

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Академик
Д.Н. ПРЯНИШНИКОВ

АЗОТ
В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ
И В ЗЕМЛЕДЕЛИИ
СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО
КРЕСТЬЯНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

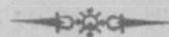
ИЗДАНИЕ
ВТОРОЕ
РЕДАКТОР
ИЗДАТЕЛЬСТВО

АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Membre de L'Académie
D. N. PRIANICHNIKOV

L'AZOTE
DANS LA VIE DES PLANTES
ET DANS L'AGRICULTURE
DE L'URSS



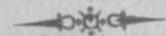
PUBLIÉ PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
MOSCOU 1945 Leningrad

Уор мрн
АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

Академик
Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ

АЗОТ
В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ
И В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

СССР



к.

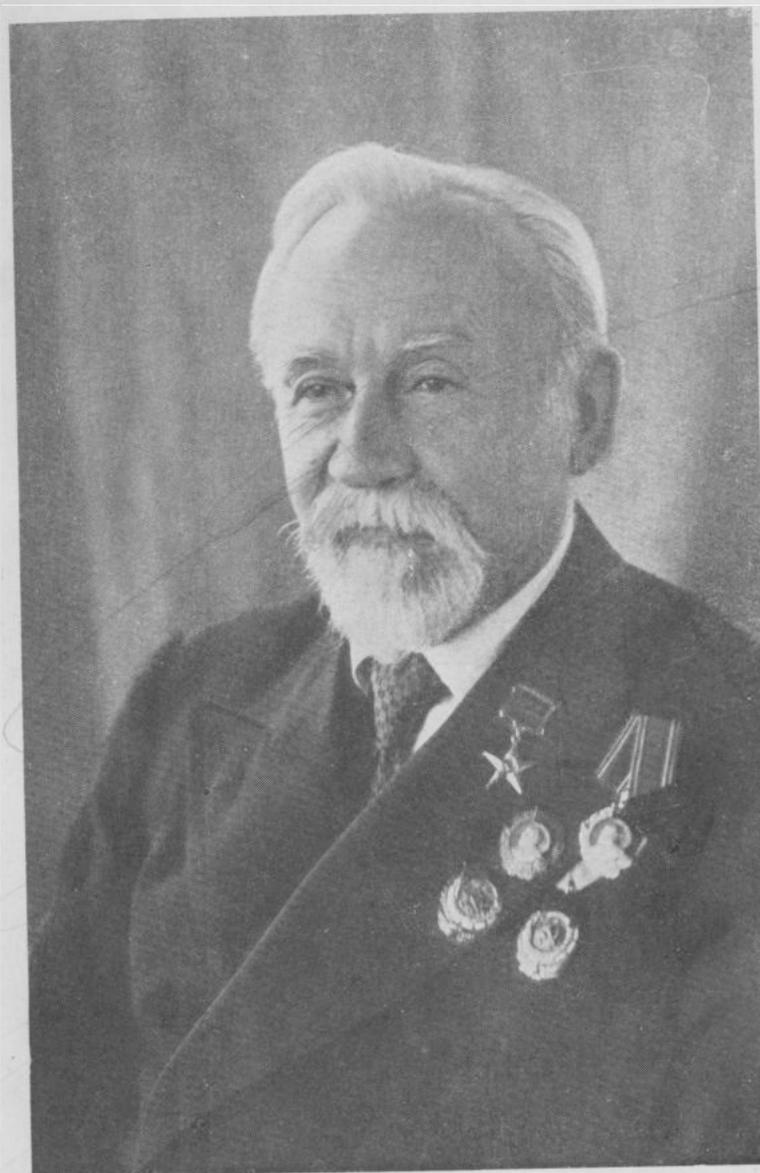
Белорусского
Бібліотека
Отд. 63:540
Шифр П.859ав
Инв. № 26438
Института

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1945 Ленинград

ОТ КОМИССИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
ПО ПРОВЕДЕНИЮ 80-ЛЕТНЕГО ЮБИЛЕЯ

АКАДЕМИКА
Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА

7 ноября 1945 г. исполняется 80 лет со дня рождения основоположника советской агрохимии Героя Социалистического Труда академика Дмитрия Николаевича Прянишникова. С этой датой совпадает выход в свет настоящей новой монографии юбиляра, посвященной одной из актуальнейших проблем агрохимии. В разработке этой проблемы исследованиям автора принадлежит выдающаяся роль.



Д. Прянишник

«Seulement par ce que la science n'est
sûre de rien, elle avance toujours».

Ducloux.

Часть I

ОБ ИСТОЧНИКАХ АЗОТА РАСТЕНИЙ

Свыше 50 лет тому назад Климент Аркадьевич Тимирязев выступил с публичной лекцией «Источники азота растений» (это было в декабре 1890 г.). Вот первые слова этой лекции: «Немного найдется явлений, где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научные вопросы о происхождении азота у растений неразрывно сливались с чисто практическими вопросами о пользе возделывания клевера и вообще бобовых».

Это положение Климента Аркадьевича за последующее столетие не только подтвердилось, но и расширилось. Успехи теоретической химии реализовались в развитии азотной промышленности, «биологический азот» сомкнулся с «азотом техническим». Я надеюсь, что мне удалось в настоящей работе на основе нового материала развить и дополнить основную мысль К. А. Тимирязева.

Известно, что главную массу растительных и животных организмов образуют четыре органогена, к которым не раз ботаники применяли известное четверостишие Шиллера:

«Vier Elemente
Innig gesellt
Bilden das Leben,
Bauen die Welt».

Однако, если все они равно необходимы и равноценны с точки зрения физиологии, то практически в земледелии эти элементы встречают весьма разное к себе отношение, и по понятной причине: в то время как кислород воздуха, углекислота и вода, также приходящая из воздуха, доступны всем растениям, азот воздуха непосредственно высшим растениям совершенно недоступен, они должны искать его в почве. Но в то же время земная кора не есть первичное местонахождение азота — его в ней мало, в большинстве почв азот находится в минимуме (таковы подзолистые почвы, занимающие наибольшую часть площади в Западной Европе и у нас). Главная же масса азота находится в воздухе. Но атомы в молекуле азота так прочно связаны, что расшатать эту связь удастся лишь при очень высоких температурах, на холоду же

ни кислород, ни водород с азотом не реагируют, по крайней мере в руках химика. Правда, есть случай, когда реакция идет на холоду: литий способен расшатать эту молекулу и соединиться с азотом: $N \equiv N + 6Li = 2NLi_3$. Но этот случай может быть интересен для технолога, но не для физиолога; для природных условий жизни растений этот процесс также не имеет значения.

В природе мы имеем только два случая связывания азота. Это электрический разряд (молния) и процессы, характерные для некоторых микроорганизмов. Но на ударах молнии урожая не построишь, а путь к азоту воздуха через микроорганизмы долго не был известен, и еще дольше не были известны пути технического использования азота воздуха.

Поэтому в период, когда Гельригель и Габер еще не проложили этих путей, наличие огромного воздушного океана, почти на $\frac{4}{5}$ состоящего из азота, при одновременном азотном голоде в почве, поражала ищущие умы избранных представителей агрономии. Какой тоской по азоту, какой жаждой найти мостик к его использованию звучат слова ставшего впоследствии известным Шульца из Люпица («Wüstenei Lupitz» — волчья пустошь), этого студента либиховских времен, заочного ученика и ревностного последователя Либиха, который сел на землю, получив в наследство одни вересковые заросли, начал распахивать и удобрять их калием и фосфором и ждал, что азот (по Либиху) придет из воздуха.¹ Но азот не приходил, задолженность имения возрастала, пока тонкий наблюдатель Шульц не подметил еще до открытия Гельригеля, что «волчья пустошь» способны оплодотворять волчьи бобы — люпины;² тогда сложилась у него своего рода «Песнь об азоте», хотя и написанная прозой: «Если не говорить о воде, то именно азот является самым могущественным двигателем в процессах развития, роста и творчества природы. Его уловить, им овладеть — вот в чем задача, его сберечь — вот в чем ключ к экономике; подчинить себе его источник, бьющий с неистощимой энергией, — вот в чем тайна благосостояния».

ИЗ ИСТОРИИ ВОПРОСА ОБ АЗОТЕ

Ряд противоположностей связан со словом азот: с одной стороны — это «нежизненный газ», а с другой стороны — нет жизни без азота, ибо он является непременной составной частью белков; азот дает соединения то окисленные, то восстановленные, то кислотного, то щелочного характера, причем, в отличие от других элементов, играет роль в жизни растения способность использовать в процессах синтеза разные

¹ При этом Либих имел в виду не свободный азот воздуха, а примесь углекислого аммония; однако содержание последнего в воздухе оказалось настолько незначительным, что оно не может влиять на высоту урожая.

² От латинского слова *lupus* — волк.

степени окисления и восстановления, как азотная, азотистая и азотноватая кислоты, аммиак и гидроксилламин, а у низших организмов — и свободный азот. С экономической стороны также азот является то самым дорогим элементом, если речь идет о минеральных удобрениях, то самым дешевым, если иметь в виду использование азота бобовых.

Историю вопроса об азоте нужно начинать, конечно, не с Шульца, а с Буссенго, но и это будет правильно лишь в том случае, если говорить о периоде настоящей химии, начало которой положил Лавуазье.

Но на деле вопрос этот возник еще задолго до Лавуазье, во времена алхимии и иатрохимии, хотя терминология в то время была совершенно иная: речь шла обычно о «воздушном начале селитры». Предполагалось, что «зародыши селитры» (*germes, oeufs*) носятся в воздухе, но только в почве происходит «инкубация» и развитие зародышей, и рождается драгоценная соль («соль земли»)¹.

Уже Альберт Великий (XIII столетие) в своем трактате «*De mirabilibus mundi*» говорит о селитре.²

У авторов XIV в. встречаются рецепты для очищения селитры как компонента пороха (*Codex Germanicus, 1350*), а затем ею начинают интересоваться как «солью плодородия». В 1540 г. во Франции был запрещен вывоз селитры за границу, ее нужно было сдавать государству, а в 1544 г. был издан эдикт о создании 300 опорных пунктов по добычанию селитры. Для того же времени имеется указание, что голландские корабли привозили селитру из Индии. Путешественники сообщали, что селитра образуется в природных условиях не только в Индии, но в Америке, в Китае и даже в Испании. В 1563 г. появился трактат Бернара Палисси³ о значении солей в земледелии («*les sels végétatifs*»), где он ставит плодородие почвы в зависимость от содержания в ней известных солей и говорит, что «навоз был бы бесполезен, если бы не содержал «соли», которая остается после разложения

¹ Напомним, что и позднее (в первой половине XIX столетия), когда азот стал известен как главная составная часть воздуха, существовало мнение, что селитра образуется за счет газообразного азота благодаря тому, что почва как пористое тело способствует окислению азота кислородом воздуха (подобно водородному огниву), и образующиеся окислы азота связываются кальцием почвы. Это мнение было опровергнуто Буссенго, который показал, что накопление нитратов в почве не связано с фиксацией азота воздуха.

² Селитре (*nitrum*) приписывалась важная роль в таинственном процессе получения философского камня (Парацельс).

³ Бернар Палисси — даровитый самоучка, первоначально рабочий-гончар, затем химик-эмпирик, составитель эмалей для севрского фарфора, живописец, скульптор, путешественник, топограф и геолог — в старости читал лекции при королевском дворе для избранных слушателей — врачей и пр., но затем был присужден инквизицией к смертной казни (это было в эпоху борьбы католической церкви с гугенотами) и был спасен только благодаря вмешательству королевы-матери. Характерен его гордый ответ королю, пришедшему к нему в тюрьму, чтобы убедить примириться с церковью. См. о Палисси в книге Фигье «Жизнь замечательных людей», а также у Grandeaу, *Chimie appliquée à l'agriculture, Paris, 1879*.

соломы и сена», а затем один из слушателей его лекций в Париже¹ говорит еще более определенно, что навоз содержит «соль мочи» и что повышение плодородия почвы зависит от образования в ней «sucs nitreux» или «la salure de nitre». ² Он не раз повторял тезис Палисси, что для почвы «соль есть отец плодородия», но у него яснее, чем у Палисси, видно, какой именно соли придается главное значение.

Но наиболее замечательными являются в XVII в. мысли о значении азота в жизни растений и о круговороте азота в природе, высказанные Иоганном Рудольфом Глаубером.

Правда, пока он не употребляет название азот, он говорит: *nitrum*. Трудно сказать, как следует перевести это слово, но это не селитра; он нередко говорит отдельно о селитре и отдельно о *nitrum*. Я бы сказал, пользуясь терминологией «Синей птицы», что *nitrum* — это «душа селитры», это предчувствие существования азота. При переводе на современный язык можно было бы сказать, что *nitrum* у Глаубера иногда означает «азот», а иногда «ион NO₃».

В своем труде «*Teutschlands Wohlfahrt*» (1656) он говорит: «*Sal et nitrum est unica vegetatio, generatio omnium vegetabilium, animalium, mineralium*», что буквально перевести трудно, но в модернизированном изложении это близко к утверждению, что зольные вещества (соли) и азот (или «душа селитры») представляют единственную причину роста растений, если говорить только о почве. Характерно следующее место у Глаубера: «Вероятно, вся селитра (или «начало селитры»), которой мы пользуемся, происходит из растений». Указывая, что селитра образуется на стенах конюшен и скотных дворов, он ставит вопрос, — как она образуется. Очевидно, за счет мочи и экскрементов животных. Но они происходят из пищи животных, из травы или сена, словом, из растительных материалов. Следовательно, эти последние содержат «начало селитры», а органы пищеварения только готовят его отщепление. Глаубер отмечает, что селитра образуется и без участия экскрементов, если смешивать с землей листья и другие материалы растительного или животного происхождения, и указывает, что это может быть использовано для промышленного добывания селитры. Дальше он говорит, что селитру (*nitrum*) можно посеять, как полевые культуры, и малым количеством фермента заразить громадное количество земли, которая не замедлит покрыться селитрой, «подобно тому, как небольшое количество пивных дрожжей может вызвать брожение гро-

¹ Это был Gui de Brosse, врач Людовика XIII, впоследствии (в 1621 г.) написавший книгу о природе растения, один из отделов которой носит заглавие: «*De la manière de vivre des plantes et de leur pourriture*». Но, наряду со здравыми рассуждениями о значении селитры и других солей в почве, в этой книге встречаются совершенно фантастические утверждения относительно происхождения углеводов в растениях («*La manne*»).

² Наше слово селитра включает в себе в скрытой форме *nitrum*, оно происходит от латинского *sal nitri*, по-испански — *salitra*, затем *sal* переходит в *sel* (франц.).

мадного количества теста». Таким образом у него есть уже понятие о каком-то сходстве процесса образования селитры с брожением.

У Глаубера были некоторые представления о круговороте связанного азота. Он говорил, что «начало селитры» (*nitrum*) поднимается из глубин земли в царство воздуха, откуда возвращается «насыщенным астральными влияниями и растворенным в воде дождя, снега и росы, чтобы дать плодородие почве».

Дальше Глаубер так говорит о «начале селитры»: «Это как бы птичка без крыльев, которая летает день и ночь без отдыха, она проникает между всеми элементами и несет с собой дух жизни. От *nitrum* происходят минералы, растения и животные. Это начало никогда не погибает, оно меняет только форму; когда входит в тело животных под видом пищи, оно выходит оттуда в экскрементах и таким образом возвращается в землю, чтобы оттуда подняться частично в воздух с парами и выделениями, и вот оно снова среди элементов. Оно существует в корнях растений, и вот оно снова в пищевых веществах. Таким образом круговорот идет от элементов в пищевые вещества, из пищи — в экскременты и оттуда снова в элементы».

Глаубер советует давать селитру корням винограда, советует смачивать посевное зерно раствором селитры, чтобы увеличить урожай. Свой гимн «началу селитры» Глаубер заканчивает тем, что, наряду с другими эпитетами и сравнениями, он ставит вопрос: может быть, это и есть «азот», о котором пишут философы. Но как могло быть известно Глауберу слово «азот»? Обычно считают, что это слово ведет начало от Лавуазье и образовано из греческого слова *ζωω* (живу) и отрицания *α* (*alpha privativum*). На деле же это слово гораздо старше — оно встречается у алхимиков, хотя и в другом смысле.

Взгляните на эту гравюру 1618 г. (рис. 1); подпись гласит: «Омовение Латоны азотом». Здесь под азотом разумеется что-то вроде живой воды, жизненного эликсира; словом, какая-то чудотворная жидкость.

Откуда же взялось это слово, которым пользовались алхимики? Оно искусственно построено так: «альфа» — первая буква всех тогдашних алфавитов, на которых писались научные произведения (греческого, латинского и еврейского), «зет» — последняя буква латинского алфавита, «омега» — греческого и «тов» — последняя буква еврейского алфавита. Из сочетания этих букв и получается слово «Azot». Это вариант на мотив из Апокалипсиса: «Аз есмь альфа и омега, начало и конец»; словом «азот» обозначали то неизвестное «начало всех начал», то философский камень, этот чудодейственный «фермент», способный превращать металлы в золото,¹ то вообще какой-то таинственный ключ красоты, здоровья и богатства.

¹ «*Sicut fermentum pastae vincit pastam et ad se convertit semper, sic et his lapis philosophorum habet convertere plurimas partes metallorum ad se et non converti*» (Petrus Bonus de Ferrara, 1330. Цит. по Schultzenberger. *Les fermentations*).



Рис. 1. «Омовение Латоны азотом».

(из Atalanta Fugiens, Maier 1618, См. John Read, Prelude to chemistry, London, 1936).

Поэтому, когда Глаубер говорил, что «душа селитры» и есть «азот философов», то это, конечно, нельзя понимать так, что Глаубер имел в виду азот в понимании Лавуазье; это было только фигуральное сравнение, употребленное для того, чтобы подчеркнуть все значение «начала селитры»; однако можно думать, что и Лавуазье знал об «азоте философов» и только вложил в это слово конкретный смысл.

Нужно заметить, что в XVII в. Глаубер не был единственным автором, говорившим о значении селитры. В 1621 г. вышло сочинение врача при Людовике XIII, Gui de Brosse: «De la nature, de la vertu et de l'utilité des plantes». В этой книге, наряду с неопределенными утверждениями, что пищей растений являются соль, масло и «spiritus», местами говорится о «нитрозных соках» почвы (les sucs nitreux), и выражение «соль земли» у него включает представление о селитре («навоз содержит соль мочи»). В другом месте: «Земля без соли бесполезна для плодоношения, или, вернее, соль — это отец плодородия».

Некий доктор Stubbes сообщил в Лондонском королевском обществе в 1668 г. о своих наблюдениях на острове Ямайке, что на землях, содержащих селитру («les terres nitreuses» — во французском переводе), сахарный тростник растет пышнее, чем на других, что табак, выросший на таких землях, при курении издает треск; попутно он отмечает, что растения, насыщенные селитрой, плохо хранятся и легко загнивают.

Очень давно еще у алхимиков существовала идея о «воздушном начале селитры» (le nitre aérien).

В 1660—1669 гг. различные авторы (Digby, Hengshaw, Beal) говорили о присутствии начала селитры в росе и рекомендовали намачивать семена в растворе селитры. Фрэнсис Бэкон уделял немало внимания селитре и в своем трактате «Silva silvarum» (1626) он также называет селитру «солью плодородия»; и у него было понимание, что некоторая «субтильная часть селитры» становится существенной составной частью растения. К той же эпохе относятся весьма интересные высказывания Mayow, автора «Tractatus quinque medico-physics, quarum primus agit de sal-nitro et spiritu nitro-aereo» (1671). Mayow первый высказал определенное утверждение, что селитра состоит из кислоты и щелочи, что воздух участвует в ее образовании, давая летучую ее часть, но земля тоже тут участвует, давая нелетучую щелочь («le sel fixe alcali»). Mayow изучал образование селитры в почве и показал, что ее содержится больше весной, при начале вегетации, а затем количество ее уменьшается, так как растения ее поглощают.

Роберт Бойль (1626—1691), известный химик и физик, основатель Лондонского королевского общества, посвящает селитре специальные мемуары: «A fundamental experiment made with nitre», в которых говорит, что селитра состоит из двух начал: кислотного, которое летуче и представляет род «минерального уксуса», и другого — нелетучего, щелочной природы. В те же годы в Германии члены Академии (Academia naturae curiosorum) немало занимались селитрой, и Baldvinus (Baudoin) писал между прочим: «Навоз полон началом селитры». Barbieri в 1681 г. написал мемуары под заглавием: «Spiritus nitro-aerei operationes in microcosmo», Giovanni в 1685 г. представил диссертацию «О брожении, о воздухе и о селитре», Regis в своей «физике» (1691) говорит о распространенности селитры в почве, и, наконец, Stahl в 1698 г. уделил распространению селитры много внимания в своем «Opusculum chemicum»; он также говорит, что неправильно считать селитру происходящей только из земли или только из воздуха, но нужно допустить участие того и другого.

Итак, задолго до Лавуазье сложилось представление не только о значении «начала селитры» в жизни растений, но и об атмосферном происхождении этого начала.

Когда Пристлей открыл, что воздух состоит из кислорода и како-

то остатка, не поддерживающего горение, то он сначала назвал этот остаток «флогистонированным воздухом». Однако Лавуазье показал, что этот газ содержится как таковой в атмосфере, а не образуется при горении, причем главное внимание привлекла неспособность этого газа поддерживать дыхание и горение; отсюда первоначальное выражение Лавуазье «*mofette atmosphérique*», т. е. миазмы, или удушливые газы, воздуха. Никакой связи с «воздушным началом селитры» тогда не было установлено, на первое место выступало противоположение этого газа кислороду в отношении процессов дыхания и горения; но в 1783 г. Кавендиш показал, что при пропускании электрической искры через воздух этот газ соединяется с кислородом и дает окислы азота, что привело к названию *nitrogène* (так в сущности найден был мостик от «нежизненного» азота к дающей жизнь растениям селитре). С другой стороны, Бертоле вскоре нашел, что тот же элемент входит в состав «*alcali volatil*», т. е. аммиака (а следовательно, и в состав ряда веществ животного происхождения), поэтому Фуркруа предложил термин «*alcaligène*». Но в 1787 г. комиссия по химической терминологии, состоявшая из Лавуазье, Бертоле, Фуркруа и де Морво, предпочла вместо положительной характеристики нового газа отметить отрицательные его свойства и назвала его «нежизненным газом», или азотом (*Azote*), производя это слово от греческого слова *зоо* — живу и объясняя приставку *а* как отрицание (в греческом языке, действительно, применяется так называемое *alpha privativum*). Но нужно заметить, что законность такого словообразования вызывает сомнения, так как буквы *t* совсем нет в конце слова *зоо*, от него происходит слово *зоэ* — жизнь, которое образовано без участия буквы *t*; то же относится к комбинированным терминам, как зоология, зоотехния и пр. Слово азот взято было, конечно, от алхимиков,¹ но была сделана попытка вложить в него иной смысл.

Своеобразно, что азот, получивший от Лавуазье название «нежизненного» газа, не сразу занял место «души селитры» Глаубера, которая из элементов переходит в растения, из них — в тела животных и через экскременты возвращается снова в «мир элементов» (т. е. неорганическую природу). О роде «души селитры» в жизни растений и животных как будто иногда совсем забывали. По крайней мере, в биографии Буссенго, написанной Дегереном,² приводится рассказ о том, как один путешественник наблюдал, что когда поток лавы достиг луга, покрытого пышной травой, то почувствовался ясный запах аммиака, распростра-

¹ Это видно из следующих строк, взятых из статьи «*La chimie*», написанной de Morveau в 1786 г.: «On a remarqué, que suivant le Dictionnaire de Trevoux, azote signifiait la matière première des métaux, le mercure des philosophes; on aurait pu citer aussi Paracelse que se sert réelement des mots azot et azoth»... (Encyclopédie méthodique, I, p. 641, 1786).

² Приложение к т. VIII собрания сочинений Буссенго (Agronomie, chimie agricole et physiologie).

нившегося в воздухе, и причина этого явления ему была неизвестна. Когда путешественник обратился к Бунзену за объяснением этого факта, Бунзен ответил, что этот аммиак должен был получиться при действии расплавленной лавы на траву, так как «Буссенго недавно показал, что растения содержат азот».

Этот рассказ звучит несколько странно, так как известный химик Дэви, знаменитый в истории химии прежде всего благодаря открытию металлического калия, в своих лекциях по агрономической химии (1812 г.) с ясностью говорит об азоте как важнейшей составной части растений;¹ ему было известно особенное богатство азотом бобовых, и он даже высказывал предположение, что бобовые заимствуют азот из воздуха. Но немногие физиологические опыты Дэви были грубо примитивны.²

Поэтому, если оставить в стороне эпоху алхимии и период Глаубера, то историю строгого экспериментального изучения вопроса об азоте растений приходится все-таки начинать не с Дэви, а с Буссенго, который даже в большей мере, чем Либих, имеет право считаться основателем современной агрохимии; он раньше Либиха отверг господствовавшее тогда учение Тэера и, зная, что источником углерода в растениях является углекислота атмосферы, поступающая через листья, в области взаимоотношения между растениями и почвой вместо гумусовой теории выставил теорию азотного питания растений и поставил азотистые удобрения на первое место по воздействию на урожай растений: («*Les engrais les plus puissants sont ceux qui contiennent le plus d'azote*», 1837).

¹ Кроме того, заслуживает упоминания, что в 1804 г. в Париже, в одном из заседаний Академии Наук, был заслушан доклад Леблана на тему: «*Sur les substances ammoniaquales considérées principalement comme matières végétales*» (Grandeau, «*Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture*», Paris, 1879, p. 60—62).

² Дэви правильно отмечает, что на растительность оказывают хорошее действие растворы селитры, хлористого аммония, калия хлористого и углекислого; наибольшее же действие оказывает углекислый аммоний. «Естественно было,— говорит Дэви,— ожидать этого результата, так как соль, о которой идет речь, содержит углерод, водород, азот и кислород».

Самый опыт по действию углекислого аммония на растительность был поставлен в 1808 г. таким образом: реторта наполнялась разлагающимся навозом, и газы, выделяющиеся при разложении навоза, подводились к корневой системе злаков, образующих дернину; меньше чем через неделю стал заметен результат этого опыта: рост травы стал необычайно сильным и представлял контраст с развитием растений, не получивших газов, выделявшихся из реторты.

Некоторые очень верные утверждения встречаются у Соссюра (1804), например: «Превосходство удобрений животного происхождения над растительными материалами, повидному, зависит только от большего содержания азота в первых». Но позднее Соссюр не был последовательным и в 1842 г. утверждал, что главная роль аммиака не в прямом питании растения, а в растворении почвенного гумуса, который содержит азот (Bibliothèque universelle de Genève, 1842; цит. по Грандо, *Chimie et physiologie*, 1879, I, p. 496).

О ФОРМАХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА, ДОСТУПНЫХ РАСТЕНИЯМ

Когда ставится вопрос о значении связанного азота для растений,¹ то тотчас же возникает и другая сторона того же вопроса, именно о формах соединений азота, доступных растениям. Дело в следующем: в то время как для серы и фосфора мы имеем определенное решение, что растению нужна только известная степень окисления (серная кислота, фосфорная и притом ортофосфорная кислота), в случае азота, как мы увидим ниже, приходится ставить вопрос о целой цепи соединений, начиная от наиболее восстановленных и кончая наиболее окисленными; причем в известных случаях и свободный азот не может быть исключен из этого списка.

Вопрос о формах соединений азота, доступных растениям, проходил через разные фазы, и здесь намечается нечто вроде гегелевской триады, т. е. при известной схематизации можно различить три стадии: тезис, антитезис и, наконец, синтез противоположных воззрений. На самом деле грань между этими стадиями (особенно между антитезисом и синтезом) не может быть резко проведена, часто обе мелодии слышны одновременно в общем хоре, но для удобства обозрения такая схема может быть полезна.

Исходным тезисом было положение — источником азота растений является аммиак; из этого исходили и Буссенго и Либих. Буссенго считал, что экскременты животных и другие органические вещества прежде всего потому являются удобрениями, что при их разложении образуется аммиак. Как сложились эти взгляды у Буссенго? Буссенго известен своими строгими опытами по источникам азота растений в стерильном песке, но прежде чем он стал ставить опыты в песчаных культурах в Европе, он видел своеобразные «песчаные культуры» в земледелии Южной Америки, где он в молодости провел несколько лет, наблюдая и изучая природные явления (устраивая лаборатории даже в кратере вулкана) и своеобразные приемы земледелия туземцев. На побережье Перу ему пришлось видеть, как бесплодные пески превращаются в плодородные поля, дающие обильные урожаи кукурузы, и это превращение происходит благодаря применению гуано в качестве удобрения.

Буссенго произвел анализ гуано и нашел, что оно представляет собой очень богатое азотом удобрение, содержащее частью готовые аммиачные соли (щавелевокислый аммоний), частью вещества, легко дающие аммиак при разложении (мочевая кислота и пр.).² Вот что

¹ Роль Буссенго в вопросе о свободном азоте, поставленном им в том же 1837 г., будет рассмотрена ниже.

² Залежи гуано образовались благодаря тому, что в бездождных местностях экскременты птиц (пингвинов и др.), питающихся рыбой, т. е. богатой азотистыми веществами пищей, накапливались столетиями.

дало толчок и первое направление мыслям Буссенго об источниках азота растений.

Либих также приписывал аммиаку главную роль в питании растений азотом, при этом, кроме образования аммиака при разложении выделений животного организма, он приписывал большое значение присутствию углекислого аммония в воздухе, правда, в очень небольших количествах, но при громадности и подвижности воздушных масс все же, по мнению Либиха, этот аммиак должен играть большую роль в питании растений. Какое-то чутье заставляло Либиха искать источников азота в атмосфере, и он думал, что многолетние кормовые травы, раньше начинающие вегетацию весной и позднее оканчивающие ее осенью, больше улавливают аммиака из воздуха, чем хлеба.

Господство первоначального тезиса об аммиаке как основном источнике азота растений было настолько велико, что когда первый транспорт чилийской селитры прибыл в Гамбург, то для нее не нашлось покупателя — пришлось селитру выбросить в море. Так поступили в XIX в. с селитрой, которой в XVII в. такие гимны пел Глаубер, видя в ней воплощение «азота философов».

Характерно, что при первых опытах с песчаными культурами (Wiegmann und Polstorf, 1842) в качестве источника азота был введен гуминовокислый аммоний. Точно так же и при первых полевых опытах в Ротамстеде (1843) фигурировал сернокислый аммоний, а не селитра. Когда же селитра проникла все-таки в практику сельского хозяйства и дала превосходные результаты, то Кюльман, современник Либиха и Буссенго, придумал такое объяснение: селитра потому действует на растения, что под влиянием органических веществ почвы происходит восстановление селитры до аммиака. Так сильно было влияние господствующего тезиса. Но когда в 1846 г. Сальм-Горстмар, пытаясь создать нормальную смесь для песчаных культур, перешел от NH_4NO_3 к NaNO_3 , то он обнаружил, что было для него неожиданно, что растения могут обходиться и без аммиака — питаться одной селитрой. К 50-м годам XIX в. относятся известные опыты с селитрой, произведенные Буссенго (о них говорится во всех учебниках физиологии растений), который отметил противоречие объяснений Кюльмана с данными Сальм-Горстмара и поставил опыты в прокаленном песке с возрастающими дозами селитры, начиная от нуля. Урожай подсолнечника возрастал (в пределах опыта) пропорционально внесенному количеству селитры. Так была доказана прямая возможность питания растений селитрой, а одновременно было показано, что пресловутый углекислый аммиак воздуха ни на иоту не помогает избежать азотного голодания тем растениям, которые не получили связанного азота.

Так Буссенго как бы приближался к стадии синтеза (т. е. к допущению усвояемости как аммиачного, так и нитратного азота), но следующее обстоятельство вдруг вызвало резкий крен в сторону антите-

зиса, особенно в Германии: когда появился метод водных культур (конец 50-х и начало 60-х годов), то наблюдался ряд неудач при попытках вводить аммиак в качестве источника азота, потому что вводили не NH_4HCO_3 , о котором говорил Либих, и не гуминовокислый аммоний, как делали Wiegmann и Polstorf, а NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, не принимая никаких мер к регулированию реакции среды. При этом, конечно, растения страдали, а иногда и совсем погибали от остаточных кислот (HCl и H_2SO_4), что было правильно подмечено Раутенбергом (1863).¹ Однако не было сделано правильного логического вывода о физиологической кислотности вводимых солей, вместо этого пришли к выводу, будто аммоний как таковой не годится для питания растений, а годятся только нитраты. Правда, была сделана попытка (но в неудачной форме) исключить сильные кислоты, а именно: Бейер в 1867 г. поставил опыты с углекислым аммонием, но даже не с бикарбонатом, а с $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, и, конечно, у него растения сильно страдали от щелочности, и только во второй половине опыта, когда наблюдалось появление нитратов, растения ожили. В этом Бейер увидел подтверждение положения, что аммиак сам по себе не может быть источником азота для растений, однако это был типичный случай логической ошибки (*cum hoc ergo propter hoc!*), потому что на деле причина лежит в другом — в смягчении щелочности раствора благодаря улетучиванию части аммиака при продувании культур, а затем и благодаря наступившей нитрификации. Так между Сциллой и Харибдой терпели крушение попытки того времени найти условия, при которых растения могли бы питаться аммиаком без превращения его азота в нитратную форму, и все более расширялось господство антитезиса. На этом фоне остался незамеченным (или недооцененным) единственный успешный опыт того времени, в котором аммиак заведомо усваивался без участия нитрификации, но это был опыт внекорневого питания аммиаком, питания через листья, наподобие того, как Gris за 30 лет до этого через листья давал хлоротическим растениям железо. Мы имеем в виду классический опыт известного агрохимика и физиолога Адольфа Майера (1874), при котором корневые системы двух сравниваемых растений находились в общем сосуде, а надземные части и того, и другого растения развивались каждая в своей изолированной среде — под стеклянными колпаками, причем в одном из них находился стаканчик с раствором углекислого аммония, другое же растение (контрольное) аммиака не получало. Результат был очень ясный: первое растение развивалось лучше и содержало больше азота, а так как корни у них питались одним и тем же раствором (без азота), то ясно, что накопление азота в первом случае происходило благодаря усвоению аммиака листьями.²

¹ Rautenberg und Kühne, Landwirtschaft. Vers. Stationen, VI, 355.

² Эта остроумная постановка опыта устранила все сомнения, которые вызывались опытами предшественников А. Майера. Первым в этот период начал опыты

Но тогда этот факт не вызвал вопроса: разве может иметь место такое положение, чтобы клетки листьев были способны усваивать аммиак, а клетки корня требовали нитратов?

по действию углекислого аммиака на растения агрохимик Штекгардт (Таранд, 1859), но его опыты мало прибавили к вышеупомянутым опытам Дэви; в 1860 г. ученик и помощник Штекгардта — Сакс, впоследствии известный физиолог, продолжил эти опыты в более совершенной форме, а именно: он выращивал фасоль в песчаных культурах, помещая надземные части растений под стеклянный колпак, причем воздух под колпаками ежедневно обновлялся; при добавлении углекислого аммиака к этому воздуху наблюдались лучший рост растений и повышенное содержание азота в них, например:

	Сухой вес растения (г)	Общее количество азота (в мг)
1) Воздух + CO_2	4.140	108
2) То же + NH_4HCO_3	6.740	208

Отсюда Сакс сделал вывод, что листья способны усваивать аммиак из окружающего воздуха. Однако оставалось неустраненным следующее возражение: так как поверхность песка не была изолирована от атмосферы, то аммиак мог проникать к корням и через них поступать в растение; следовательно, участие листьев в усвоении аммиака остается недоказанным.

Поэтому Шлезинг во Франции и А. Майер в Германии в 1873—1874 г. подвергли этот вопрос новой проверке. Шлезинг выращивал растения табака в почве, бедной азотом, вводя углекислый аммоний в атмосферу, окружающую листья; при этом стеклянный колокол большой емкости, под которым развивались растения, был закреплен замазкой на стеклянной пластине, служившей для изоляции почвы от атмосферы; стебель табачного растения проходил через отверстие в этой пластине, и были приняты меры, чтобы воздух из-под колпака не мог сообщаться с почвенным воздухом. При этих условиях оказывалось, что растение, к листьям которого имел доступ углекислый аммоний, содержало 3.320 г азота, а контрольное растение — 2.460 г; следовательно, 0.820 г азота заимствовано листьями из углекислого аммиака (0.025 г аммиака на 1 куб. м воздуха). Всего дано было 1.093 г азота; следовательно, усвоено было больше 75% азота, данного в виде аммиака. Но в листьях табака аммиак как таковой не накапливался, он был потреблен на образование белков.

В то время как Шлезинг проводил свои опыты с довольно сложной аппаратурой (особая система насосов для получения искусственной атмосферы определенного состава и пр.), А. Майер, работая с более простой аппаратурой, применил большую строгость в разработке схем опыта, причем завершил свой ряд работ той изящной постановкой, о которой упомянуто в тексте: чтобы устранить всякие сомнения относительно возможности проникновения аммиака к корням того растения, к листьям которого подводился аммиак, А. Майер поместил корни того и другого растения в общий раствор; и только надземные части были изолированы в отдельном колоколе для каждого растения. Так с полной строгостью был применен метод единственного различия, и результат получился совершенно ясный: через 5 недель растения, питавшиеся аммиаком через листья, содержали 4.4% азота в сухом веществе, а контрольные — 1.6%; абсолютное количество азота было в первом случае 28 мг, а во втором — 8 мг (Landwirtschaftl. Versuchstat., XVII, 1874).

Таким образом этими опытами была вполне доказана способность листьев поглощать аммиак и перерабатывать его в белковые вещества. Но этот результат был получен только при искусственном обогащении атмосферы аммиаком, предположение же Либиха, что растения из атмосферы обычного состава могут поглощать листьями заметные количества азота, не подтвердилось ни для злаковых, ни для бобовых.

² Прянишников Д. Н.

Господство антитезиса продолжалось, и оно казалось гармонирующим с фактами, указывающими на большое распространение процесса нитрификации в природе.

Еще Буссенго доказал¹ громадную распространенность нитрификационного процесса в природе. Изучив в этом отношении не только культурные почвы, но и почвы лугов и лесов, он показал, что содержание нитратов в почве не может быть объяснено теми количествами азотистых соединений, которые приносятся с осадками, и что азот воздуха не участвует в нитрификации. А еще в 1823 г. Longchamps объяснял образование нитратов в почве прямым окислением азота кислородом; при этом влияние почвы сравнивалось с действием губчатой платины. Буссенго показал, что нитраты образуются в почве не за счет азота воздуха,² а за счет органического вещества и что в искусственных смесях нитрификация не наступает, если не внести немного перегнойной земли, не подвергая ее прокаливанию.

Ученики Буссенго и продолжатели его научной работы в области агрохимии — Шлезинг и Мюнц первые установили, что нитрификация является процессом биологическим, изучили влияние различных факторов (температура, кислород воздуха) на развитие нитрифицирующих бактерий и дали первые данные о распространенности нитрификационного процесса.³ Так, Мюнц нашел нитрифицирующих бактерий на вер-

¹ См. *Agronomie, chimie agricole et physiologie*, том II.

² Нужно заметить, что с этой теорией прямого окисления азота воздуха в почве боролся современник Буссенго — Kühlmann (Франция); он показал (1838), что азот и кислород, при пропускании через нагретую губчатую платину, не дают начала окислам азота, но таковые получаются, если вместо азота пропускать аммиак. Kühlmann открыл аммиак в водной вытяжке из селитренных буртов и признал аммиак за необходимую промежуточную ступень в процессах нитрификации (подробности см. у Грандо, *Chimie et physiologie*, 1879, стр. 463).

³ Мы не останавливаемся здесь подробнее на этой важной серии работ потому, что ее результаты не раз излагались на русском языке, см., например, мою актовую речь в 1906 г. «К истории развития современных воззрений в агрономии» или курс «Учение об удобрении» (1922), а также курс Густавсона «Двадцать лекций по агрономической химии», 1888, недавно переизданный Сельхозгизом в серии «Классики естествознания».

Обстоятельные работы Шлезинга и Мюнца по нитрификации, являющиеся продолжением работ Буссенго, служат одним из многих примеров, когда представители агрономической химии играют роль пионеров, вскрывающих сущность не известного еще явления, основной характер того или иного процесса; когда же это выяснено, тогда выступают на сцену представители основных наук, специально изучающие данную дисциплину, изучают явление во всей его чистоте, и тогда оно может описываться в соответственных отделах общей классификации наук. Так, например, Шлезинг и Мюнц подготовили почву для работ Виноградского; Гельригель был пионером в установлении факта симбиоза бобовых с бактериями, но его работы потребовали вмешательства специалистов-микробиологов (Пражмовский, Бейеринк и др.); также в вопросе о метановом брожении начало положили Дегерен и Шлезинг; в вопросе о денитрификации — Дегерен и Гейон (Gayon); то же относится к ряду вопросов по химии почвы (явления поглощения, органическое вещество почвы) и к широкому ряду вопросов по физиологии растений и биохимии.

шине Фаульгорна, где нет никакой растительности и где они являются, повидимому, пионерами жизни.¹

Все это казалось хорошо гармонирующим с господствовавшей догмой о недоступности растениям аммиака как такового и необходимости предварительной нитрификации.

Однако, когда стали дальше изучать распространение нитрификационного процесса в природе, то обнаружилось, что в болотных и лесных почвах процесс этот или вовсе не идет, или имеет место в очень малой степени, и все-таки растительность на таких почвах не только существует, но может быть даже обильно развитой. Подобные соображения побудили Мюнца² в 1885—1888 гг. провести опыты с почвой, предварительно лишенной не только нитратов, но и способности к дальнейшей нитрификации аммиака, образующегося в почве. Исходя из факта, что нитрифицирующие бактерии менее стойки к высоким температурам, чем разнообразные организмы, вызывающие процессы аммонификации, Мюнц прибег к так называемой полустерилизации почвы: нагревая сосуды с почвой до 100°, он устранял нитрификаторов. Образование аммиака в такой почве продолжалось, а обычное окисление в азотистую и азотную кислоту отсутствовало. Растения в такой полустерилизованной почве обречены были на питание аммиаком, подобно флоре болотистых и многих лесных почв (перед стерилизацией почвы промывались, чтобы удалить ранее образовавшиеся нитраты). Посев производился стерилизованными семенами, надземные части растений развивались в стеклянных камерах, в которые имел доступ воздух, лишенный бактерий. Дополнительная проверка на отсутствие нитрификаторов заключалась в том, что часть сосудов оставлялась без растений, и в них по окончании опыта нитраты не были обнаружены. В сосудах с растениями наблюдалось хорошее развитие («вполне нормальное», по словам Мюнца) кукурузы, ячменя, бобов и конопли и энергичное усвоение азота, в некоторых случаях до 915 мг на сосуд.

В результате Мюнц пришел к выводу, что аммиак непосредственно усваивается растениями, без предварительного окисления.

Нужно отметить, что Мюнц нашел остроумный прием, чтобы дать растениям аммиак, не вводя в то же время ни серной, ни соляной кислоты, как это происходит в опытах с NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, — в опытах Мюнца образующийся аммиак входил в состав поглощающего комплекса почвы, т. е. связывался с очень слабыми кислотами, гуминовыми и алюмокремневыми, которые при поглощении аммиака растениями не могли причинить им вреда.

Таким образом Мюнц был первым автором, избежавшим и Сциллы

¹ Но трудно представить, что может служить источником аммиака в этом случае, кроме небольших его количеств, приносимых осадками.

² *Journal d'agriculture pratique*, 1889; см. также Breal, *Annales agronomiques*, 1893.

и Харибды, т. е. как щелочности углекислого аммония, погубившей растения в опытах Бейера (см. выше), так и кислотности, вызываемой солями аммиака с HCl и H_2SO_4 , которая парализовала развитие растений в опытах Раутенберга и целого ряда других авторов.¹

Если присоединить сюда опыты с доставлением углекислого аммиака листьям, то окажется, что школа Буссенго (Шлезинг и Мюнц) во Франции и А. Майер в Германии опережали свою эпоху. Но преобладающее большинство исследователей, часто даже хорошо владеющих аналитической техникой, не обладало такой силой логического анализа, как названные исследователи, и в работах этого большинства тонули незамеченными или недооцененными читателями такие логически отточенные и экспериментально совершенные (для своего времени) работы, какие давали Мюнц и А. Майер. В частности, заслонившими собою достигнутые Мюнцем результаты были работы его современника, голландского исследователя Пича (Pitsch), начатые в том же 1885 г.,² как и опыты Мюнца. Пич проводил свои опыты тоже в почве, освобожденной от нитратов путем промывания и стерилизации, но стерилизованной сполна, с последующим введением в нее определенных источников азота. Пич наполнял металлические сосуды 30 кг промытой почвы («гумозный песок»), закрывал сосуды ватой и стерилизовал нагреванием в масляной бане, имевшей температуру 160—180° С. Азот вводился обычно в одной из форм: NaNO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. При окончании опыта почва после уборки растений оставлялась на некоторое время и затем испытывалась на присутствие нитратов, но нитрификации в этих условиях не было.

С настойчивостью, достойной лучшей участи, Pitsch вел свои опыты в течение ряда лет (1885—1894), но по неполной, явно дефективной схеме, и неизменно получал один и тот же результат: хотя растения несомненно усваивали не только нитратный, но и аммиачный азот (это было достаточно строго доказано), но развитие в первом случае было гораздо лучше, чем во втором: вот пример из опытов с ячменем:³

	Без азота	NaNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Сухой вес растений	14.0	36.6	21.6 г.

Опыты эти представляли, с одной стороны, как бы преимущество по сравнению с опытами Мюнца, так как здесь определенно вводился аммиак как таковой и он несомненно усваивался, но аммиак был по-

¹ Единственное возражение, которое делалось Мюнцу, состоит в том, что в его опыте, кроме аммиака, растения могли иметь другие источники азота, как аминокислоты и амиды, образующиеся при распаде белковых соединений в почве; но можно заведомо утверждать, что ни с количественной, ни с качественной стороны эти источники азота не могли играть заметной роли по сравнению с аммиаком.

² Landwirtschaft. Versuchs-Stationen, Bd. 34.

³ Ячмень гораздо чувствительнее к кислой реакции, чем овес.

ставлен в худшие условия, чем у Мюнца, а главное, в худшие, чем селитра, в опытах самого Пича; поэтому казалось, что если нитрификация не является абсолютно необходимой, то все же без нее нормального развития не получается.

Работая в течение целых 10 лет по той же схеме, Пич так и не догадался, что в сосуды с сернокислым аммонием нужно было ввести CaCO_3 , так как песчаная почва (да еще, видимо, кислая, как это обычно для «гумозных песков» в Голландии) не могла дать материала для нейтрализации серной кислоты, введенной с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Это тем более удивительно, что, кроме давних наблюдений Раутенберга (1863), ему должна была быть известна данная А. Майером в 1881 г. общая формулировка понятия о физиологически кислых солях;¹ не обратил внимания Пич и на полевые опыты Меркера, проведенные в 1888 г., которые обнаружили положительное влияние извести в случае применения на удобрение сернокислого аммония,² и на вегетационные опыты Павла Вагнера, который еще более рельефно показал, что на почвах, бедных кальцием, коэффициент действия сернокислого аммония (по сравнению с селитрой) существенно повышается от внесения CaCO_3 .³

Так как Пич вел опыты длительно и выступал в печати в течение десятилетия неоднократно (1887, 1893 и 1896) — в центральном агрономическом журнале международного значения,⁴ то его работы много способствовали укреплению общепринятого тогда мнения, что без нитрификации нельзя получить хорошего развития растений, получающих только аммиак в качестве источника азота.

В те же годы появились еще некоторые работы, с ясностью доказывающие прямое усвоение аммиака (без посредства нитрификации), но в них не было сравнения аммиачного питания с нитратным, поэтому они не могли быть противопоставлены опытам Пича. Сюда относятся работы Бреала, который показал,⁵ что экземпляры *Poa annua* за 24 часа сполна поглощают аммиак из слабых растворов $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (при такой постановке опыта не было нужды в стерилизации среды); такое же поглощение аммиака наблюдалось в работе Griffiths (1891), проведенной в стерильных культурах,⁶ но и здесь не было сравнения с нитратами, и потому вывод Пича, казалось, не встречал возражений. Только в самом конце прошлого столетия работами Коссовича у нас и

¹ Landwirtschaftl. Versuchs-Stationen, 1881.

² Jahrbücher d. Deutschen. Landw. Gesellschaft, 1889.

³ P. Wagner. Die Stickstoffdüngung, Berlin, 1892. Меркер и Вагнер объясняли в этих случаях эффект от CaCO_3 положительным влиянием на ход нитрификации, а так как эти опыты велись в нестерильной среде, то в них и нельзя было различить влияния на нитрификацию от влияния на прямое питание аммиаком культурных растений.

⁴ Landwirtschaftl. Versuchs-Stationen, Bd. 34, 42 и 46.

⁵ Annales agronomiques, 1893.

⁶ Direct absorption of ammoniacal salts by plants. Chemical News, vol. 64, 1891 (реферат) Centralblatt für Agriculturchemie.

Мазэ во Франции были проведены опыты сравнения аммиачного и нитратного питания с устранением побочного влияния физиологической кислотности и было обнаружено, что аммиак при известных условиях может давать результаты даже лучшие, чем нитраты. Но, следуя хронологическому порядку, я сначала должен буду сказать о своих работах в связи с изучением обмена азотистых веществ в растениях, а к разбору опытов Коссовича и Мазэ вернуться потом.

ОБМЕН АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ И РОЛЬ В НЕМ АММИАКА И АМИДОВ

В то время, когда в вопросе об аммиачном и нитратном питании у отдельных исследователей уже появлялись признаки перехода к синтезу, но в основе продолжал господствовать в литературе все еще антитезис, мне пришлось совершенно неожиданно включиться в эту область работы.

В 1892 г. я получил заграничную командировку и стал искать таких лабораторий, в которых можно бы научиться методам исследования в области соприкосновения агрохимии с физиологией растений и биохимией.¹ Как и за 25 лет до меня К. А. Тимирязев, я увидел, что скорее,

¹ Так как работы Гельригеля, Пражмовского, Виноградского, открывшие новые горизонты, влияли на настроения того времени, то я сначала отдал некоторую дань микробиологической методике и проработал семестр у Альфреда Коха в Геттингене (там только что была организована кафедра сельскохозяйственной бактериологии), затем в Париже пытался работать в Институте Пастера, в отделе «Microbiologie générale», которым ведал Duclaux. Я хотел было изучить метановое брожение и выделять соответствующие микроорганизмы; но оказалось, что я ошибся выбором лаборатории, Дюкло был в ней только гостем, заглядывал два раза в неделю (в связи с чтением курса по биохимии), бегло обходил лабораторию, спрашивал «Comment va-t-il?», а его помощник Фербах вел свою работу с дрожжами и нисколько не интересовался тем, что делают докторанты. Оказалось, что Дюкло ведет свою основную работу в другом месте — в Laboratoire des Fermentations при Агрономическом институте. Вообще выяснилось, что, в то время как немецкие профессора дорожат притоком иностранцев в свои лаборатории (в Германии в то время работало много докторантов из России, Америки и Японии), в Париже нисколько иностранцами не интересуются. Так, когда я и Коссович обратились к Шлезингу с вопросом, нельзя ли у него работать, он ответил, что он в Агрономическом институте только лектор, свои же работы он ведет в Институте табака, куда иностранцы не допускаются. Мюнци на подобный же вопрос ответил, что в его лаборатории в Агрономическом институте можно проходить только общую методику агрохимического анализа, но мы как иностранцы должны сначала получить разрешение министра, а затем заплатить 800 франков (золотом) в семестр за место в лаборатории. Нашлась, правда, одна лаборатория, желавшая иметь докторантов, но о ней я узнал только тогда, когда уже списался с Цюрихом и должен был оставить Париж, — это лаборатория Дегерена в Jardin des Plantes (Muséum d'Histoire naturelle). Я, конечно, знал Дегерена как профессора в Гриньоне (под Парижем), но мне было неизвестно, что он же ведал небольшой исследовательской лабораторией по химии растений в самом Париже. Но я поехал в Цюрих, и об этом решении жалеть не пришлось.

чем у ботаников-физиологов (среди которых видная роль тогда принадлежала Пфефферу), я смогу найти должное руководство у некоторых агрохимиков. Я побывал в двух агрохимических лабораториях, имевших уклон в сторону биохимии: у Толленса в Геттингене (вряд ли многие из изучавших химию углеводов по известной книге Толленса знают, что он всю жизнь занимал кафедру агрономической химии) и у Эрнста Шульце в Цюрихе, и остановился на второй, так как Толленс, хотя был выдающимся химиком и изучал составные части растений, но биохимические процессы его как будто совсем не интересовали. Шульце же, занимаясь, как и Толленс, выделением определенных химических соединений из растений, не отказывался от опытов и с живыми растениями (по крайней мере — проростками), и это меня более привлекало, чем чисто химическое направление у Толленса.

Лаборатория Шульце в то время представляла собой тихое убежище, чрезвычайно удобное для научной работы, и ее использовали преимущественно иностранцы-докторанты. Хотя это была лаборатория при кафедре агрономической химии, но персонал лаборатории не был обременен преподаванием¹; на сельскохозяйственном отделении в Цюрихе было немного студентов (человек 15 на одном курсе), они приходили 2—3 раза в неделю на 4-часовые групповые занятия по сельскохозяйственному анализу, а остальную часть своего 8-часового рабочего дня профессор и ассистенты отдавали спокойной научной работе в лаборатории и библиотеке. Швейцарские студенты у Шульце обычно научной работой не интересовались (это были преимущественно дети крестьян, прошедшие через Ackerbauerschule, а не общеобразовательную школу), они стремились поскорее окончить свой 3-летний курс и уйти на практику.² Поэтому Шульце охотно принимал в свою лабораторию иностранцев-докторантов, желавших усвоить его методы научного исследования; среди этих иностранцев было немало и русских (Палладин, Крашенинников, Кизель, Васильев и др.).³

Шульце работал преимущественно в области превращения азотистых веществ в растениях. Сначала он как кропотливый химик-аналитик просто выделял из растений ряд кристаллических продуктов и

¹ Это типично и для большей части сельскохозяйственных отделений также и в университетах Германии.

² Нужно сказать, что наиболее видными профессорами в Цюрихе были не швейцарцы, а немцы из германских университетов. Такими были Шульце и Винтерштейн, ботаник Шретер, химик Lunge, геолог Heim и др. Таким же был позднее и блестящий руководитель кафедры агрохимии Георг Вигнер. И даже на кафедрах прикладного характера наиболее видную роль играли не швейцарцы, как Кремер (зоотехник), Новацкий (земледелец) и др. Позднее появилась тенденция к замещению освобождающихся кафедр предпочтительно уроженцами Швейцарии, даже в ущерб поддержанию научного уровня политехникума, что и вызвало злую насмешку со стороны Lunge («Sei es ein Ochs, nur ein schweizer Ochs!»).

³ Когда я работал у Шульце, оба его ассистента (Э. И. Винтерштейн и С. Л. Франкфурт), кроме немецкого, владели и русским языком, и когда Шульце из общего рабочего зала уходил в свой кабинет, то мы переходили на русский язык, и к нам нередко присоединялся еще И. К. Окулич, бывший тогда студентом. Это давало повод старому служителю Бургарту, коренному швейцарцу, жаловаться на «засилье русских» в лаборатории Шульце.

отождествлял их с известными в органической химии соединениями, а также открывал и неизвестные ранее вещества, как, например, аргинин. Но постепенно он перешел к изучению общей картины обмена веществ при прорастании, установил ряд новых фактов, а эти факты стали в резкое противоречие с господствовавшими тогда среди ботаников-физиологов взглядами лейпцигского профессора Пфеффера, пользовавшегося большим авторитетом (Пфефферу, действительно, принадлежали большие заслуги, но в области физической физиологии). Изучая еще с 70-х годов процессы прорастания, но не макрхимически, а путем микроскопического исследования проростков, Пфеффер пришел к выводу, будто распад белковых веществ в растениях происходит по совсем другим законам, чем в животном организме (под влиянием ферментов) или в руках химика (под влиянием кислот), а именно: в растениях в преобладающем количестве образуется аспарагин, в то время как при кислотном и ферментативном гидролизе белки дают лишь небольшое количество аспарагиновой кислоты, преобладают же лейцин, аминвалерьяновая кислота, тирозин.

Образованию аспарагина приписывалось, как известно, Пфеффером особое значение именно при прорастании: он видел в нем транспортную форму азотистых веществ, отличающихся от белков такою же способностью диффундировать и легко перемещаться из семенодолей в растущие органы, какой глюкоза отличается от крахмала.

