому його треба загортати звичайно не глибше 3—4 см. Кількість насіння потрібна досить велика—близько 2 ц (при рядковому посіві на насіння—1,8 ц).

Під час росту люпин не потребує догляду (поле необхідно очистити від сміття способом осіннього і весняного обробітку, що полегшується не дуже раннім посівом люпину). Заорюють люпин у різній стадії розвитку, залежно від часу посіву жита. При вологій погоді на піскових ґрунтах люпини можна заорювати в стадії блискучих бобиків перед самим посівом жита, при чому осідання ґрунту пришвидчується з допомогою кільчастого котка. Але при сухій погоді потрібен проміжок до посіву жита в 10—15 днів, на більш зв'язних ґрунтах також доводиться заорювати трохи раніше в стадії „сизих бобиків“ за 10—15 днів при вологій погоді, за 20—30 — при сухій).

Люпин заорюють (перед чим часто ґрунт прикочують) на глибину 12—15 см. При більшій глибині може утруднитися розклад органічної маси (особливо, як настане дощова погода).



Як дані Новозибківської станції, так і дані інших дослідних закладів, показали, що при своєчасному посіві і доброму рістї люпину діяннн його на жито не гірше діяннн гною. Так, Радомисльська станція (в Поліссі) одержала в середньому за 3 роки врожай жита по люпину 6,8 ц; по гною—6,5 ц (без добрива—2,7). Судогодське дослідне поле (біля Владіміра) мало навіть 9,5 ц по люпину проти 8,0 ц з га по гною і т. д.

На ділі не доводиться на піскових ґрунтах порівнювати гній і люпін, бо на гноеві в таких умовах неможливо будувати господарство, через те, що немає кормів. Але треба відзначити, що значення люпину не обмежується пісковими ґрунтами. Правда, на таких ґрунтах культура люпину (і серадели, що почасти відіграє таку саму роль) чи не єдиний вихід, а на кращих ґрунтах може рости й клевер, однак клевер і люпін зовсім не виключають один одного; а діяннн люпину на суглинках набагато сильніше, ніж на бідних піскових ґрунтах.

Так, за матеріалами обслідування люпиносіяння в Новозибківському повіті середній приріст врожаю жита від люпинового добрива становив на пісках 4,2 ц, на супісках—4,7 ц, а на суглинках—7,7 ц з га. Те саме спостерігалось в згаданих попереду чернігівських дослідах.

Однак, може постати питання, чи потрібна культура люпину на тих ґрунтах, на яких вдається клевер. Гадаємо, що й на цих ґрунтах було б неправильно відмовлятися від тих великих приростів, які може дати люпинове добриво, бо азотний баланс на землях нечорноземної смуги стоїть у нас на дуже низькому рівні. Якщо на таких ґрунтах не буде місця для люпину в пару, зайнятому іншими рослинами (наприклад, викою, вівсом), то нагадаємо, що на величезних площах (Білорусь, північ Київщини, Чернігівщина і суміжні райони) посів люпину можливий не тільки в пару, а й після жнивни.

Особливо добре таке удобрення післяжнивним люпином оплачується наступного року картоплею, але і інші ярі дякуватимуть за нього.

Та й за межами післяжнивної культури люпину його культура в пару може бути цікава не тільки на самих піскових ґрунтах і не тільки при недостатності гною, а й у великому господарстві при складності возити гній на дальні поля, які можна удобрювати люпином, а відповідна кількість гною може бути вигідніше застосована під інтенсивні культури в присадибній сівозміні.

Яка ж область можливого застосування цього способу „азотування ґрунту“ є в межах нашої країни?

Насамперед, люпін треба використати в межах широкого трикутника, одною стороною якого є наш західний кордон (від Полоцька на Двіні до Шепетівки), з півдня цей трикутник прилягає до чорноземної смуги (приблизна межа йде по лінії Шепетівка — Житомир — Київ — Тула — Рязань — Сасово — Тамбов — Арзамас — Нижній), північний же кордон остаточно не встановлений, але в усякому разі, якщо ми вважатимемо паралель



Москви<sup>1</sup> за цей північний кордон, то це буде применшенням, а не прибільшенням.

Такий трикутник охоплює площу близько 40 млн. га. Припустимо, що з них лише 13 млн. га виорано і близько 3,5 млн. га є під паром. Якщо всю цю площу зайняти під люпин і вважати, що на кожному га люпин фіксує 160 кг азоту, то загальна сума фіксованого азоту за рік становитиме 560 тис. т, що відповідає 2,8 млн. т. амоній-сульфату.

Отже, азотування парових полів з допомогою люпину тільки в межах накресленого попереду трикутника може дати ґрунтові більше азоту, ніж цього сподіваються від усієї хемічної промисловості за п'ятирічним планом.