Но когда Шульце применил методы количественного определения составных частей растения, проследил превращения веществ по различным стадиям прорастания и по отдельным органам проростков, то постепенно стала выясняться картина, совершенно не отвечающая взглядам Пфеффера. Именно, Шульце нашел, что в первых стадиях прорастания, когда растущие органы (стебель и корень) еще малы, среди продуктов распада белков преобладает обычная смесь аминокислот, какая образуется вообще при гидролизе, в частности под влиянием трипсина у животных (лейцин, тирозин, аминвалерьяновая и другие аминокислоты); по мере же развития растущих органов за счет семенодолей, начинает брать верх аспарагин. Далее оказалось, что *концентрация раствора аспарагина в ростках люпина выше, чем в семенодолях*.

Все это говорило против взглядов Пфеффера на аспарагин как на первичный продукт распада белков, образующийся в семенодолях идвигающийся к точкам роста, но Шульце как очень осторожный исследователь не высказывался тогда совершенно отрицательно по отношению к господствующей в ботанических кругах теории, накапливая постепенно факты, из которых многие с ней не согласовались.¹

¹ Существенную поправку к взглядам Пфеффера внес видный русский ботаник И. П. Бородин: он признал, что аспарагин имеет более широкое распространение, не ограниченное только проростками, и играет существенную роль в жизненных

Чтобы объяснить расхождение между первичным (гидролитическим) распадом белков и вторичным преобладанием аспарагина, Шульце строил различные гипотезы (см. его статью в *Landwirtschaftl. Jahrbücher*, 1888), не высказываясь окончательно ни за одну из них; среди них фигурировало, например, предположение, что при обратном образовании белка в стеблевых органах проростков,— если таковое допустить вместе с Пфеффером,— главную роль играют аминокислоты (лейцин, аминвалерьяновая кислота и др.), аспарагин же труднее употребляется в процессе синтеза белка, и при повторении процессов распада и синтеза все более и более накапливаются излишки аспарагина. Ясно, что это объяснение в корне противоречило взгляду Пфеффера на аспарагин как специфическое вещество, служащее для транспортирования азотистых веществ и регенерации белков в растущих органах, но Шульце не решался резко порвать со всем учением Пфеффера о превращении азотистых веществ при прорастании.

Таково было положение этого вопроса, когда я приступил к своей работе в лаборатории Э. Шульце. Летом 1893 г. Шульце предложил мне заняться выделением из зеленых растений тех компонентов, которые обильно накапливаются в этиолированных проростках (аспарагин, лейцин, тирозин, органические основания), но в малых количествах должны присутствовать и в ассимилирующих растениях. Однако, овладев за лето методикой, я на зиму 1893—1894 г. решил перейти к учету общего баланса превращений при прорастании всех веществ, поддающихся учету по тогдашнему состоянию знаний, причем объектом взял вику, отличающуюся от хорошо изученного Шульце люпина наличием крахмала в семенах.

При этом имелось в виду проверить, не будет ли это богатство крахмалом способствовать той регенерации белка в растущих органах, о которой постоянно говорил Пфеффер и для которой необходимо, чтобы, кроме аспарагина, к точкам роста притекали и углеводы.

Но результаты моих опытов привели к совершенно другим выводам, и, кроме того, когда я дальше углубился в эту работу, то весь вопрос об аспарагине неожиданно для меня превратился в вопрос и об аммиаке как источнике азота растений.

Основные результаты моей работы, проведенной зимой 1893—1894 г. в лаборатории Шульце, были сведены в таблицу и изображены графически

процессах вообще, как это думали раньше Буссенго и Гартиг; особенно в больших количествах он накапливается, если растение находится в темноте и в нем истощается запас углеводов. Но так как Бородин работал также по преимуществу методом микроскопическим, то его работы, при всем остроумии некоторых приемов, все же не могли дать того, что дал Шульце, применивший, наряду с качественным, также и методы количественного химического анализа к изучению превращения азотистых веществ в растении (см. о значении работ Бородина в моей первой диссертации, напечатанной в Известиях Московского сельскохозяйственного института за 1895 г. Из позднейших авторов высокую оценку работ Бородина дает Чибнелл, поместивший в своей книге (1939) его портрет).

чески на рисунке. На нем показаны (рис. 2) превращения веществ за 40 дней пребывания проростков в темноте, видна трата веществ на дыхание, убыль крахмала, прирост клетчатки, распад белков с образованием аспарагина и аминокислот. Это та картина обмена веществ при прорастании, о которой К. А. Тимирязев позднее, при защите мной магистерской диссертации в 1896 г., сказал, что она должна войти в учебники.¹

Но сейчас мы оставим в стороне крахмал и клетчатку и остановимся ближе на превращениях азотистых веществ. Так как при опы-

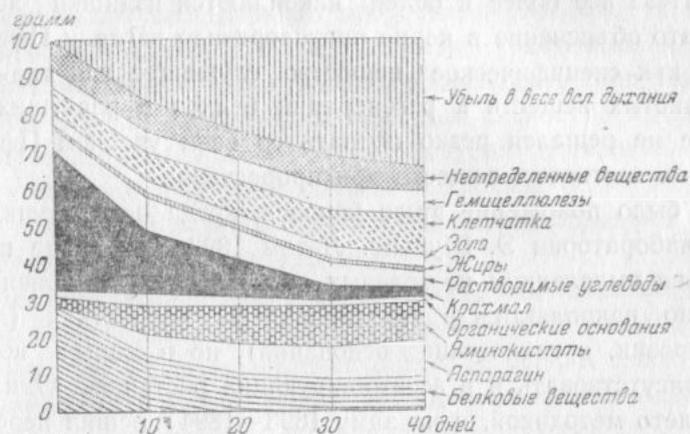


Рис. 2. Превращение веществ при прорастании семян вики

тах по прорастанию мы азота извне не даем и его количество является постоянным, то удобно принять это количество за 100 и в процентах выразить его распределение по разным группам соединений. Соответственные данные представлены графически на рис. 3. Одна из кривых (AA) показывает убыль белка — она сначала резко опускается, потом уменьшение белка замедляется. Почти зеркальным ее изображением является кривая BB, восходящая вверх, — это сумма аминокислот и амидов; вторая восходящая кривая (bb) изображает рост аспарагина, который становится главной составной частью небелкового азота, накапливающегося при прорастании, причем на долю аспарагина приходится две трети азота от всей смеси аминокислот и амидов (одна треть приходится на аминокислоты), а от всего азота ростков на аспарагин приходится 42%. А так как в исходном белке виковых семян на аспарагиновую кислоту приходится лишь 3% от всего азота, то ясно, что аспарагин не есть первичный продукт распада белка, как думал Пфедер, а образуется благодаря вторичным процессам. Кроме того, несмотря на то, что семена вики богаты крахмалом, в первые же дни прорастания идет накопление аспарагина, и дальше он не потребляется

¹ Это потом и исполнилось — она появилась прежде всего в учебнике Иванова, а затем и в других.

в процессе синтеза белка в растущих частях, как это должно бы быть по Пфедеру. Это заставило меня отказаться от взглядов Пфедера и признать аспарагин вторичным продуктом обмена веществ, подобным мочеvine, которая образуется путем вторичного синтеза за счет аммиака. Эту мысль когда-то высказывал Буссенго, но она была забыта, я же ее восстановил и дал новые доказательства для поддержания этого взгляда, прямо противоположного взгляду Пфедера.

В работе 1894 г. (Landw. Versuchs-Stationen, XLV, 265), после обзора фактической части моей работы с *Vicia sativa* и указания на противоречие гипотезы Пфедера с найденными мною фактами, далее говорилось: «Невольно вспоминается взгляд Буссенго, по

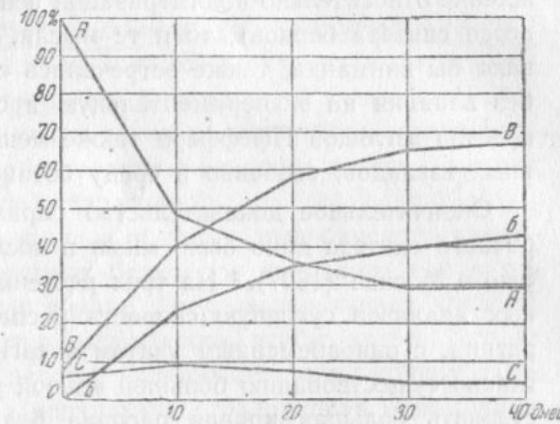


Рис. 3. Обмен азотистых веществ при прорастании семян вики. Линия AA соответствует азоту белков, BB — сумме азота аминокислот и амидов, CC — азоту органических оснований и bb — азоту аспарагина (в процентах от общего количества азота)

которому аспарагин в этиолированных ростках является таким же продуктом окисления белков,¹ как мочевина в животном организме; как аспарагин, так и мочевина не могут быть потреблены в процессе регенерации белка, но в то время как мочевина удаляется из организма, аспарагин накапливается в клеточном соке этиолированных растений. Но когда под влиянием света в растении берут верх синтетические процессы, тогда кончается аналогия с животным организмом, и тогда аспарагин потребляется растением в процессе синтеза белков.²

Вопрос о распадении белков при прорастании послужил темой для моей магистерской диссертации («О распадении белковых веществ при прорастании», 1895), в которую вошла работа, проведенная у Шульце (главы I и IV), дополненная опытами, проведенными в Москве (главы II и III).

В 1896 г. я обнаружил, что у меня есть единомышленник по вопросу об аспарагине, а именно: я получил интересную работу (авторский

¹ Точнее, не самых белков, а продуктов их гидролиза.

² Подтверждение взгляда Буссенго на образование аспарагина и связь его с окислительными процессами я видел, между прочим, в работе Палладина, который нашел, что при помещении ростков в бескислородную атмосферу образование аспарагина прекращается (см. В. И. Палладин. Влияние кислорода на распадение белковых веществ в растении, 1889). Этот взгляд Палладина оспаривался Клаузенем, но впоследствии был подтвержден Голлевским.

оттиск) из Токио от Оскара Лева (Oskar Loew),¹ в которой он высказывался, как и я, за вторичное образование аспарагина с участием аммиака, но так как в этой и последующих статьях Лева преобладало построение ряда гипотез; часто совершенно невероятных (таково утверждение относительно полимеризации аспарагинового альдегида при процессе синтеза белков), то и те мысли, которые по существу заслуживали бы внимания, также встречались с недоверием и потому остались без влияния на экспериментальную проработку данного вопроса. Господство взглядов Пфедфера также мешало в то время проникновению иных взглядов, особенно в среде ботаников.

Окончательное доказательство образования аспарагина путем вторичного синтеза дано было мною в последующих опытах, проведенных уже в Москве (1897).² На трех растениях я проследил путем ежедневных анализов суточную скорость распада белка и образования аспарагина, с одновременным учетом энергии дыхания. Я ожидал, что, согласно существованию большой кривой роста и дыхания, должна существовать большая кривая распада белка и образования аспарагина;

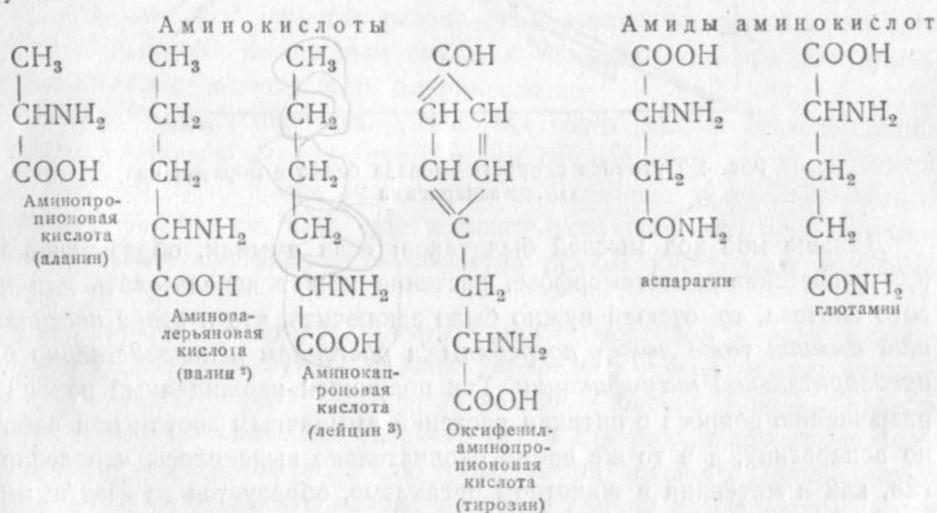
¹ Статья об аспарагине в Chemiker Zeitung за 1896 г.; в том же году вышла в Лондоне отдельной брошюрой работа Лева «The Energy of Living Protoplasm», впоследствии изданная на немецком языке в значительно дополненном виде.

То, что Оскар Лев был долгое время профессором в Токио, не является отдельным случаем. Япония в 80-х годах приглашала ряд немецких профессоров по контракту на 10 лет с щедрой оплатой, с тем чтобы они создали школу молодых японских исследователей, но через 10 лет они обязаны были оставить Японию, сдав кафедры своим преемникам. Эту возможность использовал ряд способных приват-доцентов немецких университетов, в частности из агрохимиков «прошли через Японию», кроме Лева, еще Оскар Кельнер, Либшер, Феска. Через 10 лет они возвращались в Германию с повышенными шансами на занятие кафедры (благодаря ряду научных работ, сделанных в Японии и напечатанных, помимо японских, и в европейских журналах), и с денежными сбережениями, а иногда и с японскими женами, как Оскар Кельнер. Вообще Германия поставляла тогда профессоров и в Японию, и в США, и в Бразилию. Это большое число свободных научных работников, кроме общей высоты культурного уровня тогдашней Германии, создавалось еще двумя факторами, а именно: немецким типом вольной приват-доцентуры (который у нас часто напрасно смешивался со штатной доцентурой) и обилием сверхштатных ассистентов, приглашаемых на 3 года, а затем обязанных или продвигаться дальше по научной дороге, или уходить на производство.

² Работы физиологического характера я обычно докладывал в Ботаническом отделении Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, где председателем был К. А. Тимирязев, сам часто выступавший там со своими докладами. Заседания отделения обычно устраивались в Большом зале Политехнического музея (старое здание) и привлекали значительное число научных работников и студентов старших курсов из разных высших учебных заведений Москвы. Там же я доложил и свою работу, доказывавшую вторичность образования аспарагина, на заседании, происходившем в начале декабря 1897 г., а в начале 1898 г. была получена книжка журнала «Zeitschrift für physiologische Chemie» со статьей Шульце, в которой он уже сделал выбор из нескольких своих предположений, ранее им высказанных, считая их одинаково гипотетическими, и также пришел к выводу о вторичном образовании аспарагина за счет аминокислот.

это и подтвердилось (рис. 4), но проявилось и нечто неожиданное, а именно: оказалось, что во второй (нисходящей) части имеет место пересечение названных кривых и «аспарагиновая кривая» (приход аспарагина) идет выше «белковой кривой» (распад белка), т. е. к концу прорастания аспарагина образуется больше, чем распадается белка.¹ За счет чего же может образоваться аспарагин в таких количествах? Только за счет аминокислот, вторичным путем, а это возможно лишь в том случае, если в ростках, как и в тканях животного организма, аминокислоты распадаются с образованием аммиака и этот аммиак потребляется в процессе синтеза аспарагина.

Достаточно взглянуть на формулы обычных аминокислот, являющихся первичным продуктом распада белка при гидролизе как в растительном, так и в животном организме (аминовалериановая кислота, лейцин, тирозин и др.), и формулу аспарагина, чтобы видеть, что из одной молекулы любой аминокислоты, содержащей одну группу NH₂, не может получиться молекула аспарагина, содержащая две группы NH₂, без того, чтобы не распалась с образованием аммиака другая молекула аминокислоты, и этот аммиак пойдет на образование амидной группы.



Доказательство вторичного происхождения аспарагина позволило мне примирить то противоречие, которое раньше существовало во взглядах на процесс распада белков при прорастании: Шульце считал этот процесс гидролитическим, а Лев и Палладин — окислительным. Факты, мной наблюдавшиеся, позволили найти синтетическое решение и считать, что сначала в семядолях белок под влиянием фермента распадается гидратируясь, совершенно так, как это происходит под влия-

¹ Само собой разумеется, что сравниваются количества азота в распавшемся белке и образовавшемся аспарагине.

² Норвалин.

³ Норлейцин.

нием кислот (а также в пищеварительных органах животных под влиянием трипсина), а затем в растущих органах продукты гидратации могут окисляться с образованием аммиака, который в процессе вторичного синтеза потребляется с образованием аспарагина, например, путем дегидратации аспарагиновокислого аммония, подобно тому как из карбаминовокислого аммония получается мочевина (подробнее см. позднейшую сводку в моей докторской диссертации «Белковые вещества», 1899, глава II).

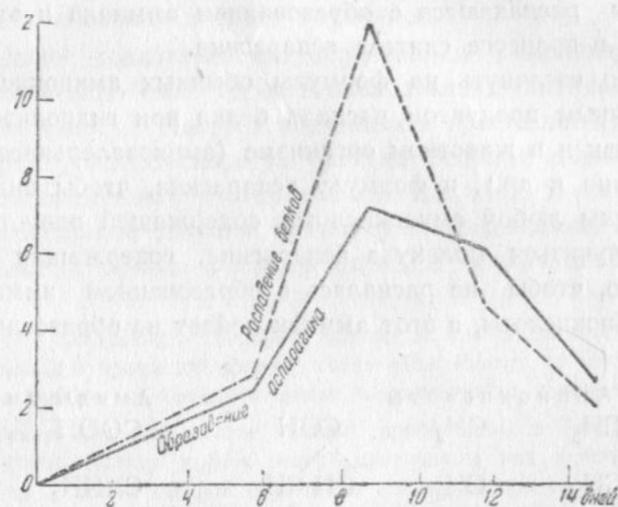


Рис. 4. Суточная скорость распада белка и образования аспарагина

Дальше мой ход мыслей был таков: если аммиак, образовавшийся при регрессивном метаморфозе, растение может использовать для нового синтеза, то отсюда нужно было заключить, что и *извне поступающий аммиак тоже может потребляться растением непосредственно без предварительной нитрификации*. Так получился неожиданный подход к разрешению вопроса о питании растений аммиачным азотом при работе по аспарагину, а в то же время окончательно выяснилось, что аспарагин, как и мочевина в животном организме, образуется за счет аммиака и в этиолированном растении вовсе не служит для регенерации белка в растущих органах (вместе с притекающей глюкозой), как утверждал Пфеффер, но скопляется как отброс до тех пор, пока не наступит ассимиляция.

Так я пошел вразрез с господствующим мнением, и это мне не прошло даром: Пфеффер был тогда общепризнанным авторитетом, а я молодым, начинающим работником, и Пфеффер позволил себе высказать свое мнение обо мне там, где я не мог ему отвечать, — на страницах своего учебника, а именно: в издании 1897 г. было сказано, что мнение Прянишникова о сходстве между аспарагином и мочевиной «во всяком случае ошибочно» («unter allen Umständen irrig»). Но тут еще

раз оправдалась французская поговорка: «Rira bien qui rira le dernier».

В дальнейшем не только мои собственные работы подтвердили взгляд на аспарагин как аналог мочевины, образующийся путем вторичного синтеза, — это было подтверждено впоследствии и в той самой лаборатории, где работал Пфеффер, его преемником Руляндом.

Небезынтересно теперь сопоставить этот отзыв Пфеффера с тем, что через 40 лет написал о моих работах того времени Чибнелл¹ в своем обстоятельном обзоре² работ по аспарагину:

«Лет за пять до появления работы Шульце, явившейся результатом его долгих и упорных исследований, Прянишников уже совершенно точно установил, что часть аспарагина в проростках должна происходить из продуктов разложения белка (а не самого белка. — Д. П.). Основываясь на собственных данных и на данных ученика Шульце — Мерлиса, Прянишников путем сравнения интенсивности разложения белка, с одной стороны, и интенсивности накопления аспарагина — с другой, установил, что оба процесса достигают своего максимума приблизительно в одно и то же время, но затем процесс разложения белка понижается значительно быстрее процесса накопления аспарагина (см. рис. 4).³ Это показывает, что аспарагин синтезируется из других продуктов распада белка, и таковыми, по предположению Прянишникова, должны быть аминокислоты».

Далее Чибнелл отмечает, что в 90-х годах XIX в. «такое предположение являлось теоретическим, и сам Шульце, без сомнения, считал его таковым. В то время анализы белка были еще далеко не полными (около 45%),⁴ и не было еще доказательств того, что при энзимном и даже кислотном гидролизе молекула белка дает только аминокислоты».

«Здесь ярко выступает контраст между подходом к делу учителя и ученика, контраст между опытностью зрелого ученого и смелостью, — а может быть, и более острой интуицией, — юноши. Как мы видели, Шульце потратил пять лет упорного труда для того, чтобы окончательно доказать то положение, для установления которого Прянишникову достаточно было сделать выводы из более ранних работ школы самого Шульце!».

Отметим, что тогда (в 1896 г.) Пфеффер, как это часто бывает в полемике, приписал мне еще и то, чего у меня вовсе не было: я гово-

¹ Chibnall. Protein Metabolism in the Plant, 1939, стр. 57—58.

² В этом очерке уделено много внимания моим работам (см. особенно стр. 52—104); там же помещены портреты ряда авторов (во главе с Шульце), работавших по вопросам о распаде белков и образовании аспарагина, причем из русских авторов даны портреты Бородина и Прянишникова.

³ Здесь Чибнелл воспроизводит тот самый рисунок из работы 1897 г., который помещен в настоящей статье на стр. 30.

⁴ Здесь имеется в виду неполный количественный учет продуктов гидролиза в то время.

рил, что аспарагин не идет на синтез белка в этилированном растении, а Пфеффер писал так, точно я говорил о растении вообще. Ясно, что на свету аспарагин используется растением для синтеза белка, как это видно, например, из следующего моего опыта (1897) с прорастанием на свету, без доставления азота извне (рис. 5). Здесь видно, что

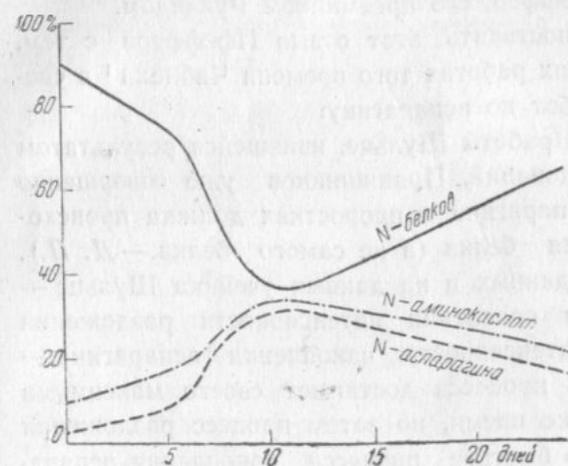


Рис. 5. Регенерация белков на свету (опыт с *Lupinus luteus*)

за стадией распада белка наступает затем стадия синтеза, при которой потребляются как аминокислоты, так и аспарагин. Но ясно, что аспарагин потребляется в процессе синтеза белка не так, как когда-то думал Лев, допустивший простую полимеризацию аспарагина при одновременном вхождении глюкозы (это было до работ Эмиля Фишера), — аспарагин служит как носитель группы NH_2 . Хотя здесь мы имеем дело с двумя положениями группы NH_2 , но ни одно не означает закрепления намертво — не только амидная, но и аминная группа способна освобождаться и идти на построение любых аминокислот в растении, о чем будет речь ниже. В том смысле, что аспарагин является носителем групп NH_2 , которые позднее используются растением в целях синтеза, он может быть, если угодно, назван резервным веществом, но отнюдь не транспортной формой резервных азотистых веществ семенодолей, как думал Пфеффер, так как образуется-то он не в семенодолях, а в энергично дышащих растущих стеблевых органах.¹

Мой вывод о том, что аммиак, образующийся в растении, вновь по-

¹ Первые указания на то, что энергия образования аспарагина (или глутамина) связана с энергией дыхания и что то и другое зависит от температуры, даны были в 1874 г. Лясковским (Москва, кафедра агрохимии МГУ) в его работе по прорастанию тыквенных семян, затем Палладин отмечал связь образования аспарагина с кислородным дыханием (см. сказанное выше). Мною был поставлен вопрос, изменяется ли при повышении температуры энергия накопления аспарагина сообразно кривой роста или кривой дыхания, причем опыты 1899 г. дали ответ в пользу второго решения, так как не было обнаружено оптимума при 25—28° С, а непрерывно с возрастанием температуры в пределах опыта (до 35° С) росло и количество аспарагина, как показывают следующие цифры:

	t°	20°	28°	35°
Опыт I	I. Суточная убыль белка (по N)	1.42%	3.30%	4.22%
	II. Прибыль N аспарагина	0.57%	1.20%	1.48%

требуется в процессе синтеза аспарагина, основывался на опытах 1894 и, особенно, 1897 г. Поэтому, когда в 1898—1900 гг. появились почти одновременно работы П. С. Коссовича в Петербурге и Мазэ в Париже,¹ окончательно доказавшие прямое усвоение аммиака, вводимого через корни, то я мог только приветствовать эти работы, как строгое экспериментальное доказательство положения, для меня а priori бывшего несомненным.

Коссович впервые провел опыт по аммиачному питанию растений при осуществлении двух необходимых условий: не только совершенной стерильности среды, но и устранения физиологической кислотности $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, которая снижала результаты в опытах Pitsch, о которых упоминалось ранее. Не касаясь здесь существенного продвижения вперед в области методики стерильных культур высших растений, достигнутого Коссовичем, отметим лишь, что он для смягчения кислотности вводил или мел, или гидрат окиси железа, и ему удалось при его постановке опыта (постепенное введение сульфата аммония вместе с поливной водой) получить при аммиачном питании не только вообще хорошие результаты, но иногда даже лучшие, чем при питании селитрой. Вот пример из его опытов:

	Вес растений (в г)	Количество азота в них (в мг)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$	3.00	67
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_3$	3.95	127
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaCO}_3$	3.05	77

В то время как Коссович работал с песчаными культурами, Мазэ применил водные, причем у него также были случаи большего усвоения аммиачного азота, чем нитратного, а кроме того, был случай, в котором при одновременном введении в раствор $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (в присутствии CaCO_3) растения поглотили аммиак до конца, нитратный же азот частью остался неиспользованным.

Эти отдельные случаи, тогда казавшиеся исключениями, с полной регулярностью подтвердились, когда мы начали (с 1900 г.) систематически изучать свойства азотнокислого аммония. Эта соль, вопреки господствовавшим тогда представлениям, оказалась физиологически-кис-

	t°	22.5°	28°	35—36°
Опыт II	I. Суточная убыль белка (по N)	2.80%	4.05%	4.40%
	II. Прибыль N аспарагина	0.14%	0.61%	0.97%

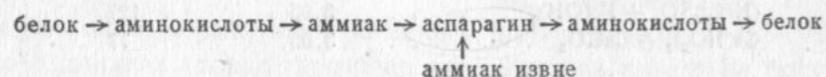
(Белковые вещества и их превращения в растении в связи с дыханием и ассимиляцией, 1899, стр. 61).

¹ Журнал опытной агрономии, II, 637 и Annales de l'Institut Pasteur, XIV, 26. В сущности, Коссович провел свои опыты раньше, чем Мазэ, а именно: в 1897 г., но так как он своевременно не напечатал сообщения о своей работе за границей (что часто упускают из виду русские авторы), то там считается, что Мазэ первый установил прямое использование аммиака высшими растениями, без участия нитрификации. Кроме Коссовича и Мазэ, по этому вопросу заслуживает еще внимания работа K r ü g e r, Landwirtschaftliche Jahrbücher, 1905, 761.

лой, т. е. аммиак поглощается корнями растений с большей жадностью, чем азотная кислота, и раствор становится кислым. Впервые в 1900 г. мы подметили эту кислотность благодаря косвенным явлениям (растворяющее действие остаточной кислотности на фосфорит в песчаных культурах), а затем она была установлена непосредственно также и в стерильных культурах. Не останавливаемся здесь подробнее на этой серии опытов, так как нам предстоит еще вернуться к ним во второй части настоящей работы.

Итак, к началу этого столетия получены были строго установленные данные, доказывающие возможность хорошего усвоения аммиака растениями без посредства нитрификации; с этого момента следует считать стадию антитезы пройденной, наступила стадия синтеза — признаки обоих источников азота непосредственно доступными для растения. Однако еще долго это было известно только ограниченному кругу специалистов, масса же агрономов продолжала думать, что аммиак должен непременно подвергнуться нитрификации, этот тезис продолжал повторяться в учебниках (и даже в 1936 г. Сельхозгиз печатал учебники, в которых все еще утверждалось, что только в окисленной форме азот доступен растениям).¹

К началу этого столетия все имевшиеся факты подтвердили наметившуюся мною схему превращения азотистых веществ в растении:



Однако не все переходы между звеньями этой цепи были экспериментально проверены. Так, участие аммиака в образовании аспарагина за счет азота аминокислот при прорастании логически вытекало из моих опытов 1897 г., но этот скрытый аммиак, быстро потребляемый в процессе синтеза, обнаружен еще не был. Этот пробел пополнен был В. С. Буткевичем (1904), который, пройдя школу Шульце, вел исследования дальше в той же области, как и я (в частности, описываемые ниже опыты проведены им в моей лаборатории, но он работал самостоятельно, в качестве аспиранта-докторанта).

¹ В вопросе о значении нитрификации нередко смешивают две стороны:

- 1) чисто физиологический вопрос, который разрешен вышеупомянутыми опытами, и
- 2) вопрос нормального режима в почве, в смысле должной ее аэрации и поддержания реакции в известном интервале; вот в этой плоскости вопрос о нитрификации сохраняет значение, так как отсутствие нитрификации обозначает какое-нибудь неблагополучие, например отсутствие аэрации вследствие избытка влаги или излишней плотности почвы, а это мешает одновременно и нормальному росту культурных растений. Точно так же кислая реакция почвы, подавляющая деятельность нитрификаторов, в то же время подавляет рост и большинства высших растений; известкование в этом случае оздоравливает почву и, восстанавливая нитрификацию, одновременно повышает и урожай. Поэтому наличие нитрификации является благоприятным показателем с точки зрения оценки плодородия почвы.

Исходя из идей известного физиолога Клода Бернара, что анестезирующие вещества подавляют преимущественно синтетические процессы, не затрагивая процессов распада, Буткевич подверг ростки действию толуола. Тогда синтез аспарагина подавлялся, и аммиак, мною логически предвиденный, был обнаружен им экспериментально. Кроме того, Буткевич показал, что если ростки люпина дольше выдержать в темноте, доведя до углеводного голодания, то они также накапливают аммиак.

Очевидно, образование аммиака имеет место в нормальных растениях, он является необходимым звеном в процессе превращения азотистых веществ вообще, но обычно мы его не можем уловить вследствие быстрого перехода в амидную форму.

Повторяя свой опыт с анестезией в бескислородной среде, Буткевич не получил образования аммиака; следовательно, нужно думать, что в этом случае образование аммиака связано с процессами окислительными.¹

Этим в известной мере сглаживается степень различия между высшими растениями и, например, плесневыми грибами, относительно которых давно известно, что они способны доводить распад белков не только до аминокислот, но и до аммиака, причем последний может иногда накапливаться в значительных количествах. Условия такого накопления выяснены, между прочим, такими наблюдениями Буткевича: способность некоторых форм (как *Aspergillus*) при питании белками накапливать значительные количества аммиака идет параллельно с их способностью вырабатывать кислоты (щавелевую кислоту), нейтрализующие аммиак. Если искусственно устранять кислотность, вводя, например, мел, то *Aspergillus* замедляет накопление аммиака, ограничиваясь расщеплением белка или пептона до аминсоединений (в жидкости накапливаются лейцин и тирозин). Другую картину дают *Penicillium* и *Mucor*: не будучи способны к обильному образованию кислот, они обычно образуют мало аммиака и много аминсоединений. Но если в окружающую среду вводить кислоты (например фосфорную), то и эти организмы доводят превращение азотистых веществ до аммиака, который накапливается в жидкости до тех пор, пока реакция еще может не переходить в щелочную.

Следующим этапом наших работ по аспарагину была экспериментальная проверка предположения, что если «свой» аммиак растение обезвреживает, потребляя его в процессе образования амидов, то, вероятно, и извне поступающий аммиак должен пойти прежде всего на образование аминных и амидных групп в аспарагине и глутамине и в этой обезвреженной форме быть готовым резервом для синтеза ряда аминокислот, входящих в состав белковой молекулы. Так как на свету синтетические процессы протекают очень быстро и промежуточные про-

¹ Буткевич В. С. Регрессивный метаморфоз белковых веществ у высших растений, 1904.

дукты часто бывает трудно уловить, то мы начали наши опыты с проростками, развивающимися в темноте, но еще заведомо не исчерпавшими запаса безазотистых материалов.

Нельзя сказать, чтобы в этом направлении не было ранее сделано попыток, однако полученные результаты были противоречивы. Так, ученики Оскара Лева в Японии — Киношита и Сузуки еще в 1895—1897 гг. утверждали, что ими доказано опытным путем образование аспарагина в растении за счет введения аммиака или мочевины как на свету, так и в темноте. По идее, казалось бы, утверждения Киношита и Сузуки должны быть правильными, но их экспериментальные данные были несовершенны.¹ В то же время Лоран (Бельгия), применяя более строгие аналитические методы, не мог получить заметного прироста органических соединений в темноте, синтез шел только на свету; таким образом его данные противоречили выводам Киношита и Сузуки.²

Таким образом вопрос этот нуждался в экспериментальной проверке, поэтому мной, начиная с 1909 г., был организован ряд работ с разными растениями, с различным запасом в них углеводов как первичным (в зависимости от состава семян), так и вторичным (в связи со стадией развития проростков). Тогда оказалось, что в зависимости от условий опыта (источника азота, вида растения и пр.) результат получается различный, что позволило нам разделить растения по поведению проростков на три группы,³ а именно:

¹ Здравые мысли, послужившие исходным пунктом для работ названных японских исследователей, исходили от их учителя Оскара Лева, но исполнение не отвечало должному уровню строгости. Я в свое время (в диссертации 1899 г.) подверг критическому разбору эти работы, причем главным дефектом работы Киношита (College of Agriculture, Tokyo, Bulletins, vol. II, № 4, 1895) считал отсутствие в них определений аммиака (даже при опытах питания растений 1% раствором хлористого аммония); поэтому цифры Киношита для аспарагина на самом деле означают сумму азота аспарагинового и аммиачного. Работа Сузуки (та же серия, vol. II, № 7, 1897) представляет шаг вперед, он применяет уже более слабые растворы NH_4Cl (0.1%), но опять и в этой работе почему-то определение аммиака, как правило, отсутствует, кроме лишь одного опыта (с гречихой), в котором оно выявило отсутствие прироста аспарагина; а между тем, можно думать, что у Сузуки действительно были случаи синтеза аспарагина за счет аммиака, например, в опыте с подсолнечником (0.99% азота в виде аспарагина + аммиак, против 0.29% в контрольных растениях), но почему Сузуки не захотел сделать эти цифры доказательными, проведя определение аммиака, совершенно непонятно.

² Laurent. Annales de la science agronomique, 1897, 11, 207. Заметим, что в то время как Лоран не наблюдал прироста органических веществ в темноте ни за счет аммиака, ни за счет нитратов, Годлевский (Краков, кафедра агрохимии) в том же 1897 г. в опытах с этиолированными проростками пшеницы получил положительные результаты. Годлевский повторил эти опыты в 1900 г. (Bulletin de l'Académie des Sciences, Cracovie), придав им еще большую доказательность. Таким образом Годлевский является первым автором, установившим возможность синтеза азотистых органических веществ в темноте, и если это было им доказано по отношению к нитратам, то тем более этого нужно было ожидать для аммиака. Однако прямого опыта с аммиачным питанием у Годлевского не было.

³ См. Прянишников. Журнал опытной агрономии, 1912, 673.

1. Растения, в проростках которых при питании растворами аммиачных солей (например, 0.05—0.1% NH_4Cl) легко образуется аспарагин; аммиак при этом в таких растениях не накапливается; типичный пример — зерновые злаки.

2. У растений другого типа (горох, вика) введение солей аммония с сильными кислотами или не вызывает увеличения содержания аспарагина, или даже наблюдается его уменьшение, вследствие подавления роста и замедления распада белков; только при введении CaCO_3 начинается использование аммиака в процессе образования аспарагина.

3. У проростков люпина обычно, а у других растений — при крайнем истощении запаса углеводов, даже введение CaCO_3 не вызывает синтеза аспарагина, растения страдают от аммиачного отравления.

В этих работах участвовало значительное число лиц: И. С. Шулов, О. Н. Кашеварова, Ф. Т. Перитури, С. Н. Калинин, Г. И. Ритман, И. А. Дабахов, А. Г. Николаева, А. С. Каблуков, А. П. Красинский, В. А. Морозов, А. И. Смирнов. Приведем несколько характерных примеров.¹

Первым в этой серии был опыт, проведенный И. С. Шуловым в зиму 1909—1910 г. с проростками гороха и ячменя, при питании 0.1% раствором NH_4Cl . Опыт с горохом дал отрицательный результат; не только не было образования аспарагина, но его содержание понизилось под влиянием NH_4Cl ; и если бы опыт был поставлен только с горохом, то казалось бы, что подтверждается вывод Лорана об отсутствии синтеза амидов в темноте.

Но опыт с ячменем дал ясный положительный результат; вот данные анализов после пребывания проростков в течение 10 дней на растворе NH_4Cl :

В 100 ростках содержалось (в мг)	Вода	Раствор NH_4Cl	Разность
Всего азота	145.8	161.5	+15.7
Азота белков	61.8	61.5	- 0.3
Азота аминокислот	46.8	42.7	- 4.1
Азота аспарагина ²	36.7	53.4	+19.7
Аммиачного азота	0.5	0.9	+ 0.4

Здесь мы видим, что поступивший в растение аммиак не накапливался как таковой, но его потребление вызвало значительное увеличение количества аспарагина; это увеличение в данном случае даже превышает прибыль всего азота, так как часть аспарагина могла образоваться за счет окисления аминокислот, количество которых несколько уменьшилось. Количество азота аспарагина возросло при аммиачном питании на 19.7 мг, но, учтя убыль аминокислот, которые могли отдать на образование аспарагина 4.1 мг азота, получим, что за счет извне поступив-

¹ Прянишников и Шулов. О синтетическом образовании аспарагина в растениях, Журнал опытной агрономии, 1910, 533. См. также Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 1910.

² Удвоенный амидный азот.

шего азота могло перейти в азот аспарагина 15.6 мг; по общему же азоту имеем увеличение на 15.7 мг, т. е. *весь поступивший извне аммиак потребился в процессе синтеза аспарагина.*

Отсюда был сделан вывод, что половина аммиака переходит в группу CONH_2 , другая половина — в группу CHNH_2 ; значит, аспарагин образовался не из аспарагиновой кислоты и аммиака, а, например, из яблочной кислоты, вообще из безазотистых веществ и аммиака.¹

Так подтвердилось, что аспарагин есть не только характерный продукт, образующийся путем вторичного синтеза проростками, но он же является первым продуктом синтеза при усвоении аммиака, поступающего извне.

Так же вели себя проростки тыквы, семена которой богаты маслом (опыты Ф. Т. Перитурина); здесь также аммиак не накапливался как таковой в значительных количествах, но за его счет накапливался амид аминокислоты (в данном случае это был глютамин).

Опыт с проростками тыквы

В 100 ростках содержалось (в мг)	Вода	Раствор NH_4Cl	Разность
Всего азота	1438.3	1545.4	+107.1
Азота белков	1153.0	1049.9	-103.1
» аминокислот	82.3	109.8	+ 27.5
» глютамина	194.3	379.3	+185.0
Аммиачного азота	8.7	(6.4)	- 2.3

Если количество вновь образовавшегося глютамина — 185 мг N превышает количество поступившего в растение азота — 107.1 мг, так это потому, что здесь питание NH_4Cl усилило развитие ростков и распад белков: из белков освободилось 103.1 мг, из них 27.5 мг пошло на увеличение количества аминокислот, на образование глютамина пошли остальные 75.6 мг; вычитая 75.6 из 185 (общий прирост глютамина), получаем 104.4. Это глютамин, образовавшийся за счет вновь поступившего извне азота; а так как из определения общего азота видно, что извне поступило 107 мг, то и в этом случае можно сказать, что весь поступивший извне азот оказался отложенным в виде глютамина.

Однако для того, чтобы за счет аммиака, поступающего извне, образовался аспарагин, нужно, чтобы в растении был какой-то безазотистый остаток, какая-то четырехуглеродная цепочка, которая может получаться за счет углеводов. Отсюда связь между отношением проростков к поступающему извне аммиаку и содержанием углеводов в прорастающих семенах.

Для установления этой связи мы, как сказано выше, взяли ряд объектов с убывающим количеством углеводов при одновременном возрастании содержания белковых веществ; для главных представителей

¹ Т. е. не из «готовой» аспарагиновой кислоты как продукта распада белка, а образовавшейся в результате вторичного синтеза из безазотистых веществ и аммиака.

этого нисходящего ряда приблизительное отношение между содержанием белков и углеводов в семенах таково:

I	II	III
Злаки	Бобовые типа гороха	Люпин
1:6	1:2	1:0.6

Конечно, кроме этого отношения, отдельные представители названных групп могут отличаться и другими особенностями; так, например, горох и вика отличаются от злаков большей чувствительностью к реакции среды, поэтому они хуже переносят физиологически-кислые соли аммония, как NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, чем злаки; или являются более чувствительными к физиологической неуравновешенности раствора, вызываемой отсутствием кальция. Поэтому мы в опытах с этими растениями вводили всегда и такие варианты, в которых к солям аммония добавлялся углекислый кальций, и это оказалось существенным условием для синтеза аспарагина у растений II группы.

Данные для *Vicia sativa* (опыт Г. И. Ритмана) показывают, что синтез аспарагина шел только при наличии CaCO_3 , причем в этом случае весь усвоенный азот оказался отложенным в виде аспарагина.

Опыт с *Vicia sativa*

В 100 растениях содержалось (в мг)	I Вода	II NH_4Cl	III $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$	Разность между III и I
Всего N	221	244	263	+42
N белков	85	109	90	+ 5
N аминокислот	59	51	54	- 5
N аспарагина	76	73	118	+42
N аммиака	0.9	0.9	1.0	+ 0.1

Совершенно аналогичные результаты были получены в опытах с горохом, которые были начаты И. С. Шуловым и, как выше сказано, дали отрицательный результат. При продолжении этих опытов И. Е. Дабаховым были введены варианты с добавкой CaCO_3 с одной стороны, и CaSO_4 — с другой; сделано это было с целью различить нейтрализующее влияние CaCO_3 от действия иона кальция как фактора уравниваемости питательного раствора. Вот часть полученных при этом данных:

В 100 растениях содержалось (в мг)	Вода	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaSO}_4$
Всего N	1.608	1.810 (или +0.202)	1.764 (или +0.156)
N белков	0.949	1.016 (+0.067)	0.993 (+0.044)
N аспарагина	0.258	0.441 (+0.189)	0.375 (+0.117)
N аммиака	0.010	0.007	0.011

Отсюда видно, что в присутствии соединений кальция синтез аспарагина имел место (в виде этого соединения отложена большая часть поступившего аммиака) и что введению Ca как антагониста аммония

(в виде CaSO_4) принадлежит значительная доля положительного влияния; однако, если к этому присоединяется еще нейтрализующее действие, как в случае CaCO_3 , то процесс синтеза аспарагина протекает еще энергичнее.

В качестве объекта, бедного углеводами, мы взяли прежде всего люпин; семена этого растения, чрезвычайно богатого белками, не содержат вовсе крахмала, углеводы представлены лишь галактанами, отложенными в клеточных стенках, и при прорастании люпин очень скоро начинает страдать от недостатка углеводов. При питании в течение 10 дней аммиачными солями в проростках люпина образования аспарагина не наблюдалось (опыты И. С. Шулова, 1912); мало того, введение с аммиаком таких кислот, как серная и соляная, подавляет у люпина синтез аспарагина за счет «собственного» аммиака [см. ниже о подобном же подавлении синтеза мочевины в печени при введении $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], аммиак накапливается как таковой; при этом, в отличие от гороха и вики, введение CaCO_3 не исправляет этого нарушения синтетической функции у проростков люпина, но наоборот — аспарагина образуется еще меньше. Это видно из следующих цифр:

Опыт с проростками *Lupinus luteus*

В 100 растениях содержалось (в мг)	I Вода	II $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	III $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$
Общий азот ¹	567	575	535
N белков	152	160	170
N аспарагина	258	175	158
N аммиака	26	57	68

Но тогда у нас возник вопрос, насколько здесь еще играют роль и видовые различия и насколько — наличие углеводов; если все дело в углеводах,² то достаточно лишить ячмень углеводов или подкормить

¹ Так как в то время считалось, что при сушке ростков люпина потеря азота происходит (данные лаборатории Э. Шульце для ростков люпина, не получающих азота извне), то мы первоначально все анализы производили на высушенных ростках; но затем оказалось, что при питании NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ростки богаты аммиаком (часть которого содержится, очевидно, в виде бикарбоната), так как при сушке наблюдаются значительные потери; поэтому цифры для содержания аммиака (и общего азота) в этих опытах понижены, и только цифры для содержания белков и аспарагина не зависели от потерь аммиака при сушке.

Такие же результаты получились для люпина и при питании хлористым аммонием (опыт Н. Кашеваровой).

² Если мы говорим о недостатке углеводов как факторе, вызывающем аммиачное отравление у люпина и подобных ему растений, то нужно различать два случая: 1) крайнее голодание, когда дезаминирование и дезамидирование вызваны полным истощением углеводов; это констатировано В. С. Буткевичем; 2) случай сопряженного влияния избыточной кислотности на фоне относительного недостатка углеводов. Сюда относятся упомянутые в тексте данные Шулова и Кашеваровой. Что недостаток углеводов в этом случае является только относительным, показывают следующие данные из произведенных в нашей же лаборатории опытов А. Г. Николаевой, в которых получались другие результаты, если вместо NH_4Cl и

люпин углеводами, чтобы различия между этими растениями сгладились.

Превратить прорастающий ячмень в растение, бедное углеводами, можно двояко: или применить путь хирургический — удалить эндосперм, или чисто физиологическим путем вызвать недостаток углеводов — подольше выдержать ячмень в темноте. Оба пути были использованы нами и с одинаковым успехом: обедненные углеводами проростки ячменя вели себя по отношению к аммиачным солям совершенно так, как проростки люпина, — в них накапливался аммиак, а не аспарагин, если им давались аммиачные соли.

Вот результат опыта А. И. Смирнова с ростками ячменя, которые были выдержаны в темноте 21 день (вместо 10 дней, как было в опыте Шулова):

	I Вода	II NH_4Cl	III $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$
Всего азота (в мг)	163	202	242
белковый азот	81	95	87
азот аспарагина	45	57	37
аммиачный азот	4	41	73

Здесь характерно накопление аммиака и убыль аспарагина в случае III.

С люпином был произведен обратный опыт — снабжение его углеводами. Проще всего это сделать, проращивая люпин на свету, — тогда ассимиляция вызовет обогащение его крахмалом. Оказалось, что при прорастании на свету люпин ведет себя, как ячмень (или любой другой злак), — при питании аммиаком растения образуют аспарагин. Вот пример:

	I Вода	II NH_4Cl	III $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$
Всего азота (в мг)	885	968	978
азота белков	617	521	617
азота аспарагина	151	291	227
азота аммиака	20	35	24

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ брались соли аммония с не столь резко выраженной физиологической кислотностью и тем более — мочевины, дающая возможность питать растения аммиаком, не вводя никакой кислоты, кроме угольной (в растении мочевины переходит в углекислый аммоний). Вот пример:

Источник азота	Азот аспарагина на 100 ростков (в мг)
O	188.9
NH_4NO_3	354.3
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	377.8
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	398.3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ { а)	488.3
{ б)	502.1

Отсюда видно, что то же растение (желтый люпин) и при той же продолжительности опыта могло образовать значительные количества аспарагина, если физиологическая кислотность смягчалась (по сравнению с NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) или совсем устранялась. Но очевидно, что если взять более поздний возраст, то NH_4NO_3 даст тот же результат, как $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в возрасте более раннем (об опытах Николаевой см. в моей статье «Аммиак как альфа и омега», 1916, сборник, посвященный К. А. Тимирязеву).

Но так как в этом опыте с люпином было замешано влияние света, а опыты с другими растениями производились в темноте, то было поставлено еще два ряда контрольных опытов, в одном из которых люпин получал углеводы без света, а в другом — свет, но без возможности образовать углеводы.

Опыт с питанием этиолированных ростков люпина глюкозой в стерильных культурах был проведен в моей лаборатории А. И. Смирновым¹ в 1918 г., причем была использована (с известными изменениями) методика Г. Г. Петрова. Оказалось, что введение глюкозы увеличивает количество аспарагина и уменьшает содержание аммиака.

Это видно из следующих цифр:

	(NH ₄) ₂ SO ₄ + CaCO ₂	То же + глюкоза
Всего N на 100 растений (в мг) . . .	1.002	1.249
N белков	216	380
N аспарагина	490	619
N аммиака	123	82

Опыт с люпином на свету, но без доступа CO₂, проведен был О. Н. Кашеваровой. Для этого люпин выращивался под стеклянными колпаками, в которых ставились стаканчики с раствором NaOH. Результаты анализов совпадали с теми, которые были получены при проращивании люпина в темноте, при отсутствии глюкозы, хотя морфологически и те и другие ростки были совершенно различны (на свету ростки имели вполне развитые листья нормальной зеленой окраски, но это не мешало им заболеть аммиачным отравлением).

Опыт с желтым люпином (на свету, но без CO₂)

	Содержание азота в 100 проростках				Вес 100 проростков (в г)
	Общий азот (в мг)	Азот белка (в мг)	Азот аспарагина (в мг)	Аммиачный азот (в мг)	
Вода	883.7	166.6	236.9	124.4	7.29
Раствор NH ₄ Cl	853.9	159.1	231.1	125.5	7.10
100 шт. семян	—	—	—	—	8.57 ²

Таким образом, переработав ряд комбинаций, мы выяснили, что решающим фактором в синтезе аспарагина за счет введенного извне аммиака являются углеводы, а не свет. Вот сводная табличка, резюмирующая наши опыты в этом отношении:

Условия опыта		Результаты	
Углеводы	Свет	Синтез аспарагина	Накопление аммиака
+	—	+	—
—	—	—	+
+	+	+	—
—	+	—	+

¹ Из результатов вегетационных опытов, т. XI, 1918. См. также А. I. Smirnow. Ueber die Synthese der Säureamide in der Pflanzen bei Ernährung mit Ammoniaksalzen (Biochem. Zeitschr., Bd. 137, 1923).

² Понятно, что при данной постановке опыта (без CO₂) не могло быть прироста органического вещества, и поэтому вес 100 проростков меньше веса 100 шт. семян.

Эту табличку при поездке в 1927 г. я встретил вывешенной на стене в лаборатории проф. Меркеншлягера в Берлине (Biologische Reichsanstalt), ее воспроизводит Chibnall в своей монографии,¹ Murgpeek в своей итоговой работе об аспарагине² и Vickerу в своей вводной статье к исследованию о химических превращениях азотистых веществ в листьях табака.³

Из совокупности вышеприведенных данных наших опытов вытекала моя краткая итоговая формулировка: *аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ у растений*, т. е. с него начинается синтез, им кончается распад, и снова он вовлекается в круговорот, если есть налицо безазотистый материал. Свет для синтеза аспарагина не нужен, но синтез белков идет главным образом на свету⁴ за счет как аминокислот, так и амидов (см. данные одного из наших опытов в графическом изображении — рис. 5, на стр. 32).

Все эти явления я попытался охватить в следующей схеме (рис. 6), изображающей некоторый круговой процесс; правая половина отвечает процессам распада, происходящим в темноте (или на свету, если лишить растение CO₂), левая отвечает стадии преобладания синтеза (на свету или при обильном питании углеводами).

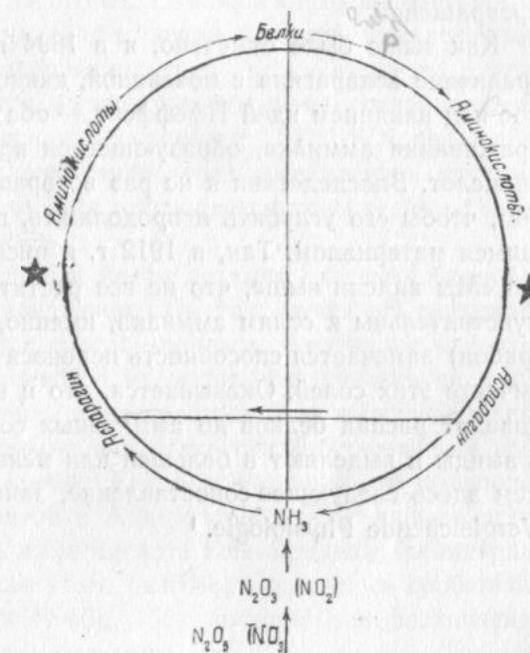


Рис. 6. Схема превращений азотистых веществ в растении

Белок как исходный материал при распаде и конечный продукт при синтезе объединяет обе половины круга; вправо, в зоне регрессивного

¹ Protein Metabolism in the Plant, London, 1939, p. 103.

² Physiological role of asparagine, etc., Plant Physiology, 1935, 447.

³ Amide Metabolism in Plant, стр. 762 бюллетеня № 399 опытной станции в Коннектикут (Chemical Investigation of the Tobacco Plant, 1937). Эту главу Vickerу Чибнелл характеризует, как «the excellent summary of Prianishnikow's work» (стр. 98).

⁴ Если Г. Г. Петрову удалось доказать наличие синтеза белка в темноте при питании кукурузы глюкозой и аммиаком, то количественная сторона оставляла желать очень многого (Г. Г. Петров, Усвоение азота высшими растениями, 1918).

метаморфоза, имеем сначала гидролитический распад до аминокислот, затем окислительные процессы приводят к образованию аспарагина (скрытый аммиак отмечен звездочкой); если голодание продолжится и углеводов больше нет, то начинает сгорать углеродная цепочка аспарагина, аммиак становится явным, и, если во-время не будет дан свет, растение погибает от аммиачного отравления. Слева имеем зону синтеза на свету, при достаточном питании углеводами: аммиак, как «свой», так и извне поступивший (или образовавшийся из поступивших нитратов), идет на образование аспарагина (или глутамина); дальше как амидная, так и аминная группа аспарагина используются для синтеза аминокислот, они увязываются в белковую цепочку, и так завершается круг превращений.

Как выше было отмечено, я в 1894 г. извлек из забвения давнее сравнение аспарагина с мочевиной, данное Буссенго, но затем отвергнутое под влиянием идей Пфеффера,— оба амида оказались формой обезвреживания аммиака, образующегося при окислительном распаде аминокислот. Впоследствии я не раз возвращался к этому сравнению с тем, чтобы его углубить и продолжить, пользуясь постепенно накапливавшимся материалом. Так, в 1912 г. я писал:

«Мы видели выше, что не все растительные организмы одинаково чувствительны к солям аммиака, именно, у низших (по крайней мере у грибов) замечается способность переносить накопление значительных количеств этих солей. Оказывается, что и низшие животные точно так же доводят распад белков до аммиачных солей, не превращают их вполне в амиды и выделяют в большей или меньшей мере как таковые. Приведем здесь следующее сопоставление, заимствованное из книги Pütter, Vergleichende Physiologie.¹

	Из всего N выделений приходится на NH ₃ (в %)
<i>Actinia</i>	100
Пиявка	62—67
Рак	28—38
<i>Ascaris</i>	33.3
Каракатица	18.6
Гусь	25.0
Ехидна	7.5
Собака	4.3

В общем, чем выше стоит животное по организации, тем меньшую непосредственную роль играет аммиак среди продуктов распада белков и больше значения приобретают амидные (или имидные) группы тех или иных более сложных азотистых производных, у разных групп также не тождественных. Так, мочевина, повидимому, более свойственна позвоночным (а, быть может, даже ее распространение ограничено позво-

¹ Более подробные и более новые данные см. в книге проф. Коштоянца «Основы сравнительной физиологии», 1940.

ночными), мочевиная кислота более регулярно встречается, начиная с насекомых, у моллюсков она встречается не всегда; ее вовсе нет у пауков и ракообразных, где ее заменяет гуанин, весьма распространенный у моллюсков.

Интересен факт, что у насекомых (*Calliphora*, мясная муха) наблюдали в стадии личинки обильное образование аммиака (69—82% от всего азота выделений), отчасти аминов, причем мочевиная кислота отсутствовала; с момента же окукливания выделение аммиака совершенно прекращается и начинается ясное образование мочевиной кислоты наряду с другими, пока ближе не исследованными, продуктами.¹

Постепенно удавалось установить все новые и новые черты сходства в обмене веществ у растений и животных. Оказалось, что подобно тому, как у люпина введение аммиака в соединении с сильными кислотами вместо увеличения количества аспарагина (как это имеет место у злаковых) вызывает уменьшение его количества, подавляя синтетические процессы, так и в животном организме введение (NH₄)₂SO₄ подавляет образование мочевины, а при пропускании через кровеносную систему печени раствора бикарбоната аммония наблюдается повышение образования мочевины.²

Этот факт побудил меня провести опыты питания растений бикарбонатом аммония (с добавочным введением CO₂ так, чтобы pH снизилось до 6.5), и опыт показал, что этот способ является наилучшим для введения аммиака в организм растений. И наоборот, мне удалось на основании данных физиологии растений предсказать, что у животных влияние анестезирующих средств должно подавлять синтез мочевины и увеличивать количество аммиака в моче. Когда я высказал это предположение при одном из моих визитов к Абдергальдену, он сказал: «Это весьма возможно, такой опыт должен сделать ваш Лондон» (ленинградский физиолог). Но вскоре после этого разговора появилось сообщение Лефлера в *Biochemische Zeitschrift* (Bd. 150), который дал фактическое подтверждение этому моему предположению.

Далее было обнаружено Н. Н. Ивановым, что и в растительном царстве у некоторых бесхлорофильных растений обезвреживание аммиака происходит, как и у животных, путем образования мочевины,³ причем мочевина может накапливаться в значительном количестве (например, 10.7% от сухого вещества у *Lycoperdon*), ввиду отсутствия органов выделения. Далее, Н. Н. Иванов показал, что, вводя извне аммиак, можно вызывать образование мочевины у грибов, а вводя глюкозу,— умень-

¹ Единство строения и основных превращений белковых веществ в растительном и животном организме (Журнал опытной агрономии, 1912).

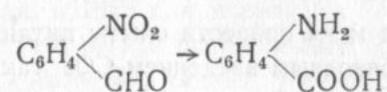
² Rumpf und Kleine. *Zeitschrift für Biologie*, Bd. 34.

³ Присутствие мочевины у некоторых грибов (*Basidiomycetes*) наблюдал Бамбергер еще раньше, в 1903 г., но он полагал, что она поглощена ими извне (из экскрементов животных); работы Иванова (см. в *Biochemische Zeitschrift*, 1923—1927) опровергли это объяснение. Вопросы об обнаружении мочевины у грибов касаются также Кизель (*Ergebnisse der Biologie*, II, 1926).

шать ее количество. Таким образом грибы могут приближаться к животному организму по способности сжигать углеродную цепочку до конца, до углекислоты, не подвергаясь опасности аммиачного отравления, в то время как зеленые растения в нормальных условиях могут не доводить окисления до конца и привязывать аммиак к четырех- или пятиуглеродной цепочке. И если при крайнем голодании им приходится ее сжигать, то они страдают от аммиачного отравления, вследствие неспособности образовать мочевины.

Если все эти данные по сходству обмена веществ у животных и растений касались конечных ступеней (стадии «омеги»), то затем появились данные, относящиеся к начальным ступеням синтеза (стадия «альфы»). Так, в 1912 г. Эмден показал, что если вводить в кровеносную систему печени кетоникислоты и оксикислоты, то они с аммиаком образуют соответственные аминокислоты.¹

Мало того, оказывается, что и способность восстановления группы NO_2 до NH_2 не утрачена животными: при введении в организм нитробензола получается аминифенол, а при введении нитробензойного альдегида — аминобензойная кислота.²



Но естественно, что в животном организме стадия начального синтеза осталась лишь в зачаточном состоянии, так как животное получает готовые белки в пище; оно только «распускает кружево» инородного белка, освобождая с помощью ферментов весь набор аминокислот и затем вяжет из них «свое кружево» («arteigene Stoffe» Абдергальдена).³

Я выше упоминал, что мне, в дни моей молодости, пришлось оказаться в конфликте с общепризнанным в Европе авторитетом — Пфеффром и быть, можно сказать, на время «отлученным от церкви» в качестве еретика. В то время моим единомышленником оказался, кажется, только Оскар Лев, профессор университета в Токио (и то лишь отча-

¹ Biochemische Zeitschrift, Bd., 32 (1912); при этом промежуточным продуктом являются иминокислоты.

² См. ниже о работе Гуревича.

³ Вопросу об единстве превращения азотистых веществ у растений и животных посвящено мною, кроме упомянутой статьи в журнале опытной агрономии за 1912 г., еще несколько статей и докладов в последующие годы; из них наиболее подробным является доклад «Ueber Einheitlichkeit der Principien in Stickstoffwechsel bei Pflanzen und Tieren», сделанный в Берлине в 1927 г. во время так называемой «Недели русских ученых» (Russische Forscherwoche), напечатанный затем в сборнике «Die Naturwissenschaft in der Sowjet-Union» (стр. 215—265), изданном Deutsche Gesellschaft z. Studium Ost-Europas, 1929.

Кроме того, см. мои статьи на ту же тему в Научно-агрономическом журнале за 1924 г., в сборнике, посвященном проф. Стоклаза (Festschrift etc., Berlin, 1928, Ueber Umsatz der stickstoffhaltige Stoffe bei Pflanzen und Tieren), в сборнике «Проблемы белка» (Биомедгиз, Москва, 1936), а также некоторые страницы в моей статье в журнале Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 1934, Bd. 33.

сти). Хотя я печатал свои работы в достаточно распространенных журналах (Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft, Landwirtschaftl. Versuchsstationen), но в школах доминировал учебник Пфеффера. Так дело шло до самой войны (1914 г.) и последующего за ней перерыва связей с заграницей. Только в 1922 г. мне пришлось снова попасть в Германию, восстановить связи, издать в Берлине свой учебник, и лишь в 1923 г. появилась моя обзорная статья в Landwirtschaftliche Versuchsstationen (на тему «Аммиак, как альфа и омега»).¹

В это время Пфеффера уже не было в живых, а его заместитель проф. Рулянд обратился ко мне с просьбой прислать ему отпечаток моих статей, в том числе оригиналы русских работ (обе диссертации и проч.), чтобы ознакомиться с ними подробнее.²

Рулянд организовал в своей лаборатории серию работ, в которых повторялась моя тематика, но, чтобы не делать того же самого, взят был другого рода объект — не молодые проростки, но листья различных растений. Получалась та же самая картина, как и в моих опытах.³

Так в самой лаборатории Пфеффера преемником его по кафедре Руляндом подтвержден был мой взгляд на образование аспарагина (и глутамина), как на способ обезвреживания аммиака, образующегося в растении (а это и означает, что аспарагин у этиолированных проростков играет ту же роль, что мочевины у животных).

Кроме школы Рулянда, подтверждение и развитие тех же взглядов

¹ Такая обобщающая статья, подводящая итоги работ за ряд лет, на русском языке была напечатана мною еще в 1916 г. (см. сборник работ, посвященный К. А. Тимирязеву его учениками), но по условиям военного и революционного времени она не могла появиться в Германии ранее 1922 г.

² Здесь, повидимому, помогло случайное обстоятельство: говорят, что жена проф. Рулянда — грузинка, хорошо знающая русский язык.

³ Заметим, что относительно образования аспарагина в листьях при голодании были работы еще задолго до того, как Рулянд начал работать в этом направлении. Один из японских учеников Оскара Лева — Miyachi в 1897 г. напечатал работу «Can old leaves of plant produce asparagine by starvation?», в которой сообщал данные о влиянии голодания на обмен азотистых веществ в листьях. Вот пример из его опытов с листьями *Paeonia albiflora* (в процентах от всего азота):

	До опыта	После пребывания в темноте
N белков	96.19	54.79
N аспарагина	2.71	14.09
То же для листьев чая		
N белков	82.01	62.98
N аспарагина	5.78	21.75

В опытах с молодыми листьями, соответственно более энергичному дыханию, аспарагина накоплялось также больше, чем в опытах со старыми листьями. В свое время работы Miyachi явились подтверждением взгляда Бородина, который наблюдал образование аспарагина не только при прорастании семян (как Пфеффер), но и в ряде других органов, если только растения истощили запас углеводов. Но, конечно, эта ссылка на работы Бородина и Miyachi сделана нами не ради уменьшения значения работ школы Рулянда, проведенных в широком масштабе и с усовершенствованной методикой (количественное определение глутамина в присутствии аспарагина, краткосрочные опыты питания листьев аммиаком по методу инфльтрации и т. п.).

на аспарагин и глютамин мы имеем в работах Chibnall и его школы (Лондон, кафедра биохимии), Mignee (США), Vickery (США, Коннектикут). И можно сказать, что взгляд на значение аспарагина и глютамина, высказанный мною в 1894—1897 гг. и встретивший тогда отрицательное отношение со стороны Пфеффера и его последователей, через четверть века стал общепризнанным. Но, кроме подтверждения моих давних воззрений, работы школы Рулянда принесли и нечто новое.

Как правило, у высших растений обезвреживание аммиака достигается путем образования соединений двойной функции — амидов аминокислот общей формулы $RCH(NH_2)CONH_2$ (причем и мочевины, типичная для высших животных, может быть рассматриваема так же как моноамид аминоруавинои или карбаминои кислоты, а не только как диамид угольной кислоты). Но все же имеются исключения, а именно: встречается обезвреживание аммиака путем создания очень кислой среды, причем речь идет о специфической приспособленности к таким низким ступеням рН (до 1.2), которые для большинства высших растений являются смертельными. Кислая среда подавляет диссоциацию аммиачных солей, в ней возможно образование кислых солей дикарбоновых кислот, как щавелевая и яблочная; но для этого растение должно обладать особенной способностью не только переносить кислую среду, но и создавать тем больше кислоты, чем больше в него поступает аммиака, так, чтобы кислота всегда имела значительный перевес над аммиаком. Такая особенная группа растений (Säurepflanzen, они же Ammoniakpflanzen) была открыта Руляндом и Ветцелем (1936), типичным представителем ее является *Begonia* с реакцией клеточного сока в 1.2—1.5 рН. При аммиачном питании *Begonia* накапливала, например, 30.8 мг аммиачного азота на 100 г сырой массы, а при питании мочевиной (0.5% раствор), обладающей чрезвычайно высокой способностью проникновения в клетку (и в ней распадающейся с образованием углекислого аммиака), накопилось за 3 дня 132 мг аммиачного азота на 100 куб. см клеточного сока, без признаков какого бы то ни было вреда для растения (а 132 мг азота отвечают почти децинормальному раствору аммиачной соли), в то же время фасоль, имеющая рН клеточного сока около 5.6, погибала уже от 0.1% раствора мочевины.

Последующие исследования показали, что группа «аммиачных» растений Рулянда не стоит особняком, но что между этой группой и обычным типом «амидных» растений существует связь через ряд промежуточных форм. Однако это не меняет основного факта, тем более, что в переходных формах, содержащих как амидный, так и аммиачный азот, наблюдается вполне закономерное отношение между этими двумя формами, изменяющееся сообразно рН клеточного сока.

Обстоятельная работа в этом направлении выполнена в той же лаборатории Рулянда Kultzcher.¹

¹ Die biologische Ammoniak-Entgiftung in höheren Pflanzen, Planta, Bd. 17, H. 4 (700).

Определяя содержание аммиачного и амидного азота у разных растений (отчасти даже и в разных органах одного и того же растения), Kultzcher находил, что отношение амидного азота к аммиачному является очень низким у растений, имеющих рН от 1.2 до 3.5,—здесь аммиак господствует. Кроме *Begoniaceae*, сюда относятся некоторые виды *Rumex* и *Geranium*, но среди того же рода *Geranium* есть виды, у которых рН лежит между 4 и 5 и которые занимают переходное положение; и, наконец, у большинства высших растений с рН, равным 5—6 и выше, мы видим такое преобладание амидного азота над аммиачным, что на последний приходится лишь одна пятидесятая часть от первого. Вот несколько примеров, характеризующих эти соотношения.

	рН	NH ₃ ¹	CONH ₂ ¹	$\frac{CONH_2}{NH_3}$
<i>Begonia hydrocot.</i>	1.29	168.0	9.7	0.05
<i>Oxalis Deppei</i>	1.42	84.0	35.4	0.40
<i>Rumex scutatus</i>	2.61	554.0	136.0	0.24
» <i>obtusifol.</i>	3.58	295.0	65.0	0.22
<i>Geranium macrorh.</i>	3.97	120.0	35.0	0.28
<i>Pelargonium zonale</i>	4.14	105.0	67.0	0.64
<i>Geranium sanguineum</i>	4.68	151.0	589.0	3.91
» <i>aconitif.</i>	4.99	53.5	288.0	5.32
<i>Lupinus albus</i> (Нурос.)	4.33	11.2	2 298.0	210.00
» (стебель)	5.60	7.3	410.0	56.00
<i>Phaseolus multiflorus</i>	5.60	38.1	1 740.0	48.00

В качестве примера изменения названного отношения в разных органах того же растения приведем данные для *Oxalis Deppei*:

	рН	NH ₃	CONH ₂	$\frac{CONH_2}{NH_3}$
Листья	1.29	13.7	50.0	3.6
Клубни	4.5	5.0	93.9	19.0

Совершенно последовательно различие между двумя группами растений (или частей их) сказывается при введении в них аммиака извне.

В одном из опытов листья различных растений погружались черешками на 4 дня в раствор $(NH_4)_2SO_4$ крепостью в 0.3% (с добавкой $CaSO_4$ 0.15%). *Begonia* переносила такой раствор безнаказанно, у *Phaseolus* же были заметны резко выраженные признаки аммиачного отравления, несмотря на то, что у *Begonia* большая часть аммиака оставалась непотребленной, а у *Phaseolus* много аммиака пошло на образование амидов. Если долю аммиака, перешедшего в форму NH_2 , выразить в процентах от всего поглощенного аммиака, то получается такая последовательность² (см. табл. на след. стр.).

Здесь видно, что чем кислее сок у данного растения, тем менее оно склонно к образованию амидов, *Begonia* занимает в этом отношении

¹ Мг N на 1 кг сырой массы.

² Kultzcher, 1. с. 738.

Растения	рН	Содержани: N (в мг)				% NH ₃ , пере- шего в -CONH ₂
		контроль		питание (NH ₄) ₂ SO ₄		
		NH ₃	-CONH ₂	NH ₃	-CONH ₂	
<i>Begonia semp.</i>	1.46—1.51	0.22	0.00	8.8	1.2	12
<i>Geranium macr.</i>	3.62—3.69	0.17	0.37	14.0	3.2	17
<i>Pastinaca sat.</i>	5.0—5.68	0.15	0.43	12.8	17.6	58
<i>Phaseolus mult.</i>	5.59—5.62	0.21	1.03	16.2	20.4	55

первое место, у нее количество аммиачного азота в 7 раз превышает количество азота амидного, *Geranium* стоит посредине, а у *Pastinaca* и *Phaseolus* с реакцией сока, отвечающей рН = 5.0 и выше, образование амидов уже превышает накопление аммиака (этот перевес был бы еще больше, если бы растения, по условиям опыта, не были перекормлены аммиаком до того, что начали страдать: бурая окраска по краям листьев у *Pastinaca*, завядание у *Phaseolus*).

Интересен опыт с питанием листьев растений различных типов аспарагином;¹ в нем ясно обнаруживается, что «аммиачные» растения не только не склонны к образованию амидов за счет аммиака, но и при введении готовых амидов они их разрушают с освобождением аммиака, и этот процесс идет тем энергичнее, чем ниже рН клеточного сока этих растений.

Опыт с введением аспарагина проведен был в стерильной среде. Листья растений с различным рН клеточного сока в течение двух дней питались раствором аспарагина (0.3%), затем 4 дня выдерживались на воде; результаты представлены в следующей таблице:

Растения	рН	Содержани: N в мг				Из поступив- шего аспара- гина раз у- шло (в %)
		контроль		питание аспа- рагином		
		NH ₃	-CONH ₂	NH ₃	-CONH ₂	
<i>Begonia semp.</i>	1.46—1.51	0.22	0.00	2.5	4.0	36
<i>Rumex crispus</i>	3.2—4.03	1.85	0.00	13.0	10.0	52
<i>Geranium macr.</i>	3.62—3.69	0.17	0.37	2.6	13.9	15
<i>Pastinaca sat.</i>	5.0—5.68	0.14	0.43	0.7	21.0	2.6
<i>Phaseolus mult.</i>	5.59—5.62	0.21	1.03	0.3	19.4	0.5

Мы видим, что «амидные» растения, имеющие рН клеточного сока 5 и выше, сохраняют в основном поглощенный аспарагин как таковой, а «аммиачные» растения, с кислым клеточным соком, энергично его разрушают благодаря процессам дезамидирования и дезаминирования (кроме реакции самой по себе, здесь, очевидно, играют роль еще индивидуальные свойства растения, вероятно, связанные с особенностями рабо-

¹ Kultzscher, l. c., 744.

ты ферментов у *Rumex*). *Geranium* как промежуточный тип по способности накапливать аммиак стоит посредине также и по энергии разрушения введенного извне аспарагина.

Это сопоставление различных растений с разной реакцией клеточного сока в опыте Kultzscher (1932) весьма напоминает нам результаты одного предварительного опыта, проведенного у нас почти на 20 лет раньше, с влиянием разных степеней кислотности внешнего раствора на содержание амидного и аммиачного азота у одного и того же растения. В этом опыте, проведенном О. Н. Кашеваровой¹ в 1914 г. с проростками желтого люпина, растения не получали извне никакого источника азота; прорастание (на сетке) шло в течение 10 дней, при этом к дистиллированной воде прибавлялись различные количества серной кислоты, так что ее концентрация возрастала от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} л; результаты получились следующие (в мг на 100 растений):

	Азот аспарагина	Азот аммиака	Отношение
Вода	414.5	45.8	9.0
Раствор H ₂ SO ₄	0.0005 л	440.4	55.4
	0.007 »	443.6	87.6
	0.001 »	389.5	95.5

Из цифр таблицы видно, что при возрастании концентрации кислоты у люпина наблюдалось то же падение отношения амидного азота к аммиачному, которое наблюдал Kultzscher при сопоставлении ряда различных растений с различной (от природы) реакцией клеточного сока.

Этот опыт не был тогда продолжен, теперь же нужно признать его заслуживающим продолжения, так как приведенными данными (наряду с многими нашими наблюдениями) намечается вероятность экспериментального превращения «амидного» растения в «аммиачное».²

Возвращаясь от исключения к правилу, от «аммиачных» растений с необычно кислым соком к типичному пути обезвреживания аммиака по-

¹ Эта работа не была тогда напечатана, но ее результаты были мною использованы в обзорной статье «Аммиак, как альфа и омега обмена азотистых веществ в растениях», 1916 (Тимирязевский сборник).

² В сущности, те явления, которые Шулов наблюдал в опытах с люпином (стр. 40), видимо, также можно рассматривать, как случай превращения «аспарагинового» растения в «аммиачное» под влиянием кислотности, в данном случае вызванной физиологическими причинами — питанием NH₄Cl или (NH₄)₂SO₄. Но здесь замешано еще одно обстоятельство — трата углеводов ростками люпина за 10-дневный срок опыта, так что через 10 дней мы имеем дело уже с иным состоянием растения, чем вначале. Смену процессов нужно представить так: вначале, еще имея некоторый запас углеводов, люпин ассимилирует аммиак и накапливает аспарагин, раствор становится кислым. Очевидно, на какой-то стадии подкисления наступает равновесие между синтетическими процессами и тенденцией к дезаминированию под влиянием кислотности. Но при дальнейшей трате углеводов в процессе дыхания равновесие не удерживается, дезамидирование и дезаминирование берут верх, люпин начинает «распускать кружево» — переполняется аммиаком и погибает от аммиачного отравления (примеры этой связи между углеводным режимом и отношением к кислотности мы еще увидим ниже).

средством образования амидов, мы должны остановиться на последующих работах Yemm и Mothes, получивших интересные данные при более детальном изучении превращения азотистых веществ в листьях.

Но мы сначала должны сказать о том существенном усовершенствовании методики, которое позволило макрхимически различать оба амида (аспарагин и глутамин) один от другого и количественно определять их химическими методами при одновременном их присутствии, тогда как прежде только по характеру кристаллизации судили о том, с каким амидом имеют дело, а количественное определение ничего не говорило о природе самого амида.

Известно, что по методу кристаллизации, качественно очень ценному, но не дающему хороших количественных показателей, было проведено деление растений на две группы: одни накапливают при распаде белков аспарагин (спаржа, люпин, горох и другие бобовые), другие — глутамин (тыква, свекла и проч.). Но в последнее время разработана методика количественного определения, основанная на гораздо большей легкости гидролиза глутамина, чем аспарагина, что позволило определять глутамин в присутствии аспарагина, ведя гидролиз при различных рН раствора.¹

Применение этой методики показало, что деление растений на «аспарагиновые» и «глутаминовые» не может быть строго проводимо и что во всех исследованных объектах содержатся оба амида, но количественно в одних преобладает аспарагин, в других — глутамин; однако отношение это непостоянно, смотря по тому, какие органы растения исследуются и в каком возрасте. Так, у классического «аспарагинового» растения, от которого аспарагин получил самое название, у спаржи (*Asparagus*) Schwab² обнаружил, что в корневищах содержалось больше аспарагина (17,07%), чем глутамина (9,82%), а в зеленых частях — наоборот: 1,70% глутамина и 1,06% аспарагина (точнее, азота в виде данного амида — в % от всего азота).

В проростках некоторых растений оба амида представлены равномерно, в других же случаях замечается преобладание одного из них над другим. Вот несколько примеров из упомянутой работы Шваба:

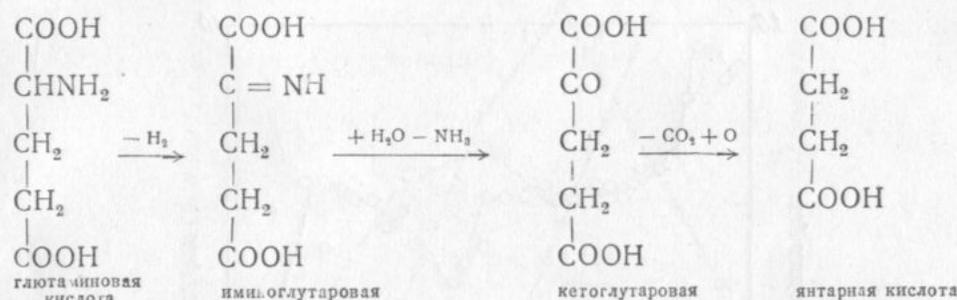
В % от общего азота приходится на:	Н аспарагина	Н глутамина
В проростках подсолнечника	3.63	3.47
» тыквы	2.21	2.10
» льна	1.68	1.62
» фасоли	22.4	3.2
» люпина (желт.)	20.0	1.0
» клеверины	1.69	4.14

¹ Именно глутамин гидролизует за один час кипячения при рН раствора от 6.4 до 6.8; аспарагин же разлагается при кипячении с 5% H₂SO₄ (т. е. при рН ниже 3), которое раньше применялось для суммарного определения обоих амидов (подробнее см., например, у Moreca — Planta, Bd. 30, 730, 1940).

² Planta, Bd. 25, 579, 1936.

Мы уже видели, что грань между «Säure- und Amidpflanzen», намеченная работами Рулянда и Ветцеля, оказалась не такой строгой: в растениях с кислым соком могут встречаться все-таки и амиды (но чем кислее сок, тем меньше амидов, и наоборот).

Мало того, оказалось, что в одном и том же органе соотношение между обоими амидами может изменяться, смотря по условиям питания, именно, при относительно лучших условиях образуется глутамин, а при большей трате энергетического материала накапливается преимущественно аспарагин, причем именно глутамин может быть источником для образования аспарагина. Переход от пятиуглеродной цепочки к четырехуглеродной происходит путем окисления, дезаминирования и декарбонирования:



Янтарная кислота при дальнейшем окислении отдает H₂ и переходит в фумаровую, которая, присоединяя аммиак, дает аспарагин (подробности см. ниже).

Эта смена глутамина на аспарагин наблюдалась, например, в опыте Yemm¹ с голодающими листьями ячменя, отделенными от растения и лишенными света (но при устранении завядания); при этом в листьях распад белков и все дальнейшие превращения азотистых веществ идут быстрее, чем в прорастающих семенах, так как последние имеют запас углеводов (или жиров) в семенодолях или эндосперме, а листья такого запаса лишены.

Рис. 7 изображает ход распада белков и накопление растворимых продуктов в сумме (аминокислоты, амиды, аммиак). На рис. 8 можно видеть, как сначала растет количество аминокислот, особенно за первые 48 часов, затем начинается быстрая их убыль и возрастание количества глутамина, но через 72—75 часов глутаминовая кривая проходит через максимум и начинает быстро опускаться вниз, на смену глутамину растет количество аспарагина, достигая максимума примерно к 96 часам от начала опыта (при этом лист желтеет), затем и аспарагиновая кривая резко идет вниз и окислительный распад доходит до конечного продукта — аммиака, что связано с побурением листьев и последующим их отмиранием.

¹ Chibnall, l. c., 212—221.

Подобные же данные, но с еще более выраженным накоплением аммиака, получил Мотес¹ при более длительном опыте с голодающими листьями *Ginkgo biloba* (в мг на 100 г свежих листьев):

Дни	рН	1/2 N амидов			N аммиака
		глутамин	аспарагин	с. мма	
0	4.2	11.5	1.2	12.7	2.3
5	4.1	21.2	36.5	57.7	19.4
11	4.9	6.1	33.6	42.7	86.4
13	5.7	2.7	23.9	26.6	125.3
16	6.1	0.0	17.3	17.3	135.3

Мы видим, что сначала глутамин сильно преобладает над аспарагином, его количество в первые дни увеличивается, затем, по мере исто-

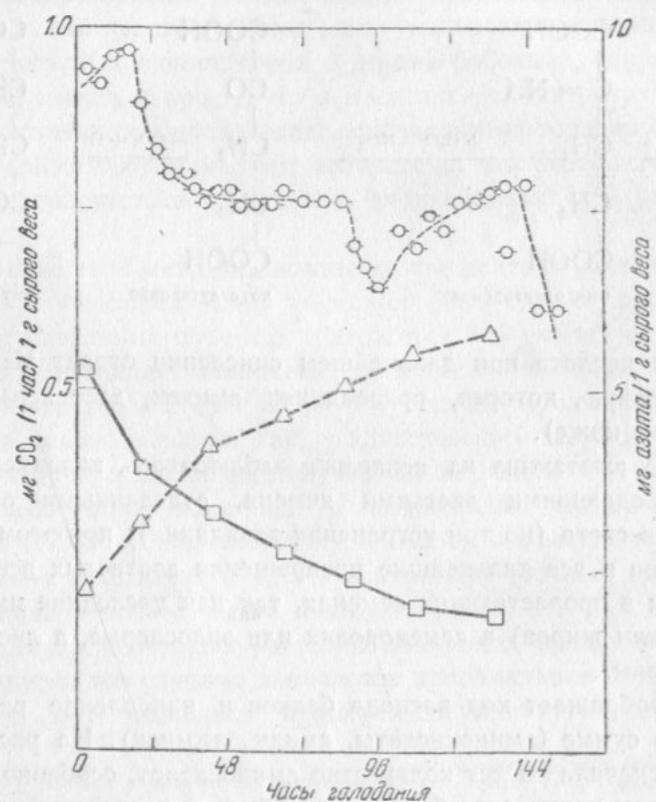


Рис. 7. Изменения в содержании нерстворимого и общего растворимого азота в голодающих листьях ячменя и средняя скорость образования CO_2

○ — CO_2 , □ — общий нестворимый азот, △ — общий растворимый азот (опыт Уетт)

щения запаса углеводов, оно начинает падать и доходит в конце опыта до нуля. Количество аспарагина растет до 11-го дня, но затем растение, за недостатком углеводов, начинает расходовать аспарагин в качестве энергетического материала, аммиак накапливается как таковой, что

¹ Mothes. Zur Biosynthese der Säureamide. Planta, Bd. 30, 726, 1940.

вызывает значительное изменение рН сока. Количество аммиака возрастает быстрее, чем убывает количество амидного азота, причем эта разность не покрывается даже, если присоединить к амидному азоту еще и аминную группу аспарагиновой кислоты. При перенесении растений на

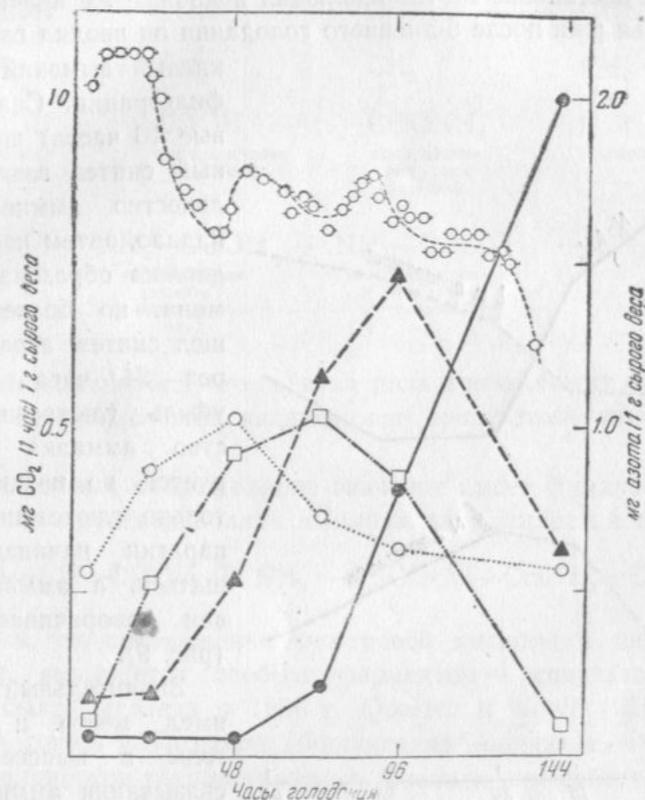


Рис. 8. Изменения в содержании аминокислотного, амидного и аммиачного азота в голодающих листьях ячменя и средняя скорость образования CO_2

○ — CO_2 , ○ — азот аминокислот, □ — неустойчивый амидный азот (глутамин), ▲ — устойчивый амидный азот (аспарагин), ● — аммиачный азот (опыт Уетт)

свет прекращается одностороннее преобладание аспарагина, наряду с ним появляется и глутамин, но затем общее количество амидов уменьшается и сильно растет количество азота белков. Это видно из следующего опыта Мотеса с проростками люпина (в % от всего N).

Дни	N белков	1/2 N амидов		N аммиака
		глутамин	аспарагин	
3	75.6	3.9	8.8	1.4
6	59.1	0.9	22.0	6.9
9	42.7	0.0	33.6	9.2
После этого растениям был дан свет:				
2	46.4	3.9	27.5	2.3
6	51.9	2.5	14.9	1.9
9	78.0	1.0	8.1	2.1

Таким образом образование глутамина является признаком лучшего состояния углеводного баланса, при ухудшении же его остается только аспарагин, и если улучшения не наступает, то начинает преобладать накопление аммиака.

В другой обстановке Мотес наблюдал подобные же явления: в отдельные листья ржи после 5-дневного голодания он вводил глутаминово-

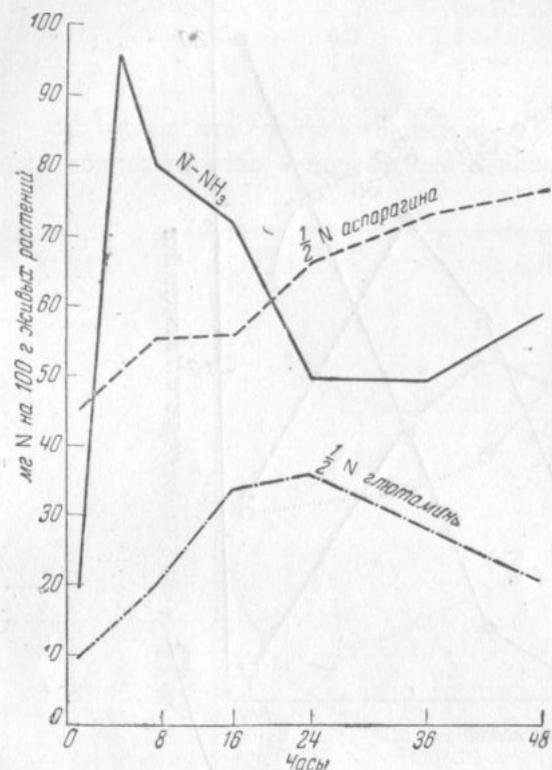


Рис. 9. Синтез глутамина и аспарагина в листьях ржи после инфильтрации глутаминовокислого аммония (опыт Mothes)

кислый аммоний путем инфильтрации. Сначала (первые 16 часов) шел энергичный синтез глутамина: количество аммиака быстро падало, затем наступила задержка образования глутамина, но более энергично шел синтез аспарагина, через 24 часа начинается убыль глутамина, количество аммиака стабилизируется, но позднее уже не только глутамин, но и аспарагин начинают разрушаться, а аммиачная кривая поворачивается вверх (рис. 9).

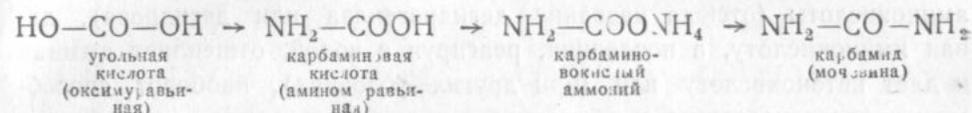
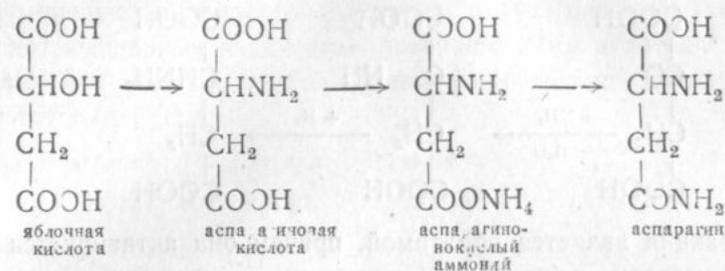
Значительный прогресс имел место в последние годы в выяснении путей связывания аммиака с безазотистыми соединениями (четырёх- и пятиуглеродной цепочки).

Прежде предполагалось, что путь через оксикислоты является наиболее вероятным, и яблочная кислота была в центре внимания; но иногда имелась в виду, наряду с яблочной, и неопределённая кислота — фумаровая, которая может давать аспарагиновую кислоту, присоединяя аммиак. В одной из моих статей 1910 г. говорилось: «Если оказывается, что весь ассимилированный аммиак перешел в аспарагин, то отсюда следует заключить, что одна половина аммиака переходит в группу CHNH_2 , а другая — в группу $-\text{CONH}_2$ и что аспарагин образуется не из аспарагиновой кислоты,¹ а, например, из яблочной или фумаровой кислоты, вообще из безазотистых веществ и аммиака».²

¹ Здесь разумеется аспарагиновая кислота, образующаяся в небольших количествах при гидролитическом распаде белка.

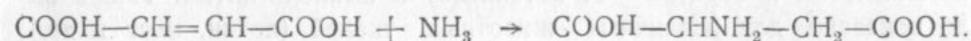
² Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Bd. XVIII, H. 6, S. 264, 1910.

В моей работе 1912 г. давались предположительно следующие схемы:¹



Теперь же выяснилось, что главная роль принадлежит неопределённым кислотам и кетонокислотам, являющимся продуктами окисления углеводов.

Из неопределённых кислот видное значение имеет фумаровая кислота, которая прямым присоединением аммиака даёт аспарагиновую кислоту:



Оказалось, что превращение фумаровой кислоты в аспарагиновую (и обратно) вызывается особым ферментом — аспартазой. Впервые аспартаза была выделена в 1936 г. Quastel и Woolf (США) из бактерий,² а Virtanen и Tarnanen (Финляндия)³ показали, что аспартаза имеет более широкое распространение. Сначала они работали также с микроорганизмами (*Bacillus fluorescens liquefaciens*); при этом высушенная масса бактерий настаивалась с водой в присутствии толуола, затем применялось центрифугирование и фильтрация через фильтр Биркфелда (при pH = 7).

Такая вытяжка, совершенно лишенная бактерий, как расщепляет аспарагиновую кислоту, так и синтезирует её из фумаровой кислоты и аммиака. Затем аспартаза была выделена из проростков гороха и из молодых листьев злаков.

На другие аминокислоты аспартаза не действует, замещенная фумаровая кислота также не вовлекается в реакцию с NH_3 в присутствии аспартазы.⁴

С другой стороны, кетонокислоты, реагируя с аммиаком, дают аминокислоты, которые при восстановлении дают соответственные

¹ Единство строения белковых веществ (Журнал опытной агрономии, 1912).

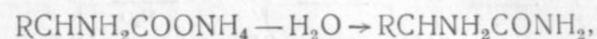
² Цит. по Fortschritte der Botanik, 163 (см. также Chibnall, p. 190).

³ Biochemische Zeitschrift, Bd. 250, 112, 1932.

⁴ Та же вытяжка давала у Virtanen'a аспарагиновую кислоту за счет яблочной

ся, потребляясь в процессе образования аминокислот при участии ферментов или типа аспартазы, способствующей прямому присоединению аммиака (при образовании аспарагина за счет фумаровой кислоты), или типа гидрогеназ, активирующих переход от кетоникислот к аминокислотам. Но роль названных дикарбоновых кислот в обезвреживании аммиака не ограничивается переходом к соответственным аминокислотам — эти последние способны обезвредить еще одну частицу аммиака, давая амиды аминокислот.

Эти амиды образуются из аммиачных солей аспарагиновой и глутаминовой кислот путем дегидратации, по общей схеме:



причем дегидратация эта вызывается специфическими ферментами, выделенными из ряда объектов.

Так, синтез аспарагина идет при помощи аспарагиназы, выделенной Чибнеллом из прорастающего ячменя и Мотесом из листьев ряда растений; также и глутаминаза, под влиянием которой из глутаминовокислого аммония образуется глутамин, выделена из корней свеклы и листьев райграса (Виккери с сотрудниками) и из клеток плесневых грибов. Кребс¹ выделил глутаминазу из ряда тканей животного организма (в зависимости от условий среды тот же фермент вызывает и обратную реакцию дезамидирования с образованием соответственной аммиачной соли). Интересен один из опытов Гринхилла и Чибнелла с райграсом (*L. perenne*), демонстрирующий быстроту образования глутамина этим растением: при внесении в почву значительных количеств сернокислого аммония на другой же день на кончиках листьев выступал белый налет; при исследовании налет этот оказался состоящим из кристалликов глутамина. Это наблюдение дало повод поставить более точный опыт с тем же объектом по методу инфильтрации, с введением глутаминовокислого аммония. Через 22 часа уменьшение количества аммиака (7.1 мг на 10 г свежих листьев) совершенно совпало с увеличением количества амидного азота (7.0 мг).²

В этой области обширные исследования были проведены на Коннектикутской опытной станции Виккери с сотрудниками, особенно подробно исследовался обмен веществ в листьях табака и ревеня.³

Опыты с листьями табака, отделенными от растения и погруженными основаниями в воду, показали, что в темноте образуется в изобилии аспарагин; содержание глутамина невелико, и оно идет на убыль. В течение первых 100 часов заметных количеств аммиака не образовалось, но затем содержание его быстро возрастало. Очевидно,

¹ Krebs, Zeit. f. physiol. Chemie, 213, 157, 1933.

² Chibnall, l. c., 204—205.

³ Vickery H. B., Pucher G. W., Wakeman A. I. and Leavenworth C. S. Chemical Investigations of the Tobacco Plant. Carnegie Inst. Wash.—Pub. 445, 1933, Chemical Investigation of the Rhubarb Plant. Connecticut Agr. Exp. Sta. Bull., 424, 1939.

в первый период дыхание приводит к образованию достаточных количеств оксалоуксусной кислоты, чтобы весь аммиак, отщепляющийся при окислении аминокислот, был потреблен на образование аспарагина. Позднее же, с недостатком углеводов, образование оксалоуксусной кислоты становится все менее обильным, и аммиак начинает накапливаться (в виде бикарбоната). При такой же постановке опыта на свету в листьях наблюдалось, помимо образования аспарагина, и образование глутамина, количество которого возрастало. Можно думать, что ассимиляция, вызывая накопление углеводов, тем самым давала материал и для накопления того безазотистого предшественника, из которого образуется глутамин при участии аммиака; таковым, очевидно, является кетоглутаровая кислота.

По мнению Мотеса, образование амидов аминокислот имеет не только то значение, что этим обезвреживается добавочное количество аммиака, но притом еще достигается стабилизация аминной группы этих, столь важных в жизни растения аминокислот, а именно, таким путем они защищаются от действия дегидрогеназы, приводящего к дезаминированию.

В итоге все отмеченные работы по синтезу аминокислот и амидов дали ряд новых подтверждений моему старому тезису относительно аммиака как альфы и омеги в процессе обмена азотистых веществ в растении; они еще раз показали не только неверность старого представления о необходимости для питания растений предварительного окисления аммиака, но и неверность более позднего утверждения, будто аммиак медленно поступает в растения — на самом деле он поступает быстрее азотной кислоты (это мы еще увидим ниже, во второй части настоящего обзора). Этого рода работами дана была физиологическая санкция, своего рода «путевка в жизнь», новому направлению в азотной промышленности, которая перешла от синтеза азотной кислоты к синтезу аммиака.

Может быть, скажут, что ведь все равно в почве аммиак идет на образование нитратов, — в чем же разница? Разница вот в чем: процесс нитрификации идет медленно, особенно весной, когда почва еще не прогрелась, да при внесении удобрений в подкормку важно, чтобы они обладали непосредственной усвояемостью. Насколько медленно образуются нитраты весной, показывают следующие данные Турчина: Содержание нитратного азота в почве через 1½ месяца после появления всходов овса (Долгопрудное опытное поле)

Без удобрения	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ NO ₃
7.0	10.6	28.2	20.0

То же в опыте со свеклой на черноземе (Шатиловская оп. станция) через 28 дней

Фон (PK)	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NaNO ₃ (при гизловом внесении)
4.3	4.5	35.2	50.0 ¹

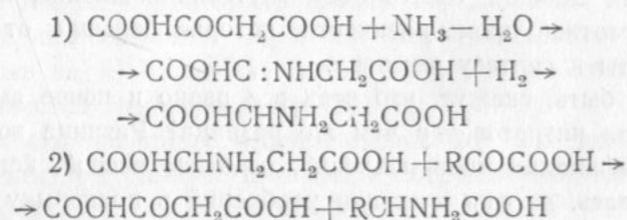
¹ Ф. В. Турчин. О природе действия удобрений, М., 1936.

Итак, вопрос об аммиаке представляет интерес не только с точки зрения общефизиологических сопоставлений между высшими и низшими растениями и еще более широкого параллелизма с превращением веществ в животном организме, но и с точки зрения непосредственного приложения в сельском хозяйстве.

Мы ниже рассмотрим те особенности применения аммиачных солей, которые должен учитывать каждый агроном; теперь же остановимся на важном открытии советских биохимиков — Браунштейна и Крицман, касающемся тех самых дикарбоновых аминокислот — аспарагиновой и глутаминовой, которые играют такую важную роль в обезвреживании аммиака, образуящегося в самом растении и являющегося также первым продуктом использования извне поступающего аммиака: оказалось, что *через эти аминокислоты лежит еще и общий путь к синтезу остальных аминокислот с разнообразной длиной углеродной цепочки.*

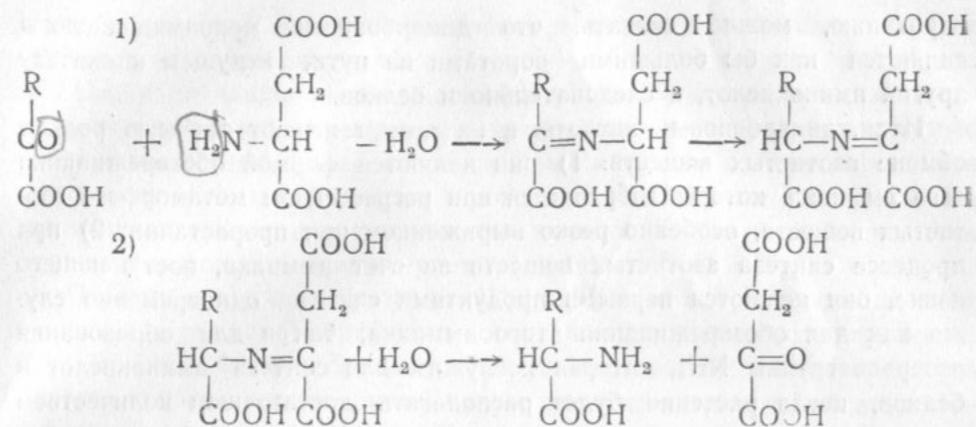
Браунштейн и Крицман,¹ изучая биохимические процессы в животном организме, открыли явление так называемого «переаминирования», т. е. переход аминной группы аспарагиновой или глутаминовой кислоты к любой кетоникислоте.

Нужно сказать, что кетоникислоты, обладающие одной карбоксильной группой, не склонны прямо реагировать с аммиаком и давать иминокислоты (и дальше — аминокислоты), но эта реакция идет легко с дикарбоновыми кетоникислотами (оксалоуксусной и кетоглутаровой), дающими аспарагиновую и глутаминовую кислоту, а эти последние способны передавать дальше аминогруппу уже другим кетоникислотам. Поэтому общий путь синтеза аминокислот нужно представить идущим через такие две фазы:



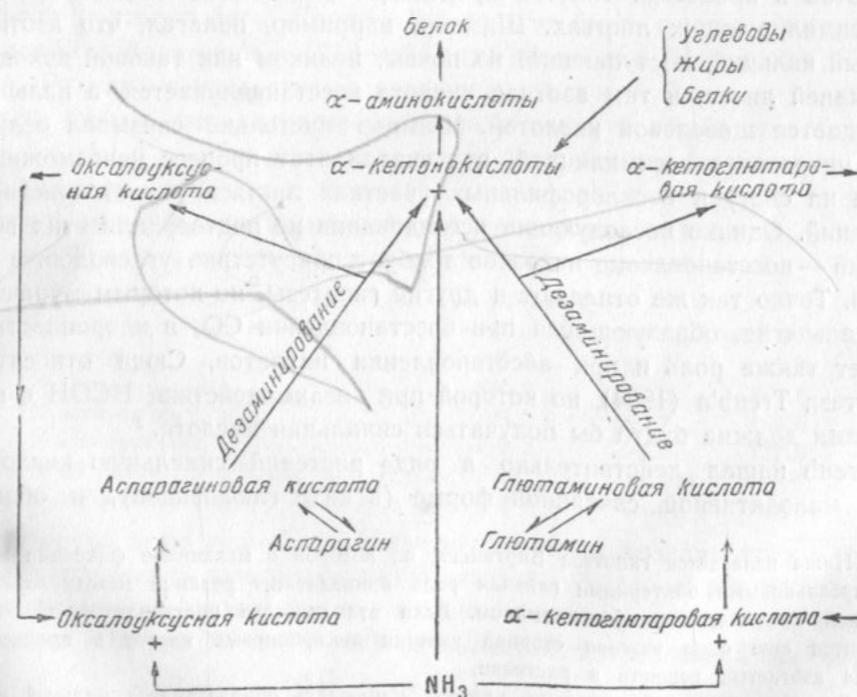
Чтобы ход второй реакции был более понятен, изобразим его так, чтобы было видно образование промежуточного соединения с выделением воды за счет групп CO и NH₂, а затем гидролитический распад этого соединения с обратным вхождением воды, но при ином расположении ее компонентов, так что продукты распада не тождественны с первоначальными компонентами, с которых начинается реакция:

¹ Биохимия, 2, 242 и 859, 1937. См. также Крицман, Конилова и Тейс. Изучение механизма переаминирования при помощи дейтерия, Биохимия, 7, № 3, 66, 1942.



То, что Браунштейн и Крицман наблюдали для животного организма, подтверждено рядом наблюдений и над растительными объектами. Так, Virtanen и Laine нашли, что растертая масса гороха вызывает реакцию переаминирования между аспарагиновой кислотой и кетоникислотами; Эйлер и его сотрудники показали, что вытяжки из различных растений содержат ферменты, в присутствии которых глутаминовая кислота становится донатором группы NH₂ и способствует синтезу других аминокислот.

В дополнение приведем еще схему Чибнелла:



Благодаря легкости образования аспарагиновой и глутаминовой кислот из соответствующих кетоникислот и их способности к переами-

ированию, можно сказать, что дикарбоновые моноаминокислоты являются как бы большими воротами на пути, ведущем к синтезу других аминокислот, а следовательно и белков.

Итак, дикарбоновые кислоты и их амиды играют тройную роль в обмене азотистых веществ: 1) они являются формой обезвреживания того аммиака, который образуется при регрессивном метаморфозе азотистых веществ, особенно резко выраженном при прорастании; 2) при процессе синтеза азотистых веществ за счет аммиака, поступающего извне, они являются первыми продуктами синтеза, одновременно служа как для обезвреживания этого аммиака, так и для образования резервов группы NH_2 , которая послужит для синтеза аминокислот и белков, когда растение будет располагать достаточным количеством углеводов; 3) кроме резервирования группы NH_2 , дикарбоновые аминокислоты непосредственно участвуют в механизме ее передачи, вступая в реакции переаминирования с различными кетокислотами и тем способствуя синтезу непосредственных компонентов белковой молекулы.¹

СИНТЕЗ ОРГАНИЧЕСКИХ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗА СЧЕТ НИТРАТОВ И НИТРИТОВ

Раньше многие авторы склонны были думать, что использование нитратов в процессах синтеза происходит только под влиянием света в ассимилирующих листьях. Шимпер, например, полагал, что азотнокислый кальций, поступающий из почвы, целиком как таковой доходит до тканей листа, и там азотная кислота восстанавливается, а кальций осаждается щавелевой кислотой. Шимпер настолько связывал редукцию нитратов с ассимиляцией, что считал этот процесс невозможным даже на свету в бесхлорофильных участках листьев у пестролистных растений. Однако последующие исследования не подтвердили этих воззрений — восстановление нитратов требует присутствия углеводов, а не света. Точно так же отпадают и другие гипотезы, по которым муравьиный альдегид, образующийся при восстановлении CO_2 в хлоропластах, играет также роль и при восстановлении нитратов. Сюда относится гипотеза Треуба (1904), по которой при взаимодействии HCOH с нитратами должна будто бы получаться синильная кислота.²

Треуб нашел действительно в ряде растений синильную кислоту, но в малоактивной, связанной форме (в виде глюкозидов), и общая

¹ Ниже излагается гипотеза Виртанена, по которой в механизме фиксации азота клубеньковыми бактериями главная роль принадлежит реакции между оксалоуксусной кислотой и гидроксиламином. Если эта гипотеза подтвердится, то этим добавится еще одна важная сторона участия дикарбоновых кислот в процессах обмена азотистых веществ в растении.

² Вне растения действительно удается наблюдать образование синильной кислоты, если взять воду, насыщенную углекислотой, в ней растворить муравьиный альдегид и селитру и подвергнуть раствор действию света; но из этого еще не следует, что в растении осуществляется тот же процесс.

роль этого очень ядовитого вещества в процессе редукции нитратов осталась не подтвержденной.

Также не нашла подтверждения гипотеза Баудиша, который полагал, что нитраты, переходя в нитриты, затем вступают в реакцию с формальдегидом, давая гидроксамовые кислоты. Действительно, при опытах *in vitro* такая реакция происходит, но так как оказалось, что редукция нитратов имеет место и в темноте, то связь этого процесса с участием формальдегида теряет вероятность.

Первым автором, наблюдавшим в 1897 г., что при восстановлении нитратов в темноте образуются органические азотистые соединения, был Э. Годлевский¹ (Краков, кафедра агрохимии). Он показал, что этиолированные ростки пшеницы при питании нитратами обнаруживают прирост азота, превосходящий содержание в них нитратного азота; за счет нитратов образовались какие-то азотистые органические соединения небелкового типа.

Обзор работ, предшествовавших работе Годлевского (Kinoshita, Suzuki, Laurent и др.), дан был мною в свое время в моей второй диссертации;² здесь о них подробнее говорить не приходится, так как они или приводили к отрицательным результатам, или были недостаточно доказательными. Годлевский, кроме работы 1897 г. (*Annales agronomiques*), дал еще более обстоятельную работу в 1900 г. (издание краковской Академии Наук), в которой его первые наблюдения вполне подтвердились. Следующим этапом были опыты, проведенные в нашей лаборатории в 1912—1915 гг. рядом лиц (Перитурин, Калинин, Ритман) с проростками различных растений. Эти опыты обнаружили, что за счет нитратов растения в темноте образуют аспарагин, так же как и за счет аммиака, хотя количественные соотношения между амидным, аминным и белковым азотом при нитратном питании не совпадают с теми, какие получаются при питании аммиаком.

Вот примеры из опытов с проростками кукурузы и вики:

Опыт с кукурузой			
На 100 растений (в мг)	Дистилл. вода	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaCO}_3$
Всего N	759.3	869.7	939.9
N белков	540.9	592.9	538.0
N аспарагина	104.5	160.7	269.5
N аминокислот	110.2	90.9	127.6
N нитратов	—	19.1	—
N аммиака	3.7	6.0	4.8

Из этих цифр видно, что питание нитратами вызвало ясное увеличение количества аспарагина. Оно, правда, было не так велико, как при аммиачном питании, при котором большая часть поступившего аммиака (165 мг N из 180 мг) оказывается потребленной на образо-

¹ *Annales agronomiques*, 1897, *Bulletins de l'Académie des Sciences à Cracovie*, 1900.

² Прянишников Д. Н. Белковые вещества и их превращения в растении, 1899, глава IV (см. также *Известия МСХИ*, 1899).

³ Прянишников Д. Н.

вание аспарагина. В случае нитратов лишь около половины поступившего азота перешло в форму аспарагина (56 мг из 100); тем не менее, ясно, что этот прирост аспарагина образовался за счет нитратного азота, так как усиленным распадом белка объяснить этого нельзя — в данном случае белка как раз было больше, чем в контрольных растениях, не получивших азота.

Опыт с викой

На 100 растений (в мг)	Дистил. вода	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ Cl + CaCO ₃
Общий азот	221.0	247.6	263.0
Азот белков	85.0	76.9	90.0
» аминокислот	48.0	59.5	41.3
» аспарагина	75.9	93.3	118.2
» аммиака	0.9	—	1.0

В опыте с проростками вики точно так же наблюдалось образование аспарагина за счет нитратов, хотя и здесь оно было менее энергичным, чем за счет аммиака. Эти опыты сделали вероятным допущение, что прежде чем азот нитратов войдет в состав аспарагина, содержащего аминную и амидную группу, при восстановлении нитратов должен получиться аммиак. Но в то время мы еще не ставили отдельных опытов для выявления аммиака как промежуточного продукта по пути от азота нитратов к азоту аспарагина, они были проведены нами позднее. Для этих целей следует тем или иным путем подавлять синтетические процессы, что можно делать или уменьшением количества углеводов, или изменением реакции в сторону подкисления, или применением анестезирующих веществ. Но того же можно достигнуть и не подавляя искусственно синтетических процессов, но давая растениям столь обильное нитратное питание, что они не в состоянии потреблять всего образующегося при редукации аммиака, тогда последний начинает выделяться через корни в окружающий их раствор; для ассимилирующих растений наиболее легко это осуществляется во второй половине вегетационного периода, когда растение уже образовало главную массу белков.

О проведенных нами планомерных опытах с подавлением синтетических процессов, в целях обнаружения аммиака как промежуточного продукта по пути от нитратного азота к азоту амидов и аминокислот, мы скажем ниже, сообразно хронологическому порядку, здесь же отметим один наш опыт 1919 г. с проростками гороха, который имел другие цели, но в нем тогда неожиданно для нас проявилось выделение аммиака корнями растений в окружающий раствор при одновременном поглощении нитратов. Тогда этот опыт должен был ответить на вопрос, не вызывает ли подкисление раствора изменения отношения растения к азотнокислому аммиаку, т. е. перехода от преимущественного поглощения аммиака к преимущественному поглощению азотной кислоты. Оказалось, что если известное подкисление действительно дает этот результат, то более сильная кислотность, подавляя синтез амидов за счет ам-

миака, не подавляет образования аммиака за счет NO₃, что и проявилось в выделении аммиака растениями в окружающий корни раствор. Вот данные этого опыта:

Из раствора NH ₄ NO ₃ было поглощено растениями (за 14 дней) в мг	Концентрация HCl			
	I 0.00015	II 0.00075	III 0.0010	IV 0.0025
Аммиачный N	+17.0	+ 4.9	-16.5	-29.6
Нитратный N	+27.3	+26.7	+19.4	+ 3.4
Сумма	+44.3	+31.6	+ 2.9	-26.2

При концентрации HCl в 0.001*n* замечается одновременное поглощение HNO₃ и выделение взамен этого NH₃; при еще большей концентрации поглощение HNO₃ уже невелико, и аммиак выделяется преимущественно за счет дезамидирования. Мы видели выше, что в работе Kultzscher наблюдалась обратная связь между кислотностью клеточного сока и способностью образовать амиды; если не в такой систематической форме, то все же в основных чертах нами эта зависимость была обнаружена в 1912—1914 гг. Мы имеем в виду не только опыты с питанием ростков люпина такими солями, как NH₄Cl, (NH₄)₂SO₄, вызывавшими у растений, бедных углеводами, дезамидирование вместо синтеза новых количеств аспарагина, но и прямой опыт с действием слабых растворов свободных кислот.¹

В более систематической форме опыты по изучению влияния кислотности среды на выделение аммиака корнями растений были продолжены нами в 1926 г. (Biochemische Zeitschrift, Bd. 193, 1928).