Але окреслений трикутник далеко не охоплює всієї площі, що може бути поліпшена люпином. Досить сказати, що в багатьох районах Східного Сибіру і Далеко-Східного краю зелене добриво матиме перевагу перед гноєм,—в гірських місцевостях при розкиданості орної землі возити гній неможливо, а наявність пару перед ярою пшеницею, що характеризує господарство Східного Сибіру, відкриває там для зеленого добрива великі можливості. Але чи буде це люпин, чи буркун, чи будьяка інша бобова, це потребує дальшого вивчення дослідним шляхом.

Для півночі цікавою формою є многорічний люпин, як єдиний представник люпинів, що безперечно здатний давати стигле насіння на широті Ленінграда (а можливо й ще далі на північ). Він здатний давати два укуси зеленої маси за літо. З них перший може дати матеріал на удобрення парового поля (тут потрібно перевозити зелену масу), а другий може бути заораний з осені під ярину. Крім того, що цей люпин дає зелену масу на удобрення суміжних полів, він може рости 8 років на тому самому місці (без нового підсіву) і провадить меліорацію того поля, на якому він ріс. Отже, ним можна користуватися для розширення культурної площі на півночі, поліпшуючи многорічним люпиновим перелогом запільні землі і пустирі, обробленню яких заважає відсутність добрив (а розширивши площу, можна потім провести цей люпин через всі поля, по черзі, переводячи кожне з них у стан „вивідного клину“, тобто в стан тимчасового виходу з сівозміни).

Крім рілництва, многорічний люпин, як енергійний азотозбирач, застосовується і в лісівництві, де він править за засіб для підгону росту сосни, і в садівництві, де його культуру застосовують між рядами дерев, щоб відновити плодоношення старих садів<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Якщо будувати люпинове добриво на місцевому насінні, то ця межа пройде трохи південніше від Москви, а якщо допустити привіз насіння з близьких районів (наприклад, з області піскових ґрунтів між лінією Єгорьевськ—Арзамас і Моршанськом), то можна йти північніше від Москви, але за певною межею доведеться від однорічного люпину перейти до многорічного, що культивується поза сівозміною (у вивідному клину).

<sup>2</sup> Докладніше про культуру цього люпину див. у книзі автора „Частное земледелие“, вид. 8, 1931 р.



На півдні є ширший вибір рослин на зелене добриво. Тут відзначимо тільки, що для районів бавовнярства цікаві озимі форми гороху (і деяких інших бобових). Останні здатні, не зважаючи на пізній висів восени, все таки розвинути достатню масу, яку можна заорати на весні перед висівом бавовника. Треба мати на увазі, що кожні 200 тис. га люпину, якщо він забезпечений фосфором і калієм, здатні зв'язати стільки ж азоту, як, наприклад, Березниківський комбінат. Те саме стосується клеверу, і ще більше азоту засвоює люцерна, якщо зробити облік азоту не тільки в кореневих залишках, а й в надземній масі, звідки азот так само потрапляє в ґрунт разом з гноєм.

## ФОСФАТИ

Коли щодо азоту ми маємо справу з елементом, для якого існує кругобіг і, крім внесення добрив, можливе збагачення ґрунту за рахунок повітряного азоту, то щодо фосфору ми маємо справу з однібічним процесом винесення його з урожаєм, чому ми можемо протидіяти тільки внесенням добрив.

У ґрунтах вміст фосфорної кислоти<sup>1</sup> звичайно становить від 5 до 10 сотих процента, але ці відносно малі величини дають в абсолютних цифрах досить великий запас на га, однак з цього загального запасу лише мала частина є засвоюваною. Про розміри гуртового запасу можна скласти уявлення з таких приблизних даних (для шару в 20 см, вважаючи його вагу в 3000 т га).

	Вміст $P_2O_5$ (в процент.)	Гуртовий запас $P_2O_5$ (кг)
Дуже бідний ґрунт . . . . .	0,01	300
Бідний ґрунт . . . . .	0,01—0,05	300—1500
Середній ґрунт . . . . .	0,05—0,1	1500—3000
Багатий ґрунт . . . . .	0,1—0,2	3000—6000

Через те, що врожаї виносять лише 25—60 кг  $P_2O_5$  з гектара, то, очевидно, цифри гуртового запасу нічого не говорять про дійсне постачання рослинам фосфорної кислоти. Але, якщо ми уявимо, що від цього гуртового запасу щороку переходить у засвоюваний стан, наприклад, 1%<sup>2</sup>, то ми вже ближче підійдемо до рівня тих величин, що ними характеризується ступінь забезпеченості рослин на ґрунтах різної родючості, а також і до

<sup>1</sup> Фосфорна кислота ґрунту утворюється, звичайно, з тих гірських порід, що дали початок утворенню даного ґрунту.