Если бы опыт 1919 г. ставился с определенным намерением изучить редукацию нитратов до аммиака, то, конечно, следовало бы вводить ион NO₃ с любыми катионами, кроме аммиака. Такие опыты и проводились нами позднее, но опять-таки, следуя хронологическому порядку, мы должны сначала упомянуть о работах С. П. Костычева² и Otto Warburg'a,³ появившихся в 1920 г., хотя эти работы относились не к высшим растениям, с которыми работали мы, но, тем не менее, они явились подтверждением наших предположений относительно выделения растениями в окружающую среду аммиака, образовавшегося за счет восстановления нитратов, если опыт ведется в условиях подавления синтеза белков и аминокислот.

Костычев, работая с плесневыми грибами, давал им NaNO₃ в качестве источника азота. При обильном питании углеводами наблюдалось

¹ Соответственный пример из опыта О. Н. Кашеваровой (1914) был уже приведен выше, на стр. 51.

² Zeitschrift für physiol. Chemie, 111, 1920.

³ Biochem. Zeitschrift, 110, 66, 1920.

образование белков без накопления промежуточных продуктов, но при понижении питания сахаром в растворе появлялись нитриты и аммиак.¹ Варбург работал с зеленым растением, хотя и одноклеточным, с водорослью *Chlorella*, которая выносит значительное подкисление раствора (до pH = 2,0). В раствор вводилась смесь NaNO_3 и HNO_3 , чтобы понизить диссоциацию NaNO_3 и усилить поступление азотистой пищи в клетку. При этом, так же как и в опытах Костычева, при наличии значительных количеств углеводов, в результате энергичной ассимиляции при хорошем освещении, шел энергичный синтез белков, без накопления аммиака; если же ассимиляцию ослабить путем затенения, то в растворе появляется аммиак, а иногда и нитриты, образовавшиеся за счет редукции нитратов. При этом Варбург наблюдал изменение отношения $\text{CO}_2 : \text{O}_2$, которое повышалось при питании нитратами в темноте до 1,4—1,6 благодаря выделению добавочной углекислоты (*Extrakohlensäure*) параллельно с накоплением аммиака (на свету же появляется «добавочный кислород»).

Факт образования аммиака при восстановлении нитратов или нитритов высшими растениями впервые наблюдал в нашей лаборатории Дикусар в 1924 г., если не считать вышеупомянутого опыта 1919 г., где редукция нитратов до аммиака наблюдалась, но где вводился NH_4NO_3 , а не NaNO_3 или NaNO_2 . Опыты Дикусара велись с нитритами, но так как легкое восстановление NO_3 до NO_2 давно установлено,² то для нашей цели безразлично, исходить ли от NO_3 или NO_2 . Эти опыты намеренно ставились с этиолированными растениями, при разном запасе углеводов в семенах (об опытах с ассимилирующими растениями будет речь ниже).

Оказалось, что чем меньше запас углеводов у проростков, тем легче обнаруживается аммиак как промежуточный продукт по пути перехода от окисленных соединений азота к органическим азотистым веществам. Кроме того, большое влияние оказывают концентрация раствора и реакция среды. Приведем пример из опытов, проведенных в нашей лаборатории в 1924 г. И. Г. Дикусаром³ с горчицей:

Дано нитритного азота (мг в 1 л)	0	1	4	16	64	
Найдено NH_3 (мг N в 1 л)	Горчица	0	0	0.8	1.4	3.8
	Вика	0	0	0	0	1.2

¹ При рассмотрении работ с плесневыми грибами, проведенных Буткевичем и Костычевым, мы всегда находили в них подтверждение своей мысли о том, что должны существовать известные черты сходства в обмене азотистых веществ у грибов и этиолированных растений. Дальнейшее подтверждение и развитие эти представления получили в работе J. Desbordes (Франция). См. его монографию: Jean Desbordes. *Etudes de la nutrition de la cellule vivante*. Paris, 1936.

² Первое указание на восстановление нитратов в нитриты дано было в 1890 г. Лораном (L a u r e n t, *Annales de l'Institut Pasteur*, 1890), затем Годлевский подтвердил эти наблюдения для высших растений в условиях стерильных культур (*Annales agronomiques*, 1900); далее следовали работы Набоких (*Ber. der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 1903) и M a z é (*Annales de l'Institut Pasteur*, 1911).

³ Научно-агрономический журнал, II, 1925.

Как видим, у горчицы аммиак появлялся скорее, чем у вики, более богатой углеводами. Что аммиак в этом случае образуется именно за счет редукции нитритов, а не за счет процессов дезамидирования и дезаминирования, легко установлено было последующими опытами Смирнова и Ерыгина, в которых проведен был подробный учет содержания как амидов, так и аммиака в самих растениях.¹

В том же 1924 г. появилась (но до нас дошла со значительным опозданием) работа Софии Эккерсон,² получившей интересные микрхимические данные по поступлению и превращению нитратов в растениях (томаты), пересаженных из плодородной почвы в кварцевый песок и выдержанных в нем в течение 2 недель без внесения азота. Подготовленные таким образом растения содержали много крахмала, но не содержали нитратов, нитритов, аммиака и даже аминокислот.

Через 24 часа после внесения в песок $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ нитраты были во всех частях, верхушки некоторых растений давали слабую реакцию на нитриты, аммиака не было. Через 36 часов во всех растениях обнаруживались нитриты (при определенной локализации) и следы аммиака. Через 48 часов было несколько меньше нитритов и больше аммиака. При помещении срезов в абсолютный спирт стали обнаруживаться кристаллики аспарагина; в то же время замечено некоторое уменьшение крахмала в растениях. Между 3-м и 5-м днем, при малом содержании нитритов и аммиака, наблюдалось сильное возрастание количества аминокислот, наряду с появлением янтарной и яблочной кислот. Кроме аспарагина и аспарагиновой кислоты, обнаружены аланин, лейцин, гистидин и цистин. Одновременно наблюдалась дальнейшая убыль крахмала, молодые листья приобретали более яркую зеленую окраску, и появились признаки нового роста в верхних частях стеблей.

В 1925 г. появилась работа Клейна и Киссера,³ которые показали, что даже у ассимилирующих растений можно при избыточном снабжении нитратами обнаружить образование (и выделение корнями в окружающий раствор) промежуточных продуктов между нитратами и амидами, а именно: нитритов и аммиака.

Таким образом обнаружение промежуточных продуктов, которое в опытах Костычева с грибами и в опытах Дикусара с проростками высших растений было достигнуто путем снижения энергии синтеза (уменьшение количества углеводов), в работе Клейна и Киссера достигнуто было обратным путем — столь обильным снабжением растения нитратами, которое превышало всякую потребность в азоте для синтеза белков даже у ассимилирующего растения, — и тогда также выявлялось образование аммиака, который в обычных условиях не на-

¹ Научно-агрономический журнал, III, 1926.

² Eckerson Sophia. *Proteinsynthesis by Plants*. I. Nitrate Reduction, *Botanical Gazette*, vol. 77 (377), 1924.

³ Klein und Kisser. *Sitzungsberichte der Akademie*, Wien, 1925.

копается (путь, который использовал и Варбург при своих опытах с *Chlorella*).

Если иметь в виду высшие растения, то после работ Дикусара, Софии Эккерсон, Клейна и Киссера нужно назвать работы ряда американских авторов (периода 1927—1932 гг.), которые изучали локализацию процессов восстановления нитратов и показали, что уже в корнях растений происходит не только восстановление нитратов до аммиака, но и синтез амидов. Нашими опытами 1912—1914 гг. уже было показано, что образование аспарагина за счет как аммиака, так и нитратов происходит в темноте, но тогда мы не занимались вопросом, в каких органах растения идут эти процессы.

Сотрудники опытной станции Нью-Джерсей Nightingale и Schermerhorn в работе 1928 г. «Nitrate Assimilation by Asparagus in the Absence of Light»¹ пришли к выводу, что мочковатые корни (fibrous roots) спаржи являются главными органами, где происходит восстановление нитратов, причем сначала появляются нитриты и аммиак, а затем — аспарагин и аминокислоты; восстановление это идет за счет безазотистых веществ, и трата углеводов у растений, получивших нитраты, за время опыта (17 дней) была на 65% больше, чем у растений контрольных (без нитратов).

Подобные же наблюдения сделали Nightingale и Robbins в своей работе с *Polyanthus narcissus*² и Tiedjens и Blake³ (также сотрудники Нью-Джерсейской опытной станции), давшие обстоятельную работу по аммиачному и нитратному питанию яблони. Они показали, что и у деревьев мелкие корневые разветвления являются главными органами, в которых происходит ассимиляция нитратов и аммиака (а не только их поглощение). Но разумеется, что размер усвоения нитратов в корнях зависит от соотношения между количеством углеводов в них и количеством притекающих нитратов; при слишком обильном притоке последних в корнях может нехватить углеводов для восстановления избыточных нитратов. Так, Burström⁴ наблюдал при таких условиях, что лишь от 30 до 50% поглощенных нитратов усваивалось в корнях (при этом наблюдался недостаток глюкозы в последних), остальная часть нитратов поступала в надземные органы, богатые углеводами, и там постепенно потреблялась.

Если можно считать установленным, что промежуточным продуктом при восстановлении нитратов до аммиака являются нитриты, то этим вопрос еще далеко не исчерпывается, так как между первой стадией восстановления (NO_2) и последней (NH_3) должен быть еще ряд промежуточных ступеней. Имеется ряд указаний, что образованию аммиака предшествует образование гидроксиламина (NH_2OH), который,

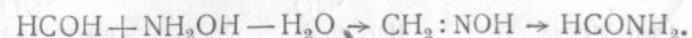
¹ New Jersey Agr. Exp. St. Bull. 476, 1928.

² New Jersey Agr. Exp. St. Bull. 472, 1928.

³ New Jersey Agr. Exp. St. Bull. 547, 1932.

⁴ Цит. по Fortschritte d. Botanik, 1937, VII, 224.

однако, не может накапливаться в значительных количествах как ядовитое вещество. Но пример формальдегида показывает, что вопрос об ядовитости является условным, — все дело в том, о каких концентрациях идет речь. На возможную роль гидроксиламина в образовании amino- и амидосоединений указывал в 1896 г. А. Н. Бах,¹ полагавший, что гидроксиламин реагирует с формальдегидом и дает оксим, путем перегруппировки переходящий в формамид:



В то время предполагалось, что синтез азотистых соединений за счет нитратов происходит в листьях и что формальдегид, как наиболее легко вступающее в реакцию соединение, играет роль не только в образовании углеводов, но и азотистых соединений; но теперь это представление может быть расширено и перенесено на другие соединения, содержащие карбонильную группу (см. ниже о реакции гидроксиламина с оксалоуксусной кислотой), так как известно, что образование аминоксидов за счет нитратов происходит и без участия света (в корнях растений). Далее, теперь имеются фактические данные, указывающие на образование в растениях гидроксиламина за счет азотистой кислоты. Так, Лемуань² показал, что сок из листьев сирени вызывает быстрое восстановление нитритов (при введении 1,4 мг $\text{N} - \text{NO}_2$ через 30 минут осталось 0,575, исчезло 0,825; через 20 часов исчезло 1,350), при этом констатировано появление гидроксиламина, но в непостоянных количествах. Быстрота исчезновения нитритов заставила предполагать химическую реакцию, а так как в листьях сирени содержится такой энергичный восстановитель, как аскорбиновая кислота $\text{СН}_2\text{ОНСНОН} \cdot \text{СНСОН} : \text{СОНСО}$, то с ней и были поставлены опыты по

восстановлению NO_2 . Оказалось, что если брать слабые растворы, то моментально образуется гидроксиламин: раствор аскорбиновой кислоты в 1/160 n, реагируя с NaNO_2 (0,001 норм.), переводит в гидроксиламин 51% нитрита, остается 20%. Отсюда заключение, что гидроксиламин является переходным этапом на пути превращения нитритов в аммиак.

Также Михлин³ наблюдал непосредственное образование гидроксиламина за счет нитритов у водорослей (*Chlorella*). У высших же растений только при введении формальдегида удавалось уловить гидроксиламин, — очевидно, формальдегид связывает гидроксиламин в виде оксима; одновременно наблюдалось образование аммиака приблизительно в том же количестве, как и гидроксиламина. Если это соотношение не было случайным, то оно могло бы навести на мысль об общем происхождении аммиака и гидроксиламина путем гидролиза гидразина:

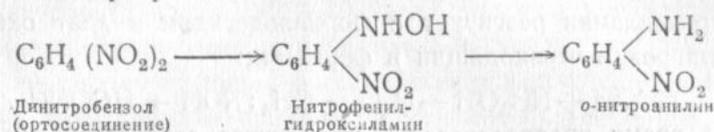


¹ Comptes Rendus, 122, 149, 1896. См. также «Сборник избранных трудов академика А. Н. Баха», 1937, стр. 523.

² Comptes Rendus, 1937, p. 1841.

³ Доклады Академии Наук СССР, 1938, т. XX, № 2—3.

О том, что гидросиламин является промежуточной ступенью при восстановлении нитритов до аммиака, говорит тот факт, что нитрогруппа ароматических соединений восстанавливается в аминогруппу, проходя через те же этапы. Динитробензол в ростках пшеницы превращается в такие превращения:¹



При восстановлении нитритов микроорганизмами Blom² мог констатировать образование гидросиламина, применяя улавливание его (Abfangverfahren) с помощью ацетона, так как NH_2OH даже в чрезвычайно разведенных растворах с удивительной легкостью реагирует с альдегидами и кетонами, давая оксиминосоединения; с ацетоном получается ацетоксим $\text{CH}_3\text{—C:NOH—CH}_3$, который легко отгоняется с парами воды и затем при гидролизе дает гидросиламин.

Позднее Wood³ изучал восстановление нитратов до аммиака микроорганизмами (*Clostridium*) и пришел к выводу, что в качестве промежуточного продукта, кроме нитритов, образуется и гидросиламин. Aso с сотрудниками также наблюдал, что восстановление нитритов до аммиака *Azotobacter*'ом идет через гидросиламин.⁴

Но гидросиламин стоит уже близко к аммиаку, из продуктов же, стоящих еще близко к нитритам, является вероятным образование гипонитритов — солей азотноватистой кислоты HNO или, вернее, $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$, так как ей придается такая формула строения: HO—N=N—OH .

Ангидридом этой кислоты является закись азота ($\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2\text{—H}_2\text{O}=\text{N}_2\text{O}$); случаи выделения закиси азота при восстановлении нитратов микроорганизмами отмечались давно,⁵ а с другой стороны, неоднократно отмечалось исчезновение нитритов без образования соответственного количества какого-либо газа.⁶

¹ Подробности см. в работе Гуревича «О восстановлении ортодинитробензола в зеленом растении» (Биохимия, 1941, VI, вып. 4, 466); там же о предыдущих работах (Neuberg und Welde, 1914, Lipschitz, 1920, Гуревич, 1935—1937 и др.). Восстановление о-динитробензола может быть легко прослежено, так как сам он бесцветен, а продукты восстановления дают яркоокрашенные соединения.

² Biochem. Zeitschr., Bd. 194, 393, 1928.

³ Biochem. Journ., 1938, V. 32, 2000.

⁴ Aso, Migita, Ido. The Mechanism of Nitrogen Utilisation by *Azotobacter* (Soil Science, vol. 48 (1), 1939).

⁵ С 1868 г. (Schloesing, Reiset); позднее то же наблюдали Gayon et Dupetit (1886), Giltay and Aberson (1892), Beijerinck und Minkman (1910), Лебедев А. Ф. (1911), Suzuki (1912).

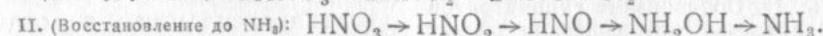
⁶ Ampola u. Ulpiani — 1899, Gran — 1901, Maasen — 1902, Kluuyver u. Donker — 1926, Корсакова (1926 и 1931). См. литературный обзор в статье В. С. Буткевича и Г. С. Русаковой, Микробиология, 1941, стр. 138.

Приведем из работы М. П. Корсаковой¹ 1927 г. по изучению процесса денитрификации следующий типичный случай:

Число дней	Нитраты	Нитриты	N_2	Сумма	Разность
0	16.8	0.35	0	17.15	0
6	8.2	2.8	0.6	11.6	5.55
8	0	0	2.4	2.4	14.75
10	0	0	5.0	5.0	12.15
12	0	0	15.5	15.5	1.65

Отсюда видно, что между нитритами и свободным азотом должно стоять какое-то промежуточное соединение, количество которого сначала растет, по мере убыли нитратов и нитритов, а затем убывает, соответственно возрастанию количества свободного азота (см. рис. 10).

В более поздней работе по изучению восстановления нитратов некоторыми анаэробами до аммиака Корсакова² приходит к выводу, что и в этом случае гипонитриты должны быть одной из ступеней восстановления; для того и другого процесса даются следующие схемы:



Помимо приведенных данных, образование $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ при процессах восстановления нитратов и нитритов нужно допустить на основании того факта, что при обратном процессе — окислении аммиака под влиянием нитрификаторов — определенно обнаружено появление азотноватистой кислоты. Так, Corbet,³ учитывая продукты деятельности *Nitrosomonas*, обнаружил как бы временный дефицит азота, т. е. сумма азота образовавшихся нитритов и оставшегося аммиака не отвечала количеству введенного аммиака, но в конце опыта весь азот обнаруживался в виде нитритов; гидросиламин был обнаружен лишь в небольших количествах (например, 0,1 мг), которыми нельзя было объяснить дефицит в несколько миллиграммов. Тогда было предположено, что образуется CaN_2O_2 , что подтвердилось (CaN_2O_2 в присутствии нитритов устойчив в водном растворе на холоду, но при нагревании происходит разложение с потерей части азота).

Тогда было предположено, что образуется CaN_2O_2 , что подтвердилось (CaN_2O_2 в присутствии нитритов устойчив в водном растворе на холоду, но при нагревании происходит разложение с потерей части азота).

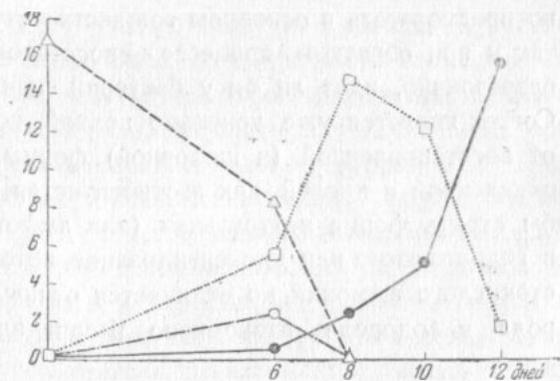


Рис. 10. Ход процесса денитрификации
 Δ — нитратный азот, ○ — азот нитритов, ◐ — свободный азот (N_2), □ — неизвестное промежуточное соединение (гипонитриты?) (опыт М. П. Корсаковой)

¹ Химизм процесса денитрификации, Известия Академии Наук СССР, 1927, стр. 1221.

² Микробиология, 1941, X, вып. 3, 299.

³ Biochemical Journal, 1935, vol. XXIX, p. 1086.

Рис. 11 воспроизводит данные одного из опытов Corbet, из которых видно, что азот гипонитритов (в данном случае — CaN_2O_2) играет видную роль как промежуточный продукт в течение первых двух недель,

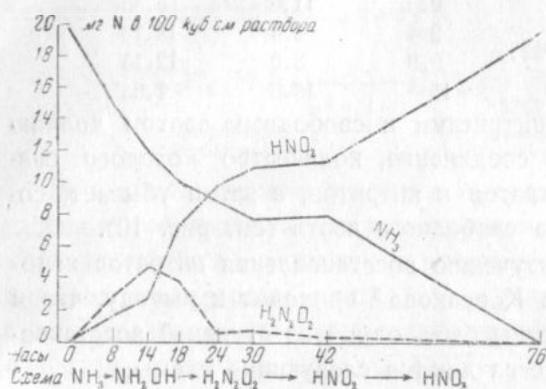


Рис. 11. Образование гипонитритов в процессе нитрификации (опыт Corbet с *Nitrosomonas*)

а затем количество его уменьшается и в конце концов сходит на-нет, а взамен того растет количество нитритного азота, и в конце опыта весь азот оказывается в виде нитритов (в почвенных условиях окисление идет дальше, но в данном опыте были только нитритные бактерии).

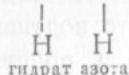
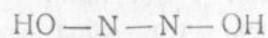
Так как Corbet получал, как правило, реакцию на гидросиламин, а отдельный опыт показал, что те же бактерии (*Nitrosomonas*) количественно переводят азот гидросиламина в азот нитритов, то Corbet дает такую общую схему нитрификационного процесса:



Для нас эта схема представляет интерес с той точки зрения, что нужно предполагать в основном тождество ступеней как при окислительном, так и при обратном процессе — восстановления нитратов до аммиака, безразлично, идет ли он у бактерий или у высших растений; схема Corbet является уже довольно полной, но еще имеется прямой скачок от восстановленной (и щелочной) формы, как гидросиламин, к форме окисленной и кислой, как азотноватистая кислота; между ними должна бы стоять форма нейтральная (или амфотерная), какую можно видеть в гидрате азота или диоксигидразине, который является изомером азотистого аммония, но отличается от последнего тем, что атомы кислорода и водорода равномерно распределены между обоими атомами азота:



нитрит аммония



гидрат азота

Выше мы имели в виду нитриты только как промежуточный продукт на пути восстановления нитратов до аммиака; при этом они образуются всегда лишь в очень небольшом количестве. Нитритов растения не накапливают, в этом отличие их от нитратов, которые в случае избыточного поступления через корни могут содержаться в растениях иногда в значительных количествах. Несколько иная картина получается в искус-

ственных условиях, когда в водных или песчаных культурах раствор содержит значительные количества нитритного азота, тогда может наблюдаться вредное влияние и даже отравление растений нитритами.¹

Однако мы здесь не будем входить в подробности, тем более, что итоги по этому вопросу уже подводились в работах, вышедших из нашей лаборатории.²

УСВОЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ СВОБОДНОГО АЗОТА

Свободный азот, из которого почти на четыре пятых состоит одевающий земной шар воздушный океан, является первичным источником для пополнения тех резервов связанного азота, которым располагает растительный (а через последний и животный) мир, причем два пути ведут через ряд этапов от азота воздуха к азоту нервной и мышечной ткани: один путь берет начало в клетках некоторых микроорганизмов, а другой — в колонках синтеза на крупных химических комбинатах.

Здесь мы остановимся ближе только на биологических путях фиксации азота воздуха.

Уяснение этих путей стоило человечеству немало труда — решение вопроса о роли свободного азота в жизни растений потребовало столетия (1837—1886) упорных исканий, много препятствий стояло на пути. «Ma il libro del natura ha l'entrate e l'uscite», — говорят итальянцы, т. е. книга природы имеет входы и выходы, нужно только уметь их найти.

Начало строгому эксперименту в этой области положил Буссенго, впервые констатировавший в конце 30-х годов прошлого столетия особую роль культуры бобовых как важной приходной статьи при сведении азотного баланса в земледелии. Правда, предвидение участия азота воздуха в питании бобовых проскальзывало и раньше, например у Дэви (1812), хотя и в слишком общей и предположительной форме, без постановки строгого опыта. Говоря о сходстве растительных белков с животными, он указывает на богатство белками бобовых и, ссылаясь на факт длительной культуры пшеницы в чередовании с бобами без падения урожаев, высказывает мысль о том, что бобовые, быть может, заимствуют азот из воздуха. В другом месте он высказывает эту мысль в более общей форме, имея в виду происхождение азота растений вообще; но интересно, что он предлагает поставить опыты с низшими представителя-

¹ В почвенных условиях при заблаговременном внесении нитритов они могут и не оказывать вредного действия на растения, так как в почве (в отличие от растения) нитриты легко переходят в нитраты благодаря деятельности нитрифицирующих бактерий.

² Кроме нашей обзорной статьи (Аммиак, нитраты и нитриты, 1926), см. работу Дикусара в Научно-агрономическом журнале, 1925; также Dikussar und Mevius. Nitrite als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen (Jahrbücher für wissensch. Botanik, 1930) и еще более поздний обзор в работе Nightingale, с подробными литературными указаниями, Botanical Review, 1937, 3, 85—174.

ми растительного царства: «When glutaminous and albuminous substances exist in plants, the azote they contain may be suspected to be derived from the atmosphere; but no experiments have been made which prove this; this might easily be instituted upon mushrooms and funguses».¹

Но как ни замечательны эти высказывания Дэви, историю экспериментального разрешения вопроса об азоте воздуха все-таки нужно начинать с Буссенго.

Как мы уже выше упоминали, Буссенго еще в ранней молодости, наблюдая хозяйство туземцев в Южной Америке, столкнулся с фактом чрезвычайно сильного действия гуано на песчаном побережье в Перу — на месте бесплодных пустошей возникали пышные плантации. Анализируя гуано, Буссенго убедился, что оно являлось, главным образом, азотистым удобрением (кроме того, оно содержало и фосфор). Успех этих «песчаных культур» в Перу стоял в резком противоречии с господствовавшим тогда учением Тэера, которое пыталось основать приемы удобрения на углеродном питании растений, якобы зависящем от внесения органических веществ в почву. Нужно думать, что эти южноамериканские впечатления и дали толчок дальнейшему ходу мыслей Буссенго; подвергнув критике учение Тэера, он вместо гумусовой (углеродной) теории истощения и обогащения почв выдвинул на первое место вопрос о значении азота в удобрениях. Когда он, по возвращении в Европу, будучи профессором химии в Лионе, столкнулся с вопросами питания растений и применения удобрений,² его внимание должно было привлечь следующее обстоятельство: в сельском хозяйстве Франции тогда не применялись ни гуано, ни селитра, а между тем, урожаи не только держались на хорошем уровне, но еще имели тенденцию к повышению. Так как из хозяйства отчуждались значительные количества азота — в зерне, молоке и других продуктах — и потому возвращение с навозом не могло быть полным (не говоря уж о потерях при хранении навоза), то возникал вопрос, из каких источников покрывается дефицит азота. И вот, для установления всех статей азотного баланса, а также выноса с урожаями и возмещения с удобрениями других питательных веществ, Буссенго предпринимает громадный труд, стоивший нескольких лет сложной аналитической работы. Он проводит учет количества и состава всех удобрений, применяемых за ротацию каждого севооборота, всех

¹ Agricultural Chemistry, 1812.

² Какие обстоятельства в личной жизни Буссенго привели к созданию, помимо лаборатории при кафедре химии, еще и лаборатории на эльзасской ферме в Бешельбронне (первично — Reschelbrunnen), — об этом хорошо рассказано в известном очерке К. А. Тимирязева «Ж. Б. Буссенго», где Климент Аркадьевич с большой теплотой рисует образ своего учителя, и впоследствии он всегда вспоминал о нем с благодарностью и даже называл «духовными внуками Буссенго» тех из своих учеников, которые работали в области соприкосновения физиологии растений и агрохимии (Коссович и автор настоящей работы).

частей урожая — зерна и соломы, корней, клубней и ботвы, клеверного сена.

Интересны самые севообороты, которые заложил Буссенго в имении Бешельбронн (Эльзас) и на которых он изучал круговорот азота и других элементов: здесь было и чисто зерновое трехполье, и знаменитое норфолькское четырехполье и эльзасское пятиполье, близкое к норфольку, и более сложные севообороты, генотипически также связанные с норфольком. Уже в те времена был хорошо известен факт, что переход от трехполья к норфолькскому севообороту принес с собой постепенное удвоение средних урожаев в Англии, Бельгии и Голландии, а норфольк отличался от трехполья наличием клевера и корнеплодов на полях.

Но только клевер являлся улучшающим почву растением, а хлеба и корнеплоды давно признаны были истощающими почву растениями (терминология Тэера), и если после корнеплодов получались хорошие урожаи яровых, то только поскольку корнеплоды сами получали обильное удобрение навозом и оставляли почву чистой от сорных трав; клевер же повышал урожаи следующих за ним озимых, сам не получая навоза. Факты эти были хорошо известны практикам, но только Буссенго показал, что клевер и люцерна влияют на баланс азота, располагая каким-то его источником, недоступным другим растениям, и потому сами дают большие урожаи богатого азотом сена, не только не истощая почвы, но еще и повышая ее плодородие.

Вот этот учет азотного баланса и установление роли бобовых (за 50 лет до открытия Гельригеля) и составляют главную заслугу Буссенго.

Основные черты азотного баланса в разных севооборотах стали известны Буссенго уже к 1837 г. Но мало было найти неожиданную статью прихода в этом балансе, нужно было вскрыть сущность нового явления. Поэтому в том же 1837 г. Буссенго начал и физиологические опыты, чтобы учесть роль растения в процессе накопления азота и отделить ее от роли почвы.¹

Историю физиологических опытов Буссенго в этом направлении можно бы считать общеизвестной, так как она излагается в учебниках; однако в учебниках излагается она по Буссенго, а для нас теперь ясно, что взгляд Буссенго на его первые опыты требует пересмотра. После второй серии своих опытов, проведенных в 1851—1853 гг. (они-то обыкновенно и описываются в учебниках как главные), Буссенго стал скептически относиться к своим опытам 1837—1838 гг. как менее совершенным. Между тем, именно в этих только опытах (из серии физиологической) Буссенго и наблюдал фиксацию азота бобовыми в значительных количествах (до 50 мг на сосуд), в полном согласии с данными полевых опытов. Позднее Буссенго считал, что в этих опытах источником азота

¹ Позднее он поставил также опыты с почвой (без растений), чтобы проверить, не происходит ли фиксация азота в самой почве — при процессе нитрификации.

мог быть углекислый аммиак атмосферы,¹ но на деле здесь имело место не проникновение извне азотистых веществ, а проникновение внутрь растений микроскопических существ, о которых тогда ничего не было известно. Буссенго, конечно, не подозревал, что когда он брал с поля молодые растения клевера и тщательно отмывал корни от частичек земли, то он не мог отмыть тех бактерий, которые уже проникли через корневые волоски в ткани корня и после пересадки растений в прокаленный песок могли дать начало образованию клубеньков. В сущности, Буссенго за 50 лет до Гельригеля имел в руках факт усвоения азота воздуха клевером и горохом, но, можно сказать, своими же руками похоронил это открытие, потому что в мышлении этого строгого аналитика допастеровских времен не могли укладываться послепастеровские идеи о проникновении не самого азота, а его аналитически неуловимых фиксаторов. Стремясь окончательно избавиться от призрака — влияния углекислого аммиака атмосферы, которое так утрированно подчеркивал Либих, Буссенго в последующих опытах (1851—1853) заключил растения под стеклянный колпак, стал брать только семена, а не всходы с клеверного поля, — и явление исчезло. Но дело было не в колпаке, а в более тщательном прокаливании и бессознательно осуществленной большей стерильности опыта. Так Буссенго «вместе с водой из ванны выплеснул и ребенка», ибо не подозревал об его существовании. Но в полевой обстановке «ребенок» все громче и громче стал заявлять о своем существовании, и к давно известным фактам положительного влияния клевера и люцерны на урожай хлебов стали присоединяться данные и относительно других представителей семейства бобовых. В Ротамстеде в опытах 1850—1860 гг. с разным чередованием культур бобы оказались гораздо лучшим предшественником пшеницы, чем чистый пар, и за десять лет 5 урожаев пшеницы и 5 урожаев бобов содержали 827 кг азота, между тем как 10 урожаев пшеницы (без чередования с бобами) содержали только 262 кг азота на гектар. У Шульца в его «Wüstenei Lupitz» нельзя было получить урожая картофеля выше 8 т, а после введения в 70-х годах системы люпина — картофель урожай пошел в гору и достиг в 80-х годах 20 т, причем анализы люпиновой почвы, произведенные Меркером в 1881 г., показали значительное обогащение почвы азотом под влиянием повторной культуры люпина.

¹ Что явно неверно, так как можно допустить лишь количественные различия в отношении злаковых и бобовых к углекислому аммиаку, а никак не качественное; затем это предположение стоит в противоречии с исходным тезисом самого Буссенго, что наиболее эффективными из всех удобрений являются азотистые удобрения (чего не могло бы быть, если бы углекислый аммиак притекал в количествах, отвечающих 50 мг на поверхность небольшого сосуда); оно стоит в противоречии с опытами в Ротамстеде (1843) и опытами самого Буссенго в 50-х годах прошлого столетия с влиянием селитры на развитие подсолнечника, — ведь растения без селитры не были бы «предельными», если бы углекислый аммиак атмосферы играл какую-либо роль в снабжении растений азотом.

К этому времени работы Пастера заставили думать о микроорганизмах, населяющих почву, и после работ Шлезинга и Мюнца по нитрификации (1873—1877) Бертелло заговорил о возможности фиксации азота почвой, населенной микроорганизмами. Тогда Гельригель, наблюдавший в течение почти четверти столетия (1862—1885) при культуре в непрокаленном песке капризное неподчинение гороха императиву азотного минимума, которому овес послушно следовал, пришел к мысли испытать заражение гороха вытяжкой из почвы, — и роль бактерий, населяющих клубеньки бобовых, в фиксации азота бобовыми была, наконец, выявлена. Вскоре после того как Гельригелем был установлен факт фиксации азота воздуха бобовыми при условии заражения их клубеньковыми бактериями, были открыты и свободно живущие бактерии, способные связывать азот воздуха при помощи энергетического материала. Честь открытия таких бактерий принадлежит тому же выдающемуся микробиологу, который первый выделил и нитрифицирующих бактерий (1890), — С. Н. Виноградскому, который в 1893 г. показал, что анаэробный микроб *Clostridium pasteurianum* связывает азот воздуха, если питать его глюкозой, причем оказалось возможным установить известное соотношение между количеством потребленной глюкозы и фиксированного азота.

В этой же работе мы имеем первое суждение о механизме фиксации азота, именно: исходя из того факта, что *Clostridium* вызывает маслянокислое брожение, при котором выделяется водород, Виноградский высказал предположение, что здесь имеет место восстановительный процесс и промежуточным продуктом при связывании азота является аммиак. Интересно, что это высказывание относится к тому времени, когда перед глазами Виноградского еще не стоял в качестве прообраза синтез аммиака из азота и водорода по способу Габера, не были известны тогда и другие пути связывания азота воздуха, впоследствии нашедшие применение в технике. Нужно, впрочем, заметить, что восстановительные процессы широко распространены в органическом мире, помимо основного процесса восстановления, идущего в хлорофильных зернах. Давно было известно, что в клетках дрожжей восстановительный процесс сильно выражен, а позднее было установлено, что главный продукт брожения — этиловый спирт появляется в результате восстановления альдегида: $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 = \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Установлено также, в какой форме резервируется водород, необходимый для такого восстановления. Не входя здесь в подробное рассмотрение всего ряда превращений, имеющих место при переходе от глюкозы к спирту, отметим лишь начальную фазу, образование глицеринового альдегида $\text{CH}_2\text{OHCHOHCHO}$, который может давать начало образованию более восстановленного и более окисленного соединения глицерина и глицериновой кислоты (реакция Cannizaro):



В виде глицерина и отлагается резерв водорода, способного восстанов-

ливать образующийся, в конце концов, из глицериновой кислоты уксусный альдегид¹ в спирт:



Но если резерв водорода в этом случае служит для одной цели, то можно представить, что в других условиях, при наличии соответствующих катализаторов, он может служить и для другой цели, т. е. для восстановления свободного азота в аммиак. Поэтому фиксация азота воздуха не ограничивается теми случаями, в которых наблюдается образование свободного водорода.²

Несколько позднее (1901) был открыт Бейеринком аэробный фиксатор азота — *Azotobacter* (несколько форм).

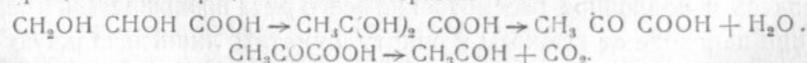
Вопросом о механизме фиксации азота у этих организмов занимался Костычев (1926—1931) с сотрудниками (Шелоумова и др.),³ причем он пришел к выводу, что и здесь начальным продуктом является аммиак. Костычев учитывал, что образование аммиака у *Azotobacter* возможно и как следствие распада аминокислот (дезаминирование), но этот процесс наступает лишь после израсходования энергетического материала. Костычев же наблюдал образование аммиака, идущее одновременно с фиксацией азота, что возможно только в неистощенных культурах. Вот пример:

Продолжительность опыта (в днях) . . .	2	4	6
Общее количество азота (в мг)	27.7	40.4	42.5
Количество аммиака (в мг)	0.28	1.19	2.29

Позднее (1936—1939) Виноградский опубликовал ряд статей, в которых также доказывает, что аммиак в культурах *Azotobacter* появляется как первая ступень связывания азота путем восстановления N_2 в NH_3 . Заметим, что американские авторы Wilson и Burk думают, что аммиак в этом случае появляется благодаря начинающемуся автолизу, с чем Виноградский не согласен. Однако В. С. Буткевич наблюдал, что «в подвижных культурах при сильном ускорении фиксации азота имеется и повышение накопления аммиака» (до 30 мг на 1 г глюкозы).⁴

В качестве аргумента, говорящего за восстановительный характер этого процесса, приводят факт подавления связывания азота *Azotobacter* при повышении содержания кислорода (60%) в окружающем воздухе.

¹ Упрощенно этот процесс можно изобразить так:



² Что восстановительные процессы могут иметь место и в аэробных условиях, видно хотя бы из того, что в созревающих семенах масличных растений идет процесс образования жиров за счет притекающих к семенам углеводов.

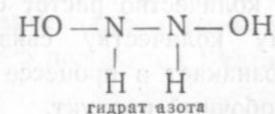
³ См., например, Костычев и Шелоумова, Известия Академии Наук СССР, 1931, 661—671.

⁴ Буткевич и Колесникова. Об образовании аммиака при фиксации азота азотобактером, Доклады Академии Наук СССР, 1941.

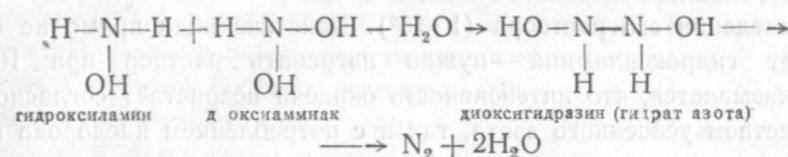
Но неоднократно высказывался и другой взгляд на первую ступень связывания азота в клетках микроорганизмов, а именно, что этот процесс не является ни восстановлением, ни окислением азота, но его гидратацией, например, по типу: $\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{NO}_2$.

Известно, что NH_4NO_2 является солью неустойчивой и при кипячении водного раствора разлагается с выделением свободного азота, что является в лабораторной практике одним из легких методов получения чистого азота. Казалось бы, исходя из мысли об обратимости этой реакции, наличия катализаторов и энергетического материала в растении, всего проще допустить возможность этого процесса как не связанного с участием ни кислот, ни щелочей или каких-либо иных резких воздействий, которые не могут иметь места в живой клетке.¹

Но впоследствии оказалось, что по термодинамическим расчетам названная реакция является трудно допустимой (нужно 50 атмосфер давления, чтобы возможно было начало образования NH_4NO_2 за счет молекулярного азота и воды). Тогда гипотеза гидратации приняла другую форму. В 1931 г. Блюм (Jacob Blom)² высказал мысль, что при гидратации азота образуется не NH_4NO_2 , а его изомер гидрат азота, в котором водород и кислород распределены совершенно равномерно между обоими атомами азота.



Поводом к этому предположению явилось также представление об обратимости реакции, схему которой дал Анжели (Angeli):

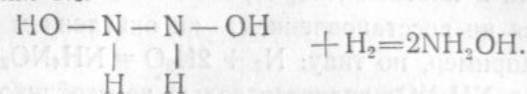


Гидрат азота является неустойчивым соединением, легко распадающимся на азот и воду. Обратная реакция, по Блюму, идет при участии катализатора, содержащего железо, а затем гидрат азота восстанавли-

¹ Эта мысль неоднократно высказывалась автором настоящей работы в лекциях по агрономической химии, читавшихся в Московском университете (1892—1929). Сейчас трудно точно установить дату ее возникновения, но, во всяком случае, в 1912 г. она уже упоминалась. Только позднее автор узнал, что у него были единомышленники — Оскар Лев в Германии и Азо в Токио (Азо придерживался этого мнения до 1939 г.). См. обзор литературы в цитируемой ниже работе Блюма и у Мишустина (Мишустин. Химизм усвоения атмосферного азота микроорганизмами).

² Chemische Vorgänge bei der Assimilation des molecularen Stickstoffs durch Mikroorganismen (Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde, Bd. 84 (61), 1931).

вается в гидросиламин, который является первым устойчивым продуктом восстановления N_2 :



Так как гидросиламин с карбонильной группой дает оксими (даже в очень разведенных растворах), то в этой реакции Блюм видит путь к образованию (при дальнейшем восстановлении) аминокислот. Если у Блюма преобладают теоретические построения над экспериментальным материалом, то Endres¹ приходит к признанию роли гидросиламина как промежуточного продукта на основании своих опытов. Культивируя *Azotobacter* в растворе молочнокислого натрия, Endres нашел, что 10% от связанного азота находится в окружающем растворе в виде какого-то органического соединения, которое, при окислении действием иода, дает азотистую кислоту. Испытано было действие иода на гидросиламин, на гидразин, на аланин, но только продукты присоединения гидросиламина (например, изонитрозопропиловая кислота) дают при нагревании с иодом азотистую кислоту. При гидролизе неизвестное тело дает гидросиламин; следовательно, оно содержит группу $\text{C}=\text{N}-\text{OH}$ и представляет какой-то оксим; оно не является продуктом распада, так как его количество растет с возрастанием веса клеток и параллельно общему количеству связанного азота,— поэтому нужно думать, что оно возникает в процессе связывания азота как промежуточный или как побочный продукт.

Для количественного определения Endres пользовался очень чувствительной цветной реакцией (реакция Грис), основанной на образовании диазосоединения и позволяющей открыть оксим при очень большом разведении его раствора (1 : 10⁶). Действие иода прямо не обнаруживает гидросиламина — нужно нагревать раствор при 100° С, тогда оказывается, что интенсивность окраски возрастает согласно как с количеством усвоенного азота, так и с потреблением кислорода культурой, с весом клеток, отделяемых центрифугированием, и с возрастанием рН раствора (что зависит от окисления молочнокислого натрия). Эти соотношения видны из следующей таблицы:

Время (в часах)	Потребл. O_2 за 1 час на 10 куб. см (в куб. мм)	Сухой вес бактер. (в мг)	рН	Окраска после окисления иодом ¹	Количество оксима ² на 10 куб. см (мол. $1 \cdot 10^{-3}$)	Всего N в 10 куб. см (в мг)
0	130	0.3	7.3	—	0.5	0.024
24	370	1.2	7.7	Розовая	2.5	—
48	490	2.3	7.9	Красная	6.4	—
72	650	3.8	8.1	Темнокрасная	12.0	0.21

¹ Реактив Gries-Ilosvay,

² Количество нитрита, умноженное на 6.

¹ Liebig's Annalen, 518, 109, 1931.

Интересен контрольный опыт, проведенный Endres параллельно предыдущему, но с заменой азота аргоном,— тогда никаких следов оксима в жидкости не содержалось.

Некоторые авторы (Lipman, Gerlach, Vögel) высказывали мнение, что азот воздуха непосредственно связывается в клетке микроорганизмов с органическими соединениями, давая аминокислоты или амиды. Мы не входим в рассмотрение этих гипотез, так как авторы их совершенно не затрагивали вопроса о механизме такого присоединения; в этом отношении построение Блюма, при всей его гипотетичности, является более конкретным.

Интересно, что в своей попытке разъяснения механизма фиксации азота в клубеньках бобовых финский ученый Виртанен также пришел к построению, в котором видную роль приписывает гидросиламину.¹

Виртанен поставил себе задачу выяснить, во-первых, какие безазотистые соединения получают бактерии от растения хозяина, и, во-вторых, какие азотистые соединения поступают из клубеньков в корни растения. Исходным пунктом послужили следующие предварительные наблюдения: красный клевер лучше развивается без нитратов, если он заражен клубеньковыми бактериями, чем при питании нитратами без заражения, а потому нужно думать, что клевер лучше использует какие-то органические соединения, чем аммиак или нитраты.

Для подтверждения этого положения Виртанен приводит такие данные своих опытов:

	NaNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Без азота, но с заражением
Сухой вес 10 растений	23.8—24.0	18.0—22.3	30.3—31.42

Автор полагает, что какие-либо органические соединения (вероятно, аминокислоты), образующиеся в клубеньках, являются для клевера лучшими источниками азота, чем аммиак и нитраты; поэтому ставился ряд опытов питания бобовых аминокислотами в условиях стерильных культур. В результате автор приходит к выводу, что аспарагиновая кислота является превосходным источником азота для клевера, в отличие от злаковых, которые не могут нормально развиваться при питании аспарагиновой кислотой и растут гораздо лучше при нитратном или аммиачном питании. Автор приводит следующие цифровые примеры:

	Красный клевер		Пшеница	
	Вес одного растения (в г)	Количество N (в мг)	Вес одного растения (в г)	Количество N (в мг)
Без азота	0.028	0.14	0.117	0.8
KNO_3	2.329	50.0	2.143	35.3
Аспарагиновая кислота . . .	4.428	90.9	0.113	3.7

¹ Пользуемся обзором работ Виртанена на эту тему, сделанным им самим в 1939 г. (Transactions of the third Commission of the Internat. Society of Soil Science, New Brunswick, New-Jersey, USA).

С глутаминовой кислотой получились близкие результаты; другие же аминокислоты бобовыми использовались или очень плохо, или совсем не использовались. Отсюда явилось предположение, что бобовые получают от клубеньков аспарагиновую кислоту; подтверждение этого предположения Виртанен видит в том, что ему удалось констатировать выделение аминокислот клубеньками (не корнями) в окружающую среду.

Доказательство этого положения Виртанен основывает на следующем опыте: пробирка, наполненная песком, зараженным клубеньковыми бактериями, вводится в сосуд с песком, в котором развивается растение (горох); часть корней, развивающихся в пробирке, несет на себе клубеньки, остальная масса корней от них свободна. Фиксация азота и выделение органических азотистых соединений имеют место только в пробирке. В одном опыте горох, посеянный 20 сентября, к 15 ноября фиксировал 219 мг азота воздуха, из них 99.7 мг (или 46%) были обнаружены в песке, окружавшем зараженную часть корней, в остальном же песке аминокислот не было обнаружено.

Это обильное выделение наружу азотистых продуктов синтеза клубеньками, наблюдавшееся Виртаненом, кажется удивительным.¹

Однако мы можем привести аналогичное утверждение Блюма относительно *Azotobacter agile*, который отдает половину фиксированного азота в окружающую среду, в отличие от *Azotobacter chroococcum*, у которого фиксированный азот остается в клетках.²

Ввиду большого количества азотистых соединений, выделяемых клубеньками наружу, Виртанен считает невозможным, чтобы это были продукты автолиза белков, находящихся в клубеньках, — скорее они являются продуктами синтеза, еще не использованными в процессе образования белков.

Главным продуктом такого промежуточного характера на пути к синтезу белков Виртанен считает аспарагиновую кислоту. В доказательство он приводит следующие факты: если выпарить при уменьшенном давлении водный экстракт из песка, соприкасавшегося с клубеньками, то сухой остаток обнаруживает 90—98% аминного азота (в % от всего азота). Тот же результат дает формольное титрование. Из алкогольного экстракта, при осаждении по методу Fogeman'a в осадок переходит около 50% азота, и в этом осадке автор мог обнаружить аспарагиновую кислоту — она была выделена в виде медной соли и количественно определена с помощью аспартазы. Глутаминовой кислоты обнаружено не было, найдено небольшое количество аланина.³

¹ В отдельных случаях у очень молодых клубеньков оно доходило, по Виртанену, до 80% от фиксированного азота.

² Jacob Blom. Chemische Vorgänge etc., Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde, Bd. 84, 1931.

³ Аланин может быть вторичным продуктом, образующимся из аспарагиновой кислоты путем отщепления CO₂.

Виртанен полагает, что именно аспарагиновая кислота является тем азотистым веществом, которое бобовые получают от клубеньков и используют в процессах синтеза белков. Но если аспарагиновая кислота является главным продуктом в процессе фиксации азота, то как представить себе механизм ее образования?

Виртанен разбирает следующие возможные случаи:

1. Аспарагиновая кислота получается через присоединение аммиака к фумаровой кислоте.

2. Она образуется при действии аммиака на оксалоуксусную кислоту и последующем восстановлении до аминокислоты.

Но оба эти пути он считает невероятными, так как в клубеньках отсутствует аспартаза.

Поэтому Виртанен останавливает свое внимание на третьей возможности, при которой не аммиак, а гидросиламин вступает в реакцию с оксалоуксусной кислотой. К этой мысли приводит автора следующее обстоятельство: при выпаривании вышеупомянутого экстракта из песка образуется некоторое количество азотистой кислоты, а азотистую кислоту могут отщеплять оксимы, образующиеся при взаимодействии гидросиламина с кетонокислотами и при восстановлении переходящие в аминокислоты.

Чтобы подтвердить свои предположения, Виртанен занялся отысканием промежуточных продуктов (оксимов) в экстракте. Для этого сухой остаток от выпаривания в вакууме извлекался эфиром, нерастворенными оставались аспарагиновая кислота и аланин, а соединения оксимного типа должны были перейти в эфир. Действительно, в эфирной вытяжке был обнаружен оксим некоторой дикарбоновой кислоты (путем осаждения по методу Fogeman); переводением в медную соль удалось установить, что это была оксимноянтарная кислота $\text{COONH} : \text{NONH} : \text{COONH}$.

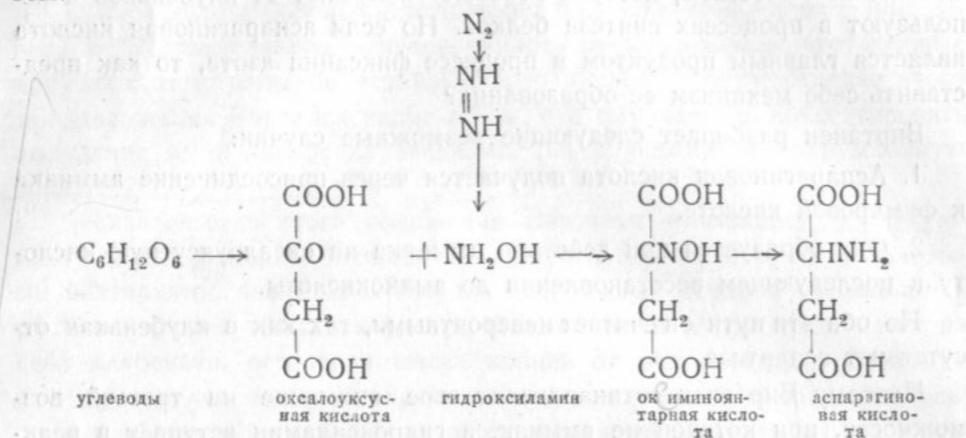
В выделениях клубеньков на это соединение приходится 1—2% от всего азота, на аспарагиновую кислоту (плюс небольшое количество аланина) приходится около 90%. Виртанен считает, что оксимноянтарная кислота является промежуточным продуктом при образовании аспарагиновой кислоты за счет гидросиламина и оксалоуксусной кислоты.

Оксалоуксусная кислота обнаружена им в корнях бобовых, с ней гидросиламин реагирует с жадностью без участия катализаторов, даже в разведенных растворах.¹

Если принять, что гидросиламин является первым продуктом связывания азота воздуха (а для этого есть данные в некоторых работах, о которых будет речь ниже), то весь механизм образования аспараги-

¹ С другими кетонокислотами, как кетоглутаровая и пировиноградная, гидросиламин реагирует гораздо медленнее, чем с оксалоуксусной кислотой.

новой кислоты может быть, по Виртанену, изображен следующим образом:



Виртанен полагает, что бобовые снабжают бактерий оксалоуксусной кислотой, из клубеньков они получают аспарагиновую кислоту, а эта последняя, согласно работам Браунштейна и Крицман, является ключом к образованию других аминокислот благодаря обмену аминной группы при реакции с любой кетоникислотой.

В пользу того взгляда, что аспарагиновая кислота образуется в клубеньках в результате усвоения атмосферного азота бактериями, говорит, по мнению Виртанена, совершенное отсутствие аспарагиновой кислоты в корневых выделениях бобовых, питающихся нитратами. В клубеньках образование ее идет весьма энергично, и энергия фиксации азота клубеньковыми бактериями во много раз больше, чем у свободно живущих бактерий.

Интересны результаты опыта по фиксации азота клубеньками, отделенными от корней: в то время как в воде этот процесс не идет, в разведенном и нейтрализованном растворе оксалоуксусной кислоты этот процесс, по Виртанену, идет весьма энергично. Вот данные этого опыта:

9.5 г клубеньков гороха помещались в 50 куб. см раствора при pH = 7.0; в одном случае с добавлением 200 мг оксалоуксусной кислоты (I), в другом — без такого дополнения (II); в растворе содержались следующие количества аминного азота:

	При начале опыта (в мг)	Через 5 часов (в мг)	Реакция на оксимы через 5 часов
I	0.3	9.0	ясная реакция
II	0.0	1.3	нет

Таковы главные итоги работы Виртанена, несомненно интересные, но не лишённые парадоксальности и некоторых противоречий; например, Виртанен отрицает участие аммиака в процессе образования аспарагиновой кислоты, к тому же он не мог обнаружить аммиака в выделениях клубеньков. Но ведь гидросиламина Виртанен также не обнаружил, что он объясняет быстротой его соединения с оксалоуксусной

кислотой. Однако, разве исключена возможность, что для аммиака также имеет место какая-либо быстро протекающая реакция присоединения и потому он не может быть уловлен как таковой? Ведь аммиак, несомненно, принимает участие в образовании аспарагина при регрессивном метаморфозе азотистых веществ семени, однако в свое время Буткевичу пришлось прибегнуть к особому приему, чтобы его обнаружить (применение анестезирующих веществ).

В конце концов, не так уже важно, соединяется ли с кетоникислотами аммиак или гидросиламин (окси-аммиак); в том или другом случае при восстановлении получаются аминокислоты. Но существенную роль в построении Виртанена играет утверждение, что растение дает бактериям оксалоуксусную кислоту и получает от них обратно излишки аспарагиновой кислоты.

Наиболее парадоксальным в опытах Виртанена является обильное выделение клубеньками азотистых продуктов синтеза в окружающую среду. Как уже сказано, подобный случай отмечается Блюмом для *Azotobacter agile*, который половину фиксированного азота отдает в окружающую среду (в отличие от *Azotobacter chroococcum*, у которого фиксированный азот остается в клетке). Однако неясно, насколько эти явления зависят от видовых различий и насколько от нарушений нормального обмена веществ.

Опыты Виртанена повторены были с большой тщательностью в Америке Вильсоном¹ на опытной станции в штате Висконсин. Наткнувшись на несоответствие своих результатов с данными Виртанена, Вильсон выписал от последнего не только культуру бактерий и семена гороха, но и тот песок, с которым работал Виртанен, и изучил влияние ряда условий на поведение бобовых: изменялись длина дня, интенсивность освещения, температура, изучалось влияние стадии развития растения, влияние соотношения углеводов и азотистых веществ в нем.

Общий вывод из этой серии работ Вильсона такой: выделение азотистых соединений корнями гороха, несущими клубеньки, является в климатических условиях Висконсина скорее исключением, чем правилом: оно наступает в условиях, когда развитие бобового чем-либо задерживается (например, низкой температурой). Если фиксация азота бобовым избыточна против потребления его растущими органами, то органические азотистые соединения скопляются в клубеньках и выделяются ими в виде аспарагиновой кислоты (при нормальном же росте выделения отсутствуют).