Більшість кристалічних гірських порід пронизана голчастими кристалами апатиту і містить 0,1—1,0%  $P_2O_5$ . Навіть у пісках Сахари знаходять фосфорну кислоту кількістю 0,01%.

При вивітрюванні гірської породи фосфорна кислота значною мірою захищена від вимивання у наслідок утворення малорозчинних сполук з Са, Fe. Бувають випадки, що вміст  $P_2O_5$  при вивітрюванні відносно збільшується. Наприклад, вапняк, що не вивітрився, мав в одному випадку 0,07 %  $P_2O_5$ , а той, що вивітрився—0,16%.

<sup>2</sup> В дійсності ця величина для різних ґрунтів і при різних умовах — різна.



рівня тих величин, внесення яких з добривами помітно впливає на врожай, а саме, найчастіше вносяться величини, що лежать між 30 і 50 кг  $P_2O_5$ . Потреба на фосфорне добриво залежить не тільки від ґрунту і від роду культури, а ще й від дальшої долі врожаю, бо для тої самої культури кругобіг речовин у господарстві може різно скластися, залежно від того, як в даному випадку використовують урожай. Різницю у споживанні фосфорної кислоти різними культурами бачимо з такого порівняння:

	Внесення $P_2O_5$
Урожай хлібів в 20—25 ц зерна (з відпов. кільк. соломи) . . . . .	25—30 кг
Урожай бобових (такої самої висоти) . . . . .	30—40 „
Картопля (200 ц бульб) . . . . .	40 „
Кормовий буряк (500 ц) . . . . .	50 „
Капуста (750 ц) . . . . .	60 „
Люцерна (80 ц) . . . . .	55 „
Лучне сіно (60 ц) . . . . .	30 „

Але тому, що не всі частини рослини виходять з господарства і солома, наприклад, через гній повертається в ґрунт, треба зважати на різний розподіл фосфору по органах рослини.

Вміст  $P_2O_5$  (в процентах):

	Зерно	Солома	Коренеплоди
Хліба . . . . .	0,7—0,8	0,2	Корені . . . . . 0,10—0,15
Зернові бобові . . . . .	1,1—1,5	0,4	Листки . . . . . 0,10
Олійні . . . . .	1,0—1,5	0,1—0,4	Сіно (злакові) . . . . . 0,3
			Те саме (бобові) . . . . . 0,5—0,6

Звідси бачимо, що при культурі хлібів з зерном вивозять багато фосфорної кислоти; солома ж, що йде в гній, бідніша на фосфорну кислоту, ніж зерно, отже, в зерновому господарстві, хоч би як правильно воно застосовувало гній, ґрунт повинен поступінно збіднюватися на фосфор (крім виняткових випадків великої кількості лук, тоді ґрунт полів одержує фосфор за рахунок лук).

Цей дефіцитний характер кругобігу фосфору в зерновому господарстві вірно підмітив Лібих, зазначивши, що гній, хоч би як пильно його доглядали і регулярно ним удобрювали, не може повернути ґрунтові те, чого він сам не має, тобто фосфору зерна. Тому Лібих і запропонував застосовувати фосфати, що повинні виправити однобічний склад гною (гній містять у  $2-2\frac{1}{2}$  рази менше фосфору, ніж азоту і калію. Правильність вказівок Лібіха була підтверджена потім світовим досвідом, бо на земній кулі застосування фосфатів домінує над застосуванням усіх інших видів добрив. Так, за останнє півстоліття частка фосфатів у світовому вживанні становила від 50 до 60% від загальної суми добрив, а на азот і калій припадало



по 20—25%. А раніше, до Лібіха єдиним заходом підвищити врожаї було введення посівів клеверу, що підвищувало кількість азоту в ґрунті й гноєві, але дефіцит по фосфору цим ще більше підкреслювався, бо врожай соломи більше зростав, ніж урожай зерна.

Сказане добре ілюструється таким прикладом, що стосується західноєвропейської практики. Господарство Крузіуса (в Німеччині) не купувало фосфатних добрив на стороні, застосовуючи виключно гнойове добриво ( $P_2O_5$ , виходив лише з молоком, м'ясом, зерном та з іншими продажними продуктами). Розрахунок було зроблено з 20-го до 60-го року минулого сторіччя, при чому в господарстві точно записували врожай зерна і соломи, вношуваний гній і відчужувані продукти (площа лук становила близько 15% від площі орної землі).