¹ Wilson and Wiss. Factors influencing excretion of nitrogen by legumes (Soil Science, vol. 52, № 1, July, 1941).

См. также: В. С. Буткевич и М. М. Гукова. Влияние температуры на фиксацию молекулярного азота бобовыми. Доклады Академии Наук СССР, № 4, 1942.

В другой работе Вильсон¹ сообщает данные по влиянию окружающих условий на ход фиксации азота клубеньковыми бактериями.

При постоянном содержании кислорода (0.2 атмосферы) парциальное давление азота понижалось или переходом к частичному вакууму, или путем частичного замещения азота аргоном или гелием (замещение водородом в данном случае не годится). Варьируя парциальное давление азота от 0.04 до 1.6 атмосферы, Вильсон наблюдал достижение максимума фиксации между 0.1 и 0.2 атмосферы; дальнейшее обогащение атмосферы азотом не увеличивало фиксации, переход же к 0.1 атмосферы вызывал значительное снижение. Свообразно влияние водорода: несмотря на то, что в конечном результате мы имеем восстановление азота до NH_2 , все-таки обогащение атмосферы водородом вызывает резкое снижение фиксации азота клубеньковыми бактериями (опыт делался с клевером, имевшим клубеньки на корнях, а не с выделенными бактериями), в то время как при питании связанным азотом (например NH_4NO_3) задерживающего влияния водорода на поступление азота не проявлялось. Подозрение на влияние вредных примесей к водороду отпало после опытов с водородом, полученным тремя совершенно различными путями. Свообразно, что свободно живущие фиксаторы азота, как *Azotobacter*, относятся совершенно иначе к внешним условиям,— водород не оказывает подавляющего действия на фиксацию азота, но повышение содержания кислорода до 60% останавливает этот процесс у *Azotobacter*.² Поэтому приходится допустить различие в механизме фиксации азота у *Rhizobium* и *Azotobacter* или, быть может, это различие касается какого-либо процесса, связанного с фиксацией.

Но, независимо от различия в механизме фиксации азота, в том и другом случае, все-таки интересно установить, в каких размерах возможно выделение азотистых соединений во внешнюю среду. По отношению к *Azotobacter* обстоятельную работу выполнили К. Ногер и D. Burk.³ Они имели дело с 20 линиями разных видов *Azotobacter*, наблюдали влияние возраста культур и условий среды и, из всей совокупности многих опытов, пришли к следующим выводам.

В молодых культурах, в возрасте от 1 до 4 дней, обычно до 25% от всего накопленного азота находятся в растворимых соединениях вне клеток; в культурах более старых, в возрасте от 1 до 3 недель, во внешнем растворе может находиться до 50—70% (иногда даже до 80%) от общего азота. В старых культурах это в сильной степени зависит от явления автолиза, а в молодых культурах 10—20% растворимых

¹ Wilson (Madison). Mechanism of symbiotic Nitrogen Fixation (Ergebnisse der Enzymforschung, VIII, Bd. 13, 1939).

² Blom, l. c.

³ Trans of the third Comm. of the Int. Soc. of Soil Sc., 1939. Burk (Washington). Azotase and Nitrogenase in *Azotobacter* (Ergebnisse, Bd. III, 1934, pp. 25—56). См. также: А. Н. Бах, Доклады Академии Наук СССР, 1934.

азотистых соединений появляется в растворе, по мнению авторов, в результате нормальной прижизненной секреции. Таким образом деятельность азотобактера при достаточном снабжении сахаром и минеральными веществами может служить, в известной мере, источником усвояемого азота для других организмов.

В основе этот азот принадлежит к органическим соединениям и составляет около 10% ($\pm 3\%$) от их углерода; почти такое же соотношение наблюдается и для азотистых веществ, находящихся внутри клетки. Что касается ближайшего состава этой смеси азотистых веществ, находящихся внутри клетки, то по мере старения культур замечается возрастание содержания белкового азота от 10% (иногда даже от 5%) до 50%.

Количество азота аминокислот на 100 куб. см раствора увеличивается с возрастом культур, но процентное содержание этой категории азота уменьшается с 10—40% в молодых культурах (от всего азота раствора) до 5—15% в старых. Аспарагиновая кислота, которой Виртанен придает особенное значение, была действительно обнаружена (по методу Foreman) и составляла значительную долю фракции аминокислот, но ее специальную роль, как промежуточного звена в синтезе азотистых веществ, авторы считают недоказанной.¹

Большое внимание уделяют авторы вопросу о выделении *Azotobacter* аммиака во внешнюю среду. Они приходят к выводу, что в чистых культурах, при отсутствии в питательной среде связанного азота, аммиак не выделяется, пока не потреблен до конца запас энергетического материала; после этого аммиак накапливается в количестве от 8 до 12% от всего азота в растворе.²

Это число совпадает с наблюдениями Виноградского и Костычева, но авторы излагаемой работы полагают, что этот аммиак образуется вторично, при распаде азотистых веществ, а не раньше, до образования этих веществ, и следовательно, не является промежуточным продуктом при синтезе этих веществ за счет свободного азота. Общий вывод ав-

¹ Вот данные опытов по осаждению белковых веществ, пептонов и органических оснований из внеклеточного раствора:

Возраст культуры	Процент азота в осадке от реагента			
	Трихлор-уксусная кислота	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Фосфорно-вольфрамовая кислота	Уксуснокислый свинец
2—5 дней	14	20	29	64
10—13 »	30	20	39	63
24 дня	40	33	54	76

Кроме того, наблюдалось, что при молодых культурах до 75% клеточного азота проходит через целлофановую мембрану, способную пропускать соединения с молекулярным весом от 6 тыс. до 10 тыс. В старых культурах, где выделяется больше белка, процент азота, переходящего в диализат, опускается до 50—60% от всего азота, находящегося вне клеток.

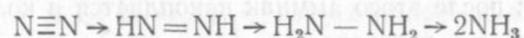
² В культурах же, загрязненных другими бактериями, количество аммиака может достигать 50% от общего азота в растворе.

торов таков: «Таким образом, характер промежуточного каталитического процесса теперь является более таинственным, чем когда-либо».¹

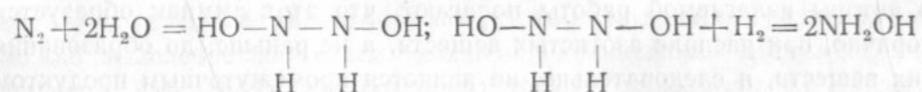
Нам кажется, что пессимистическое заключение Вигк, будто вопрос о промежуточных продуктах является теперь даже более темным, чем прежде, не отвечает действительности, так как от ряда значительного числа прежних гипотез осталось в сущности уже не так много вариантов, и вопрос значительно приблизился к окончательному решению. Вряд ли кто станет теперь отстаивать гипотезу непосредственного образования сложных азотистых соединений путем прямого присоединения азота к безазотистым веществам растения, как это когда-то принималось Липманом. Трудно, конечно, думать об образовании цианистых соединений, которые являются ядовитыми для плазмы, невероятен и путь окисления азота, так как переход от N_2 к NH_2 через окислы азота противоречил бы принципу возможной экономии энергии, который является обычным для организмов. Остается в сущности два пути — это или прямое восстановление, или сначала гидратация, затем восстановление, но оба приводят или к аммиаку или его производному — гидроксилламину; пути же от аммиака и гидроксилламина к аминной группе хорошо известны: и то и другое соединение реагирует с кетоникислотами, аммиак дает иминокислоты, гидроксилламин образует оксимы, при восстановлении в обоих случаях образуются аминокислоты.

Насколько близки между собой те гипотезы, которые фигурируют теперь, видно из следующих схем:

1) прямое восстановление азота (по Костычеву и Виноградскому):



2) сначала гидратация, затем восстановление (по Блюму):



3) сначала восстановление, потом гидратация (по Виртанену):



В источниках водорода в растении нет недостатка, так как любой переход спиртовой группы в альдегидную или кетонную, предельного соединения в непредельное, связан с отдачей водорода. Об этом говорит ряд хорошо установленных фактов, как переход яблочной кислоты в оксалоуксусную, таков же переход янтарной кислоты в fumarовую.

Что касается конечной стадии синтеза, то, в конце концов, не так уже существенно, реагирует ли с кетоникислотами гидроксилламин или

¹ «The mystery of the intermediate catalytic processes is more alive, than ever» (I. c., 172). Также и Вильсон скептически относится к утверждению Виноградского, что аммиак играет роль промежуточного продукта при связывании азота бактериями.

аммиак; в том и другом случае таким кислотам, как оксалоуксусная и кетоглутаровая, должна принадлежать важная роль в синтезе аминокислот. Гораздо важнее было бы уловить природу того каталитического процесса, который приводит к связыванию азота с водородом при обыкновенной температуре, обыкновенном давлении, чего не знает техника.

Во всяком случае, мы можем сказать, что та вольная «птичка без крыльев», в виде полетов которой Глаубер 300 лет назад образно рисовал круговорот «воздушного начала селитры», теперь приручена человеком, пути перехода от азота воздуха к азоту нервной и мышечной ткани в основе известны.

Конечно, важно пойти еще глубже, важно вскрыть до конца механизм первых стадий связывания азота микроорганизмами. Это не только существенно для физиолога, но и техника, может быть, могла бы позаимствовать отсюда пути к синтезу азотистых соединений на холоду. Мы стоим перед трудной проблемой, но нет никаких оснований впасть в пессимизм и подобно Вигк утверждать, что таинственность процесса связывания азота теперь стала больше, чем прежде.

При этом нужно учесть, что до сих пор вопросом о механизме фиксации азота занимались из наших крупных ученых преимущественно представители микробиологии, как Виноградский и Костычев, теперь же нужно пожелать, чтобы им ближе заинтересовались также представители биохимии и общей химии.

Часть II

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АММИАЧНЫХ И НИТРАТНЫХ СОЛЕЙ КАК ИСТОЧНИКОВ АЗОТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ

В первой части мы подвергли рассмотрению вопрос об источниках азота с общей, принципиальной точки зрения. В частности, мы рассматривали отношение растений к аммиачному и нитратному питанию, имея в виду только ионы NO_3 и NH_4 ; но при применении удобрений приходится иметь дело с внесением солей, которыми снабжает сельское хозяйство химическая промышленность; тогда приобретает значение вопрос об анионах и катионах, сопровождающих NH_4 и NO_3 и надо сравнивать, например, действие на растения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NaNO_3 , а не только иметь в виду восстановленную или окисленную форму соединений азота. Поэтому и после того, как усвояемость обеих форм была принципиально доказана, оставался практически важный вопрос о сравнительной оценке солей азотной кислоты и аммония в качестве удобрений, и на эту тему после опытов Коссовича и Мазэ появилось большое количество работ с весьма разнообразными результатами, причины противоречивости которых (иногда мнимой) выяснились только в последнее время.

ОТНОШЕНИЕ РАСТЕНИЙ К АММИАЧНОМУ И НИТРАТНОМУ ПИТАНИЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕАКЦИИ СРЕДЫ, КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА И ЗАПАСА УГЛЕВОДОВ

После того как Коссович получил для $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ не только хорошие результаты, но даже развитие в этом случае было лучшим, чем при введении NaNO_3 , Эренберг в 1907 г.¹ получил прямо противоположный результат. Причина в данном случае (как и во многих других) лежала в том, что в то время, когда методика определения рН была неизвестна, относились очень упрощенно к вопросу о нейтрализации физиологической кислотности $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, думая, что для этого достаточно внести CaCO_3 ; но на деле при этом получается щелочная реакция, а при щелочной реакции особенно легко перейти через грань, отделяю-

¹ Mitteilungen d. Landw. Inst. Breslau, Bd. IV, 1907.

щую полезную концентрацию аммиака от вредной. И вообще, даже при нейтральной реакции, растения выносят гораздо большие концентрации нитратов, чем аммиачных солей.

Если принять во внимание различия в концентрации растворов и реакции среды, то несовпадение результатов в опытах Коссовича и Эренберга становится вполне понятным: Эренберг сразу вводил в сосуды $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и CaCO_3 , притом в таких количествах, что даже при вскрытии сосудов во время уборки песок издавал ясный запах аммиака, Коссович же, работая со стерильными культурами, вводил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ не в песок, содержащий CaCO_3 , а в тот сосуд со стерилизованной водой, из которого велась затем поливка растений. Коссович хотел этим приемом избежать потерь аммиака при стерилизации, возникающих в случае введения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и CaCO_3 в один и тот же сосуд, но одновременно он невольно снижал этим и исходную концентрацию раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, применив, в сущности, периодическую подкормку аммиаком вместо введения его сразу в начале опыта. Кроме того, Коссович, стремясь к соблюдению равенства условий, вводил CaCO_3 не только в сосуды с аммиачным, но и в сосуды с нитратным азотом; этим он ввел в действие еще один фактор, в то время совершенно неизвестный, а именно: кроме реакции среды и концентрации растворов, здесь замешан еще вопрос о физиологической уравновешенности растворов и об антагонизме катионов. И в этом отношении введение CaCO_3 явилось плюсом в случае аммиачного питания, но имело понижающее действие на развитие растений, питавшихся нитратами (более подробно на этом вопросе мы остановимся ниже).¹

Таким образом в опыте Коссовича ряд обстоятельств не был учтен в то время; они сложились у него благоприятно для аммиачного питания, а у Эренберга дело обстоит как раз наоборот.

Не останавливаясь ближе на работах Крюгера,² Требу,³ Гетчинсона и Миллера,⁴ на результатах которых также сказывалась игра факто-

¹ Отрицательное действие иона Ca в присутствии NaNO_3 обнаружил Арвид Томсон (Arwid Thomson. Der Wert der Ammonsalze für die Ernährung höherer Pflanzen, 1922). То же наблюдалось в нашей лаборатории в опытах Дикусара в 1926 г. (см. ниже).

² Landwirt. Jahrb., 1905.

³ Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellschaft, 1903.

⁴ Centralblatt für Bacteriologie, 1911. Опытам этих авторов нередко придается значение, которого они на деле не имеют, так как, помимо очень низкого уровня урожаев, в них заключаются совершенно несогласные различия и несогласие показаний одноименных сосудов, например:

NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄		
	Без CaCO ₃	+ CaCO ₃	CaCO ₃ + нитр. бакт.
Вес растения 0.973	0.257 - 1.019	0.888 - 0.973	1.028 - 1.680

Здесь является совершенно непонятным, почему на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при заражении нитрификаторами получился больший урожай, чем по селитре, а между тем, авторы, придающие большое значение этому заражению, не замечают указанного противоречия.

ров, в то время не учитывавшихся, отметим прежде всего неверное представление о нейтральности растворов солей аммиака в присутствии CaCO_3 ; на деле же в самом начале опыта только что посаженные ростки в этих случаях страдают от щелочности, и только потом эта картина изменяется, но первичная задержка роста при аммиачном питании дает возможность «нитратным» растениям значительно уйти вперед в развитии.

Характерный случай устранения не только физиологической кислотности, но и вреда от начальной щелочности мы имеем в наших опытах (1910—1914 гг.)¹ по синтезу аспарагина за счет аммиака и нитратов в этиолированных проростках, когда эти последние в очень большом количестве высаживались на сетках, натянутых на невысоких кристаллизаторах. Тогда исходная щелочность растворов, содержащих CaCO_3 , парализовалась выделяемой корнями углекислотой.

При такой постановке мы наблюдали не только выравнивание результатов по аммиачному и нитратному питанию, но даже явный перевес на стороне первого, если брать за критерий энергию образования аспарагина или вообще синтез органических азотистых соединений за счет той или другой формы азота.

Вот пример из опытов с кукурузой.

100 этиолированных ростков после 10-дневного пребывания на растворах содержали:

	I. Дест. вода	II. Раствор Ca (NO ₃) ₂	III. NH ₄ Cl + CaCO ₃
Азот аспарагина (в мг)	104.5	160.7	269.5
Азот органич. веществ (в мг)	755.6	844.6	935.1

Здесь содержание аспарагина в растениях, получивших аммиак, в 2.5 раза превысило содержание его в контрольных растениях, а в случае нитратов это отношение отвечает приблизительно 1 : 1.5; увеличение азота органических соединений за время опыта вдвое выше при аммиачном питании, чем при нитратном (179.5 и 89.0 мг прироста против контроля).

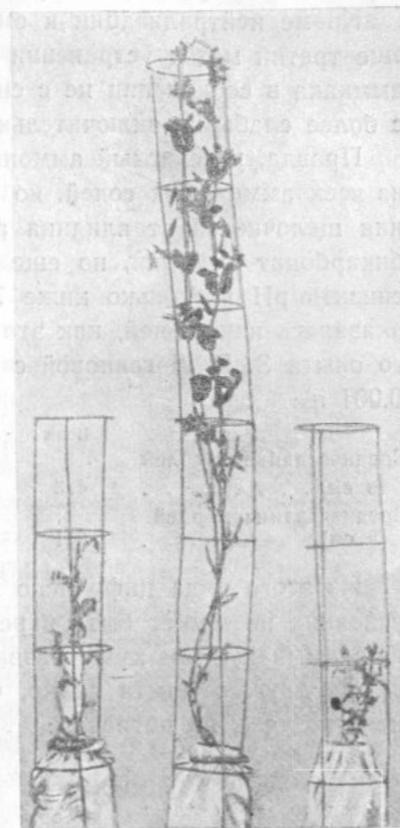
Таким образом результаты этого опыта совпадали с результатами, полученными Коссовичем, хотя путь устранения первоначальной щелочности был здесь иной, но позднее наступающее проявление физиологической кислотности предотвращалось также присутствием CaCO_3 или, вернее, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Некоторыми авторами высказывалось мнение,² что в сернокислом

¹ См. статьи Ритмана, Калининна и др. в отчетах нашей лаборатории, тт. VII—IX, 1910—1914 гг.

² См. Г. Г. Петров. Усвоение азота высшими растениями на свету и в темноте (стр. 304 — приложения к XI тому «Трудов лаборатории Д. Н. Прянишникова», 1917). Позднее даже было высказано утверждение, что физиологическая характеристика солей не является постоянной, но что она зависит от реакции среды, что, например, NH_4Cl может стать физиологически щелочной солью при кислотности

аммиаке вреден сам аммиак, а не серная кислота. Вероятно, такая парадоксальная формулировка являлась только следствием неудачного выражения другой мысли, что бывают случаи, когда и после устранения вреда от серной кислоты, остается вредное действие избыточно введенного аммиака, особенно при щелочной реакции среды. В приведенной же выше упрощенческой и слишком общей форме это мнение явно неверно, так как иначе нейтрализация вообще не помогала бы. Но раз такое мнение высказывалось, то мы в свое время провели несколько демонстративных опытов, наглядно доказавших неверность такого положения. Прежде всего проведены были опыты со сменой раствора, при которых мы исходили из такой мысли: частая смена растворов будет оказывать положительное действие, если вред вызывается физиологической кислотностью $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, если же дело во вреде самого аммиака, то смена растворов будет только усиливать этот вред. Получился ясный ответ в пользу первого положения. Вот пример из опытов Е. В. Бобко и О. И. Соколовой, проведенных в нашей лаборатории в 1918 г. (смена растворов — два раза в неделю).



Ячмень в водных культурах:

Источники азота	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Вес растения { Без смены раствора	1.63
(в г) { При смене	9.45

Рис. 12. Влияние смены раствора при питании $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
I — без смены раствора, II — при смене раствора, III — без смены раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$

С горохом результат получился еще более резкий (см. фотографический снимок, рис. 12).

В 1922 г. опыты эти были повторены с применением методики Селленсена для определения pH растворов; тогда оказалось, что изменение среды, отвечающей pH от 3 до 4. Ср. Maximov. Studja nad fisiologiczna reakcija soli amonowych, Poznan, 1929 (odbitka z Roznikow Nauk Rolniczych i Lesnych).

Фактически, действительно, удается в очень кислой среде наблюдать большее поглощение Cl, чем NH_4 , но это достигается благодаря тому, что оба иона ставятся в неодинаковое положение, так как раствор, подкисленный с помощью HCl, содержит больше ионов Cl, чем ионов NH_4 и ион Cl может поступить в растение как вместе с NH_4 , так и с H, а ион NH_4 поступает только вместе с Cl.

реакции идет очень быстро. Так, если взять достаточно развитое растение и поместить в небольшой сосуд, то уже через сутки реакция раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ снижается от $\text{pH} = 6.2$ до $\text{pH} = 3.9$; при этих условиях даже ежесуточная смена растворов недостаточна (поэтому мы перешли к текучим растворам, о чем будет речь ниже).

Кроме нейтрализации и смены растворов, мы применили в 1923 г. еще третий метод устранения физиологической кислотности — введение аммиака в соединении не с сильными кислотами, как H_2SO_4 и HCl , но с более слабыми, включительно до уголекислоты.¹

Правда, уголекислый аммоний считался самой вредной для растений из всех аммиачных солей, но в прежних опытах не различалось влияния щелочности от влияния аммиака, поэтому мы взяли не только бикарбонат аммония, но еще пропускали в раствор ток CO_2 , чтобы снизить pH несколько ниже 7.0, тогда эта форма введения аммиака оказалась наилучшей, как это видно из следующих данных 12-дневного опыта З. В. Логвиновой с ростками гороха (концентрация солей — 0.001 n):

	Вола	NH_4Cl	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	NH_4HCO_3	$\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{CO}_2$
Средняя длина стеблей (в см)	4.3	4.1	5.0	5.8	9.7
Средняя длина корней (в см)	8.1	7.6	9.2	8.0	10.6

Из этого ряда цифр ясно видно, что о вреде аммиака в данных условиях не может быть и речи, но чем сильнее кислота, сопутствующая аммиаку, тем хуже развиваются растения.

Из другого опыта видно, что развитие растений по аммиаку шло не хуже, чем по нитратам:

	Вола	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3$	$\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{CaSO}_4$
pH	5.7	5.5	6.9	6.7
Средняя длина корней (в см)	7.0	10.9	11.1	11.0
Средняя длина стеблей (в см)	3.7	20.1	19.1	20.7

Так было еще раз подтверждено, что главным злом в солях аммиака, которыми промышленность снабжает сельское хозяйство, являются

¹ Поводом к пересмотру вопроса об отношении растений к уголекислому аммиаку (особенно бикарбонату) послужила для нас выше отмеченная идея о близости процессов превращения азотистых веществ у растений и животных, причем, помимо общего единства, особенно разительный случай совпадения влияния NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на синтез амидов в растительном и животном организме, а именно: подавление процессов синтеза (аспарагина в ростках люпина и мочевины — в печени), в то время как синтез мочевины совершенно гладко протекает при введении в кровеносную систему печени NH_4HCO_3 (работа Rumpf und Kleine, Zeitschrift f. Biologie, Bd. 34). Подробнее об этом см. в докладе автора во время «Russische Naturforscherwoche» в Берлине в 1927 г. (Die Einheitlichkeit der Principien im Stickstoffwechsel bei Pflanzen und Tieren; напечатано в сборнике: Die Naturwissenschaften in der Sowjetunion, Ost-Europa Verlag, Berlin und Königsberg, 1929.

сильные кислоты — серная и соляная и сравнивать аммиачное и нитратное питание, не устранив влияния физиологической кислотности, невозможно. Конечно, у таких солей, как NaNO_3 , есть противоположное свойство — физиологическая щелочность, но это является гораздо меньшим злом, так как корни растений выделяют уголекислоту, и даже в водных и песчаных культурах щелочность сильно смягчается благодаря образованию бикарбонатов (а в почвах щелочность жадно связывается рядом ацидоидов), в то время как накоплению свободных кислот растение ничего противопоставить не может. В наших опытах сравнения сменных и бессменных растворов обнаружилось, что при установлении одинаковой исходной реакции ($\text{pH} = 6.2$) через 48 часов растения на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ резко смещают реакцию до $\text{pH} = 3.3-3.5$, а в случае NaNO_3 pH поднимается только до 7.3.

После того как устранен главный фактор неодинакового отношения растений к $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и селитре, возникают дальнейшие вопросы более тонкого регулирования реакции среды, концентрации растворов и соотношения соответствующих ионов применительно к тому и другому источнику азота.

Уже в 1923 г. мы пришли к мысли о том, что нужно отыскивать свои оптимальные условия для использования растением аммиака и нитратов, а не испытывать их «при прочих равных условиях», как это стремились делать раньше. Поэтому в 1924 г. были поставлены две серии культур — аммиачная и нитратная, — с установкой определенных градаций pH (от 3 до 8) путем регулярного приливания децинормальной кислоты и щелочи (опыты П. Р. Купреенко). В этих опытах впервые получилось, что оптимум для нитратной серии лежит при ином pH , чем для серии аммиачной, а кроме того, обнаружилось более резкое падение урожая в обе стороны от оптимальной точки при аммиачном питании, чем при нитратном.¹

Но далее мы перешли к опытам с текучими растворами, так как приведение к определенному pH (даже ежесуточное, если объем сосуда невелик) оказалось связанным все же с значительными сдвигами реакции против заданного уровня.

¹ Эти опыты были поздно поставлены, и растения не достигли полного развития, поэтому урожай были невелики, но различия в росте наметились достаточно ясно. Приведем здесь только данные для аммиачной серии (опыт проведен с кукурузой):

	I	II	III	IV	V
pH	3.0	4.5	6.0	7.0	8.0
Вес растений (в г)	1.02	9.97	14.09	9.7	3.80

Как видим, развитие растений целиком зависит от pH , причем для получения $\text{pH} = 3.0$ не нужно было вводить кислоты — растение само доводит pH раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ до этого предела, после чего всякий сдвиг прекращается, но прекращается и рост растения. Отсюда видно, что все старые опыты (Раутенберг, Пич и др.), проводившиеся без нейтрализации, были скорее опытами по влиянию низких ступеней pH на развитие растений, чем опытами по аммиачному питанию.

Метод текучих растворов был впервые применен, насколько нам известно, П. С. Коссовичем в 1902 г.,¹ причем растения по пышности развития сильно отличались от растений в обычных песчаных культурах; впоследствии текучими растворами пользовался Ольсен² в Дании и ряд авторов в Соединенных Штатах (Alison, Shive и др.).³

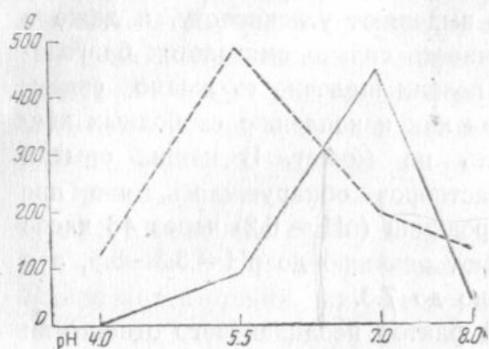


Рис. 13. Вес корней сахарной свеклы при различных величинах pH и питании аммиачным (сплошная линия) и нитратным (пунктирная линия) азотом

В нашей лаборатории начало применения метода текучих растворов было положено опытами Дикусара с сахарной свеклой в 1926—1928 гг. В этих опытах четко выявилось различное положение оптимума pH для аммиачного и нитратного ряда (рис. 13), так что на вопрос, что лучше — аммиак или нитраты,

ответ получается неодинаковый, в зависимости от реакции среды: при нейтральной реакции аммиак был лучшим источником азота, чем нитраты, а при кислой реакции получился прямо противоположный результат. При повторении этого опыта с кукурузой получился совершенно тождественный результат.

По более детальной схеме проведены были Дикусаром опыты в текучих культурах с капустой, при этом получился такой вес урожая (на одно растение):

1) при pH = 7.0

	Кочан (в г)	Листья (в г)	Все растение (в г)
(NH ₄) ₂ SO ₄	507	393	900
NH ₄ NO ₃	505	374	879
NaNO ₃	286	251	537

2) при pH = 5.0 кочан не образовался, вес листьев был такой (в г):

(NH ₄) ₂ SO ₄	92
NH ₄ NO ₃	323
NaNO ₂	323
NaNO ₃	498

Здесь опять ясно выступает преимущество аммиачного питания при нейтральной реакции и нитратного — при кислой; NaNO₂ и NH₄NO₃ занимают промежуточное положение.

Как нередко бывает, общий ход развития науки приводит в разных странах к тем же самым мыслям и итогам исследования. Так было и

¹ Журнал опытной агрономии, т. III.

² Comptes Rendus de Laboratoire Carlsberg, 1923.

³ American Journal of Botany, 1923.

при отыскании наилучших условий усвоения аммиака и нитратов растениями. У нас мысль о необходимости двух параллельных рядов с изменяющимся pH стала осуществляться с 1924 г. (опыты Купреенко), а в более совершенной форме (в текучих культурах) проведены опыты Дикусара в 1926 и следующих годах. Когда я в 1927 г. был в Германии (в связи с участием в «Russische Forscherwoche» в Берлине), то получил приглашение повторить мой доклад по азотному питанию в Гейдельберге, в местном химическом обществе, где были в значительном числе представлены химики,¹ работающие в лабораториях мощного азотного завода в Оппау, и я получил приглашение также осмотреть и завод (куда доступ был нелегко).²

После осмотра завода и связанных с ним химических лабораторий³ мне показали вновь созданную физиологическую лабораторию и теплицу, руководить работами в которой был приглашен известный физиолог Клейн (из Вены). Показывал мне теплицу непосредственный исполнитель опытов д-р Пиршле, ассистент Клейна, и я увидел точно такую серию опытов в текучих культурах, какие проводил у меня в 1926 г. Дикусар; растение было другое — табак, но результаты совершенно совпадали с теми, какие были получены в опытах с сахарной свеклой и кукурузой. Пользуясь богатыми средствами Азотного синдиката, Пиршле в последующие годы мог провести опыты с 20 растениями, с 7 ступенями pH в каждом случае, но основные результаты были такие же, что и у нас. За этим последовали работы американских авторов (Naftel, Tiedjens and Robbins). Отдельные растения в опытах Пиршле оказывали известное предпочтение нитратам (*Chenopodium*, рапс, тыква, гречиха), а другие — аммиаку (соя, рис, просо, лен), но обычно в интервале pH 5.5—6.5 результаты сближались, и опти-

¹ Среди слушателей находился также известный представитель агрономической химии, 80-летний профессор Адольф Майер, в то время уже бывший в отставке.

² В 1923 г. я, имея рекомендательное письмо от Габера, не мог попасть на крупнейший завод в Лейна, работающий по методу Габера, но в 1931 г., во время кризиса сбыта, администрация этого завода сама прислала мне приглашение посетить завод.

³ Эти лаборатории занимали в 1927 г. большое четырехэтажное здание, в них работало около 150 докторов химии (помимо химиков, контролирующих производство на самом заводе), которые могли работать по любому вопросу, связанному с азотом (будь то общая химия или технология, или физиологическая химия) в условиях очень хорошего снабжения реактивами и аппаратурой, но с одной оговоркой — печатание возможно только с разрешения Азотного синдиката. Кроме лаборатории и теплицы для физиологических опытов, имелось еще недалеко от завода (в Limburgerhof) опытное поле, площадью 17 га, и вегетационный домик на 6 тыс. сосудов, поливаемых по весу дистиллированной водой до трех раз в день. Эти вегетационные и полевые опыты имели целью практическое испытание новых марок удобрений, выпускаемых Азотным синдикатом, причем, кроме растений полевой культуры, в домике велись опыты с декоративными растениями, и масса ярких цветов придавала ему живописный вид. В этом учреждении работали 12 научных сотрудников и 18 человек технического персонала («Geschulte Gärtnerinnen» из средней школы садоводства и огородничества).

мальное развитие при аммиачном питании приходилось на более высокое рН, чем при нитратном, но вообще оптимальная зона при аммиаке была менее растянута, чем в случае нитратов.

В согласии с нашими наблюдениями и данными Пиршле стоят результаты опытов Тайдженса и Робинса с томатами,¹ причем в этой работе расхождение оптимума для нитратов (рН 4—5) и аммиака резко выражается, чем у Пиршле.

Говоря выше об опытах Дикусара, мы коснулись только одной их стороны — влияния рН на результат питания аммиаком и нитратами при одинаковом составе питательного раствора в других отношениях. Но одновременно в этих опытах выявилось и еще одно обстоятельство — не только рН, но и состав сопровождающих катионов в том и другом случае должен быть различным. Именно, когда был произведен анализ золь урожая 1926 г., то оказалось, что при кислой реакции (рН 5.5) растения, питавшиеся аммиаком, содержали мало кальция, почти вдвое меньше, чем при нитратном питании. Тогда в следующем году произведены были опыты с разной дозировкой кальция, при этом оказалось, что в аммиачном ряду полезно повысить количество Са (например, с 40 до 160 мг), а при питании NaNO_3 лучше снизить это количество.

Вот пример из опытов с сахарной свеклой 1927 г.

	I. При рН = 7.0		II. При рН = 5.5	
Количество Са в литре (в мг)	10	40	40	160
Вес корня при аммиачном питании (в г)	58.5	452	100.5	248
Вес корня при нитратном питании (в г)	462	132.7	—	—

Так мы встретились еще с одним фактором (кроме рН), для которого нужно создавать не тождество условий, а наоборот, находить свой оптимум для того и другого источника азота.

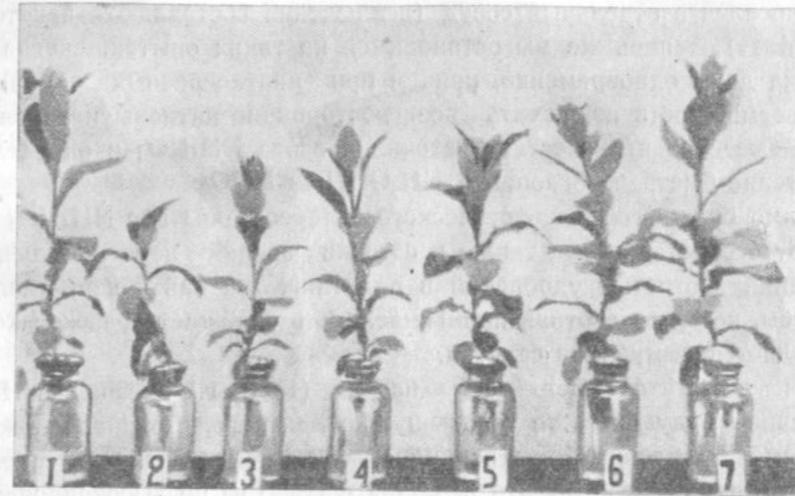
Явления антагонизма между Ca^{++} и H^+ были нами описаны еще в 1923 г.,² но с антагонизмом между NH_4^+ и Ca^{++} мы встретились лишь при описываемых опытах 1926—1927 гг.; особенно велико значение кальция при рН ниже 7, когда Ca^{++} является антагонистом как для ионов аммония, так и водорода.

Мы прежде, в 1900—1910 гг., не думали о том, что если мы заменяем в смеси Кнопа или Гельригеля нитратный азот аммиачным, то хотя количество кальция и выравнивается с содержанием его в смеси Гельригеля (путем введения CaCO_3 или CaSO_4), все же физиологическая уравновешенность раствора нарушается, ибо количество одновалентных ионов сильно увеличивается (благодаря введению NH_4^+), а количество двухвалентных при этом изменению не подвергалось. Если даже

¹ Tiedjens and Robbins. The Use of Ammonia and Nitrate Nitrogen by Certain Crop Plants. (New Jersey Agr. Exp. St. Bul. 526, 1931).

² Prianschnikow. Ueber Bedeutung des Kalziums für die Pflanzen. Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft, 1923.

половину азота нитратов заменить азотом аммиака (как это было сделано мною в 1902 г. при составлении так называемой «питательной смеси Прянишникова»), то уже сказывается нарушение физиологическо-



	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$			$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			
Са:	0	50	100	150	200	250	300 мг
Урожай:	12.7	10.6	12.3	12.9	13.5	14.1	15.7 г

Рис. 14. Влияние увеличения концентрации кальция при аммиачном питании. В строке «Са» показано количество добавочного кальция (в виде CaCl_2), данного дополнительно к норме по содержанию его в варианте с $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

го равновесия, и для его восстановления необходимо ввести дополнительное количество Са (конечно, в виде нейтральной соли, как CaSO_4 , чтобы не изменить рН раствора). Вот пример из опытов В. С. Ивановой с овсом в песчаных культурах (1927):

Количество кальция	Са по норме Гельригеля	Двойное количество	Четверное количество Са
Вес надземных частей овса (в г)	14.3	18.1	19.3

При полной замене азота нитратов на азот аммиака наблюдалось еще большее влияние введения Са (в виде CaCl_2), как видно из следующего опыта Т. Т. Демиденко с табаком (рис. 14).

Как известно, прежде, исходя из мысли, что аммиачный азот вообще хуже нитратного, пытались найти некоторые коэффициенты (например 90%) для оценки действия азота аммиака по сравнению с азотом селитры, действие которого принималось за 100 (Павел Вагнер). Мы же на основании вышеупомянутых опытов пришли в 1928 г. к заключению, что *такого постоянного коэффициента не существует*, что при известных условиях действие аммиака может быть и выше 100%, и отношение между действием обоих источников азота меняется сообраз-

но влиянию ряда факторов (как внешних, так и внутренних) то в пользу одного, то в пользу другого источника.¹

Выше мы рассматривали преимущественно такие опыты по сравнению аммиачного и нитратного питания, при которых каждый источник азота вносился в отдельный сосуд (исключение составляют некоторые опыты Мазэ); теперь же мы остановимся на таких опытах, когда оба источника дают одновременно, причем при краткосрочных опытах является возможность исключить все посторонние катионы и анионы, а именно — ввести в качестве источника азота NH_4NO_3 и определить, что растение быстрее поглощает: NH_4OH или HNO_3 .

Помимо большого физиологического интереса, опыты с NH_4NO_3 приобретают особое значение также и с точки зрения непосредственного применения азотистых удобрений в практике, так как теперь главным продуктом, которым азотная промышленность снабжает сельское хозяйство, является аммиачная селитра.

Если автор 45 лет тому назад (1900 г.) назвал NH_4NO_3 «удобрением будущего», то теперь нужно признать, что предположения того времени во многом подтвердились. Остается, конечно, в силе, что эта соль стоит выше сульфата аммония и селитры по высокопроцентности (35% N), отсутствию балласта, но представление о физиологической нейтральности NH_4NO_3 оказалось преувеличенным, а когда перешли к обращению с большими массами NH_4NO_3 и столкнулись с хранением не в склянках с притертыми пробками, а в больших количествах на складах, то проявилась его гигроскопичность и склонность слеживаться; поэтому в Западной Европе и не применяют эту соль в отдельности, а только в смеси с негигроскопичными туками (как преципитат, K_2SO_4 и т. п.).

Однако применение в смесях не мешает NH_4NO_3 иметь большое практическое значение и на Западе, а для физиолога и агрохимика изучение свойств этой соли важно не только ради нее самой — оно позволяет еще лучше осветить некоторые стороны общего вопроса об отношении растений к аммиачному и нитратному питанию, чем опыты с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NaNO_3 .

Мы впервые имели дело с NH_4NO_3 в песчаных культурах 1898 г. Бывший тогда ассистентом по кафедре В. В. Винер, ревностный пропагандист вегетационного метода (впоследствии более известный как организатор Шатиловской опытной станции), предложил при проведении опытов студентами ввести в качестве источника азота NH_4NO_3 , чтобы снизить общее количество солей в песчаных культурах. Я не возразил, исходя из тогдашнего представления о физиологической нейтральности NH_4NO_3 . В результате опыты 1898 г. с фосфоритами оказались «неудачными» — все растения получили способность использовать фосфорит (в отличие от опытов 1896 и 1897 гг.). Тогда мы не решились сделать конечного вывода, опасаясь, не было ли допущено какой-либо общей

¹ Труды ЦИНС, 1928; Biochemische Zeitschrift, 1929, Н. I.

ошибки исполнителями опытов (например, случайное введение KH_2PO_4 в какой-либо раствор общего пользования): но этот случай побудил нас в ближайшие годы поставить вопрос о влиянии источника азота на отношение растений к фосфоритам, и оказалось, что ошибки в студенческих опытах 1898 г. не было — при введении NH_4NO_3 (даже в размере $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ от общей дозы азота) все растения получают способность использовать фосфорную кислоту фосфорита.

Наиболее ясная картина влияния разных степеней замены азота NO_3 на азот NH_4 выявилась в 1900 г. в опытах Лушников и Тулайкова; не будем здесь приводить подробностей постановки и цифровых данных по этим опытам, так как они приводились не раз в предыдущих статьях и вошли в учебник.¹ Эти факты приводили к мысли, что NH_4NO_3 является, вопреки принятому тогда взгляду, солью физиологически кислой, т. е., что аммиак поглощается быстрее, чем азотная кислота, и последняя разлагает фосфорит. Однако это было только наиболее вероятным, по нашему мнению, объяснением — нужно было подвергнуть его испытанию, наряду с другими возможными предположениями. В то время мы считали, вообще говоря, мыслимыми следующие четыре возможности:

1. Азотнокислый аммоний подвергается частичной нитрификации,² благодаря чему возможно создание кислой среды даже в том случае, если бы эта соль сама по себе была физиологически щелочной.

2. Азотнокислый аммоний является солью физиологически нейтральной, поэтому он не мешает растворяющему воздействию корневых выделений, в отличие от NaNO_3 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

3. Азотнокислый аммоний оказывает прямое растворяющее воздействие на фосфорит, не зависящее от усвояющей деятельности растения.

4. NH_4NO_3 может являться, вопреки ожиданиям, солью тоже физиологически кислой, но не со столь резко выраженной кислотностью, как сернокислый аммоний.

Одно за другим подвергались экспериментальной проверке эти положения, и последовательно три из них отпали,³ осталась только четвертая возможность — признать, что эта соль является физиологически кислой, т. е., что аммиак быстрее потребляется растением, чем азотная кислота (вопреки утверждению ряда немецких авторов, что аммиачные

¹ Агрохимия, 3-е изд. (1940), стр. 330.

² Хотя идет речь о культуре в песке, промытом кислотой, но все же занесение бактерий возможно.

³ Первое предположение — об участии нитрификации — отпало после проведения опытов в стерильной среде (у нас и в лаборатории П. С. Коссовича). Второе предположение было опровергнуто опытами И. С. Шулова с изоляцией источника фосфора от источника азота — оказалось, что только при непосредственном соприкосновении NH_4NO_3 с фосфоритом корни растений способны использовать последние, сами же по себе они это сделать не в состоянии. Точно так же опыт не подтвердил прямого растворяющего влияния NH_4NO_3 (при взбалтывании с раствором этой соли, без участия растения). См. подробности и фотографический снимок в IV отчете о вегетационных опытах за 1902 г. и в моей книге «Учение об удобрении», 1922, стр. 277.

удобрения являются медленно действующими по сравнению с селитрой). Освобождением азотной кислоты и объясняется то растворяющее влияние на фосфорит, какое оказывает введение NH_4NO_3 при проведении опытов в песчаных культурах.

Одно время у нас возникла мысль, не является ли эта физиологическая кислотность NH_4NO_3 условной, т. е. зависящей от реакции среды,— тогда перевес поступления NH_3 над HNO_3 проявлялся бы лишь в слабо-щелочной среде (а таковая может создаваться благодаря содержанию трехкальциевого фосфата и углекислого кальция в фосфоритах), в кислой же среде поведение NH_4NO_3 было бы обратным; тогда NH_4NO_3 в качестве соли физиологически амфотерной служил бы для растений хорошим регулятором реакции среды.

Но опыт не подтвердил и этого предположения — физиологическая кислотность NH_4NO_3 упорно проявлялась и при кислой реакции среды (поскольку идет речь о степенях кислотности, переносимых растениями без явного вреда).

Это мы обнаружили еще при наших опытах 1901—1902 гг. по составлению новой питательной смеси; оказалось, что в песчаных культурах введение NH_4NO_3 вместе с CaHPO_4 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ дает хорошие результаты, но при комбинации $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$ растения неизменно страдают от кислой реакции и дают гораздо меньшие урожаи, а особенно чувствительные к кислотности совершенно погибают. Следовательно, в этих условиях NH_4NO_3 не является для растения регулятором реакции среды, буферность проявляется только при комбинации NH_4NO_3 с основными фосфатами, т. е. нормальное растение вызывает в растворе NH_4NO_3 сдвиг только в кислую сторону.

Помимо наблюдений над реакцией среды и явлениями растворения фосфатов, перевес потребления NH_4OH над потреблением HNO_3 был констатирован И. С. Шуловым в 1912 г. путем прямого определения количеств, потребленных растениями NH_4 и NO_3 в стерильных условиях, причем перевес этот имел место в присутствии KH_2PO_4 , т. е. в кислой среде.

Тогда, в 1917—1919 гг., мы стали испытывать более сильное подкисление, и первоначально могло казаться, что при этом удастся достигнуть большего поглощения нитратов, чем аммиака. Вот пример из опытов того периода с этиолированными проростками ячменя:

Концентрация HCl	0	0.0001	0.0005	0.001	0.002	
Поглощено N {	NH_3	22.5	18.4	13.4	11.9	8.8
	HNO_3	19.3	18.9	15.6	15.1	10.9

Внешне здесь может казаться, что произошел переход к физиологической щелочности NH_4NO_3 , но так как это происходит при заведомо

¹ Подобные же данные были сообщены Д. А. Сабининым в его докладе на съезде ботаников в Ленинграде в 1921 г.

вредных степеней кислотности (между рН 4.0 и 3.0), то есть риск, что имеет место уже не физиологическая, а «патологическая щелочность». Эти патологические черты более четко выявились при опытах с проростками гороха (в 1919 г.), который более чувствителен к кислой реакции и имеет иное соотношение между белками и углеводами, чем у злаковых, и в этих опытах проявилось не только подавление поглощения аммиака при возрастающей кислотности, но и выделение аммиака корнями в окружающий раствор.

Результаты этих опытов изображены на рис. 15.

Здесь мы видим, что при концентрации кислоты 0.001 n происходит одновременно поглощение нитратов и выделение аммиака в количествах одного и того же порядка.

Последующие опыты показали, что здесь при подавлении процесса синтеза амидов имеет место восстановление нитратов с образованием аммиака, но тогда (в 1919 г.) работа в этом направлении не была проведена до конца — мы только пришли к заключению, что в пределах нормального роста растений NH_4NO_3 является всегда солью физиологически кислой, добываясь же «амфотерности», мы попадаем в область патологических явлений.

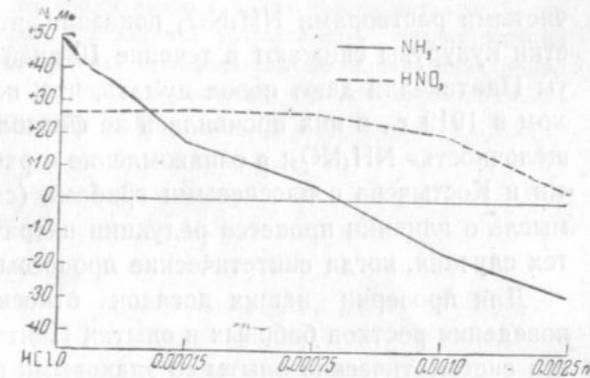


Рис. 15. Влияние концентрации кислоты на поглощение нитратного и аммиачного азота проростками гороха

В 1922 г. мы узнали о работе итальянского физиолога Пантанелли (Pantanelli)¹ о поглощении ионов, в которой сообщалось, что проростки бобовых, развившиеся на свету, из раствора NH_4NO_3 поглощали больше кислоты, чем основания, что стоит в полном противоречии с нашими данными. Но, что еще более удивительно, то же самое проявилось в опытах с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, например:

		1	2	3	4
Поглощено {	катиона	0	0	0.18	0.35
	аниона	1.31	0.35	0.44	0.60

Явно было что-то ненормальное в поведении этих ростков; нулевое поглощение аммиака приводит к мысли о каком-то переходе к выделе-

¹ Эта работа появилась еще в 1915 г. в журнале «Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik», но Тимирязевская академия не получала иностранных журналов не только во время войны 1914—1917 гг., но и 4 года по окончании ее, и только при моей командировке в Берлин в 1922 г. мне удалось установить в представительстве Наркомпроса наличие не использованных еще кредитов и спешно заняться пополнением восьмилетнего пробела в получении иностранных журналов в библиотеке ТСХА.

нию аммиака; но выделение аммиака может иметь место при крайнем голодании проростков (Буткевич), а Пантанелли вел опыты на свету. Другой случай выделения аммиака наблюдали мы при действии кислот или солей аммиака с сильными кислотами, но опять-таки в опытах с этиолированными проростками. Как бы то ни было, данные Пантанелли производят впечатление, что его растения страдали от кислой реакции растворов при недостатке углеводов.

Пантанелли не описывает подробно условий опыта, но он производил опыты в декабре, в обстановке большого города (Рима), с ростками 30-дневного возраста. Если условия освещения были плохи, то, несмотря на световой габитус, растения могли истощить запас углеводов; кислую же реакцию растворов могли создать сами ростки. Наши опыты с чистыми растворами NH_4NO_3 показали, что (без введения буфера) ростки кукурузы снижают в течение 10 дней рН до 3.7. В итоге результаты Пантанелли дают повод думать, что, подобно нашему опыту с горохом в 1919 г., в них проявилась не физиологическая, а «патологическая щелочность» NH_4NO_3 ; а ознакомление с работами Варбурга с водорослями и Костычева с плесневыми грибами (см. выше, стр. 67) наводит на мысль о влиянии процесса редукции нитратов и образовании аммиака в тех случаях, когда синтетические процессы подавлены.

Для проверки наших догадок относительно причин своеобразного поведения ростков бобовых в опытах Пантанелли нам предстояло провести систематические опыты со злаковыми и бобовыми на свету и в темноте, при разной степени истощения ростков, при разных концентрациях NH_4NO_3 и при разной реакции среды.

К этому времени (начиная с 1922 г.) мы получили возможность располагать аппаратурой и реактивами для определения рН различными путями, ввели колориметрические методы определения малых количеств NH_3 и HNO_3 , а это позволило вести учет поглощения за короткие сроки (2—4—6 часов) и избавило от необходимости прибегать к громоздкому и трудному методу стерильных культур, которым пользовался Шулов. Это дало возможность вместо одного опыта за лето повторять опыт с тем же самым растением даже не один раз в течение суток.¹

И раньше мы прибегали к относительно краткосрочным (7—10 дней) опытам с проростками, но все же возможность влияния бактериальных процессов была в этом случае больше, чем при 2—6-часовых опытах.

Так как большинство наших опытов по физиологической характеристике NH_4NO_3 проводилось со злаками, а Пантанелли работал с бобовыми (при нашем единичном опыте с горохом в 1919 г. также проявлялись

¹ Привезенные мной в 1922 г. из Берлина литературу, реактивы и приборы использовал прежде всего М. К. Домонтович, этот неустанный лабораторный работник, преждевременно нами утраченный. Он штудировал Михаэлиса, Кольтофа и Серенсена, налаживал потенциометр и другие приборы и приучал молодежь к методической работе с ними; он же был самым аккуратным докладчиком по иностранной литературе на наших рефератных собраниях.

какие-то своеобразные особенности),¹ то прежде всего нужно было испытать, не играет ли роль в опытах Пантанелли выбор объекта для опытов: нужно сравнить поведение бобовых и злаковых прежде всего в условиях нормального роста — на свету, но, как это было и у Пантанелли, при кратких сроках опытов.

¹ В том опыте с горохом в 1919 г., который напоминал по результатам опыты Пантанелли, были следующие особенности: а) одновременное присутствие в растворе NH_4 и NO_3 ; б) кислотность раствора, возрастающая от нуля до заведомо вредного содержания HCl (0.0025 n); в) недостаточное освещение; г) значительная длительность опыта (2 недели). После нашего ознакомления с работой Пантанелли мы вернулись к расшифровке этого опыта. Чтобы расчленить действие сложного комплекса факторов, мы в дальнейшем шли такими путями: 1) исключали нитраты, давая только аммиачную соль; 2) исключали аммиак, давая только нитраты; 3) исключали и аммиак и нитраты, испытывая влияние возрастающей кислотности на растение и наблюдая выделение аммиака за счет процессов дезаминирования и пр.; 4) меняли продолжительность опыта и возраст растений, что для этиолированных ростков означает разный запас углеводов в них.

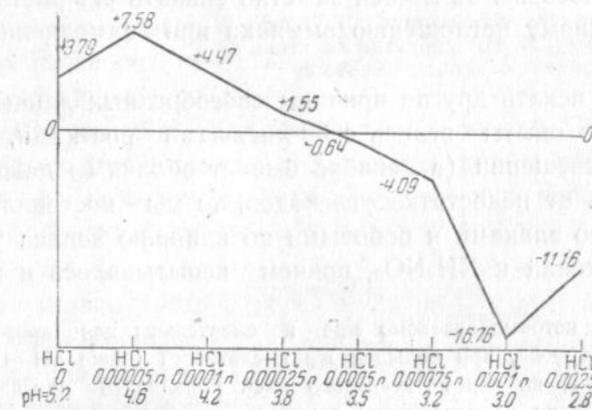


Рис. 16. Влияние pH раствора $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ на поглощение и выделение аммиака проростками гороха

Мы здесь коснемся только опытов по 1-му и 3-му разделам, так как остальные опыты — по 2-му и 4-му разделам — рассматриваются ниже в связи с анализом результатов опытов Пантанелли, в то время как данные по 1-му и 3-му разделам (продолжительность опыта до двух недель) несравнимы с краткосрочными, 8-часовыми опытами Пантанелли.

Результаты предварительных опытов по влиянию кислотности среды на поглощение и выделение аммиака проростками гороха в отсутствии нитратов изображены на рис. 16, из которого видно, что в интервале между pH = 5.2 и 3.8 растения поглощают аммиак, а при более кислой реакции (pH = 3.5 и ниже) они его выделяют. Но такая постановка является несовершенной в том отношении, что растения, выделяя аммиак, частично нейтрализуют раствор, и конечное pH не отвечает исходному; поэтому та грань, при которой должно происходить отмирание корней, и не была уловлена. В дальнейшем мы перешли к ежедневной смене раствора для возможного удержания pH на исходном уровне; этот прием был применен, в частности, к опытам по влиянию кислотности при отсутствии как аммиака, так и нитратов. Тогда обнаружилось выделение аммиака и при та-

Однако, опыты, проведенные по нашему предложению Домонтовичем¹ в 1923 г., показали, что ассимилирующие растения гороха и овса ведут себя совершенно одинаково,—поглощение NH_4 существенно опережает поглощение NO_3 , как это видно из следующих примеров:

Растение	Возраст растения в днях	Продолжительность опыта (часы)	рН		Поглощено (в % от введенного количества) ¹	
			до опыта	после опыта	NH_3	HNO_3
Горох	20	2	5.4	4.8	7.7	0
	20	4	5.4	4.8	33.7	0
	30	3	6.4	5.5	61.5	19.3
Овес	22	2	5.8	4.8	27.9	5.0
	14	2	6.4	6.2	18.3	0

¹ Концентрация раствора NH_4NO_3 колебалась от 0.0002 до 0.001 л

Отсюда видно, что развитые растения овса и гороха в условиях водных культур способны за 2 часа заметно снизить рН раствора NH_4NO_3 благодаря жадному поглощению аммиака при замедленном поступлении HNO_3 .

Оставалось искать другие причины своеобразных данных Пантанелли. Так как его опыты велись с 30-дневными ростками, которые при декабрьском освещении (а декабрь бывает облачным даже в Италии) могли страдать от недостатка углеводов, то мы поставили несколько серий опытов со злаками и бобовыми по влиянию запаса углеводов на отношение растений к NH_4NO_3 , причем испытывалось и влияние кон-

центрации рН, которые заведомо еще не смертельны для проростков гороха, как, например, рН = 4.3, при большей же кислотности (ниже рН = 4.0) выделение аммиака возрастало, но через несколько дней появлялись признаки отмирания корней, как это видно из следующих данных:

Выделение аммиака ростками гороха за сутки (в мг)	При концентрации кислоты				
	0.00001	0.00004	0.0001	0.00025	0.001 л
За 3-й день	—	0.142	0.610	0.862	0.444
» 4-й »	—	0.427	0.489	0.504	0.411
» 5-й »	—	0.580	0.768	1.436	—
» 6-й »	следы	0.574	0.606	0.928	—
» 8-й »	»	0.402	0.738	+	—
» 11-й »	»	0.312	+	—	—
» 13-й »	»	+	—	—	—

Примечание. Знаком + отмечено начало отмирания корней.

Но, как сказано, эти опыты длительного порядка пригодны для сравнения с нашими опытами 1919 г. (см. рис. 15), но не с краткосрочными опытами Пантанелли, в которых слабое поглощение аммиака из раствора NH_4NO_3 объясняется образованием аммиака за счет редукции нитратов, при подавленных процессах синтеза благодаря плохому освещению.

¹ См. нашу статью «Аммиак, нитраты и нитриты, как источник азота для высших растений» в XIII томе «Результатов вегетационных опытов», 1926.