	Загальний врожай у ко- пцях	Умолот з 100 копиць (у гектолітрах)
1825—1830 pp .	4250	91,4
1830—1835 „ .	5379	93,5
1835—1840 „ ..	5363	84,7
1840—1845 „ ..	6857	77,0
1845—1850 „ ..	8417	86,4
1850—1855 „ ..	7082	66,6
1855—1860 „ ..	7881	68,8

Отже, при загальному рості врожаїв умолот зменшувався, тобто врожаї соломи зростали більше, ніж урожаї зерна. Коли за середнім складом відчужуваних продуктів і гною облічили надходження і витрату  $P_2O_5$ , то виявилось, що за останні 15 років (1845—1860 pp.) з ґрунту полів було взято 985 ц  $P_2O_5$ , а внесено лише 408, тобто було повернено менше половини того, що було взято<sup>1</sup>.

З наведеного попереду порівняння бачимо, що потреба на фосфор є загальною для більшості наших ґрунтів як підзолистої, так і чорноземної смуги, а потреба на азот і калій для чорноземних ґрунтів покищо не така велика. Якщо азот, як правило, треба вносити з фосфором (а калій—з фосфором і азотом), фосфор у дуже багатьох випадків може значно впливати навіть без внесення азоту в мінеральних добривах, а саме: 1) якщо з гноєм дається достатньо азоту і калію, то з мінеральних добрив потрібні тільки фосфати; 2) якщо на чорноземних ґрунтах ми маємо чисті пари з великим нагромадженням нітратів, то під озимину досить додати тільки фосфор; 3) на полях, збагачених азотом в результаті культури люцерни і клеверу, фосфор діє без внесення азоту (а при клевері часто буває потрібний ще й калій). Але зважаючи на те, що такі джерела азоту недостатні, в ряді випадків (особливо

<sup>1</sup> Звичайно, азот виносився з зерном ще більшими кількостями, ніж фосфор, але тому, що в сівозміні був клевер, то не азот, а фосфор був у стані мінімального фактора.



для технічних культур) треба водночас з фосфором вносити і азот. Тому, коли представники промисловості питають агрономів, яким же відношенням фосфору до азоту повинні вони керуватися, виконуючи замовлення сільського господарства на мінеральні добрива, відповідь мусить бути приблизно така: такого сталого відношення не може бути, бо продукція фосфору повинна складатися з двох частин, при чому в одній з них відношення фосфору до азоту дорівнює 1 : 0 (сюди належать 3 зазначені попереду категорії випадків), а в другій це буде приблизно відношення 1 : 1. Тому загальне відношення фосфору до азоту в промисловості змінюватиметься залежно від ступеня розвитку азотної промисловості, але завжди від промисловості вимагатиметься більше фосфору, ніж азоту і калію, і ця вимога повинна бути особливо різко виражена тепер, на початку розвитку нашої азотної та калійної промисловості. Щоб одержати хоч грубий масштаб того, якими можуть бути розміри тої частини потреби на фосфор, що не залежить від азотної промисловості, погляньмо, скільки потрібно було б нам фосфору, коли б ми поставили перед собою завдання компенсувати винесення фосфору з самим тільки зерном (мається на увазі, що вся солома йде в корм і підстилку, отже, фосфор її повертається в ґрунт). При гуртовому зборі зерна в 80 млн. т і вмісті в зерні 0,7% фосфору щорічне винесення  $P_2O_5$  визначиться в 560 тис. т, що відповідає 3723 000 т 15-процентного суперфосфату.

В дійсності ж треба не тільки компенсувати винесення фосфору сучасним урожаєм, а ще й збільшити продукцію зерна з 80 до 130 млн. т, а для того треба дати значно більше фосфору, ніж його є в зерні.

Але ми навели цей гуртовий підрахунок лише для того, щоб мати приблизне уявлення про те, якого порядку величини можуть виражати потребу на фосфор, незалежну від азотної промисловості, а зумовлену завданням відшкодувати винесення фосфору в районах, що потребують добрива, щоб правильніше використати азот ґною, азот клеверу і люцерни та нітратний азот незайнятих парів (особливо чорноземної смуги)<sup>1</sup>.

Щоб поповнити недостатність фосфору, доводиться користуватися різними способами. Буквальне повертання того самого фосфору, що виноситься з зерном, тобто використання міських нечистот, стикається з технічними труднощами, бо ці нечистоти розріднюються великими масами води. За головне джерело для виробництва фосфорних добрив правлять мінеральні фосфати, фосфорити і апатити, далі, відіграють певну роль покидьки металургії (томасшлак) і почасти покидьки тваринництва (кістки).

<sup>1</sup> Через те, що технічні культури одержать азот, то для них кількість фосфору можна більше або менше погодити з розмірами застосування азотистих добрив.