центрации раствора NH_4NO_3 , так как Пантанелли применял более высокие концентрации, чем мы в наших прежних опытах.

Для этого в нескольких сериях опытов (В. С. Ивановой, с 1926 г.) испытывалось отношение к NH_4NO_3 этиолированных проростков разного возраста, а следовательно, разной степени истощения углеводами. И вот тут-то и обнаружилось, что «явление Пантанелли» можно наблюдать только на ростках, обедненных углеводами. Этиолированные проростки гороха 5-дневного возраста ведут себя так же, как ассимилирующие растения, а в 15-дневном возрасте они ведут себя противоположным образом — анализ растворов показывает более сильное поглощение HNO_3 , чем NH_3 , как это было и в опытах Пантанелли. Чтобы не приводить значительных рядов цифр, дадим лишь графическое изображение результатов для 5-дневных ростков гороха (рис. 17) и 15-дневных (рис. 18).

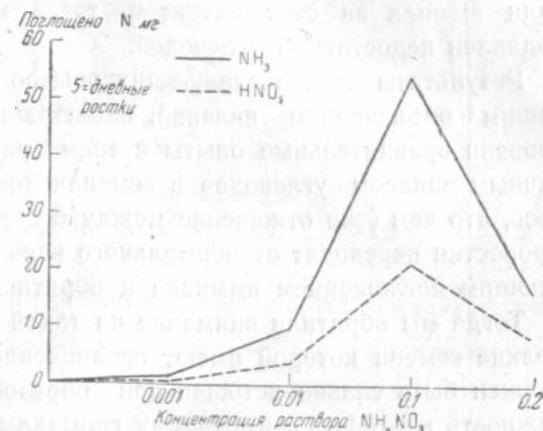


Рис. 17. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 этиолированными ростками гороха 5-дневного возраста

Чем же можно было объяснить, что только истощенные ростки обнаруживают перевес поглощения HNO_3 над поглощением NH_3 . Ведь казалось бы, что здесь есть внутреннее противоречие, так как растение, бедное углеводами, должно бы предпочитать аммиак, а не нитраты, на восстановление которых до аммиака нужно еще затратить дополнительное количество энергии. Однако факты говорят, что недостаток углеводов раньше подавляет синтез амидов, чем редукцию нитратов. Достаточно напомнить ранее цитированную работу Варбурга с водорослями (1920), в которой было показано образование аммиака за счет нитратов при подавленной ассимиляции («reine Reduktion, ohne Assimilation»), работу Костычева с плесневыми грибами, обнаружившую, что при пони-

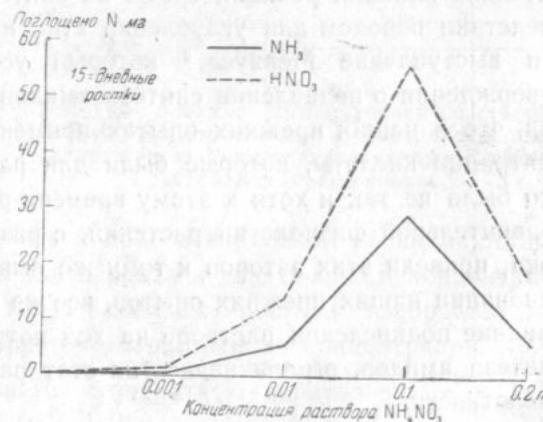


Рис. 18. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 этиолированными ростками гороха 15-дневного возраста

женном питании сахаром редукция нитратов до аммиака идет, а аммиак не успевает потребляться в процессе синтеза органического вещества. С высшими растениями у нас аналогичные явления наблюдал Дикусар (1924), в опытах которого этиолированные проростки образовали аммиак за счет нитритов, тогда как синтез амидов уже был подавлен недостатком углеводов.

Результаты всех последующих опытов вполне согласовались с этим нашим объяснением явлений, наблюдавшихся Пантанелли. Когда мы провели сравнительные опыты с тремя растениями, обладающими различным запасом углеводов в семенах (овес, горох, люпин), то оказалось, что чем уже отношение между белками и углеводами, тем скорее проростки переходят от нормального использования NH_4NO_3 с преобладающим поглощением аммиака к обратному, аномальному типу.¹

Тогда мы обратили внимание на такой объект, как сахарная свекла, мелкие семена которой имеют ограниченный запас углеводов, который должен быть сильно истощен при образовании всходов, в противоположность картофелю, имеющему громадный запас крахмала в посадочном материале; это давало повод думать, что разное отношение свеклы и картофеля к удобрению NaNO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ стоит в связи не только с различным положением оптимума по отношению к реакции среды, но и с различной способностью использовать аммиак в молодом возрасте.

При опытах с проростками свеклы мы, кроме изучения влияния концентрации и возраста ростков, воспользовались этим чувствительным объектом еще и для уточнения наших прежних наблюдений относительно влияния реакции среды на синтез амидов в растениях. Впоследствии поводом для углубления этих исследований послужило отчасти выступление Мевюса,² который усомнился в верности нашего утверждения о подавлении синтеза амидов при кислой реакции и полагал, что в наших прежних опытах применялись слишком сильные концентрации кислоты, которые были для растений смертельными.³ Хотя это было не так и хотя к этому времени работы Рулянда и Ветцеля по сравнительной физиологии растений, с разной кислотностью клеточного сока, привели этих авторов к тому же выводу, к какому мы пришли на основании наших прежних опытов, все же мы решили еще раз испытать влияние подкисления раствора на ход потребления аммиака в процессе синтеза амидов, ограничиваясь на этот раз только слабыми степенями кислотности.

Опыты 1927—1928 гг. обнаружили, что, действительно, у свеклы «явление Пантанелли» наступает гораздо раньше, чем у гороха (не

¹ См. нашу статью в XIV томе «Vegetационных опытов».

² Die Wirkung der Ammoniaksalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionen Konzentration. (Planta. 1928, 1929).

³ На деле в наших опытах 1912—1914 гг. применялись вовсе не «смертельные концентрации кислот» как таковые, а изучалось влияние физиологической кислотности таких солей, как NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

говоря уже об овсе). Мало того, здесь мы впервые наблюдали переход от поглощения аммиака к его выделению, которое при кислой реакции ($\text{pH} = 5,2$) наступает скорее (т. е. при меньшем истощении ростков или при меньшей концентрации NH_4NO_3), чем при нейтральной реакции. Вот пример для ростков 9-дневного возраста:

Концентрация раствора NH_4NO_3		0.01	0.025	0.05	0.075	0.100 г.	
		при $\text{pH} = 7.0$					
Поглощено азота (в мг)	{	NH_4	11.2	48.8	51.5	16.6	11.9
		NO_3	6.9	38.9	69.2	36.1	21.0
			при $\text{pH} = 5.2$				
	{	NH_4	1.6	0.3	-2.1	-1.3	-1.9
	NO_3	3.1	8.7	9.9	18.0	15.1	

Как видим, при нейтральной реакции и при слабых концентрациях мы имеем преобладание поглощения аммиака ($\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$), и только при переходе к концентрации 0.05 n и выше берет верх поглощение азотной кислоты.

При реакции же слабо кислой, даже в интервале малых концентраций, поглощение аммиака (или, вернее, разность между поглощением и новообразованием) уступает поглощению азотной кислоты (или убыли ее вследствие редукции). Переход же к большим концентрациям приводит в этом случае к выделению аммиака в окружающую среду.

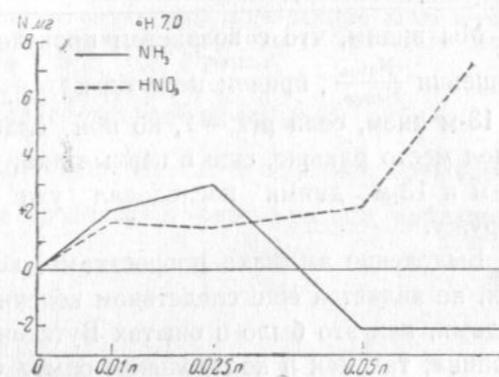


Рис. 19. Влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поглощение аммиачного и нитратного азота 15-дневными этиолированными ростками сахарной свеклы

Это явление может наступить и при нейтральной реакции, если взять ростки более истощенные или перейти к еще большим концентрациям NH_4NO_3 . Такой случай для 15-дневных ростков изображен на рис. 19, где видно, как под влиянием возрастающей концентрации сначала аммиачная кривая пересекается с нитратной (переход от $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$ к $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$), а затем происходит выделение не использованного растениями аммиака в раствор, окружающий корни.

В сущности рис. 19 может служить общей схемой для любого из изучавшихся факторов, так как не только концентрация раствора, но и реакция среды и истощение запаса питательных веществ с возрастом ростков — все действует в одном и том же направлении, вызывая сначала изменение отношения $N_{\text{амм.}} > N_{\text{нитр.}}$ на обратное $N_{\text{амм.}} < N_{\text{нитр.}}$, а затем и переход к отрицательному значению $N_{\text{амм.}}$, т. е. к выделению

аммиака. Так, влияние возраста ростков свекловицы на отношение $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}}$ сказывается изменениями совершенно того же типа, как это мы видели выше, наблюдая влияние концентраций (см. табл.).

Возраст ростков (в днях)	5	7	9	11	13	
при pH = 7.0						
Поглощено азота (в мг) ¹	$N_{\text{амм.}}$	36.7	36.7	48.8	2.9	3.1
	$N_{\text{нитр.}}$	10.5	21.5	38.9	11.3	11.1
при pH = 5.2						
	$N_{\text{амм.}}$	12.4	3.4	—	1.3	—2.0
	$N_{\text{нитр.}}$	47.2	22.6	—	23.5	+8.7

¹ Взятые данные только для концентрации 0,025 л

Мы видим, что с возрастом происходит постепенно уменьшение отношения $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}}$, причем переход к $N_{\text{амм.}} < N_{\text{нитр.}}$ имеет место между 11-м и 13-м днем, если pH = 7, но при слабокислой реакции этот переход имел место раньше, еще в первые дни, не охваченные опытом, а между 11-м и 13-м днями последовал уже переход к выделению аммиака наружу.

Выделение аммиака проростками, которое наблюдалось в этих опытах, не является еще следствием конечного истощения проростков углеводами, как это было в опытах Буткевича с голодающими проростками липина, так как в контрольном опыте с погружением корней в чистую воду выделения аммиака еще не было; следовательно, аммиак был продуктом восстановления нитратов, а не продуктом дезамидирования и дезаминирования, как это бывает при совершенном истощении проростков.

Описанные выше опыты позволили нам настолько овладеть «явлением Пантанелли», что мы могли уже заранее предвидеть результаты еще не испытанных комбинаций. Так, когда мы перешли к изучению динамики процесса, то естественно было предположить, что продолжительность опыта (время погружения ростков в раствор NH_4NO_3) должна иметь такое же влияние на переход от нормального отношения $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$ к обратному $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$, как и увеличение концентрации раствора, т. е. если мы, например, в 2-часовом опыте наблюдали при данных условиях, что названное отношение уже меньше единицы, то это не значит, что названное отношение устанавливается с первых же минут после погружения ростков в раствор, скорее нужно думать, что первые порции аммиака (прямо данного или полученного от редукции HNO_3 — все равно) будут все же потребляться на образование аминов, а только последующие порции станут накапливаться в растении, дан-

ный в растворе аммиак перестанет поступать, а образованный за счет HNO_3 будет выделяться наружу. Опыт вполне подтвердил эти ожидания. Вот данные, полученные с этиолированными проростками гороха 15-дневного возраста (рис. 20).

Если бы мы не знали механизма описываемого явления, то трудно было бы понять, почему через 2 часа поглощено меньше аммиака, чем через 1 час, в то время как количество потребленных нитратов правильно возрастает, но раз дело идет о продукции аммиака за счет нитратов, то понятно, что одно явление перекрывает другое. Если

здесь отношение $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}}$ только уменьшается, а еще не переходит в обратное, то ясно, что если бы продолжить опыт, то мы наблюдали бы пересечение кривых и переход к отношению $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$. Но то же

пересечение кривых наблюдается в пределах 2-часового опыта, если взять ростки гороха всего лишь на два дня старше, т. е. 17-дневного возраста (рис. 21).

Так как эта серия опытов с горохом проведена была при значительном варьировании концентрации (8 ступеней, от 0.001 до 0.2 л), возраста растений (5 сроков уборки) и при двух ступенях pH

(5 и 7), то она дала обильный материал для более четкой демонстрации законностей, подмеченных при прежних опытах. Здесь приведены только некоторые рельефные примеры. На рис. 22 видно влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поведение значительно истощенных ростков гороха (19-й—21-й день); 19-дневные ростки обнаруживают явление Пантанелли при всех концентрациях, но при наибольшей кон-

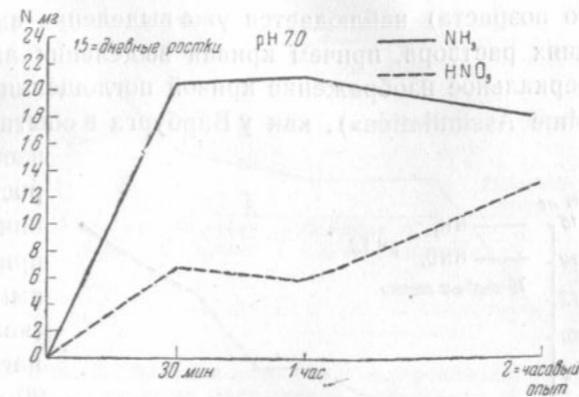


Рис. 20. Влияние продолжительности опыта на поглощение аммиачного и нитратного азота этиолированными ростками гороха 15-дневного возраста

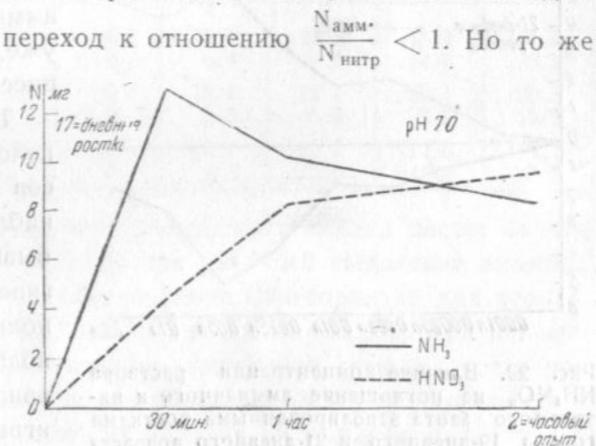


Рис. 21. Влияние продолжительности опыта на поглощение аммиачного и нитратного азота этиолированными ростками гороха 17-дневного возраста

центрации (0,2 n) замечается уже выделение аммиака в окружающий корни раствор. Эта комбинация влияния концентрации и возраста не была охвачена опытами Пантанелли. В следующей стадии (ростки 21-дневного возраста) наблюдается уже выделение аммиака при всех концентрациях раствора, причем кривая выделения аммиака представляет почти зеркальное изображение кривой поглощения нитратов («reine Reduktion ohne Assimilation»), как у Варбурга в опытах с водорослями. На рис. 23

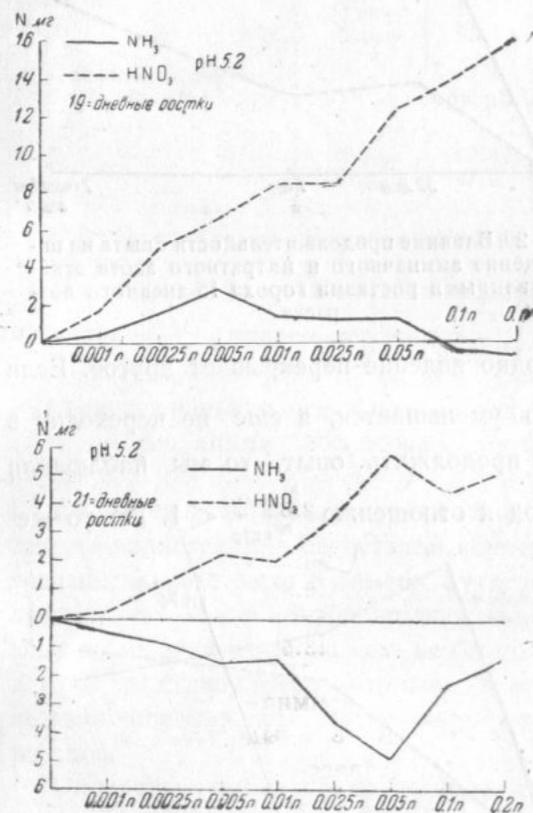


Рис. 22. Влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поглощение аммиачного и нитратного азота этиолированными ростками гороха 19-дневного и 21-дневного возраста

трация раствора, время погружения в раствор). Но все же для окончательной четкости решения не хватало одного *experimentum crucis*, каковым должна была быть обнаружена редукция при питании одними нитратами, без введения аммиака. В осуществление нашей мысли В. С. Ивановой было проведено в период 1928—1931 гг. значительное число опытов с проростками, находящимися в той стадии истощения, когда легко наступают явления, описанные Пантанелли, но с введением в раствор только NaNO_3 . Было изучено влияние концентрации NO_3 в растворе при разных степенях pH и при разном

возрасте ростков или степени истощения на их отношение к NH_4NO_3 , причем при pH = 5.2 перекрест аммиачной и нитратной кривых (явление Пантанелли) наступает перед 15-м днем, а к 20-дневному возрасту наступает уже перекрест аммиачной кривой с осью абсцисс (выделение аммиака). При нейтральной же реакции перекрест аммиачной и нитратной кривых наступает только в 20-дневном возрасте; однако к 21-му дню аммиачная кривая все-таки уже приближается к оси абсцисс.

Таким образом наше предположение об участии процессов редукции в явлениях, наблюдавшихся Пантанелли, бывшее сначала лишь рабочей гипотезой, постепенно нашло полное подтверждение и позволило объяснить все детали, явившиеся следствием сложной игры факторов (возраст растения, реакция среды, концен-

трация раствора, время погружения в раствор). Но все же для окончательной четкости решения не хватало одного *experimentum crucis*, каковым должна была быть обнаружена редукция при питании одними нитратами, без введения аммиака. В осуществление нашей мысли В. С. Ивановой было проведено в период 1928—1931 гг. значительное число опытов с проростками, находящимися в той стадии истощения, когда легко наступают явления, описанные Пантанелли, но с введением в раствор только NaNO_3 . Было изучено влияние концентрации NO_3 в растворе при разных степенях pH и при разном

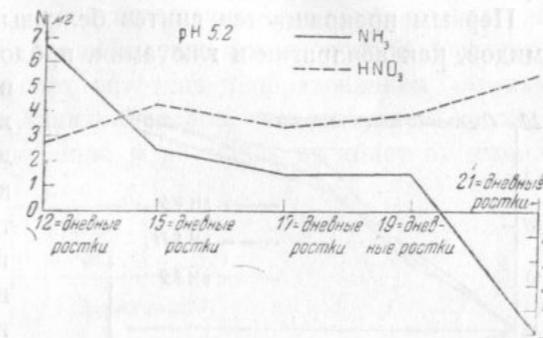


Рис. 23. Влияние возраста этиолированных ростков гороха на поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3

Ростки гороха (12-часовой опыт)

Концентрация NaNO_3		0	0.05	0.10	0.20	0.40 л
		(в мг)				
Исх. pH = 4.0	Поглощено N- NO_3	0	12.1	22.6	18.2	21.3
	Выделено N- NH_4	0	6.4	14.5	14.8	13.1
Исх. pH = 5.9	Поглощено N- NO_3	0	18.4	19.4	22.1	30.5
	Выделено N- NH_4	0	2.3	6.8	9.7	10.2
Исх. pH = 8.4	Поглощено N- NO_3	0	19.7	20.1	24.6	19.1
	Выделено N- NH_4	0	9.2	13.5	19.4	16.2

Здесь видно, что во всех случаях выделение аммиака растет вместе с концентрацией раствора NaNO_3 , но при pH = 5.9 выделение аммиака менее энергично, так как эта реакция более благоприятна для гороха, чем pH, равное 4.0 и 8.4, и нарушение процессов синтеза при ней менее выражено. Особенно энергичное выделение имело место при pH = 8.4; здесь кривая выделения аммиака наиболее приближается к зеркальному изображению кривой поглощения нитратов, т. е. к случаю, наблюдавшемуся Варбургом в его опытах с водорослями («чистая редукция, без ассимиляции»).

Для аналогичного опыта с люпином приведем только графическое изображение (рис. 24), смысл которого понятен из вышесказанного.

Таким образом процесс восстановления нитратов оказывается очень устойчивым, растение упорно сохраняет способность к редукции нитратов тогда, когда синтетические процессы уже сильно ослаблены, и незнание этого факта может привести к неверным выводам относительно поглощения аммиака и нитратов проростками, что и случилось с Пантанелли.

Вообще необходимо считаться с тем, что при помещении растений в темноту нарушение синтетических процессов происходит в известном порядке, начиная от высших ступеней лестницы к низшим.¹

Первым прекращается синтез белковых веществ, но синтез аминокислот, как аспарагин и глутамин, продолжается очень долго еще и в темноте, и еще дольше сохраняется способность к редукции нитратов до аммиака, которая имеет место даже и тогда, когда синтез амидов уже не идет, но ранее образовавшиеся амиды еще устойчивы, и, наконец, как предсмертное явление происходит «распускание кружева» — распад ранее образовавшихся соединений с образованием аммиака.

Таков ход превращения, если извне растения не получают азота. Если же в растение поступают нитраты или нитриты, то в первых стадиях прорастания обычно за восстановлением нитратов до аммиака быстро следует образование амидов и аминокислот и аммиака не накапливается. Но если при недостатке углеводов синтез амидов подавлен, то у высших растений наблюдается та же картина, какую Костычев наблюдал у грибов, а Варбург — у водорослей: восстановление нитратов идет, а аммиак, не потребленный в процессах синтеза, выделяется кор-

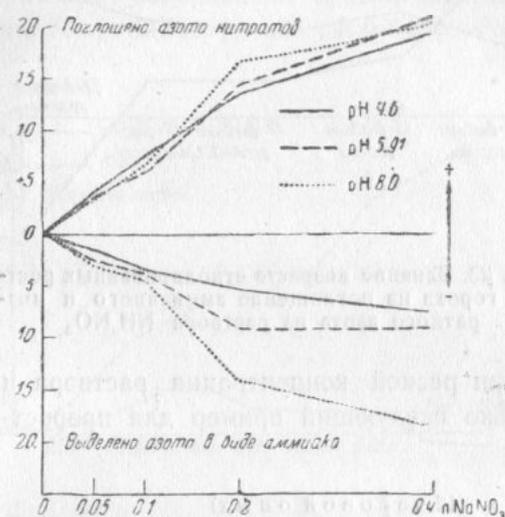


Рис. 24. Поглощение нитратного и выделение аммиачного азота проростками люпина (при питании NaNO_3) в зависимости от pH и концентрации раствора NaNO_3 .

¹ При опытах с повышенными концентрациями NaNO_3 нам приходилось устранять еще возможность предположения, что высокая концентрация солей как таковая за известным пределом может стать причиной выделения растениями аммиака вследствие наступления явления распада азотистых веществ вне всякой зависимости от присутствия нитратов в окружающем растворе. Известно, что в начальных стадиях увядания получается такое усиление окислительных процессов, что и присутствие углеводов не спасает от глубокого распада белков, с образованием аспарагина и затем аммиака. Можно было опасаться, что повышенное осмотическое давление раствора может вызвать подобные же явления в клетках ткани. Поэтому мы ставили контрольные опыты с растворами NaCl при значительной концентрации (например, 0,2—0,4 н). Однако при тех возрастах растений и тех сроках, с которыми мы имели дело в работе по редукции нитратов, эти явления не имели места, как это видно из контрольных опытов с NaCl (подробности см. в названной работе В. С. Ивановой). Но если взять ростки 25—27-дневного возраста или значительно увеличить срок опыта, то можно, действительно, наблюдать начало выделения NH_3 уже не за счет редукции нитратов, а за счет глубокого внутреннего распада азотистых веществ в тканях проростков.

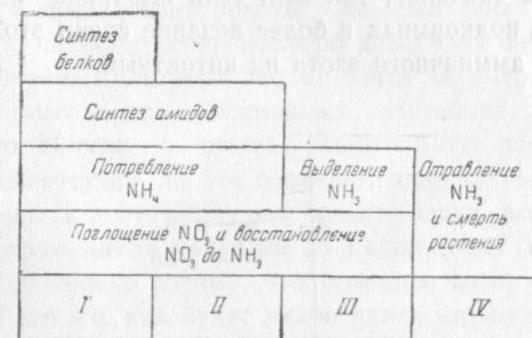
нями в окружающий раствор. Этот процесс восстановления нитратов не прекращается даже тогда, когда, казалось бы, растению не хватает углеводов для более насущных потребностей; он продолжается с большим упорством до последних стадий истощения растения; на известных ступенях этого истощения можно наблюдать почти полное совпадение между количествами поглощенных нитратов и образованием аммиака, пока истощение не дойдет до таких пределов, что наступают процессы дезаминирования и дезамидирования, и растение погибает от аммиачного отравления. Эта последовательность явлений может быть представлена в виде следующей схемы (рис. 25).

Те опыты, результаты которых мы выше описывали, производились с ростками, находившимися или во II стадии истощения запаса углеводов (и тогда выделения аммиака совсем не было), или в III стадии — в этом случае выделение аммиака наблюдалось, но в пределах, не превышающих количества редуцировавших нитратов, при переходе же к IV стадии начинается выделение аммиака, значительно превышающее поглощение нитратов, это уже предсмертное явление, с распадом аминокислот и амидов.

Эти явления можно наблюдать, например, на ростках гороха, выдержанных в темноте в течение 21 дня, если взять раствор NH_4NO_3 достаточной концентрации; вот примеры из опытов В. С. Ивановой:

Возраст ростков (в днях):	при концентрации NH_4NO_3 0,1 н					
	12	15	17	19	21	
Поглощено азота (в мг)	N — NH_4	39.0	34.3	3.3	-0.4	-48.5
	N — NO_3	33.1	37.6	11.9	14.8	8.1
	при концентрации NH_4NO_3 0,2 н					
	N — NH_4	27.9	10.1	3.3	-0.6	-33.9
	N — NO_3	23.1	11.3	11.8	16.0	3.2

Здесь 12-дневные ростки ведут себя нормально; в 15- и 17-дневном возрасте наступают явления, наблюдавшиеся Пантанелли; в 19-дневном возрасте начинается уже выделение аммиака, хотя в пределах, далеко отстоящих от размеров поглощения нитратов; и вдруг, в 21-дневном возрасте теряется всякая устойчивость, и истощенные ростки «истекают аммиаком» как продуктом глубокого распада азотистых составных частей растения. Это и отвечает IV стадии по приведенной схеме.



I-IV — Убывающее количество углеводов

Рис. 25. Схема, иллюстрирующая влияние запаса углеводов на процессы превращения азотистых веществ в растениях

О ВЛИЯНИИ ВОЗРАСТА АССИМИЛИРУЮЩИХ РАСТЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ NH_4 И NO_3 ИЗ РАСТВОРА АЗОТНОКИСЛОГО АММОНИЯ

В работах некоторых американских авторов (Naftel, 1931, Stahl и Shive, 1935) приведены были данные, говорящие, что в то время как в первых стадиях развития растения поглощают преимущественно аммиак, в более поздних стадиях наступает переход к обратному соотношению, и нитратный азот поглощается быстрее аммиачного. Помимо общефизиологического интереса, этот вопрос имеет прямое практическое значение, так как, если бы такое положение подтвердилось, то при подкормках в более поздние сроки это было бы доводом для замены аммиачного азота на нитратный.

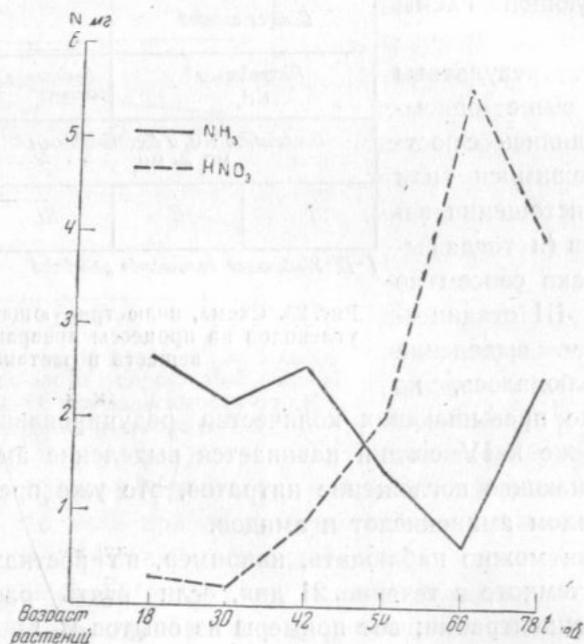


Рис. 26. Влияние возраста ассимилирующих растений овса на поглощение нитратного и аммиачного азота из раствора NH_4NO_3 (опыт Сталя и Шайва)

Вот графическое изображение результатов опытов Сталя и Шайва с овсом (рис. 26).

Нам с самого начала вывод американских авторов казался маловероятным потому, что на примере сахарной свеклы мы наблюдали как раз обратное: в то время как у всходов свеклы легко вызывается «аммиачное отравление», растения с развитой ассимилирующей поверхностью благодаря хорошему снабжению углеводами прекрасно справляются с аммиаком (опыты Ивановой, Дикусара и др. в нашей лаборатории).¹

¹ Правда, однажды и у нас наблюдался случай перехода от перевеса поглощения NH_4 над NO_3 к обратному соотношению, а именно, в опытах И. С. Шулова

Если мы наблюдали изменения с возрастом в смысле перехода от $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$ к отношению $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$, то это у этиолированных ростков, у которых еще хватало углеводов на редукцию NO_3 в NH_3 , но синтез амидов уже не шел; тогда эта редукция без потребления NH_3 в процессе синтеза создавала видимость якобы лучшего поглощения NO_3 , чем NH_3 . Но как понять такой переход в опытах Сталя и Шайва с ассимилирующими растениями (овес и гречиха), которые будто бы до цветения предпочитают аммиак, а после цветения — нитраты?

Присматриваясь ближе к постановке опытов американских авторов,¹ мы обратили внимание на невероятно высокую дозировку азота в их опытах: они давали в *текущих культурах* 240 мг азота на литр раствора, в то время как Гельригель при бессменных растворах давал втрое меньшее количество. И если в опытах Stahl и Shive раствор обменивался на новый каждые сутки, то это означает, что они давали растениям за 80—90 дней опыта в 240—270 раз больше азота, чем им требуется для завершения всего цикла развития по Гельригелю! Такие дозы растения могли вынести только потому, что большая часть азота проходила мимо корней, но все же, как будет видно ниже, имела место депрессия роста из-за избыточной концентрации NH_4NO_3 .

Тогда у нас явилось подозрение, что при таком невероятном перекарме растений азотом в виде NH_4NO_3 , кроме прямого поступления аммиака из этой соли, имело место еще образование аммиака за счет редукции NO_3 ; а если благодаря избытку аммиак не мог быть весь потреблен в процессах синтеза, то и должна получиться видимость луч-

с кукурузой (стерильные культуры, 1912 г.), однако этот опыт несравним с опытами американских авторов, так как у И. С. Шулова питательный раствор не обновлялся и потому, если растения в первую половину жизни поглотили больше NH_3 , чем NO_3 , то ко второй половине опыта они имели дело уже не с NH_4NO_3 , а с суммой $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{HNO}_3$ (или вообще RNO_3); кроме того, изменился состав и остальной части питательной смеси, что также не было учтено. Чтобы определить отношение кукурузы разных возрастов к NH_4NO_3 (притом с сохранением соотношения других катионов и анионов), необходимо вести опыт с сменными растворами или с текущими культурами. Именно такая постановка опыта имела место в работе Шмида (Karl Schmied, Ueber die Geschwindigkeit der Stickstoffaufnahme aus Ammon- und Nitratsalzen. Inaugural Diss., Hohenheim, 1930), который выращивал кукурузу в питательной смеси Кнопа, и в определенном возрасте давал растениям на известный срок только раствор NH_4NO_3 , а затем определял ход поглощения NH_4 и NO_3 . При этом Шмид констатировал, что как у молодых растений (20-дневного возраста), так и позднее, в стадии цветения, всегда аммиак поглощался быстрее, чем NO_3 . Вот пример из этих опытов для растений 74-дневного возраста:

	Начальная концентрация (в мг N на л)	Осталось через					
		1 час	2 часа	3 часа	4 часа	6 час.	18 час.
N аммиака	2	0.8	0.2	0	0	0	0
N нитратный	2	1.4	1.2	0.7	0.5	0.05	0

¹ Stahl and Shive. Studies on Nitrogen Absorption from Culture Solution, Soil Science, XXXV, 375 (1935).

шего поглощения нитратов, чем аммиака. А что этот процесс должен сильнее сказаться именно после цветения, чем до него, вытекает просто из того факта, что к этому времени растения, уже построившие главную массу своих органов, дальше снижают свою потребность в азоте, и наступает период преобладания перемещения азотистых веществ (из листьев к завязям) над их поступлением извне. Таким образом влияние возраста здесь должно быть косвенным, дело вовсе не в изменении отношения растения к NH_4 и NO_3 , а в снижении общей потребности в азоте.

При этих рассуждениях мы исходили не только из данных наших опытов с этиолированными проростками, в которых была доказана возможность пониженного потребления и даже выделения аммиака корнями проростков при избыточном питании их нитратами, но имели еще в виду опыты Клейна и Киссера, которые наблюдали выделение аммиака и у ассимилирующих растений, если нитратное питание являлось слишком обильным. Поэтому мы и решили при повторении опытов Сталья и Шайва применить различные концентрации NH_4NO_3 , а также произвести проверку на выделение аммиака при повышенных концентрациях как этой соли, так и при замене ее NaNO_3 .

Опыты, проведенные по нашему плану В. С. Ивановой, вполне подтвердили наши предположения о зависимости наблюдавшихся американскими авторами явлений от избыточной концентрации примененных ими растворов (240 мг азота на литр). Вот пример влияния концентрации NH_4NO_3 на поведение овса (в текучих растворах) в 50-дневном возрасте:

Концентрация NH_4NO_3 (мг на литр) . . .	24	48	240	360	480	
Поглощено (мг N) {	NH_4	5.3	8.3	11.6	-19.1	-10.3
	NO_3	2.2	4.3	17.9	+21.2	+17.9
Сухой вес растений в конце опыта (в г)	26.4	41.0	28.6	20.2	15.3	

Отсюда видно, что именно концентрация раствора является фактором, вызывающим аномальное отношение растения к NH_4 и NO_3 ; при снижении концентрации в 5 раз развитие растений улучшается и аммиачный азот поглощается сильнее нитратного. Если при 240 мг N имеют место те же явления, как у Сталья и Шайва, то при 360 и 480 мг наблюдается нечто новое, чего американские авторы не наблюдали, — выделение аммиака в раствор, окружающий корни (цифры обозначают поглощение или выделение в мг N за сутки на один сосуд).

Таким образом на ассимилирующих растениях мы наблюдаем те же явления, как и на этиолированных, но только при гораздо большем притоке азотистой пищи: при крайнем ее избытке отношение $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}}$ становится, при известном возрасте растения, меньше единицы; при дальнейшем повышении концентрации наблюдается выделение аммиака во внешнюю среду.

Стоит только избежать того крайнего избытка азота, который имеет

место в опытах Сталья и Шайва, и явления, описанные ими, исчезают совсем. Так, если ограничиться введением 24—48 мг на литр раствора (вместо 240), то во все стадии развития аммиак поглощается быстрее, чем NO_3 , как это видно из следующего примера:

Возраст растения (в днях)	40	60	80	90	
Поглощено N за 24 часа (в мг) {	аммиачного	11.4	12.1	7.9	9.1
	нитратного	9.9	6.3	4.1	4.8

При повторении опыта с той же концентрацией, с которой работали Сталь и Шайв (240 мг), мы случили такой же ход кривых поглощения, какой наблюдался у них; также получаются «ножницы», т. е. перекрест линий поглощения NH_4 и NO_3 где-то около стадии цветения. Но далее обнаружилось характерное дополнение:

если не спешить убрать растения при созревании зерен в метелках овса первого урожая, то под влиянием избытка азотистой пищи изменяется обычный тип развития однолетнего злака, а именно: узел кушения не отмирает, но начинается вторичное кушение, образуется «подсед», и если бы перенести растение в теплое помещение, то, очевидно, получился бы

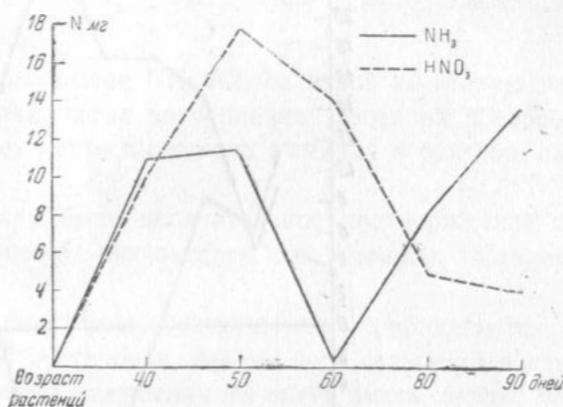


Рис. 27. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 ассимилирующими растениями овса разного возраста (при концентрации 240 мг N на литр)

второй урожай зерна от тех же растений. Это начало новой жизни, новой вспышки синтетических процессов характерно отражается на ходе кривых: концы «ножниц» начинают снова сближаться и происходит второе пересечение линий (рис. 27), т. е. опять, при преобладании синтетических процессов, поглощение аммиака берет верх над поглощением NO_3 , и ход кривых, который с первого взгляда мог бы казаться капризным, получает вполне закономерное объяснение.¹

¹ Вот основные цифры для этого нашего опыта:

Возраст растений (в днях):	40	50	60	80	90	
Поглощено азота (в мг) {	NH_4 . . .	11.0	11.6	0.32	8.2	13.8
	NO_3 . . .	10.0	17.9	14.2	5.0	4.0

В 60-дневном возрасте видимое поглощение аммиака приблизилось к нулю. На деле это, конечно, означает только то, что действительное поглощение аммиака было компенсировано образованием его за счет редукции NO_3 . Интересно, что на чертеже, помещенном в работе Сталья и Шайва, также виден известный перелом в стадии созревания и некоторое сближение концов «ножниц», но они не продолжили опыта достаточное время, чтобы обнаружилось второе пересечение кривых поглощения NH_4 и NO_3 , которое наблюдали мы.

Чрезвычайно характерна картина, которую мы получили в опыте с концентрацией 480 мг на литр, т. е. удвоенной против примененной Сталем и Шайвом,— здесь все последствия перекорма растений азотом выявились с чрезвычайной рельефностью (рис. 28), и то, что было скрытым в опытах Сталя и Шайва, стало очевидным.

Отметим три особенности этого опыта: во-первых, пересечение кривых поглощения здесь наступило много раньше, чем у Сталя и Шайва:

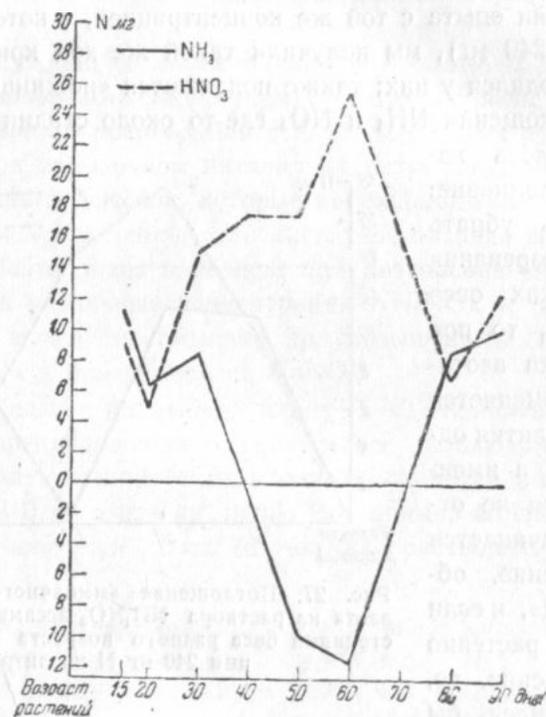


рис. 28. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 ассимилирующими растениями овса разного возраста (при концентрации 480 мг N на литр)

задолго до наступления стадии цветения растения уже не могли использовать весь аммиак, доставлявшийся им из двух источников (наличие готового NH_3 в растворе и его образование за счет редукции NO_3); во-вторых, вслед за первым пересечением аммиачной кривой (с кривой нитратной) здесь наступает ее второе пересечение с осью абсцисс, т. е. начинается выделение аммиака в окружающий раствор, чего не было у Сталя и Шайва; и, в-третьих, ясно выражено последующее возвращение к норме $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$, когда после созревания зерен в метелках первого поколения начинаются вновь синтетические процессы, вызванные вторичным кушением.

Эти явления вполне отвечают нашему объяснению результатов опытов Сталя и Шайва, основанному на тождестве процессов у низших и

высших растений (напомним формулировку для подобного случая у Варбурга: «Reine Reduktion ohne Assimilation»).

При всей четкости полученных результатов все же было интересно установить наличие восстановления нитратов, с образованием аммиака в таком опыте, в котором бы аммиак совершенно не вносился; для этого опыты были повторены в той же обстановке с заменой NH_4NO_3 на NaNO_3 .

Вот примеры из этой серии опытов:

Возраст растений (в днях)	35	45	55	65	75	85
Обнаружено NH_3	28 мг	0	0	0	0	0
в растворе при	280 мг	0	0	2.8	12.7	19.7 ¹
концентрации	560 мг/л	0	0	10.8	28.5	6.9 ¹

Отсюда видно, что и при замене NH_4NO_3 селитрой во вторую половину вегетационного периода, когда потребление азота на построение органов уменьшается, имеет место выделение аммиака в раствор, окружающий корни.

Этой серией опытов дано было окончательное подтверждение правильности нашего объяснения результатов, полученных Сталем и Шайвом при их опытах.

Хотя результаты, ими описанные, действительно наблюдаются при соблюдении тех же условий постановки опытов, но к сельскохозяйственной действительности никакого отношения не могут иметь цифры, полученные в столь исключительной обстановке, когда дозы азота в 240 раз превышают норму. Обобщать данные таких опытов нельзя, и никаких выводов об использовании аммиачного и нитратного азота в практике подкормки из них делать не следует. Но, с физиологической стороны, анализ подобных опытов, конечно, представляет интерес, причем, кроме обмена веществ, интересен и факт вторичного кушения у однолетнего злака: под влиянием крайнего избытка азотистой пищи овес осенью дает отрастание, напоминая поведение многолетней пшеницы Цицина.

Кроме сообщения Сталя и Шайва, работавших с овсом и гречихой, появилась еще на ту же тему работа Нафтеля, в которой описываются опыты с хлопчатником (в сменных растворах). Выводы автора близки к выводам Сталя и Шайва, но все сказанное нами выше относится и к опытам Нафтеля, а кроме того, в его опытах сильнее всего сказалось влияние сопутствующих катионов и анионов на использование NH_4NO_3 . Поэтому мы остановимся на его работе ниже, в следующем разделе нашей работы.

¹ Здесь наблюдалось образование, кроме аммиака, еще и нитритов.

ЗНАЧЕНИЕ СОПУТСТВУЮЩИХ КАТИОНОВ И АНИОНОВ ПРИ АММИАЧНОМ И НИТРАТНОМ ПИТАНИИ

Кроме описанных выше условий, как запас углеводов, концентрация раствора NH_4NO_3 , реакция среды и стадия развития растения (в смысле, выше разъясненном), на сравнительную энергию поглощения NH_4 и NO_3 из раствора NH_4NO_3 влияют еще количественные соотношения других ионов в растворе.

Мы уже видели, что для аммиачного питания важно наличие повышенных количеств кальция в растворе и что присутствие других оснований (K и Mg) также имеет свое влияние, как это показали опыты Дикусара в нашей лаборатории в 1926 г. В то же время в наших опытах, как и в опытах Арвида Томсона, проявилось неблагоприятное влияние повышенного количества кальция при нитратном питании. Уже отсюда можно заключить, что при одновременном присутствии обоих источников азота, как это имеет место в случае введения в раствор NH_4NO_3 , кальций будет сдерживать поглощение NO_3 , и поглощение NH_4 будет брать перевес. Продолжателем наших работ на эту тему явился Tsung Lee-Loo,¹ профессор университета имени Сун-ят-сена в Кантоне, который предпринял систематическое изучение влияния ряда катионов и анионов на энергию поглощения NH_4 и NO_3 из раствора NH_4NO_3 . При этом оказалось, что K^+ среди катионов и SO_4^{--} среди анионов действуют в обратном направлении, чем Ca^{++} , а именно: они благоприятствуют поглощению NO_3 и при определенной концентрации могут вызвать перевес поглощения NO_3 над поглощением NH_4 . Из ряда опытов с ростками кукурузы по влиянию катионов приведем следующие примеры:

	Контроль	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂ (0.01n)
Поглощено азота (в мг)	NH_4 . . .	78	85	83	72	66
	NO_3 . . .	54	60	153	33	47
Конечное pH	5.2	5.5	3.6*	5.0	4.4	4.4

Если ввести K_2SO_4 , то получается еще больший перевес поступления NO_3 , чем при введении калия с другими анионами:

	Контроль	KCl	KBr	K_2SO_4
Поглощено азота (в мг)	NH_4 . . .	120	83	88
	NO_3 . . .	86	113	153

¹ Further Studies on the Absorption of Ammonia and Nitrate by the Root System. (Bull. Dep. of Biology College. Sun Jatsen University, N 10 1931, Canton, China).

У нас исследования по вопросу о влиянии сопутствующих ионов на отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в связи с практикой применения удобрений проводились Л. С. Любарской (См. «Работы сектора химизации ЦИНС», т. II, 1934) и Турчиным (Ф. В. Турчин. О природе действия удобрений, СХГ, 1936).

* Эта цифра очень показательна, — очевидно, имел место сильный перевес поглощения K над Cl. Это наблюдалось в наших опытах с кукурузой (в отличие от других злаков), однако это означает, что ион NO_3 мог поступать в растение не только с ионами калия, но и с ионами водорода.

Кроме опытов с добавлением только одной соли, автор провел еще две серии опытов с возрастающими дозами KCl и CaCl_2 на фоне полной питательной смеси; здесь приведем только следующие данные из этих опытов:

Размер поглощения в зависимости от концентрации CaCl_2 и KCl (поглощено азота в мг):

		0	0.0001n	0.001n	0.01n	0.1n
Ряд с CaCl_2 (48 часов)	NH_4	92	123	100	80	60
	NO_3	72	72	65	32	19
Ряд с KCl (2 часа)	NH_4	154	164	260	180	156
	NO_3	147	160	240	293	327

Как видим, соотношение поглощаемых ионов NH_4 и NO_3 меняется под влиянием кальция и калия в обратном направлении, а именно: ион кальция как менее подвижный снижает поступление NO_3 и поглощение NH_4 получает перевес, в то же время сильно выражено положительное влияние калия на поглощение NO_3 . Нужно, правда, отметить, что тот фон, на котором происходили эти изменения, был сам по себе уже относительно благоприятен для поглощения NO_3 , так как питательная смесь, примененная в калийном ряду, содержала гораздо больше MgSO_4 , чем CaCl_2 ; также было много дано NaH_2PO_4 , а как раз ионы SO_4^{--} способствуют поглощению NO_3 , а ионы H_2PO_4 замедляли поступление NH_4 . Этим объясняется столь значительный эффект от введения калия — поступление NO_3 возрастает вместе с концентрацией KCl.

Поэтому эти опыты требовали повторения при такой постановке, при которой менялся бы только состав катионов при постоянном количестве аниона, например, испытывалось бы разное соотношение между калием и кальцием при постоянном количестве Cl, также и наоборот — разное соотношение между анионами при постоянном количестве катиона, что можно осуществить, например, при постепенной замене калия хлористого калием серноокислым.

Такие опыты по влиянию катионов (при постоянном анионе) были проведены в нашей лаборатории с ростками кукурузы; испытывалась последовательная замена кальция калием при постоянном количестве хлора. Вот результаты одного из опытов (1943):

NH_4NO_3	Состав раствора		Поглощено азота (в мг)	
	CaCl_2	KCl	NH_4	NO_3
0.1 n	—	—	19.7	14.4
»	1	0	18.1	12.9
»	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	16.9	16.5
»	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	16.5	19.4
»	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	15.5	23.3
»	0	1	14.4	22.6

Здесь ясно намечается благоприятное влияние кальция на поглощение аммония и калия — на поглощение NO_3 . Такая же замена кальция

калием, но при другом анионе (SO_4'') была проведена с пшеницей. Вот данные этого опыта:

Состав раствора			Поглощено азота (в мг)	
NH_4NO_3	CaSO_4	K_2SO_4	NH_4	NO_3
0.1 n	—	—	13.2	11.1
»	1	0	16.2	12.9
»	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	15.7	15.6
»	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	15.2	18.8
»	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	14.2	—
»	0	1	11.9	18.7

Здесь мы видим совершенно ту же картину, то же положительное влияние Ca на поглощение NH_4^+ и калия на поглощение NO_3^- . Наконец, третий опыт замены катиона при постоянном анионе был проведен с фосфатами $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и KH_2PO_4 .

Состав раствора			Поглощено азота (в мг)	
NH_4NO_3	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	KH_2PO_4	NH_4	NO_3
0.1 n	—	—	16.1	12.2
»	1	0	21.9	12.7
»	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	21.9	15.8
»	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	19.1	17.3
»	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	19.4	18.5
»	0	1	17.1	19.9

Опять та же зависимость, но точка пересечения сдвинута в сторону более высокой концентрации калия (и соответственно меньшей концентрации кальция). Таким образом влияние Ca и K проявилось совершенно согласно в опытах с хлоридами, сульфатами и фосфатами. Относительно влияния смены анионов (Cl' и SO_4'') мы имеем только один опыт, который пришелся на более холодное время; поэтому размеры поглощения были более низкими, однако проявилась ясная тенденция к повышенному поглощению аммония в случае Cl' , а в случае SO_4'' — к повышенному поглощению нитратов.

В 1944 и 1945 гг. опыты по изучению влияния катионного состава раствора на поглощение растениями аммиачного и нитратного азота были продолжены в нашей лаборатории Н. С. Турковой. В этих опытах, проведенных с ассимилирующими ростками пшеницы, было получено снова подтверждение ранее установленных фактов о значении соотношения между калием и кальцием для поступления аммиачного и нитратного азота в растение. В этих опытах мы пошли дальше и, помимо определения количества поступивших в растение аммиака и азотной кислоты, изучали также изменения в обмене азотистых веществ, учитывая накопление в растении амидов, аминокислот и белкового азота.

Из большого числа опытов мы приведем здесь данные лишь двух опытов — одного с хлоридами калия и кальция и другого — с сульфатами. Азот в обоих опытах был дан в виде NH_4NO_3 .

Опыт с хлоридами

Соотношение K и Ca	KCl					
	0	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{5}$	1	
Поглощено азота (в мг)	NH_3	58	57	45	43	19
	NO_3	31	45	45	56	60
N амидов (в мг на 200 растений)		31	28	28	21	15
N аминокислот (в мг на 200 растений)		11	17	18	25	38
N белков (в % от общего азота)		70	73	72	69	64

Опыт с сульфатами

Соотношение K и Ca	K_2SO_4					
	0	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{5}$	1	
Поглощено азота (в мг)	NH_4	57	46	40	36	20
	NO_3	19	36	38	52	55
N амидов (в мг на 200 растений)		36	29	24	20	21
N аминокислот (в мг на 200 растений)		4	20	21	50	38
N белков (в % от общего азота)		73	70	74	58	59

Результаты этих опытов показали, что изменение соотношения между калием и кальцием оказывает довольно сильное влияние на обмен азотистых веществ в растении.

Увеличение отношения Ca : K в растворе повышает относительное содержание белкового азота (в процентах от общего азота), и одновременно повышается накопление амидов. В опыте с хлоридами содержание азота амидов повышается с 15 до 31 мг (на 200 ростков), а в опыте с сульфатами — соответственно с 21 до 36 мг.

Но наиболее резкое изменение обнаружено для фракции азота аминокислот, содержание которого возрастает в обратном направлении, т. е. увеличивается с повышением отношения K : Ca (с 11 до 38 мг в опыте с хлоридами и с 4 до 50 мг в опыте с сульфатами).

Таким образом, мы встречаемся в данном случае с довольно глубоко идущими изменениями внутренних процессов обмена азотистых веществ в растении под влиянием условий минерального питания.

Но, во всяком случае, уже из имеющихся данных ясно, что для нормального использования аммиачного азота питательная смесь должна содержать гораздо больше кальция, чем в случае азота нитратного, иначе смесь становится физиологически неуравновешенной; мы видели выше (см. стр. 101), как резко проявился антагонизм между кальцием и аммонием не только в случае полной замены NO_3^- на NH_4^+ , но и в случае половины замены, как это бывает при введении NH_4NO_3 ; и в этом случае уже недостаточно сохранить то отношение N : Ca, какое принято в стандартных нитратных смесях (Кюпа, Гельригеля и др.).

Мы приводили выше данные опытов В. С. Ивановой (стр. 101), что в смесях, содержащих NH_4NO_3 , количество кальция должно быть удвоено по сравнению с соотношением $\text{Ca} : \text{N}$ в растворах, содержащих $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, чтобы восстановить равновесие между одновалентными и двухвалентными катионами, нарушенное введением NH_4^+ .¹ Недоучет этой роли кальция как антагониста аммония может привести к парадоксальным результатам, которые иногда неправильно обобщаются. Такой случай мы имеем, например, в опытах Нафтеля² с хлопчатником, в которых он наблюдал, начиная с известного возраста, перевес поглощения NO_3^- над поглощением NH_4^+ , несмотря на то, что опыт проводился с ассимилирующими растениями, но питательная смесь Нафтеля (помимо избытка азота вследствие частой смены растворов) содержала необычно большое количество сульфатов.

Кроме того, в ней магний преобладал над кальцием, а отношение $\text{Ca} : \text{N}$ не было повышено по сравнению с $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, что необходимо делать, когда вводится в значительных количествах NH_4^+ . Именно, в этой смеси содержалось на литр $\text{Ca} — 114 \text{ мг.}$, а $\text{Mg} — 172 \text{ мг.}$; $\text{SO}_4 — 808 \text{ мг.}$, а хлора только 103 мг.

Кроме своеобразного состава смеси, в опытах Нафтеля сказались еще влияние избыточного азотистого питания: он давал 80 мг азота на литр, сменяя раствор через каждые 48 часов (или через 72 часа), тогда как Гельригель давал то же количество азота на весь вегетационный период.

Когда эти опыты были повторены у нас В. С. Ивановой с повышенным количеством Ca в растворе, явление, описанное Нафтелем, исчезло, и во всех возрастах растения поглощали из раствора NH_4NO_3 больше основания, чем кислоты; то же имело место при изменении pH в смеси Нафтеля от 4.8 до 7.0 (см. таблицу и рис. 29 и 30).

Возраст растений (в днях)	Питательная смесь Нафтеля при pH = 4.8		Питательная смесь Нафтеля при pH = 4.8, но с удвоенным количеством Ca		Питательная смесь Нафтеля при pH = 7.0	
	поглощено N (в мг)		поглощено N (в мг)		поглощено N (в мг)	
	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3
30	9.3	15.6	12.9	9.8	13.8	7.1
60	8.7	11.9	37.5	19.4	20.6	17.9
80	12.2	13.4	29.6	23.6	24.0	15.1
100	6.9	6.0	19.8	11.3	10.8	6.8
Вес растений (в г)						
	33.7		67.1		58.6	

¹ См. также данные Демиденко, цитированные выше (стр. 101); полностью работа Демиденко напечатана в XVI томе «Вегетационных опытов».

² Naftel J. A. The Absorption of Ammonium and Nitrate Nitrogen by Various Plants at Different Stages of Growth. Journ. Amer. Soc. Agron. N. 2, 1931.

Вышеприведенные факты дают повод к частичному пересмотру вопроса о «физиологической амфотерности» NH_4NO_3 . Именно, пока не вводился в опыты новый фактор (изменения в соотношении сопутствующих ионов), то не удавалось наблюдать действительного перехода от отношения $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$ к отношению $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$, были только случаи, в которых выделение расте-

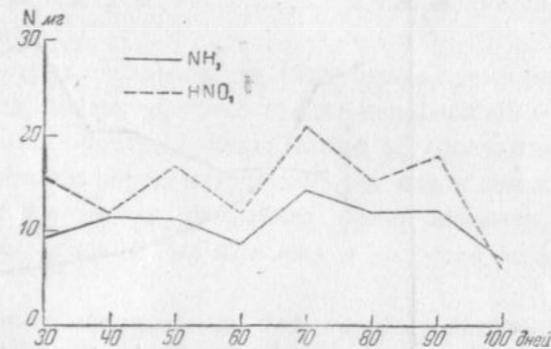


Рис. 29. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 . Состав питательной смеси по Naftel (опыт с хлопчатником)

ниями аммиака, получающегося при восстановлении нитратов, создавало видимость преобладания поглощения нитратов. Так постепенное снижение pH не приводило к преобладанию поглощения NO_3^- из раствора NH_4NO_3 до тех пор, пока не подавлялись процессы синтеза амидов и аммиак, являющийся продуктом восстановления NO_3^- , не начал выделяться наружу, что и давало повод говорить, что в этих условиях проявляется не физиологическая, а «патологическая щелочность» NH_4NO_3 . Это наблюдалось в ряде наших опытов (см. выше) с этиолированными растениями, также и в опытах Цун-Ли-Лу с двухнедельными проростками кукурузы, выращенными на свету. Приведем здесь только графическое изображение результатов одного из этих опытов (рис. 31).

Мы видим, что переход от $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} > 1$ к отношению $\frac{N_{\text{амм.}}}{N_{\text{нитр.}}} < 1$ имеет место при реакции $\text{pH} = 4.0$ и ниже, т. е. в условиях, заведомо неблагоприятных для развития растений и нормального синтеза амидов.

Сопоставляя с этим другую диаграмму, взятую из опытов Нафтеля, проведенных со своеобразной питательной смесью, в которой соотношение катионов и анионов было благоприятно для поглощения нитратов (рис. 32), мы видим, что перекрест кривых происходит в интервале pH между 5.0 и 6.0, т. е. при такой реакции, ко-

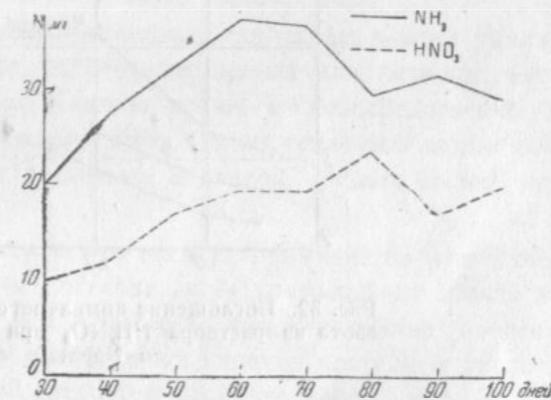


Рис. 30. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 . В питательной смеси увеличена концентрация кальция (опыт с хлопчатником)

торая не могла вызывать патологических изменений в обмене веществ. Таким образом можно сказать, что, наконец, найдены случаи, когда действительно можно говорить о физиологической амфотерности

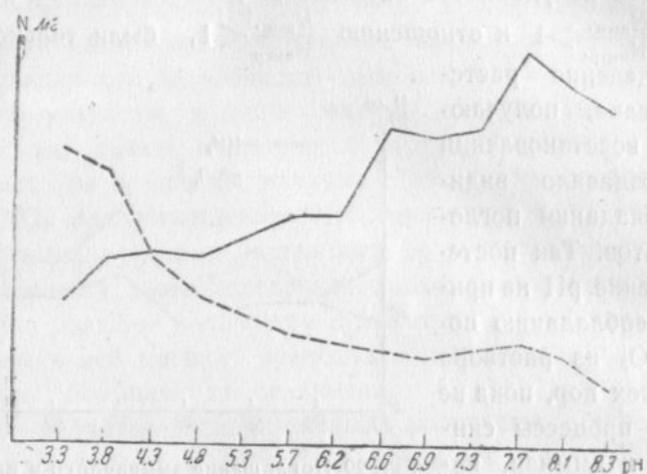


Рис. 31. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 при различных pH (по данным опытов Tsung - Lee - Loo) — NH_3 , — HNO_3

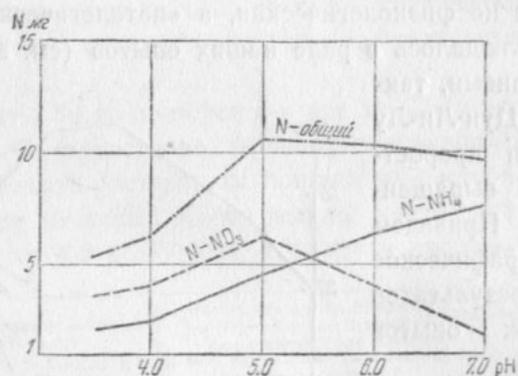


Рис. 32. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 при различных pH (по Naphtel)

NH_4NO_3 . Однако для ее проявления нужны особые условия, обычно же NH_4NO_3 ведет себя, как соль физиологически кислая.

Если теперь учесть всю совокупность работ физиологов и агрохимиков по вопросу об аммиачном и нитратном питании и сделать из них выводы, с которыми необходимо считаться агрономам при применении удобрений, то необходимо подчеркнуть следующие главные положения.

Окончательно установлена не только неверность прежнего представления о необходимости предварительного перехода аммиачного азота в нитратный, но также и неверность более позднего представления о медленном поступлении аммиачного азота в растения по сравнению с азотом нитратным; наоборот, при одновременном присутствии в растворе того и другого аммиак обычно быстрее поглощается и потребляется в процессах синтеза, чем нитраты.

Но как неправильно было прежнее мнение об абсолютном преимуществе нитратного питания перед аммиаком, точно так же неправильно было бы из вышесказанного делать обратный общий вывод об абсолютном преимуществе аммиачного питания перед нитратным, так как в зависимости от условий внутренних и внешних результат будет различен, и оптимальные комбинации этих условий для аммиака и нитратов не совпадают.

Если мы сумеем осуществить оптимальные для каждого источника азота условия, то мы придем к принципиальному признанию их равноценности с физиологической стороны; если же мы будем их сравнивать при каких-либо одних условиях, то перевес может быть то на стороне одного, то другого источника, смотря по этим условиям. Но из вывода физиологического мы не можем еще прямо делать вывода агрономического, так как создавать оптимальные условия для каждого источника мы можем легко только в лабораторном опыте, где в наших руках находятся все рычаги по изменению свойств среды.

При переходе же к полевой обстановке, где мы не можем удалять так, как в текучих растворах, остаточные анионы или катионы, необходимо учесть их влияние на реакцию почвы и непосредственно на само растение и, только присмотревшись к этим реальным взаимоотношениям между удобрениями, растением и почвой, сделать вывод, приложимый на практике.

Прежде всего нужно отметить, что если не применяется искусственное регулирование реакции, то растение легче противостоит сдвигу реакции в щелочную сторону, чем в кислую. Так, в случае внесения NaNO_3 или $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и более быстрого поглощения растением кислоты, чем основания, в окружающей среде тем не менее накапливаются не свободные щелочи, а бикарбонаты, благодаря выделению углекислоты при дыхании корневой системы. А так как углекислоты получается избыток, то значительной щелочности не наблюдается, реакция близка к нейтральной. Если же мы вносим NH_4Cl или $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, то остающейся кислоте растение ничего противопоставить не может, и конечный результат целиком зависит от свойств почвы, от богатства ее основаниями. Поэтому на почвах, бедных основаниями (песчаные, многие торфяные, а также сильно оподзоленные), такие аммиачные соли, как NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, действуют хуже, чем селитра, по крайней мере при повторном их применении. Выход конечно есть — это применение известкова-

ния, но пока у нас мало известкованных почв. Для широкого осуществления известкования необходимо правильно организованное агрохимическое обслуживание отдельных микрорайонов, чего мы пока не имеем.

Поэтому для северных почв более пригодны соединения аммония с азотной, фосфорной и угольной кислотами, чем с серной и соляной. Но и при этом остается вопрос о вытеснении кальция из поглощающего комплекса, в то время как $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и CaCN_2 способствуют пополнению поглощенного кальция в подзолистых почвах.

Кроме вопроса о регулировании реакции в связи с возможным недостатком кальция в почве, есть и еще отличие между физиологическим опытом и полевым в отношении регулирования концентрации: в вегетационном опыте нетрудно ввести аммиак в несколько приемов, особенно в текучих растворах легко избегается повышение концентрации аммиака в начальной стадии развития растений. В поле, наоборот, если не говорить об орошаемом хозяйстве или влажном климате, часто до посева дается все количество удобрения, потребное на вегетационный период.

При этом как раз в том периоде, когда молодые растения требуют мало азота, они получают аммиачную соль в наибольшей концентрации, а по мере возрастания потребности в азоте концентрация эта убывает.

Особенно у проростков, бедных запасом углеводов, как свекловичные, избыток аммиака в первое время опасен. Отсюда трудность проводить местное (рядовое) удобрение свеклы аммиачными солями, даже свободными от H_2SO_4 и HCl ; почему и предпочитают селитру, у которой предел переносимой концентрации лежит выше, чем у аммиачных удобрений.

Но при орошаемых культурах вполне возможно внесение аммиачных солей в рассрочку. То же возможно при окучиваемых культурах, но как раз картофель хорошо переносит аммиачное удобрение и при посадке, благодаря громадному запасу крахмала в крупном посевном материале.

Является менее изученным в полевой обстановке, но вполне мыслимым на почвах, очень бедных основаниями, недостаточное соблюдение еще и третьего условия для хорошего действия аммиачных солей — это неуравновешенность двухвалентными катионами (Ca и Mg) того избытка одновалентного катиона (NH_4), который мы создаем внесением аммиачных солей в такие почвы.

Когда же такие случаи обнаруживаются, то этот недостаток сравнительно легко устранить, если на таких почвах избегать внесения удобрительных смесей, не содержащих кальция. Такова, например, так называемая нитрофоска, т. е. смесь аммофоса, амселитры и калийной соли; являясь очень концентрированным «полным» удобрением (т. е. включающим НРК), она для названных почв слишком односторонняя по отсутствию двухвалентных катионов.

Таким образом, если физиолог будет прав, признавая принципиальную равноправность аммиачного и нитратного питания, то агроном будет тоже прав, если скажет, что ему гораздо легче работать с нитратами, особенно же с нитратом кальция, так как тогда исчез бы и тот минус, который приписывался чилийской селитре.¹

Но пока промышленность производит аммиак в гораздо большем количестве и значительно дешевле, чем нитраты, то агроному ничего не остается, как углублять свои познания по агрохимии и овладевать особенностями применения аммиачных удобрений, давая заказ промышленности на те их комбинации, которые наименее обременены нежелательными анионами, как $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ или $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaHPO}_4$.

¹ При внесении NaNO_3 вытесняется из поглощающего комплекса кальций и заменяется натрием, что при систематическом внесении в течение многих лет может ухудшать структуру почвы. На этом основано неверное утверждение, будто вообще «минеральные удобрения портят почвенную структуру», тогда как $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и CaCN_2 могут ее только улучшать. Но в ряде случаев наличие натрия в чилийской (или синтетической) селитре оказывается даже полезным, как, например, при удобрении сахарной и кормовой свеклы.

Часть III

АЗОТ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР

ПОДНЯТИЕ УРОЖАЕВ И РОЛЬ АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Вся история земледелия в Западной Европе свидетельствует о том, что главным условием, определяющим среднюю высоту урожая в разные эпохи, была степень обеспеченности сельскохозяйственных растений азотом. Был тысячелетний период господства трехполья — от времени Карла Великого до эпохи Лавуазье, когда не было никакого планомерного притока азота извне в хозяйство, взятое в целом, когда только перекачивался азот из почвы лугов в почву полей (через сено и навоз). Но так как луга распаивались по мере роста населения, то этот источник становился все более скудным, и XVIII столетие застаёт большую часть Европы в стадии стабилизации урожаев на уровне 7 ц/га. Затем, в конце XVIII столетия, в Англии, а еще раньше в Бельгии и Голландии появляется культура клевера, на смену трехполью приходит плодосмен, через клевер почва обогащается азотом воздуха как прямо, через корневые остатки, так и через навоз, получающийся от скормливания клеверного сена, — и постепенно урожаи удваиваются, достигая в названных странах двойного уровня (15—16 ц) против средневековья.

Этого относительного насыщения хозяйства азотом долго не замечали, как не замечают воздуха, которым дышат, пока Буссенго не поставил со всей четкостью вопрос о значении азота в жизни растений. Он, во-первых, показал (1837—1838), что благоприятное действие бобовых на последующие культуры связано с доступностью им какого-то обильного источника азота, недоступного хлебам, а во-вторых, установил, что наиболее активными удобрениями для последних являются азотистые (гуано, жидкие выделения скота). Хотя источник азота, которым пользуются бобовые, не был в то время с точностью установлен, но Буссенго уже в 1837 г. высказал довольно определенное предположение, что это — азот воздуха. После того как благодаря клеверу азотный минимум в почвах Европы был смягчен, стало выявляться положительное действие фосфора на урожай, но Либих выступил с проповедью минерального питания и выдвигал в особенности значение зольных элементов (фосфора и калия в особенности), не замечая значения клеверного

фона и думая, что азот сам по себе приходит из воздуха в виде NH_4HCO_3 . Только применение метода искусственных культур (60-е годы прошлого столетия) показало, что нужно синтезировать идеи Буссенго (N) и Либиха (PK). «NPK» стало девизом в применении удобрений, и по этому пути пошло отыскание сырья для нарождающейся туковой промышленности.

Поэтому новая эра в земледелии наступила не в 40-х годах, когда прозвучала проповедь Либиха, а 40—50 лет спустя, когда развитие физиологии растений и агрономической химии указало, какие именно вещества нужны растениям, а химическая промышленность стала давать минеральные удобрения в больших количествах и по дешевой цене. Тогда к азоту клевера присоединился азот селитры, но к нему уже нужно было добавлять «PK», в то время как в прошлом азот клевера мог еще повышать урожай в одиночку, по крайней мере на «клеверных» почвах. Постепенно возрастая, примерно с 1885 г., применение минеральных удобрений (на фоне плодосмена) стало массовым.

При этом новый фактор явился не на смену прежним, а в дополнение к ним, причем имело место не простое суммирование, а еще и одновременное усиление действия клевера и навоза. Минеральные удобрения действуют одновременно двумя путями: они непосредственно повышают эффективное плодородие почвы, а кроме того, увеличивают количество и повышают качество навоза. С ростом урожаев зерна повышаются и урожаи соломы, идущей в подстилку; с повышением урожаев сахарной свеклы возрастает количество ботвы и жома, идущих в корм; минеральные удобрения и известкование повышают урожаи клевера, а следовательно, и накопление азота, и делают «клевероспособными» почвы, на которых раньше не рос клевер, повышают урожаи сена на лугах и содержание азота в нем, — все это сказывается на количестве и качестве навоза. Таким образом количество и качество навоза растет не только под влиянием клевера, но и под влиянием минеральных удобрений.

Если в конце прошлого и начале настоящего столетия ведущая роль среди азотистых удобрений принадлежала селитре, то после войны 1914—1918 гг. эта роль перешла к синтетическому аммиаку; последовало еще большее удешевление азотистых удобрений (цена на сульфат аммония к 30-м годам опустилась до 50% от цены за пшеницу), и урожаи в передовых странах Европы достигли *тройной и четверной высоты* против средневековья (25—30 центнеров в Бельгии и Голландии).

В начале этого столетия наши урожаи в два — два с половиной раза были ниже уровня урожаев в ряде стран Западной Европы, а в Бельгии, Голландии, Дании средний урожай зерновых был почти в три раза выше, чем у нас. Тогда наклонны были относить эту разницу за счет более благоприятных естественных условий — климатических и почвенных. Однако это объяснение совершенно неправильно; наоборот, почвы на Западе по природе хуже наших, их плодородие есть явление вторич-

ное, оно создано применением труда и знаний, и если в климатических условиях Голландии и Англии неизвестны летние засухи Заволжья и сильные морозы зимой, зато там нет солнца не только Киева, но даже и летнего солнца Москвы. Во всяком случае, не климат, а почва на Западе *переделана руками человека*, и при том же климате 150—200 лет тому назад Запад имел такие же низкие урожаи, как дореволюционная

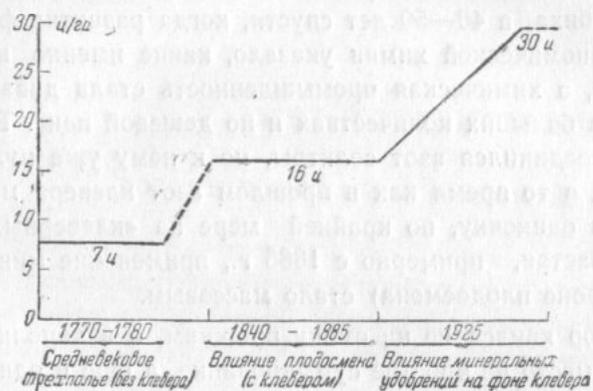


Рис. 33. Изменение уровня урожаев пшеницы в Западной Европе за 150 лет (схема)

Россия (около 7 ц). Два фактора играли роль в переделке почв Запады — это: 1) клеверосеяние и 2) минеральные удобрения (включая известкование), причем и тот и другой фактор влияли на плодородие почвы как прямо, так и через посредство навоза. Клевер как азотособи- ратель, с одной сторо- ны, обогащает почву

своими корневыми остатками, с другой — он же повышает количество корма, а значит, и навоза в хозяйстве. Одновременно благодаря кле- веру повышается и процентное содержание азота в кормах и навозе. Так как в Западной Европе введение плодосмена и введение мине- ральных удобрений были отделены значительным промежутком — около 100 лет для Англии, еще больше для Бельгии, — то имеется возможность оценить размер действия того и другого приема по изменению средней высоты урожаев за последние 150 лет.

Схематически движение урожаев в Западной Европе, происходив- шее под знаком азота (сначала целиком, а затем — по преимуществу), может быть изображено тремя ступенями лестницы (рис. 33).

Для подтверждения нашей схемы мы можем привести следующую фактическую справку о движении урожаев в Голландии, Бельгии и Германии.

Движение урожаев в Голландии, Бельгии и Германии (в ц)

Страны	I Период трехполья (средние века)	II Период плодосмена		III Влияние введения минеральных удобрений			
		1840—1870	1880	1891—1900	1909—1913	1928—1930	1936—1938
Голландия . .	7	15.5	17.7	19.4	22.5	29.8	31.8
Бельгия . . .	7	15.0	15.3	19.3	25.3	25.5	28.5
Германия . .	7	13.0	14.0	17.4	22.7	(19.9)	24.3

Примечание. Уровень урожаев в 7 ц относится в Германии к 1780—1790 гг., в Бельгии и Голландии поднятие урожаев под влиянием клевера началось раньше.

Отсюда видно, что уже один переход от зернового трехполья к пло- досмену с культурой клевера и корнеплодов на полях привел постепен- но — через ряд десятилетий — к удвоению урожаев против средневе- кового уровня в 6—7 ц, они поднялись до 13—17 ц. Но на этом уров- не они стабилизировались надолго, и только позднее, под влиянием вве- дения минеральных удобрений последовала новая волна еще более мощного и более быстрого поднятия урожаев — до тройной и четвер- ной высоты против исходного уровня (7 ц). Это движение началось в половине 80-х годов и затем шло crescendo с перерывом во время пер- вой мировой войны, особенно для Германии.¹

Вот этого-то и не предвидел Мальтус, полагавший, что рост земле- дельческой продукции будет отставать от роста населения. Необходимо добавить, что одним ростом урожаев хлебов еще не определяется об- щий рост продукции, вызванный переходом к плодосмену, а именно: введение на 25% площади пропашных культур действовало в том же направлении, так как картофель дает тройную продукцию сухого ве- щества на гектар по сравнению с хлебами, а корнеплоды на фоне вы- сокого плодородия могут дать и еще больше. Кроме того, упразднение пара, занимавшего при трехполье 33% пахотной площади, увеличило посевную площадь на 50%. Если учесть все это и перечислить урожай всех культур в зерновые эквиваленты,² то получим такое возрастание продукции на гектар посевной площади для условий Бельгии и Гол- ландии (в ц/га):

	Зерновые экви- валенты пище- вого значения	То же, вклю- чая корма
При трехполье	4.3	5.9
При плодосмене (до введения минеральных удобрений)	19.0	29.0
То же, после введения минеральных удоб- рений	38.0	52.0

Таким образом возрастание продукции шло с темпом, близким к отношению квадратов 1² : 2² : 3², т. е. в четыре и в девять раз, а не так, как думал Мальтус (в арифметической прогрессии). При исчислении скорости размножения населения Мальтус сделал обратную ошибку,³

¹ Мы видим, что Бельгия и Голландия шли «в ногу» по пути поднятия уро- жаев до 15 ц, а дальше наблюдается различие в пользу Голландии,— это потому, что Голландия как соучастница Англии во владении морями начала применять чи- лийскую селитру раньше, чем Бельгия, а кроме того, создавая сеть плотин и ка- налов, Голландия обеспечила дешевый водный транспорт фекальных масс из го- родов на поля. Германия же запоздала против западных соседей с введением тра- восеяния, поэтому она только к половине 80-х годов достигла тех урожаев, какие Бельгия имела уже в 40-х годах прошлого столетия.

² При этом условном пересчете 1 ц пшеницы и ржи принимается за единицу, урожай овса делится на 1.2, картофеля — на 4, корнеплодов — на 5, клеверного сена — на 2.5, овсяной соломы — на 4, ржаной — на 5.

³ В эпоху Мальтуса прирост населения в Англии был 13 на тысячу, т. е. близок к русскому приросту в период 1860—1914 гг., отвечающему удвоению на-

сильно преувеличив эту скорость. Но все это не требует подробной аргументации, так как оказалось, что кризисы в капиталистических странах происходят не от недостатка продуктов, а от перепроизводства.

Что быстрый подъем урожаев в конце XIX столетия был вызван главным образом именно минеральными удобрениями, следует из того обстоятельства, что в других отношениях никаких заметных изменений в это время не произошло;¹ хорошая обработка полей в Бельгии и Голландии вошла в обиход гораздо раньше; введение пропашных культур помогло очистить поля от сорных трав (несмотря на сокращение, а позднее и полное исчезновение паровой площади), а одновременно улучшились физические свойства почв под влиянием клевера и навоза. Немецкий агроном Шверц в своих письмах о бельгийском хозяйстве в самом начале XIX столетия описывает высокий уровень агротехники, там господствовавшей, и говорит, что на полях почва обрабатывалась так тщательно, как в Германии на огородах. Вообще в то время для Германии образцом служило хозяйство Англии и Бельгии.

В конце же XIX столетия ничего нового не случилось в Бельгии и Голландии ни в области обработки почвы, ни в области селекции, и севообороты новым изменениям не подвергались. Единственным, по существу, новым фактором воздействия на урожай явились в это время минеральные удобрения, но они, конечно, подняли значение и прежних факторов — клевера и навоза.

Именно к этому времени относились слова К. А. Тимирязева, что европейское земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений.

Механизация земледелия в Европе тогда не имела значения, кроме введения жатвенных машин, но жнейка не повышает урожая. Центром развития механизации были Соединенные Штаты, но там процесса поднятия урожаев, характерного для Европы, не происходило. Вообще механизация является прежде всего средством охвата больших пространств в странах дорогих рабочих рук, она непосредственно уменьшает количество труда на производство зерна, а химизация умень-

селения за 50 лет, тогда как Америка удваивала население за 25 лет (но тут участвовала и иммиграция); даже Франция имела прирост 9 на тысячу. Но через 100 лет после выступления Мальтуса Франция снизила прирост до 0,6, почти прекратив размножение (причем не беднота, а буржуазия была застрельщицей в переходе на «систему двух детей»), а земледельческая продукция во Франции может быть еще сильно поднята; Германия в период 1885—1914 гг. показала пример более быстрого поднятия продукции, чем численности населения. В Соединенных Штатах, не знавших куда девать избытки пшеницы и кукурузы, прирост населения постепенно падал, он вдвое ниже, чем в Польше, Югославии и Болгарии, и по подсчетам статистиков к 1970 г. число рождений и смертей должно сравняться, т. е. США окажутся по приросту населения в положении Франции, несмотря на то, что средств продовольствия в США гораздо больше, чем где-либо.

¹ В тот период, когда Европа пошла по пути химизации, Америка пошла по пути механизации, но ее урожай не сдвинулся с прежнего уровня.

шает эти затраты тем, что повышается урожай при почти той же затрате труда на гектар. Эти соотношения между значением химизации и механизации могут быть иллюстрированы следующей таблицей:

	Урожай (ц/га)	Показатель химизации ¹	Показатель механизации ²	Густота населения
Голландия	30	109	} < 1	217
Бельгия	27.5	89		257
Япония	27	75		157
Германия	22	67		138
Франция	15	22		75
США	9	12	10	13
Узбекистан	17	106	8	—

Если мы обратимся к нашим условиям, то окажется, что проблема азота также играла большую роль в развитии нашего земледелия, и практика бессознательно нащупывала наиболее дешевые пути ее разрешения, но только первоначально у нас главную роль играл не азот клевера, а азот чернозема.

Как только южные степи становились безопасными от нашествия кочевников, туда направлялась стихийная крестьянская колонизация, привлекаемая возможностью не тратить сил на корчевку и, не прибегая к навозному удобрению, получать хорошие урожаи хлебов за счет богатства азотом чернозема,—урожай, правда, в среднем вовсе не столь высокие и весьма неустойчивые,³ но дававшие дешевый хлеб. При этом не только все более возрастала площадь пашни на Юге, но и сокращалась запашка на Севере по мере того, как развивалась железнодорожная связь с Югом.

Если не касаться сокращения пашни на Севере, происшедшего на владельческих землях с отменой крепостного права, а иметь в виду последующий период, когда в нечерноземной полосе преобладала крестьянская запашка, то все же можно заметить систематическое ее сокращение. Например, в Московской губернии посевы ржи в 1864 г. занимали около 400 тыс. га, в 1900 г.—около 220 тыс., а в 1916 г.—лишь 150 тыс. га (общая же площадь пашни с 1200 тыс. га опустилась до 460 тыс. га). Между тем черноземная полоса распаивалась все больше и больше, Поволжье давало богатое белками зерно твердых пшениц, и в течение столетий господствовало безнавозное хозяйство. Еще в 1830 г. применение навоза под Харьковом считалось вредным, а когда потребовался навоз, то первоначально он действовал своим фос-

¹ $N + P_2O_5 + K_2O$ в кг на 1 га.

² Число тракторов на 1000 га посева.

³ Частая смена высокоурожайных и малоурожайных засушливых лет приводила к тому, что наиболее высокие средние урожаи были в Прибалтике и на Севере (Шенкурский уезд), а губернии Оренбургская, Самарская, Таврическая и область Войска Донского характеризовались более низкими средними величинами. Тем не менее, благодаря большим посевным площадям и редкому населению Юг был поставщиком хлеба для Севера.

фором, а не азотом. Так, Харьковская станция в начале XX столетия наблюдала одинаковые 50-пудовые приросты урожая озимой ржи как от суперфосфата, так и от навоза, и нулевой прирост от селитры. Правда, это относилось только к хлебам, и притом озимым, идущим после богатого нитратами черного пара, а сахарная свекла уже предъявила спрос на азот. Потребность ее в азоте раньше удовлетворялась тем, что и свеклу помещали после черного пара (небывалое явление в нечерноземной Западной Европе), но потом стали ей давать и селитру (еще в конце XIX столетия), а в XX столетии и хлеба стали реагировать на азот. Так, клевер оказался, как и в Западной Европе, прекрасным предшественником для хлебов (опыты Носовской и Сумской станций). Затем прямые опыты сети НИУИФ,¹ руководимой Лебедевским, показали, что яровые хлеба на черноземе сильно реагируют на азотистые удобрения. Так стал подходить к концу период «азотного эльдорадо», и на черноземе, по крайней мере в западной его части, стали необходимыми те же самые мероприятия для разрешения азотной проблемы, как и в северной нечерноземной полосе (клевер и навоз для хлебов, а для технических культур — еще и значительное количество азотистых удобрений).

Удивительным образом роль азота в земледелии нечерноземной полосы не была сразу оценена в полной мере; причиной этого было то обстоятельство, что при постановке опытов исходили из экономики существующего производства, вместо того чтобы думать о роли государства в организации производства будущего. Так, когда под влиянием проповеди Тимирязева и Чупрова агрономы московского земства решили (с 1908 г.) начать опыты с минеральными удобрениями на крестьянских землях, то в этих опытах никак не решались применять селитру или брали ее в ничтожных количествах, в роли какого-то стимулятора, мотивируя это тем, что привозная (из Чили) селитра слишком дорога, и крестьянин покупать ее не будет, т. е. смешивали исследовательские цели с пропагандой применения селитры. Из-за этого минеральные удобрения не дали ожидаемого эффекта, что ошибочно объяснялось плохими физическими свойствами наших почв, и делалась ссылка на Англию, где между введением травосеяния и минеральных удобрений прошло целое столетие, а потому, дескать, и у нас вводить последние преждевременно. Такая же ошибка повторилась и позднее, а именно в 20-х годах. Тогдашнее руководство Наркомзема не отпускало средств опытным станциям на постановку опытов с минеральными удобрениями, «так как крестьянин их не спрашивает».

Но и в тех отдельных случаях, когда опытные станции все же ставили опыты по восьмерной схеме, они следовали примеру первых опытов Московского земства (1908—1912 гг.) и вносили только 15 кг азо-

¹ Научный институт по удобрениям и инсектофунгицидам Наркомхимпрома СССР.

та,¹ при дозах фосфора и калия в 40—50 кг. В этом я мог убедиться при объезде опытных станций Приуралья и Поволжья осенью 1926 г., и конечно, по сравнению с навозом, в котором вносилось 150—200 кг азота, действие минеральных удобрений было слабым.² Это дало мне повод написать весной 1927 г. статью «Хроническая погрешность в оценке действий минеральных удобрений», и этот год явился поворотным пунктом в постановке опытов с удобрениями, именно тогда была организована Агрохимическим отделом НИУИФ, которым я заведывал, так называемая «географическая сеть опытов». Данные этой сети сразу же обнаружили, что в районе подзолистых почв и на сероземах Средней Азии, если брать те дозы азота, какие применяются на Западе, эффект получается такой же, как там (опыты с хлопчатником, льном, картофелем). Мало того, дальше обнаружилось, что и на черноземе технические культуры реагируют на азот (как сахарная свекла и конопля), но ясно реагируют на азот и зерновые хлеба, если они не идут после чистых паров. Все это позволило строить план химической промышленности в крупных масштабах и начать его осуществление в первом пятилетии, а во втором пятилетии к данным НИУИФ присоединились данные ВИАА,³ показавшие, что не только на опытных полях, на которых ставились опыты НИУИФ, но и при той агротехнике, которая была достижима уже в 1932—1934 гг. на полях колхозов и совхозов, применение минеральных удобрений дает хорошие результаты. А затем проявившееся с такой силой стахановское движение настолько четко выявило значение удобрений, что теперь вряд ли кто-либо станет утверждать, что мы должны пройти сначала через какие-то другие стадии прежде чем дойти до применения минеральных удобрений. Характерно, что получение рекордных урожаев стахановцами совпало с периодом, когда производство минеральных удобрений у нас приняло крупные размеры.

Исторический опыт развития земледелия в Западной Европе, понятно, должен быть нами учтен, но это вовсе не означает, что нам необходимо, как это думали некоторые, пройти последовательно все те стадии, которые имели там место.⁴ Наша задача состоит в том, чтобы

¹ Как раз эти дозы оказались на бедных почвах самыми невыгодными (см. ниже).

² Между прочим, на Казанской опытной станции мне в такой форме сообщили краткие итоги опытов: «У нас ни по Прянишникову, ни по Дояренко ничего не выходит», т. е. ни минеральные удобрения, ни паровая обработка не помогают, «один навоз действует». Познакомившись с дозами удобрений, я посоветовал повысить количество азота. Через два года, в 1928 г., в Казани происходил очередной Менделеевский съезд, и в докладах по агрохимической секции фигурировали новые данные Казанской станции, в которых действие минеральных удобрений уже не отличалось по размерам от действия навоза.

³ Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрений, агротехники и агропочвоведения Наркомзема СССР.

⁴ Именно утверждалось, что сначала мы должны ввести травосеяние, пройти через стадию чисто навозного хозяйства, чтобы улучшить физические свойства

в короткий срок догнать и перегнать передовые в экономическом отношении капиталистические страны, и мы можем и должны это сделать, используя одновременно все возможности, которые имеются в распоряжении планомерно развивающегося социалистического сельского хозяйства, а не копируя рабски какие-то готовые образцы.

СТРУКТУРА АЗОТНОГО БАЛАНСА В РАЗНЫХ СТРАНАХ. АЗОТ «ТЕХНИЧЕСКИЙ» И «БИОЛОГИЧЕСКИЙ»

Быстрое развитие азотной промышленности после первой мировой войны часто вызывало в неагрономических кругах представление, будто этот фактор оттеснил все другие и преимущественно на нем базируются высокие урожаи в странах с сильно развитой азотной промышленностью. На деле же новые источники (синтетический аммиак, «воздушная» селитра и проч.) нигде не заменяли собой азота клевера и азота навоза, везде они дополняли ранее известные приемы, увеличивая общую сумму азота, вводимого в круговорот хозяйства, и поднимая на еще большую высоту те урожаи, которые в Западной Европе были уже довольно высокими благодаря клеверосеянию при одновременном применении фосфатов и калийных солей.

Во всех странах Запада и теперь продолжают идти комплексным путем и используют два пути связывания азота воздуха, а именно: *путь технический*, осуществимый с помощью дорогой аппаратуры только в определенных пунктах, где сосредоточены источники энергии (за лежи угля, водопады), и *путь биологический*, возможный везде, потому что при нем используется солнечная энергия и не нужна никакой аппаратуры, ее заменяют клевер, люцерна и другие азотособиратели, фиксирующие азот воздуха за счет того же источника энергии, с помощью которого они фиксируют и углерод.

Оба пути разрешения азотного вопроса имеют свои положительные стороны и свои трудности, *они взаимно друг друга дополняют, но друг друга совсем заменить не могут*. Для азота технического характерны: 1) большая быстрота действия в связи с растворимостью и высокой усвояемостью продуктов заводского синтеза (отсюда — возможность высокого темпа в поднятии урожаев); 2) большая транспортабельность, связанная с высоким содержанием азота (например, в синтетической мочеvine в 100 раз больше азота, чем в навозе) и возможность переброски по желанию в любой район; 3) возможность гораздо большего насыщения севооборота техническими культурами, чем при отсутствии

почвы, и только после этого думать о применении минеральных удобрений («ведь в Англии минеральные удобрения стали применяться через 100 лет после введения травосеяния»). При этом часто неверно излагалась история земледелия в Западной Европе, и замалчивался тот факт, что не травопольные, а чисто плодосменные севообороты с одним годом пользования клевером, без тимофеевки, привели на Западе сначала к удвоению урожаев, а затем и к дальнейшему их росту после введения минеральных удобрений.

технического азота (так, мы не могли бы надолго занять такой большой процент площади хлопчатником в Средней Азии, если бы хлопководные районы не снабжались широко азотистыми удобрениями); 4) одновременно крупная азотная промышленность развивается и по иным причинам, кроме сельскохозяйственных, — прежде всего она связана с военной промышленностью.

Но азот технический всегда дороже азота клевера и азота навоза, поэтому даже в странах с высоко развитой промышленностью не ему принадлежит главная роль в снабжении сельскохозяйственных растений азотом, а азоту биологическому, включая сюда и азот навоза, так как в навоз переходит азот клеверного сена. В сущности, биологический путь фиксации азота воздуха является даровым, если все расходы по культуре клевера или люцерны оплачиваются животноводством. Однако при бесспорном преимуществе дешевизны азот биологический имеет свои недостатки по сравнению с азотом техническим — отсутствие транспортабельности и большая медленность действия, и, конечно, он не может быть прямо использован для целей обороны. Однако отметим, что чем больше посевов клевера в стране, чем она богаче скотом и навозом, тем меньше страдают урожаи хлебов при затянувшейся войне от отсутствия азота технического.

Количественное соотношение между обоими источниками азота, конечно, в разных странах различно, и в принципе, если бы не было причин военно-политического порядка, оно должно бы зависеть, в первую очередь, от густоты населения, а именно: чем последнее больше, тем больший процент площади приходится занимать пищевыми культурами и тем меньший — кормовыми (а среди последних главная роль принадлежит как раз азотособирателям). В этом отношении наибольшей возможностью расширять площадь под азотособирателями обладаем мы (за счет расширения пашни), но и в пределах Западной Европы можно наблюдать значительное различие в рядом лежащих странах. Сравним, например, промышленную Германию с сельскохозяйственной Данией, причем не только промышленность, но и сельское хозяйство Германии стояли (до Гитлера) на значительной высоте, гораздо выше, чем во Франции, — в Дании же нет сырья для развития своей промышленности, в ее экспорте первое место занимают продукты животноводства, и Дания считается по преимуществу страной сельскохозяйственной, хотя на деле крестьянство составляет только одну треть всего населения страны. Главное же различие, интересное для нас в данном случае, состоит в том, что Германия имела 133 человека на 1 кв. км, а Дания — 80, и еще сильнее выявится это различие, если мы учтем, что доля посевной площади на одного жителя в Дании достигала одного гектара, а в Германии она составляла лишь около *одной трети гектара* (см. ниже). Сообразно этому мы находим в Дании гораздо большую долю посевов под клеверными смесями, чем в Германии, отсюда — больше навоза на гектар пашни, да еще навоза, более богатого

азотом, чем обычно, вследствие обильного применения концентрированных кормов импортного происхождения. Германия же, имея высоко развитую химическую промышленность, применяла в более широком масштабе, чем Дания, в качестве источников азота синтетические продукты (аммиачные соли, цианамид, нитрат кальция). Однако при всей абсолютной высоте продукции азотных заводов все же относительно этот источник азота не занимал доминирующего положения, и в Германии главную роль играло органическое вещество навоза и клевера, как это видно из следующего сопоставления.¹

Баланс азота	В тыс. тонн		В процентах	
	Германия	Дания	Германия	Дания
Вынос азота с урожаями . . .	1775	270	100	100
Статьи прихода:				
Азот «технический»	400	27.0	22.5	10.0
Азот навоза, включающий часть азота клевера	750	150.0	42.2	55.5
Азот в корневых остатках бобовых	256	69.1	14.5	25.6
Дефицит	369	24.0	20.8	8.9

Следовательно, даже в такой промышленной стране, как Германия, азотная промышленность не покрывала и 1/4 доли всей потребности в азоте, в более же многоземельной Дании, богатой клеверами, — а потому и навозом, — на технический азот приходилось только 10% от суммы азота, уносимого урожаями. Обратное соотношение, конечно, имеет место для азота клеверищ, который в Дании играет гораздо большую роль, но доминирует над всем и в той, и другой стране азот навоза; им покрывается больше половины всего выноса азота в Дании и 42% этого выноса в Германии. Эти подсчеты носят, конечно, очень приблизительный характер,² особенно это относится к цифрам дефицита, так как они определены по разности, и всякая неточность по предыдущим статьям отражается здесь. Так, для Дании дефицит в 8.9% лежит, в сущности, в пределах погрешности. Стоит только отразить

¹ Для Германии мы использовали в основе прежний подсчет Löhnis, но с некоторыми поправками, в целях приближения его к послеверсальской действительности, а именно: количество навоза подсчитано по состоянию животноводства в предкризисный период (Statistisches Jahrbuch f. d. Deutsches Reich), также и для количества азотистых удобрений взяты цифры более свежие, чем у Löhnis; для выноса азота урожаями, а также для азота в корневых остатках клевера, взяты цифры Löhnis без изменений.

Для Дании подсчет сделан нами на основании данных сборника «L'agriculture en Danemark» (1930). Для навоза взято среднее содержание азота ввиду трудности сделать поправку на повышенное влияние обильного применения концентрированных кормов в Дании. Азот, приносимый с осадками, нигде не принят во внимание в предположении, что вымывание нитратов из почвы компенсирует этот источник прихода.

² Но при всей их условности они все же отражают главные черты различия в структуре баланса разных стран.

в цифрах тот факт, что в Дании навоз имеет больше азота, чем считается обычным для некоторого обезличенного среднего, например, взять 0.57% вместо везде принятого 0.5% (что для Дании по ряду соображений весьма вероятно), и тогда дефицит сведется к нулю.

Имеющиеся в литературе подсчеты баланса азота в земледелии Соединенных Штатов Америки также указывают на огромную роль в общем балансе азота биологического. Такой подсчет сделан д-ром Липманом, и в этом подсчете имеется попытка большей детализации; в статье расхода, помимо выноса урожаями, включены потери азота из почвы путем вымывания и эрозии, а в приходной части учитываются такие источники, как азот атмосферных осадков и оросительных вод (см. таблицу).

Баланс азота в земледелии США (по Липману)
(в тыс. т азота)

Расход	Приход
Вынос азота урожаями (с площади 146 млн. га)	Вносится с навозом 2600
4600	» с минеральными удоб- рениями 300
Вымывание осадками 4000	Приносится с осадками 2750
Эрозия (с той же площади) 2500	Приносится с оросительными во- дами 30
Вынос азота с лугов и пастбищ (400 млн. га) 3000	Накопление азота бобовыми 900
Вымывание с этой площади 1000	Фиксация азота другими путями . 6800
Эрозия 1000	
Итого . . . 16 100	Итого . . . 13 380

Дефицит, который должен быть отнесен за счет использования азота из основного капитала почвы, составляет 2720 тыс. т азота, или 16.9%. Но так как в статье д-ра Липмана (The Stuff of Life, отиск из Industrial and Engineering Chemistry, vol. 27, p. 103, 1935) не указано, как высчитаны отдельные слагаемые, то мы не можем считать эти цифры непосредственно сравнимыми с приведенными выше для Германии и Дании. Особенно обращают на себя внимание две цифры — это высокая оценка участия азота навоза в общем балансе (она составляет 56.5% от выноса азота урожаями полевых культур) и еще более высокая доля участия фиксации азота другими путями (кроме бобовых). Но если эта цифра вообще трудно определима, то накопление азота бобовыми гораздо легче поддается учету, и интересно, что по этой статье мы находим цифру в 900 тыс. т, или почти 20% от выноса азота урожаями.

Если допустить условно возможность сравнения отдельных статей прихода и расхода этого подсчета для США с вышеприведенным подсчетом для Дании и Германии и взять только соответствующие рубрики, то получим такой вид упрощенного баланса для США:

Вынос азота	4600 тыс т, или 100%
Вносится с навозом	2600 » » 56.5%
» с минеральн. удобрениями	300 » » 6.5%
Фиксация бобовыми	900 » » 19.6%
Дефицит	800 » » 17.4%

Как видно, доля технического азота в общем балансе для США получается несколько ниже, чем для Дании и Германии, составляя всего около 6.5% от выноса азота урожаями. В сумме же возвращение азота в почву с удобрениями превышает 80% от выноса растениями.

Совершенно иную картину дают произведенные нами подсчеты баланса азота в земледелии СССР. Мы остановимся пока на общей характеристике этого баланса в том виде, в каком он фактически складывался в предвоенные годы.

Общий вынос азота урожаями, по подсчетам ВИУАА, на 1937 г., выражался у нас приблизительно величиной в 4.9 млн. т (при урожае хлебов около 10 ц/га, свеклы — 200 ц/га, картофеля — 115 ц/га и т. д.).

Возвращение азота в почву производилось и у нас не только и не столько с минеральными удобрениями, сколько с навозом, с органической массой азотособирателей, с отбросами (фекалии), торфом.

Сколько из этого выноса в 4.9 млн. т азота возвращалось с навозом?

Принимая, что в 1937 г. было вывезено около 200 млн. т навоза, получим 1 млн. т азота. Для корневых остатков клевера и люцерны можем принять, что они оставляли в почве около 200 тыс. т азота (азот надземных частей здесь отдельному учету не подлежит, он вошел уже в состав навоза).

Промышленность в 1937 г. давала тоже около 200 тыс. т азота. За счет использования отбросов (торфо-фекальные массы) можно допустить возвращение еще около 100 тыс. т азота. Итак, всего возвращалось около 1.5 млн. т, что составляет 30.65% от всего выноса (4.9 млн. т), а дефицит равняется 3.4 млн. т, или 69.35%.

Этот дефицит у нас покрывался главным образом за счет запасов азота в почве (нитраты паровых полей, зяблевой вспашки и проч.).

Сравним теперь наш азотный баланс с тем, что имело место в западноевропейских странах, прошедших путь поднятия урожаев от средневекового уровня (7 ц/га) до современного (22—28 ц/га), и в США (см. табл.).

Из этого сопоставления видно, что характерная черта нашего азотного баланса состоит в наличии гораздо большего дефицита, достигаю-

Азотный баланс в разных странах

Баланс азота	СССР (1937)		Германия	Дания	США
	в млн. т	в %			
Вынос азота урожаями	4.9	100	100	100	100
Возвращение					
Навоз (и отбросы)	1.1	22.45	42.2	55.5	56.5
Промышленность	0.2	4.1	22.5	10.0	6.5
Клеверица	0.2	4.1	14.5	25.6	19.6
Всего возвращалось	1.5	30.65	79.2	91.1	82.6
Дефицит	3.4	69.35	20.8	8.9	17.4

щего почти 70%, тогда как страны Запада имели дефицит азота гораздо меньший, лежащий в пределах от 9 до 21%.

Чем же покрывался этот относительный дефицит по азоту на Западе, где паровые поля исчезли и ставка на истощение почвы стала несовместимой с задачей устойчивого поднятия урожаев? Немецкий микробиолог Ленне был склонен приписывать здесь главную роль деятельности свободно живущих (не клубеньковых) бактерий, из которых наиболее распространен в культурных почвах *Azotobacter*, но размер фиксации азота этим путем учесть не легко. Частью в эту же рубрику попадают некоторые не вполне учтенные источники азота, как азот отбросов — компосты и проч., или часть азота, приносимого атмосферными осадками (если предположить, что вымывание нитратов теми же осадками не вполне парализует эту статью прихода, когда почва занята растениями, корни которых энергично поглощают нитраты).

Во всяком случае, факт, что при таком размере дефицита, который имеет место в Германии и Дании, он покрывался не за счет истощения почвы, так как там урожаи не только не обнаруживали падения, но, наоборот, были в это время гораздо выше, чем 40—50 лет тому назад.

Значит, дефицит азота в размере 20—21% (или в абсолютных цифрах для Германии — 13—14 кг/га), при данном способе подсчета, ничего опасного не представляет; это обстоятельство мы учтем дальше, при построении нашего азотного баланса на будущее.

Далее, как уже было отмечено, даже в странах с сильно развитой промышленностью, как Германия, азотная промышленность вовсе не играла роль главного поставщика азота. Главная роль принадлежала азоту «биологическому», т. е. азоту навоза, включающему азот надземных частей клевера, и азоту корневых остатков клевера. В Дании эти два источника, взятые в сумме, покрывали 81% от выноса азота урожаями, а в Германии — 56.7%. Мы же, обладая наибольшим земельным простором, совершенно недостаточно пока использовали широкую возможность расширения посевов клевера и люцерны, как это видно из следующего сопоставления:

Страны	% посевной площади под азотособирателями	Всей земли на 1 жителя (в га)	Посевная площадь	
			на 1 душу всего населения (в га)	на 1 душу сельского населения (в га)
Германия	10	0.74	0.30	1.3
Франция	20	1.35	0.53	1.8
Дания	32	1.25	0.90	3.0
СССР	4	14.0 ¹	0.80	1.2

¹ Если отнести 50% площади на неудобные земли (пустыни, тундры, горные цепи, ледники), то все-таки удобной площади приходится по 7.1 га на жителя.

В то время как даже промышленная Германия, страдавшая от недостатка площади для снабжения себя необходимым сельскохозяйственным сырьем, все-таки отводила 10% площади под азотособиратели, у нас на них приходится лишь 4% от всей посевной площади.¹

Промышленность, как уже было сказано, покрывала в Дании 10%, в Германии — 22.5% от всего выноса азота. И это понятно, если принять во внимание, что промышленность Германии, так же как в США и у нас, имела дело с производством 200—400 тыс. т азота, а вынос азота с урожаями измеряется миллионами тонн.

Но возвратимся к азотному балансу СССР. Как мы видели, главной статьей в нем являлось использование азота черноземных почв, которые на Юго-востоке пока еще допускают хозяйство с отрицательным азотным балансом, но в районах старой культуры (северная часть Украины, Курская, Воронежская области) и чернозем уже требует возвращения взятых питательных веществ. Это показывает, что нельзя утешаться предположениями относительно того, что большая часть огромного дефицита в 69% покрывается работой *Azotobacter*, и такая структура земледелия, при которой только 31% азота возвращаются почве, не может гарантировать поднятия урожаев.

Если бы даже сделать невероятное предположение, что наши урожаи были основаны не на постепенном истощении чернозема, а целиком на работе азотобактера, то это была бы только некоторая равновесная система, а не путь к повышению урожаев. Если же мы хотим вместо 5 млрд. пудов зерна иметь 7—8 и соответственно повысить урожаи технических культур, то это связано с увеличением выноса азота на 50—60%, а чтобы повысить вынос азота на 2.5 млн. т, нужно дать в удобрениях (и в клевере) значительно больше.

Правда, на первое время некоторое поднятие урожая озимых возможно в черноземной полосе за счет лучшего использования азота ранних паров путем внесения фосфатов, но длительно нельзя систематически брать взаймы у почвы азот, ничего не отдавая ей; а кроме того, этим не решается вопрос для яровых культур, особенно технических. Поэтому необходимо увеличить приход азота как по линии азотной промышленности, так и сильно расширяя культуру азотособирателей.

Резко выраженный дефицитный характер нашего баланса между выносом питательных веществ с урожаями и возвращением их с удобрениями, когда большая часть выноса возмещается не за счет удобрения, а за счет уменьшения запаса питательных веществ в почве, — несовместим с задачей регулярного поднятия наших урожаев.

У нас еще недостаточно учитывается, насколько наше земледелие отстало от промышленности в темпах своей реорганизации, оно лишь

¹ Заметим, что эта цифра не стабильна, в отдельные годы процент площади под клевером опускался еще ниже, а с введением правильных севооборотов он должен сильно возрасти.

по-иному ведет внешние механические процессы, но внутренний процесс круговорота веществ в земледелии сохранил еще старые, дореволюционные черты: попрежнему большая часть потребляемых растениями и уносимых с урожаем питательных веществ не возвращается с удобрениями, и урожай получается в главной своей части за счет почвы, тогда как страны Запада, чтобы устойчиво поднять свои урожаи втрое и вчетверо против средневековых, давно должны были перестроить свой азотный баланс и возмещать вынос азота с урожаями на 80% (а фосфора на 100% и более).

Во всяком случае, из рассмотрения структуры азотного баланса ясно видно, что для систематического повышения урожая, обеспечения его устойчивости и поднятия плодородия наших почв надо добиваться резкого изменения этого баланса в направлении увеличения приходной части, что необходимо как для снижения современной дефицитности баланса азота, так и для покрытия более высокого выноса азота будущими урожаями.

ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ БАЛАНСА АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР

Переходя от анализа фактического состояния баланса азота к вопросу о перспективах его улучшения в дальнейшем, нам надо прежде всего сделать попытку хотя бы приблизительного определения тех размеров выноса азота урожаями, которые разрешают задачу догнать и перегнать в экономическом отношении передовые капиталистические страны.

Для этого надо уточнить, что мы будем понимать под задачей догнать и перегнать Запад в области земледелия. Можно ли ставить вопрос так, что мы должны поставить заданием получение среднего урожая с гектара, равного или превышающего средний урожай в странах Западной Европы?

На этот вопрос надо ответить отрицательно, эту задачу нельзя решать путем механического сопоставления урожаев и, например, ставить задачей — догнать Голландию и Данию по высоте урожаев (30 ц/га) в среднем для всей страны.

Нам нужен свой подход к определению высоты урожаев, в связи с установлением размера посевной площади.

Конечно, не только урожай с гектара, но также и посевная площадь является фактором, от которого зависит размер снабжения страны сельскохозяйственными продуктами. Достаточно следующего сопоставления, чтобы показать, что урожай с гектара может еще мало говорить о размерах этого снабжения (см. табл. на стр. 150).

В общем можно сказать, что наиболее высокие урожаи с гектара свойственны густонаселенным малоземельным странам, ввозящим хлеб, а страны, располагающие избытками хлеба и вывозящие, имеют го-

Страны с недостатком хлеба	Урожай пшеницы (в ц/га)	Страны с избытком хлеба	Урожай зерновых (в ц/га)
Голландия	29.1	Аргентина	8.7
Англия	22.5	Канада	11.8
Германия	21.1	США	10.9

(Средние урожаи за 1930—1934 гг.)

раздо меньше урожай на гектар, но располагают земельным простором и значительными размерами посевной площади на душу населения.

Для нас широко открыты оба пути повышения валовой продукции, и, в отличие от Западной Европы, мы можем свободно маневрировать и тем, и другим фактором поднятия нашей продукции, так как наша посевная площадь составляет только 7—8% от общей площади СССР, или около 15% от пригодной для земледелия площади, если исключить из подсчета те 50%, которые заняты тундрами, пустынями, скалами и глетчерами.

Подсчет валовой продукции, являющейся производением высоты урожая на размер посевной площади, всегда должен заканчиваться определением отношения этой продукции к числу душ населения. Это часто забывали делать, особенно в прежнее, дореволюционное время, увлекаясь громадной цифрой валового сбора («Европу шапками закидаем») вместо того, чтобы рассчитать, что получается в итоге по расчету на душу населения. А между тем, этот расчет показывает, что в так называемые благоприятные годы, когда Россия вывозила хлеб за границу, она производила его на деле не больше, чем многие из стран Запада, ввозивших наш хлеб, что показывает следующее сопоставление для периода 1908—1913 гг.:

Продукция зерна (всех видов) на душу населения (в ц)	
Россия	4.0 экспортер
Франция	4.3
Германия	4.6
Швеция	5.0
Дания	7.0
США	10.3
Аргентина	10.0
Канада	19.0

импортеры (Франция, Германия, Швеция, Дания)
экспортеры (Россия, США, Аргентина, Канада)

Известно, что возможность экспорта из России зависела только от того, что русское крестьянство поневоле вегетарьянствовало и воздерживалось от откорма свиней, в то время как Германия и Дания на нашем хлебе широко практиковали этот откорм.

Какой же размер продукции на душу населения желателен для нас? Остановимся на зерновой продукции.

Мы будем исходить из предположения, что в основу должно быть

положено широкое удовлетворение потребности возрастающего населения Союза в продовольственном и кормовом зерне, с необходимым учетом отклонений урожаев от среднего в зависимости от непостоянства климатических факторов, но что развитие хлебного экспорта не является нашей прямой задачей.¹ Поэтому поставим задание — иметь в среднем по 8 ц зерна всякого рода на душу населения, тогда в нормальные годы будем иметь 4 ц зерна для откорма животных, кроме твердо гарантированного минимума 4 ц продовольственного зерна по расчету на каждого жителя. Конечно, границы между пищевым и кормовым зерном не строги: зерно пищевого значения, как, например, рожь, при ее избытке становится кормовым, а кормовое зерно при неурожае становится пищевым (ячмень, кукуруза, овес), — все дело в количестве. Но цифра 8 ц вдвое превышает дореволюционный уровень нашей продукции на душу населения, причем она находится между цифрой продукции Дании (самой высокой в Европе) — 7 ц зерна на душу и продукции США. Хотя Дания числится в списке импортеров, но по существу она является экспортером; раньше она попросту вывозила хлеб, а затем нашла, что таким дешевым товаром торговать не стоит, и стала превращать хлеб в бэкон, масло и яйца, а затем еще и прикупать чужой хлеб для этой же цели. Поэтому датский масштаб урожайности на душу населения является хорошим, но в Дании очень устойчивый климат, а нам нужна еще страховка на случай неурожаев от колебаний климата. С другой стороны, США, с их продукцией 9—10 ц на душу, могли широко заниматься и откормом животных, и экспортировать хлеб в Европу. Предположенный нами средний уровень в 8 ц на душу² включает страхование на годы исключительной засухи, когда откорм свиней должен сокращаться, а в годы средние — и тем более благоприятные — позволит или увеличивать экспорт хлеба,³ если это будет нужно, или обрабатывать эти избытки на техническую переработку и усиленное производство продуктов животноводства, выдерживающих долгое хранение (сыр, окорока, копченая колбаса и проч.).

Если допустить, что вместо 185 млн., по данным переписи 1939 г., в Союзе ССР будет 230 млн. душ населения, то всего, по принятому нами масштабу, потребуется зерна 184 млн. т. Какому урожаю с гек-

¹ Опыт Дании и Америки показал, что в случае избытков хлеба в стране выгоднее вывозить не самый хлеб, а получаемые с помощью хлеба продукты животноводства, как масло, яйца и бэкон.

² Этот уровень отвечает (если учесть размеры нашего населения в 1939 г.) заданию получать 8 млрд. пудов зерна, поставленному товарищем Сталиным в его докладе на 18-м съезде ВКП(б). Конечно, это ближайшая задача, а затем надо будет и дальше повышать производство зерна, имея в виду не только возрастание прямого потребления зерна в целях продовольственных, но и необходимость сильного увеличения производства зерна для кормовых целей.

³ Если в урожайный год на экспорт будет обращен избыток зерна 2 ц на душу населения, то это составит свыше 40 млн. т, что в 4 раза превышает максимальные размеры экспорта в царское время.

тара это должно отвечать? Для ответа на этот вопрос надо иметь в виду следующее.

Поднять валовую продукцию до 184 млн. т можно тремя путями:

А. Получить на теперешней площади зерновых посевов (около 110 млн. га) повышенный урожай в 16 ц/га в среднем без расширения посевной площади.

В. Увеличить площадь под зерновыми при меньшем размере урожая, например до 130 млн. га при 14 ц урожая.

С. Расширение посевной площади использовать не ради посева хлебов, а для увеличения посева клевера и других азотособирателей, чтобы, развивая животноводство, иметь больше навоза и поднять урожай хлебов при прежней площади их посевов (около 110 млн. га).

Разберем эти три случая порознь.

Вследствие малого процента площади под азотособирателями и, соответственно, меньшей навозообеспеченности, при задании получить средний урожай зерновых в 16 ц/га на прежней площади (вариант А), нам пришлось бы большое количество минеральных удобрений направить под хлеба с тем, чтобы компенсировать недостаток азота и других питательных веществ, обуславливаемый неполнотой вывозки навоза и слишком малой ролью клевера и других бобовых в азотном балансе. Но применение минеральных удобрений под хлеба в широком масштабе проектировать трудно по двум причинам: а) площадь технических и других интенсивных культур у нас превышает всю посевную площадь Германии (приблизительно 20 млн. га), а пока эти культуры не обслужены химической промышленностью, то хлеба не могут получить значительных количеств минеральных удобрений: б) минеральные удобрения (по крайней мере самые активные из них — азотистые удобрения) могут быть применены в широком масштабе под хлеба при условии соответствующего координирования цен на зерно и удобрения.

Поэтому первый из трех отмеченных выше вариантов (А) оказывается наименее пригодным — таким путем нам идти нельзя.

Второй путь (В) означал бы возможность обойтись без минеральных удобрений под хлеба, по крайней мере без азотистых; но при прежней установке на работу лошади (и вола) он встречал бы меньше возражений, чем при установке на трактор, при котором необходим ежегодно добавочный расход на горючее и транспорт горючего, трудный как раз в районах наибольшей возможности расширения пашни (Сибирь).

Третий вариант (С) освобождает от ежегодного увеличения работы тракторов, так как расширение площади на 25—35%, необходимое для посева трав, требует только один раз (при освоении новых площадей) увеличения вспахиваемой площади, ежегодной же вспашки площадь под травами не требует. Дальнейшая разработка этого варианта должна быть увязана с проблемой развития животноводства. Этот вариант заслуживает наибольшего внимания, но возможны комбинации этого варианта с частичным использованием варианта В.

Резюмируя все сказанное, мы приходим к выводу, что в основном нам надо идти по пути увеличения продукции зерна за счет поднятия урожаев зерновых культур до уровня примерно 16 ц/га и в меньшей степени использовать — в ближайшее время — для этой цели увеличение посевной площади под зерновыми. *Общее же расширение пашни должно дать возможность в первую очередь увеличить у нас процент площади под клевером и другими азотособирателями без снижения площади под зерновыми культурами*, продукция которых должна быть значительно повышена, главным образом за счет поднятия урожайности.

Что касается технических культур, картофеля, овощных и плодовых, то, понятно, здесь предстоит широко использовать оба пути — и расширение посевных площадей, и резкое поднятие урожайности, причем здесь огромная роль будет принадлежать как органическим, так и минеральным удобрениям.¹

Как же будет возрастать общий вынос питательных веществ урожаями при таком направлении развития нашего земледелия? Понятно, что при этом пути будет значительно изменяться соотношение в выносе азота, с одной стороны, и фосфора и калия — с другой, так как вынос фосфора и калия будет возрастать как вследствие увеличения урожая, так и роста посевных площадей. Повышение процента площади под клевером, люцерной и другими бобовыми будет, в свою очередь, увеличивать вынос фосфора и калия, так как эти растения берут из почвы больше зольных веществ, чем зерновые. Что же касается азота, то здесь главным фактором, обуславливающим увеличение выноса, будет повышение урожаев зерновых и технических культур, так как, если расширение общих размеров пашни будет преимущественно использоваться для увеличения площади под азотособирателями, то вынос азота из почвы от этого не возрастет, и увеличение его будет обусловлено только ростом урожайности.

Если исходить из цифры 4.9 млн. т азота, отвечающей общему выносу урожаями по уровню 1937 г., и допустить пропорциональное увеличение выноса азота при повышении среднего урожая зерновых до

¹ Необходимость поднятия урожаев обусловлена еще и тем, что при низких урожаях мы тратим, по крайней мере, двойной труд на механическую обработку — предпосевную вспашку и уход во время роста (если посчитать этот труд не на гектар, а на единицу получаемого продукта). Так, например, для получения того же самого количества картофеля мы обрабатываем и окучиваем вдвое или даже втрое большую площадь, чем в Западной Европе, потому что урожай картофеля у нас вдвое ниже. И чем больше затрат на обработку и уход за растениями во время роста (как в случае культуры свеклы, хлопчатника, табака), тем более невыгодно работать на фоне таких низких урожаев, какие мы имели до сих пор, тем более применение удобрений повышает оплату единицы труда, затраченного на механическую обработку.

Поэтому поднятие урожаев является нашей первоочередной задачей, а расширение посевной площади, связанное с некоторым перемещением зерновых посевов к северу, является вторым нашим резервом.

16 ц/га, то мы получим 7.84 млн. т ежегодного выноса азота. Более подробные расчеты, проделанные в ВИУАА научным сотрудником М. Курашевой, дают несколько более высокую величину, равную 8.2 млн. т азота. При этих расчетах предполагалось доведение площади под зерновыми до 115 млн. га при средней урожайности 16 ц/га; под сахарной свеклой — до 1.7 млн. га при урожае в 270 ц/га, под картофелем — 10.7 млн. га при урожае 150 ц/га. По другим культурам уровень урожаев был взят такой: хлопчатник — 22 ц/га сырца, лен 5—6 ц волокна, подсолнух — 15 ц/га, табак — 14 ц/га, кок-сагыз — 100 ц/га и т. д.

Таким образом получается, что для такого повышения производства сельскохозяйственной продукции, которое необходимо в целях разрешения задачи догнать и перегнать передовые капиталистические страны по уровню производства на душу населения, необходимо обеспечить возможность ежегодного суммарного выноса азота урожаями до уровня около 8.2 млн. т, т. е. на 3 с лишним млн. т выше, чем в 1937 г. Понятно, что эта задача может быть удовлетворительно разрешена нами только при условии максимального использования всех ресурсов для повышения приходной части азотного баланса, так как ни одна статья этого прихода в отдельности не может обеспечить покрытие таких размеров прироста выноса азота.

Обратимся теперь к рассмотрению тех путей, которыми нам предстоит идти при разрешении этой грандиозной задачи.

Остановимся прежде всего на азоте техническом. Эта статья азотного баланса наиболее тесно связана с общим уровнем технической мощи страны, ее индустриализацией, а также и с военным потенциалом страны. Химизация земледелия, как и его механизация, тесно связана с задачами обороны страны: трактор и танк, аммиачная селитра и аммонал, нитраты и нитроглицерин, — одни и те же производства лежат в их основе. И только та страна, которая в мирное время сумеет создать ряд таких отраслей промышленности на базе хозяйственного расчета, может быть всегда готовой к обороне.

В этом отношении существует полная противоположность между старой Россией, вступившей в войну 1914 г. совершенно не подготовленной, и современным положением Советского Союза. Только сталинские пятилетки положили у нас начало химизации земледелия.

Чтобы оценить размер достижений в области интенсификации земледелия, которые дали Союзу ССР сталинские пятилетки, необходимо, хотя бы в очень краткой форме, остановиться на дореволюционном прошлом нашей страны.

Хотя прежнюю Россию в Европе называли «страной земледельческой», однако на деле это была страна очень плохого земледелия, и некоторым оправданием относительно уместности этого названия может быть только то, что с промышленностью дело обстояло еще хуже, — ее почти не было, а потому и приходилось такую страну назы-

вать земледельческой. Прежняя Россия имела очень низкие урожаи — 7 ц/га, что отвечает уровню XVIII столетия для Германии и еще более отдаленным временам для Бельгии и Голландии. Но, кроме того, вследствие малой распаханности площади и избытка сельского населения на одного жителя деревни приходилось лишь 0.9 га посевной площади (против 3 га в Дании и 5 га в США); поэтому и общая продукция зерна в стране была низкой. Как мы видели, она для периода 1908—1913 гг. достигала всего 4 ц зерна на душу, в то время, как Германия имела 4.6 ц, Дания — 7.0, США — 10.3 и Канада — 19 ц всех видов зерна на душу населения.

К этому присоединялась еще большая неустойчивость урожаев вследствие того, что при малом проценте пашни в лесной полосе (с более постоянным климатом) сильно распаханы были степи с неустойчивым климатом, отсюда периодические голодовки в годы засухи. Но как страна полуколониальная, зависящая от Западной Европы вследствие отсутствия своей промышленности, Россия должна была вывозить хлеб, а возможно это было, как уже указывалось, только благодаря вынужденному вегетарианству русского крестьянина. Нетрудно подсчитать, что если бы крестьянин того времени вздумал поднять свое мясное довольствие до того, чтобы дать хотя бы по одному фунту свинины на каждого члена семьи раз в неделю, то при 125 млн. крестьянства для этого потребовалось бы скормить свиньям около 12 млн. т зерна, что с избытком поглотило бы весь дореволюционный экспорт. Этого крестьянин сделать не мог, поэтому русской рожью, ячменем и отрубями откармливались свиньи в Дании и Германии, а не в России.

Не останавливаясь на периоде разрухи, вызванной первой мировой войной и последовавшей за ней гражданской войной и интервенцией, а также и на периоде восстановительном, перейдем к периоду реконструкции и индустриализации сельского хозяйства.

В 1927 г. товарищ Сталин на XV партийном съезде, обрисовав бесперспективное положение мелкого крестьянского хозяйства, поставил вопрос: «Где же выход?» — и указал, что выход «в переходе на коллективную обработку земли на базе новой, высшей техники... с применением научных приемов интенсификации земледелия».¹

Повторно возвращаясь к этому вопросу, он усиленно подчеркивал, что надо усилить развитие индустрии металла, химии, «нужно налегать во-всю на снабжение сельскохозяйственными машинами, тракторами, удобрениями и т. д. ...» (1929 г.).²

Еще до этого были усилены работы геологов по выявлению запасов не только угля и металлов, но и сырья для туковой промышленности, приведшие к двум открытиям чрезвычайной важности, а именно: в 1925 г. открыты залежи калийных солей в Соликамске, а исследования последующих лет показали, что они не имеют еще себе равных по мощ-

¹ Сб. «Ленин и Сталин», т. III, Партиздат, 1936, стр. 235.

² Там же, стр. 357.

ности во всем мире; в 1926 г. открыты были залежи апатита в Хибинских горах, на Кольском полуострове, и работы последующих лет показали, что и здесь идет дело о залежах исключительной мощности. Точно так же были выявлены запасы каменного угля в гораздо большем масштабе, чем это было известно раньше. Так, выяснилось, что в одном только Кузнецком бассейне запасы угля равны сумме запасов Германии, Англии и Франции; так же велики оказались и резервы гидроэнергии; например, одна только система Ангары и Байкала способна дать в 20 раз больше энергии, чем Днепротэс.

Так были обеспечены запасы сырья и энергии, необходимые для создания фосфатной, калийной и азотной промышленности. Первое пятилетие (1928—1932 гг.) пошло на более тщательные горно-технические разведки, затем последовала проходка шахт в особенно трудных условиях Соликамска, потом — создание рудников и оборудование комбинатов, а со второй сталинской пятилетки началась усиленная продукция туков, которая с каждым годом возрастала.

К 1933 г. относятся известные слова товарища Сталина: «У нас не было серьезной и современной химической промышленности. У нас она есть теперь».¹

Темп роста производства туков за второе пятилетие можно характеризовать следующими цифрами (в тыс. т):

	Азотистые удобрения (20.5%)	Калийные соли (41% K ₂ O)	Суперфосфат (18%)	Фосфоритная мука ²	Всего
1932 г. (I)	22.2	27.0	477.6	396.0	922.8
1937 г. (II)	659.0	407.6	1454.1	634.2	3154.9
Отношение (II:I)	29.7	15.1	3.05	1.6	3.4

Если принять во внимание, что суперфосфат, производимый в СССР, содержит больший процент P₂O₅, чем в остальных странах, и если сделать приведение к одному стандарту, то окажется, что по производству суперфосфата (1897 тыс. т в 1938 г.) СССР вышел на первое место в Европе и на второе место на земном шаре (первое место принадлежит США), а по общему количеству производимых туков вместо последнего места — до сталинских пятилеток — мы вышли на третье место в Европе и на четвертое на земном шаре (в млн. т):

Германия	США	Франция	СССР	Италия	Англия
7.66	4.78	4.35	3.86	2.05	2.00

Уже во второе пятилетие применение минеральных удобрений ока-

¹ Сб. «Ленин и Сталин», т. III, стр. 547.

² Здесь разумеется та часть фосфоритной муки, которая идет на непосредственное удобрение кислых почв (сверх той части фосфоритной муки и апатита, которые идут на приготовление суперфосфата).

зало резкое влияние на повышение урожая тех культур, которые получали их в достаточном количестве. Так, для урожаев хлопка-сырца при культуре с орошением в Узбекистане мы имеем такую картину последовательного роста урожая параллельно с ростом завоза удобрений:¹

Г о д ы	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939
Количество минеральных удобрений (в ц/га)	0.15	1.66	2.70	5.10	5.64	5.32	5.66
Средний урожай хлопка-сырца (в ц/га)	8.9	7.9	11.6	16.2	16.1	16.8	17.0

Таким образом для целой республики мы наблюдаем удвоение урожаев за пятилетие (1934—1939 гг.), а в отдельных колхозах получались урожаи в 35 ц/га, что означает повышение урожайности в 5 раз, не говоря уж об урожаях, получаемых отдельными стахановцами, — цифры эти намного выше.

Такую же картину мы наблюдаем в Грузии для сбора чайного листа, который более чем удвоился под влиянием минеральных удобрений, среди которых азотистые дают наибольший эффект (средние за трехлетия):

	1932—1934	1935—1937	1938—1940
Завоз удобрений (в тыс. тонн)	1.3	28	51
Сбор чайного листа (кг/га)	891	1681	2252

Кроме хлопка и чая, повышены также урожаи сахарной свеклы и льна (на волокно), хотя и не в той степени, так как количество минеральных удобрений на гектар здесь дается меньше, в севооборотах большую роль играет клевер, и роль навоза гораздо больше, чем в севооборотах с хлопчатником.

Интересную картину представляет движение урожаев сахарной свеклы в Киргизии, где применение минеральных удобрений дает больший эффект, чем на Украине, так как там благодаря орошению количество осадков не является лимитирующим фактором. Вот средние урожаи для Кантского района (передового в Киргизии):

Г о д ы	1934	1936	1938	1940
Количество удобрений (в ц/га)	3.5	8.2	11.9	14.5
Урожай корней (в ц/га)	166	345	349	471

Для оценки значения, какое приобрели минеральные удобрения к началу третьего пятилетия, может служить следующий подсчет проф. П. А. Баранова: если взять сумму приростов лишь по четырем отраслям (хлопок, сахар, чай и волокно льна), полученных в 1939 г. от минеральных удобрений, то по продажным ценам стоимость этих приростов только по названным культурам составляла 4 млрд. рублей; стоимость же всех минеральных удобрений равнялась 600 млн. рублей.

¹ Преимущественно азотистых и фосфорнокислых (калийных солей применялось немного).

По плану на 1945 г. общая продукция туковой промышленности должна была удвоиться (по сравнению с 1937 г.), тогда и ценность прироста урожаев по всем культурам достигла бы 9 млрд. рублей.

Так как до полного насыщения удобрениями площадей под техническими культурами еще очень далеко, то крупный прирост стоимости продукции технических культур под влиянием удобрений обеспечен для ряда пятилетий.

При удобрении технических культур в ряде случаев мы уже догоняем и перегоняем страны Западной Европы по количеству удобрений, вносимых на гектар. Это относится к орошаемому хозяйству Средней Азии и к влажным субтропикам, где мы ограничены размером площади и поэтому решающее значение приобретает высота урожая.

В Узбекистане, где ведется орошаемое хозяйство с преобладанием хлопковых посевов, количество удобрений¹ на гектар собственно хлопчатника составляет 106 кг NPK, что значительно выше средней германской нормы и близко к средней цифре для Голландии (109 кг), которая занимает первое место в мире по количеству удобрений, приходящихся на гектар всей посевной площади. Чайные плантации Грузии получают около тонны удобрений на гектар (196 кг NPK), что уже превышает среднюю цифру для Голландии, но, конечно, для Грузии в данном случае мы берем только площадь под чайным кустом, который возделывается вне севооборота, соответственная же цифра для Голландии представляет среднее для всей посевной площади. С такой же оговоркой можно указать, что свекловичные плантации на Украине получали по 8 ц удобрений на гектар (или 150 кг N + P₂O₅ + K₂O), что в полтора раза превышает общегерманское среднее.

Итак, к техническим растениям мы применяем путь интенсивной культуры, догоняя или даже перегоняя Бельгию и Голландию по количеству минеральных удобрений на гектар, но это не значит, что тот же метод нам придется применить к культуре зерновых хлебов, где мы площадью не ограничены,— тут нужен совершенно другой подход.

То, что годится для избранных культур, вовсе не относится ко всем культурам, ко всей посевной площади СССР,— тут мы вовсе не должны стремиться к голландской норме по количеству минеральных удобрений на гектар, но должны быть впереди всех стран Запада по количеству зерна и других сельскохозяйственных продуктов на душу населения, используя то, чего нет у Голландии, Бельгии, т. е. наш земельный простор. Ведь нельзя же сравнивать СССР с Голландией, которая вся укладывается в одной климатической и почвенной зоне, в одних экономических условиях, имеет густое население и не имеет никакой возможности увеличить запашку, кроме отнятия у моря малых площадей очень дорогой ценой; а Советский Союз охватывает весьма разнообраз-

¹ Здесь имеется в виду тот уровень, который был достигнут в предвоенные годы.

ные зоны, отличающиеся не только в климатическом и почвенном отношении, но и по густоте населения, а главное, мы располагаем большим резервом нераспаханных площадей. Поэтому мы можем, кроме поднятия урожаев, не ставя, однако, целью догнать Голландию по высоте урожаев с гектара,— увеличивать валовой сбор хлеба и путем расширения культурной площади вообще и площади под клеверами, в частности, чтобы действием клевера как прямо на почву, так и через навоз поднять урожай хлебов без применения под них больших количеств минеральных удобрений.¹

О перспективах производства и применения минеральных азотистых удобрений

Какие же возможности имеются у нас для дальнейшего увеличения размеров снабжения сельского хозяйства минеральными азотистыми удобрениями? Следует заметить, что усилия, предпринятые во время войны для обеспечения нужд военной промышленности (перебазирование части азотной промышленности на Восток, введение в действие новых мощностей), окажут положительное влияние на общее количество азотистых удобрений, отпускаемых сельскому хозяйству.

Надо полагать, что восстановление предприятий химической промышленности на территории пострадавших от немецкой оккупации районов не будет требовать какого-либо сокращения мощностей тех заводов, которые возникли на Востоке во время войны, так как Горловка и Сталиногорск получают новое оборудование. Но, кроме того, потребуется строительство и в новых пунктах, причем необходимо будет учесть и наиболее рациональное размещение этого вида промышленности и правильно разрешить вопрос о направлении производства в отношении выбора основных путей синтеза и ассортимента выпускаемой продукции.

При размещении центров производства азотистых удобрений и опре-

¹ Сказанное относится к общей схеме распределения минеральных удобрений между техническими культурами и хлебами. Но при том разнообразии естественных и хозяйственных условий, которое имеет место в нашей стране, понятно, не должно быть шаблона. В частности, уже и теперь своевременно поставить вопрос о перспективе постепенного перехода к следующей ступени в отношении интенсивности химизации нашего земледелия, а именно,— к применению минеральных удобрений не только под технические, но на какой-то части площади и под хлеба и другие продовольственные (и кормовые) культуры. При этом представляется важным правильный выбор тех условий, когда это мероприятие будет давать максимальный технический и экономический эффект. Прежде всего здесь можно наметить создание крупных очагов высоко-химизированного земледелия в областях и районах расположения промышленных центров и в зонах, прилегающих к транспортным артериям. Резкое поднятие урожайности всех культур путем интенсивной химизации в этих районах (при наличии благоприятных почвенных и климатических условий) может быть важной мерой в деле улучшения снабжения промышленных центров и одновременно облегчения транспорта.

делении их мощности вопрос о сырье не играет роли — содержание азота в воздухе одно и то же везде; вопрос решается наличием источников энергии — черного и белого угля (сила ветра пока еще не использована для этой цели).

По запасам угля Советский Союз занимает очень благоприятное положение, что обнаружено лишь в послереволюционное время: в 1913 г. наши запасы оценивались в 220 млрд. т, теперь же они определяются в 1654 млрд. т, что в 2,5 раза превышает сумму запасов угля в странах Западной Европы (но США имеют 3795 млрд. т).

В Европейской части Союза наиболее крупные запасы угля имеются на юге, в Донбассе — около 90 млрд. т, на севере — в бассейне р. Печоры, куда во время войны была проложена железнодорожная магистраль. Но наиболее богата углем Сибирь (считая от Урала до Тихого океана), на нее приходится около 90% всех наших угольных запасов; один только Кузнецкий бассейн имеет запасы около 450 млрд. т, что в 5 раз превышает запасы Донбасса и почти равняется сумме запасов Германии, Англии и Франции (480 млрд. т). Известно, что, помимо снабжения местной промышленности, как азотный завод в Кемерове и ряд других предприятий, кузнецким углем снабжается крупнейший металлургический завод Южного Урала (Магнитогорск), а железная руда Магнитной горы при обратном движении поездов доставляется в Кузбасс на симметрично построенный комбинат. Так как коксование кузнецкого угля ведется частью на месте, частью в Магнитогорске, то и тут и там имеются широкие возможности для создания заводов синтетического аммиака.

При всей грандиозности Кузнецкий бассейн все же не занимает первого места в Сибири по запасам угля, так как еще большие перспективы намечаются для Тунгусского бассейна, занимающего колоссальную площадь (около 1 млн. кв. км) между Енисеем и Леной, Красноярской железной дорогой и Северным океаном.

Но использование этих угольных богатств есть дело будущего; это же относится и к углю на Таймыре, к Ленскому бассейну в Якутии (не менее 200 млрд. т) и к северо-восточной части Арктики. Теперь же эксплуатируются залежи более южных районов Сибири, как Канский, Чулымо-Енисейский, Минусинский бассейны, таков Иркутский бассейн с запасом угля 73 млрд. т (используется Черемховское месторождение). Далее, большое значение имеет Буреинский угольный бассейн в Приамурье и Сучанский район, снабжающий углем Приморье; кроме того, есть уголь на Сахалине и Камчатке. В Средней Азии Казахстан обладает таким мощным месторождением, как Караганда, с запасом в 52 млрд. т; имеется также уголь, хотя и в меньшем количестве, в Киргизии, Узбекистане и в Туркмении.

Запасы «белого угля» у нас также огромны: если теперь на очереди «Большая Волга», то затем предстоит освоение громадных энергетических ресурсов Ангары, Енисея и других рек Сибири. Однако использо-

вание гидроэнергии в этих масштабах выходит за пределы четвертого пятилетия, пока же можно использовать залежи угля. И тут, так же как и в вопросе о фосфоре и калии, помимо грандиозных цифр общих запасов, важным является вопрос о наиболее выгодном географическом размещении пока хотя бы той небольшой части всех имеющихся запасов, которая доступна для непосредственного использования теперь же.

Еще недавно недостаточная изученность распределения и частью недостаточное освоение известных угольных месторождений вызывали такое ненормальное явление, как транспорт азотистых удобрений на расстояние 3—4 тыс. км. Хлопковые районы Средней Азии являются нашим главным потребителем этих удобрений, так как сероземы по природе бедны азотом, а площадь возможной культуры хлопчатника ограничена температурными условиями и — еще в большей мере — невозможностью культуры хлопчатника без орошения в Средней Азии. Все это создает как бы оазисный тип этой культуры, при котором нельзя отвести значительные площади под кормовые растения, и отсюда же недостаток навоза и необходимость применять больше азотистых удобрений, чем при культуре свеклы или льна. Но азотные заводы работали у нас далеко от хлопковых районов на Кизеловском, Подмосковном и Донецком угле; в Узбекистане же раньше не было известно залежей хорошо коксующегося угля. Отсюда возникло строительство Чирчикского комбината (близ Ташкента), который использует водяную энергию для получения тока с тем, чтобы добывать водород путем электролиза воды; азот получается путем фракционированной перегонки жидкого воздуха. Этот способ, однако, применяется только поневоле в странах, не имеющих угля и богатых водопадами, так как при нем очень велика затрата энергии на единицу связанного азота; а именно, по данным Казале, нужно, по крайней мере, 18 киловатт часов на 1 кг связанного азота, в то время как при работе на каменном угле по способу Габера расходуется лишь 4—4,5 киловатт часов.

Понятно поэтому, почему Германия, Франция и Англия, имеющие уголь, совершенно не применяют метода Казале; применяется же он только в Италии и Норвегии, не имеющих своего угля, и потому эти последние вынуждены тратить в 4—5 раз больше энергии на связывание единицы азота, чем страны, имеющие уголь. Правда, говорили, что гидроэнергию жалеть нечего, так как она «даровая», но на деле она всегда оказывается дорогой из-за необходимости крупных затрат на капитальное строительство (влияние этого фактора обнаруживается и на Чирчике).

Раньше расходование большого количества водной энергии считалось неизбежным для азотной промышленности Средней Азии, но уже в 1937 г. появились признаки, что положение с углем для Средней Азии изменяется. После того как были улучшены пути сообщения в глухую долину Ягноба, раньше изолированную от всего мира (там даже сохранилось особое наречие, близкое к персидскому, забытое в остальном

Таджикистане), туда проникли и геологи и нашли мощный пласт хорошо коксующегося угля. Так как расстояние от этих мест до Ташкента, вероятно, не превышает 300 км., то это открытие может перевернуть проблему Чирчика. В случае легкой доступности ягнобского угля будет выгоднее электрический ток пустить на нужды промышленности, а азотный комбинат перевести на способ Габера.

Кроме ягнобского угля, открыты залежи угля в Фергане (долина Нарына). В конце концов, выгоднее завод перенести к углю, чем возить уголь к заводу, потому что перевозка готового продукта (NH_4NO_3) несравненно легче, чем перевозка угля.¹

То, что произошло на Чирчике, может повториться и в других случаях. Если, например, будет построена хотя бы одна из возможных плотин на Ангаре, то вначале получится громадный избыток электроэнергии; естественно этот избыток приложить к связыванию азота, но затем, по мере роста промышленных центров, эта энергия найдет потребителя, тогда производство синтетического аммиака нужно перевести с белого угля на черный. Но все-таки эти временные ресурсы гидроэнергии выгоднее использовать не на электролиз воды и синтез аммиака, а на приготовление цианамидов, так как при этом способе нужно в полтора раза меньше энергии для связывания единицы азота, чем при способе Казале — около 11.5—12 квтч вместо 18, т. е. продуктивность комбината может быть поднята на 50%. Поэтому в Италии производство цианамидов возросло не только абсолютно, но и в процентах к общей массе связанного азота, причем цианамид разделял с сульфатом аммония первенство на рынке азотистых удобрений.²

Правда, при цианамидном производстве не все 12 квтч должны быть даны в форме электроэнергии, а на 10.5 квтч этой последней нужно дать еще 1.5 кг кокса. Но такое количество угля, казалось бы, можно доставить даже из Караганды. Нужно иметь в виду другое преимущество цианамидного процесса перед синтезом аммиака: при

¹ Если бы местные залежи оказались недостаточными по количеству или малоприспособными по качеству угля, то можно думать об использовании карагандинского угля, по тому же принципу «Магомет идет к горе, а не гора к Магомету», т. е. завод строится в Караганде, а в Ташкент доставляется амселитра, но на пути становится препятствием недостаток воды в Караганде. Тогда могло бы прийти на помощь промежуточное решение — завод ставится на таком богатом пресной водой бассейне, как Балхаш (в его западной части, в отличие от засоленной восточной), тогда амселитру пришлось бы перевозить по железной дороге (Второй Турксиб) приблизительно за 400—500 км, а это расстояние для такого концентрата не будет являться препятствием на пути проникновения в хлопковые районы.

² Применение азотистых удобрений в Италии росло так (в тыс. ц):

	CaCN_2	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	NaNO_3	NH_4NO_3
1930 г.	762	1043	281	640	158
1934 г.	1396	1312	857	553	281

нем связывание азота идет при обыкновенном давлении, для синтеза же аммиака нужно по крайней мере 200—250 атмосфер; поэтому отпадает необходимость в дорогой аппаратуре, создание которой является фактором, ограничивающим азотное строительство. Вообще процесс азотирования карбида идет чрезвычайно просто (с выделением тепла); значительные затраты энергии нужны только для производства карбида, при котором требуется еще умение готовить электроды крупных размеров.

Но этим процессом у нас уже овладели, да и все равно производство карбида у нас предстоит развивать в крупном масштабе и по другим причинам — он является важным промежуточным продуктом при синтезе каучука из ацетилена. Этот путь синтеза каучука за счет угля и воды (ее водорода) позволил бы освободить громадное количество картофеля, который так нужен и для продовольственных целей, и для развития животноводства (откорм свиней).

Кроме легкости процесса азотирования, получение цианамидов приводит прямо к готовому удобрению, тогда как аммиак нужно связывать с серной кислотой или половину его проводить через окислительные установки, чтобы готовить аммиачную селитру; а окисление аммиака, кроме расходов, связано еще с некоторой потерей азота.

Если на прежних цианамидных заводах создавались условия, вредные для здоровья рабочих (вдыхание цианамидной пыли), то новейшие размольные установки позволяют совершенно изолировать воздух рабочих помещений от воздуха, несущего с собой цианамидную пыль. Что касается еще одного аргумента, что от цианамидов труднее, чем от аммиака, перейти к азотной кислоте, то он отпадает, если будем ставить цианамидные установки не *вместо* аммиачных, а *кроме* аммиачных, которых мы можем создать сколько угодно на угле (не только в Донбассе и на Урале, но и в Прокопьевске, в Кемерове, Черемхове и проч.), причем производство аммиака на угле требует вчетверо меньшей затраты энергии, чем, например, на Чирчике.

Так как потребности нашего земледелия, при нашей громадной посевной площади, сильно превышают все другие потребности по линии азота, то после удовлетворения в самой широкой мере всех других задач мы имеем еще очень большой интервал для дополнительного развития азотной промышленности исключительно для нужд земледелия, и в этом интервале можно свободно выбирать те методы связывания азота, при которых энергия затрачивается более продуктивно, чем при способе электролиза.

Между прочим, характерно, что на Западе цианамидное производство развивается вовсе не только там, где имеется гидроэнергия, но и там, где уголь по качеству не годится для синтеза аммиака. Так, в Германии самый крупный цианамидный завод в Пистерлице пользовался электроэнергией от соседней станции, работавшей на буром угле,

который очень удобно залегает,—мощная толща этого угля залегает близко от поверхности, поэтому там велась открытая добыча с автоматическим вычерпыванием и подачей угля наверх, вроде того, как это делается с торфом (только толща угольного пласта гораздо больше, чем торфа). Характерно, что этот дешевый ток тратили отнюдь не на электролиз воды, а на получение карбида для перехода от него к цианамиду. А разве у нас мало обильных залежей бурого угля и под Челябинском, и в разных частях Кузбасса!

Нужно заметить, что как только перешли от летучих полевых опытов, не имеющих продолжения, к опытам стационарным, при которых учитывается и последствие, то цианамид оказался лучшим видом азотистого удобрения для подзолистых почв. Так, на Люберецком опытном участке НИУИФ, расположенном на бедном оподзоленном супеске, при частом повторении на том же самом месте цианамид дал прогрессивно возрастающие с годами приросты урожаев, а все аммиачные соли дали не только снижение эффекта с годами, но и проявляли отрицательное действие, если не было применено известкование (см. таблицу).

Последовательные изменения урожаев при повторном внесении азотистых удобрений
(в % от урожая на делянках КР)

Годы	Цианамид	NaNO ₂	Ca(NO ₂) ₂	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ Cl
2	188	156	145	163	149	156
4	182	198	153	109	88	79
6	225	212	192	67	38	30

Таким образом цианамид играет роль не только азотистого, но и известкового удобрения, причем известь является бесплатным приложением к азоту. Но, конечно, отсюда не следует, что нужно готовить цианамид везде — это требует все-таки больше энергии, чем «Габер». Но где мало хорошего угля и преобладает бурый уголь,—там место производству цианамидов. В других же случаях нужно сопровождать аммиачные соли кальцием, «известковать если не почву, то удобрения». Для этого можно прибавлять к NH₄NO₃ молотый известняк для подзола в том соотношении, которое принято в Англии (40%), а для дальнего транспорта в Среднюю Азию, где почвы богаты кальцием, принцип прибавки извести должен быть другой (минимум CaCO₃, необходимый для улучшения физических свойств аммиачной селитры). Наиболее интересным компонентом смесей с амселитрой является преципитат; это показал опыт Франции. Но, пока у нас производство преципитата слишком мало развито, желательнее испытать примесь к аммиачной селитре фосфоритной муки, притом в одном соотношении ради улучшения физических свойств, в другом — ради растворяющего действия на фосфорит, при совместном внесении (опыты НИУ давно установили положительное влияние предварительного смешения аммиачных

солей с фосфоритом, что способствует соприкосновению их друг с другом в почве).

В Англии для улучшения физических свойств аммиачной селитры добавляют к ней углекислый кальций. Однако здесь не исключен риск потери некоторого количества аммиака. В этом отношении более подходящим компонентом является глина, с добавкой которой получают гранулированную амселитру. Автору пришлось видеть такую гранулированную аммиачную селитру при посещении завода Удэ в Дортмунде в 1932 г. Смесь эта содержала 30% азота, но возможно, что процент глины (конечно, не первой попавшейся, а хорошо выбранной) можно и еще более снизить. Во всяком случае, на Западе смотрят на аммиачную селитру скорее не как на готовое удобрение, а как на хороший материал для его приготовления (путем смешения с преципитатом или аммофосом и калийными солями).

Учитывая то, что было сказано выше о возможностях планирования минеральных удобрений под зерновые и технические культуры, при определении желательных размеров снабжения сельского хозяйства промышленным азотом мы должны прежде всего исходить из задачи удовлетворения потребностей в этих удобрениях технических культур, овощных и плодовых и — в значительно меньшей степени — зерновых (о последних может быть речь в первую очередь в условиях поливной культуры), так как обеспечение азотом хлебов должно базироваться, помимо навоза, на расширении площади под азотособирателями, потому что только таким путем можно покрыть ту колоссальную потребность в азоте, которая возникает при доведении средней урожайности зерновых до 15—16 ц на гектар.

К первым претендентам на массовое применение минеральных удобрений мы относим, наряду с техническими, также культуру картофеля и кормовых корнеплодов, имея в виду то обстоятельство, что эти культуры оплачивают удобрения примерно в три раза более высоко, считая на прирост сухого вещества.

Понятно, что определение необходимого количества минеральных удобрений для сельского хозяйства страны представляет довольно сложную задачу. Дело в том, что потенциальная емкость нашего земледелия в отношении возможностей использования минеральных удобрений огромна. Поэтому задания, которые мы можем ставить нашей азотной промышленности, должны определяться, с одной стороны, реально возможными темпами роста самой промышленности, а с другой — потребностью в техническом азоте для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, причем мы должны всегда иметь в виду и другие источники приходных статей азотного баланса, путем увеличения которых мы можем компенсировать недостаток азота технического.

Мы уже указывали на то, что если бы мы вздумали применять под все культуры минеральные удобрения в масштабах их применения в

Голландии, Бельгии и Германии, мы пришли бы к абсурдным цифрам. Наша посевная площадь перед войной достигла 150 млн. га, и если применить на ней минеральные удобрения по голландскому масштабу, т. е. по две трети тонны на гектар, то понадобилось бы 100 млн. т туков, т. е. в 30 раз больше того, что мы производим теперь, и вдвое больше того, что дает вся туковая промышленность на земном шаре. Мало того, Голландия применяет в шесть раз больше навоза, чем мы, но для этого она занимает половину пашни кормовыми культурами, да еще имеет громадную площадь хороших лугов, равную всей посевной площади.

Нам нельзя обременять нашу химическую промышленность непомерными заданиями, нельзя использовать посевную площадь по голландскому типу потому, что там животноводство вытеснило хлебопашество и производится много навоза при малой площади под хлебами, так как в Голландии давно перешли на импортный хлеб. Но переходить на производство 100 млн. т туков и подражать Голландии в утрировке животноводства нам и не нужно, потому что получение средних голландских урожаев (30 ц/га) вовсе не является нашей задачей для всей площади Союза: ведь при 110 млн. га зерновой площади (включая западные республики) такой урожай дал бы валовой сбор 330 млн. т, или 20 млрд. пудов, чего нам сейчас совсем не требуется — нам достаточно около половины этого количества, даже если учесть возможность экспорта.

Вообще неправильно брать за пример прижатую к морю Голландию или малоземельную Бельгию, у которой все распаханно. Эти маленькие страны однородны и по естественно-историческим и по экономическим условиям. Для нашего же Союза, занимающего одну шестую часть суши, состоящего из ряда разнообразных по условиям республик и краев, должно решать задачу поднятия урожаев в разных случаях по-разному, и статистическое среднее для всего Союза у нас складывается (и должно складываться) из гораздо более разнообразных компонентов, чем в названных маленьких и более однородных странах.

Поэтому не только в настоящее время, но и дальше при применении минеральных удобрений принципиально нужно вести определенную ставку на технические культуры как потому, что они лучше оплачивают удобрения, так и потому, что при значительном насыщении севооборота, например хлопчатником (а к этому вынуждает ограниченность района возделывания климатическими причинами), нет возможности так развить культуру азотособирателей¹ и увеличить количество навоза, как это возможно, например, в Московской или Смоленской областях; а иногда приходится прибегать даже к монокультуре (чайные плантации в Грузии). В других случаях значительное насыщение

¹ См. ниже об условиях, создающих «азотный голод» в хлопковом хозяйстве Средней Азии.

севооборота ведущей технической культурой вызывается необходимостью приблизить к заводам поля, производящие громоздкое сырье (свеклу, лен, картофель), или приблизить к населенным центрам культуру овощей. Но насыщение севооборота этими культурами, требовательными к удобрению, в то же время уменьшает площадь под навозобразующими растениями (кормовыми) и тем создает необходимость прибегнуть к минеральным удобрениям. Поэтому *потребность технических культур в минеральных удобрениях должна быть удовлетворена в первую очередь*. Однако при наших масштабах общая площадь этих более ценных культур все-таки очень велика. Под техническими культурами в собственном смысле слова имеется 11 млн. га, под овощными (включая картофель на полях) — 9.5 млн. га, под садами и виноградниками — 2 млн. га; итого — 22.5 млн. га.

К оценке потребности этих культур в минеральных удобрениях можно подходить с различной степенью детализации. Если принять для всей этой площади в среднем такую норму, как 50—60 кг азота на гектар, то мы получаем величину порядка 1.2—1.3 млн. т азота. Понятно, что не все технические культуры нуждаются в минеральных удобрениях в одинаковой степени. Как дозы, так и процент удобренной площади, естественно, могут сильно различаться и вследствие особенностей самих растений, как, например, лен и хлопчатник, и неодинаковых почвенных условий их возделывания. Поэтому в пределах общей средней нормы остается возможность значительно маневрировать с тем, чтобы обеспечить максимальную эффективность удобрений.

Заметим, что зависимость между дозой удобрения и величиной прибавки урожая вовсе не является такой простой, как это иногда представляют. Так, например, при внесении невысоких доз азотистых удобрений, особенно на почвах бедных, часто наблюдается возрастание эффективности удобрения при повышении дозы (вопреки известной «кривой Митчерлиха»). Еще в старых опытах Вагнера с удобрением озимой ржи разными дозами сульфата аммония (при весенней подкормке) наблюдались такие прибавки урожая:

Доза удобрений (в ц/га)	1.6	2.0	2.4
Прирост урожая зерна (в ц/га)	4.34	6.87	9.33
При расчете среднего прироста на 1 ц удобрения имеем:			
Доза удобрения (в ц/га)	1.6	2.0	2.4
Прирост урожая зерна на 1 ц удобрения	2.71	3.44	3.89

Следовательно, в этих опытах первый центнер удобрений оплачивался хуже, чем последующие. Вагнер не только констатировал этот факт, но и дал ему в свое время известное объяснение.

Причину неполного эффекта малых доз азота на бедных почвах он объяснял так:

1) голодающие в отношении азота растения имеют ненормальный состав: в них понижено содержание азота; при внесении ограниченного количества азота часть его потратится на исправление ненормального состава, и только другая часть пойдет на повышение урожая, отсюда неполнота оплаты при малых дозах;

2) у голодающих растений соотношение в развитии органов не отвечает нормальному, а именно: процент корневой массы у них выше обычного или процент надземных органов ниже; первые дозы азота идут на исправление этого соотношения (усиление развития вегетативных органов — стеблей и листьев), и только последующие дозы скажутся преимущественно на образовании зерна; так, у овса без удобрения на надземные органы приходилось 42% от общего веса всей массы растения и 58% на корни; при первой же дозе азота это отношение было 65 и 35%, а при последующей дозе азота — 81 и 19%. Словом, у растения есть как бы свои необходимые общие затраты, и только после их покрытия наступает возможность продуктивного использования следующих доз азота.

Отсюда Вагнер делает такой вывод: на бедных почвах, дающих урожай 10—12 ц зерна, но по физическим свойствам неплохих, нужно давать удобрение дозами не меньше 2,5—3 ц на гектар (по расчету на селитру); если же удобрений мало, то лучше на меньшей площади дать по этой норме, чем всю площадь удобрять малыми дозами. Наоборот, если почва «заправлена» и дает по калийно-фосфатному фону урожай 20—25 ц зерна, то можно внести и меньшую дозу (20—30 кг азота) с шансом должного прироста зерна на каждый центнер удобрения.

Первый случай, когда не следовало применять малых доз, имел место у нас при дореволюционных опытах, в которых на тощие крестьянские почвы рассыпали 1 ц селитры на гектар и не получали достаточно высокого эффекта.

Когда же в 1926 г. НИУ провел массовые опыты с дозами удобрений, обычными для практики на Западе, т. е. 45 кг азота на гектар, то обнаружилось, что у нас удобрения действуют не хуже, чем в других странах. Это обстоятельство имеет существенное практическое значение, так как указывает на то, что при недостатке удобрений распределение их нельзя делать по принципу охвата наибольшей площади, а надо применять их хотя бы и не на всей площади, но в таких дозах, чтобы получить наивысшую оплату единицы удобрения. Здесь, конечно, мы будем иметь дело с большим разнообразием условий (орошаемое и неорошаемое земледелие, род культуры и т. д.), но все же важно иметь в виду общее положение о том, что слишком малые дозы часто могут не давать должного эффекта.

С другой стороны, нужно не упускать из виду, что увеличение дозы удобрения сверх какого-то уровня (в зависимости от конкретных условий этот уровень будет разным), в свою очередь, может привести к снижению оплаты удобрения приростом урожая. Если мы будем увеличивать дозы сверх того количества азота, которое может быть использовано на данном фоне, то мы будем напрасно увеличивать делитель при неизменном делимом, т. е. снижать коэффициент оплаты, так же как и при слишком малых дозах коэффициент оплаты может не достигать оптимума. Такая зависимость наблюдалась Вагнером при сопоставлении результатов как коллективных опытов, проводившихся Германским обществом сельского хозяйства, так и опытов, проведенных в различных условиях. В среднем наблюдалась такая зависимость между дозами азота и высотой урожая озимой ржи (на фоне РК):

	Дано сульфата аммония в центнерах на 1 га						
	1	2	3	4	5	6	7
Прирост зерна (в ц с гектара) . . .	2.5	7	13	16	19	20	20
Средняя оплата зерном 1 ц удобрения	2.5	3.5	4.3	4.0	3.8	3.3	2.9
Оплата последнего центнера	2.5	4.5	6.0	3.0	3.0	1.0	0

Как видим, имеется известная оптимальная доза для данного уровня культуры, при которой получается наибольшая средняя оплата зерном для каждого центнера удобрения; в зависимости от фона, на котором ставится опыт, положение оптимума, конечно, меняется.

Аналогичные описанным здесь явления можно наблюдать и в опытах с техниче-

скими культурами. Приведем пример из опытов Каунчинской станции в Средней Азии с возрастающими дозами азота под хлопчатник (30—60—90 кг азота и т. д., до 300 кг азота на 1 га) в условиях орошения. Оптимум оплаты единицы удобрения приростом урожая устанавливается здесь при более высоких дозах. Интересно и различие, проявившееся в зависимости от того, вносится ли NH_4NO_3 или $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Рассмотрим оба эти опыта.

Вот данные опыта с NH_4NO_3 с суммарным учетом действия в первый год и последствия на второй год после внесения удобрения.

Дано азота (в кг на гектар)	30	90	120	180	300
Прирост урожая хлопка-сырца (в ц с гектара)	3.5	10.3	19.8	22.9	24.5
На 1 кг азота получено сырца (в кг)	11.6	11.4	16.5	12.7	8.2

Здесь в известном интервале прибавка урожая сырца на каждый килограмм внесенного азота при увеличении дозы сначала возрастает: оплата азота урожаем прогрессивно растет с увеличением дозы азота от 30 до 120 кг. При дальнейшем увеличении дозы прибавка растет медленнее, но до депрессии урожая от избытка удобрения здесь дело не доходит.

В опыте с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ сначала мы имеем такую же зависимость, но наивысший прирост равняется здесь только 17,9 ц (против 24,5 ц в случае NH_4NO_3), и в правой части кривой наблюдается депрессия от большой дозы удобрения:

Дано азота (в кг на гектар)	30	90	120	180	240	300
Прирост урожая сырца (в ц с гектара)	2.3	6.7	12.9	15.5	17.9	15.0

Если построить кривые возрастания урожаев в зависимости от дозы удобрения и присоединить к этому еще кривые изменения оплаты каждой вновь прибавленной единицы удобрения (в данном случае каждого 30 кг азота), а также средней оплаты при возрастающем числе этих единиц, то получим для опыта с NH_4NO_3 следующее графическое изображение (рис. 34).

Кривая роста урожаев в начальной части имеет изгиб не влево, а вправо¹ от прямой восходящей линии. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения (30 кг N) приростом урожая имеет ясно выраженный оптимум при 120 кг, в обе стороны от этого оптимума оплата снижается; при повышенных дозах эта кривая приближается к оси абсцисс, но все же с ней не пересекается. Средняя оплата единицы удобрения является наибольшей также при 120 кг, но, по понятным причинам, снижение по обе стороны оптимума идет более постепенно.

На рис. 35 изображены результаты опыта с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Здесь наблюдаются следующие особенности. В левой части кривая роста урожаев опять обнаруживает прогрессивное возрастание при увеличении дозы, при повышении же дозы от 240 до 300 кг мы видим ясную депрессию от избытка удобрения.

¹ В отличие от кривой Митчерлиха.

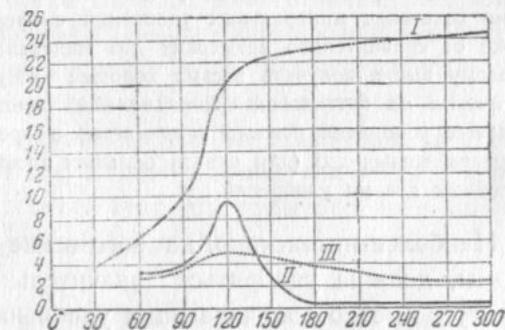


Рис. 34. Действие возрастающих доз NH_4NO_3 на урожай хлопка-сырца
I — прибавка сырца, II — оплата урожая каждой вновь вводимой единицы удобрения, III — средняя оплата урожая единицей удобрения

ния. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения имеет оптимум при 120 кг, но, в отличие от опыта с NH_4NO_3 , при более высоких дозах мы имеем пересечение с осью абсцисс и переход к отрицательным величинам.

В этих опытах наблюдается тот же общий ход изменений, как и в опытах Вагнера с зерновыми хлебами. Но в то время как там при отсутствии орошения оптимум приходится на дозу 60 кг азота, в опыте с орошаемым хлопчатником оптимум оказался при вдвое более высокой дозе.

Таким образом, величина оптимальной дозы удобрения является относительной. Помимо таких факторов, как орошение, путем

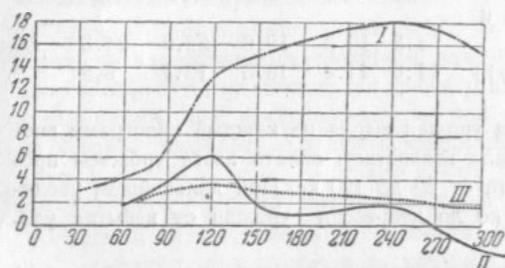


Рис. 35. Действие возрастающих доз $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на урожай хлопчатника. I — прибавка урожая сырца, II — оплата урожая каждой вновь вводимой единицы удобрения, III — средняя оплата урожая единицы удобрения

Однако и в этих случаях не следует увлекаться чрезмерно высокими дозами, ибо известный оптимум существует и здесь, хотя он устанавливается на повышенном уровне.

Вместе с тем надо заметить, что, наряду с заботой об улучшении всего комплекса агротехнических мероприятий, для получения высоких урожаев необходимо сочетание минеральных удобрений с органическими. В этих условиях удается даже от сравнительно невысоких доз минеральных удобрений, соответственно сказанному выше, получать весьма хорошие результаты. Во всяком случае *основная установка на достижение максимальной оплаты каждой единицы вносимых минеральных удобрений должна сохраняться* и предостерегать нас как от применения слишком малых доз (для охвата больших площадей), так и от увлечения чрезмерно высокими дозами удобрений.

Наиболее интенсивно, намного выше уровня средней статистической нормы, должна удобряться значительная часть ценных технических культур, высоко оплачивающих удобрение и по условиям возделывания (почвенным, климатическим и агротехническим — полив, уход и пр.) предъявляющих повышенные требования к уровню обеспечения питательными веществами.

Сюда относятся, например, чайные и хлопковые плантации, которые получали у нас (в 1937—1941 гг.) количество удобрений, превышающее по расчету на гектар среднюю норму применения удобрений в Голландии, занимавшей среди стран Западной Европы первое место по интенсивности химизации земледелия. Для свекловичного и льняного хозяйства нормы применения минеральных удобрений были значительно ниже, и для этих культур можно поставить ближайшей задачей достижение интенсивности химизации, приближающейся к тому сред-

нему уровню, который имел место до войны в западноевропейских странах. Подсолнечник же, например, при его культуре на мощных черноземах Кубани еще не предъявляет большого спроса на минеральные удобрения.

У нас были сделаны попытки такого более дифференцированного подсчета¹ потребности в минеральных удобрениях по отдельным техническим культурам с выделением некоторой части азота и под зерновые. Не останавливаясь на деталях этого подсчета, укажем лишь на то, что при сохранении общего принципа первоочередного обеспечения технических культур, минимальная потребность в минеральных азотистых удобрениях в этом случае оказывается близкой к величине в 1.3 млн. т азота. Если принять эту величину за исходную при построении перспективного азотного баланса СССР, то станет совершенно очевидным, что для поднятия урожаев на огромной части нашей территории должны быть в самой широкой мере использованы иные методы разрешения азотной проблемы, чем применение минеральных удобрений.

Об увеличении прихода «биологического» азота. Перспективный азотный баланс в земледелии СССР

Чтобы лучше выразить громадность посевной площади в Союзе ССР, достаточно сказать, что еще до изменений, происшедших в 1940 г., наша посевная площадь (140 млн. га) равнялась сумме посевных площадей всех остальных стран Европы, вместе взятых, включая и Турцию; с изменением же западной границы наша посевная площадь достигает 150 млн. га, пахотная площадь, включающая паровые поля, — 175 млн. га, а вместе с залежами — 205 млн. га.

Напомним, что общий вынос азота урожаями приближался у нас к 5 млн. т (по данным на 1937 г.), а при задании получать средние урожаи зерновых в 16 ц/га он должен возрасти примерно до 8 млн. т, что более чем в три раза превышает годовую продукцию мировой азотной промышленности.

Усно, что при таких размерах посевной площади и громадном выносе азота *нечего и думать решать азотный вопрос в целом с помощью химической промышленности*, — в основе он должен быть разрешен через культуру азотособирателей, раз земельный простор позволяет расширить площадь под ними в должной пропорции с культурой хлебов. Этот источник азота нужно считать даровым, так как все расходы по культуре клевера (и других трав) окупает животноводство.

Но для того чтобы полностью использовать биологический азот клевера и других кормовых бобовых, необходимо, наряду с решительным расширением площади под ними, обеспечить значительно более

¹ М. Л. Курашева (ВИУАА); см. также В. П. Кочетков. Химизация социалистического земледелия, № 7, 1937.

полное и рациональное использование навоза. Без этого условия невозможно удовлетворительно свести азотный баланс и добиться нужного темпа повышения урожайности. Ведь значительная часть азота, фиксированного бобовыми, находится в надземной их части, и этот азот, в конечном счете (поскольку речь идет о кормовых бобовых), попадает в навоз.

Поэтому только при условии бережного отношения к азоту навоза можно добиться коренного улучшения азотного баланса при одновременном расширении площади под азотособирающими растениями.

Недостаточность вывоза навоза у нас является главной причиной крайне неблагоприятного баланса прихода и расхода не только азота, но и других питательных для растения веществ. К сожалению, за последнее десятилетие вместо усиления имело место ослабление использования навоза. В начале первого пятилетия размеры ежегодного вывоза навоза определяли в 300 млн. т, во втором пятилетии эта цифра опустилась до 200 млн., а в 1940 г., по данным НКЗ СССР, было вывезено всего лишь 125 млн. т, т. е. менее одной тонны на гектар посевной площади.

Правда, за это время несколько увеличилась площадь под травами и соответственно возросло количество азота в корневых остатках клевера, но все же общий дефицит по азоту составлял почти 74% (см. таблицу).

Баланс 1940 г.			
Из взятого урожаями (100%) возвращалось	Азот в %	Фосфор в %	Калий в %
с навозом	14.8	16.1	19.1
с минеральными удобрениями . . .	3.2	15.6	4.8
с корнями бобовых	8.2	—	—
Всего	26.2	31.7	23.9
Дефицит	73.8	68.3	76.1

Опыт же Западной Европы показывает, что для обеспечения систематического роста урожая необходимо возвращать азот и калий приблизительно на 80%, а фосфор — на 100% (или даже на 110%).

Задача более полного использования навоза имеет важнейшее значение, причем, помимо осуществления ряда общеизвестных мер по рационализации хранения и применения навоза, в отдельных случаях приходится сталкиваться с необходимостью далеко идущей перестройки хозяйства вообще. Здесь, как и по отношению ко многим вопросам сельскохозяйственного производства, нельзя подходить к разрешению их по какому-то одному шаблону, а надо разрабатывать соответствующую систему мероприятий дифференцированно, с учетом конкретной обстановки.

Остановимся на одном примере — на хлопковом хозяйстве Узбекистана; на нем можно демонстрировать, насколько недостаточно используются внутривозрастные ресурсы азота, которые при 25% площади

под люцерной являются очень крупными, но на деле большая часть этого азота пропадает — это азот надземных частей люцерны, количественно преобладающий над азотом корневых остатков.

Дело в том, что там нет подстилки — хлеба были изгнаны с орошаемой площади. Вытесняя же хлеба, хлопчатник почти лишил себя навоза, так как без соломы нельзя правильно приготовить навоз, нельзя уловить жидкие выделения: они или стекают на сторону, или на месте подвергаются разложению, и большая часть азота люцерны уходит в воздух в виде аммиака; таким образом отсутствие в хозяйстве соломы сильно уменьшает роль люцерны как азотособирающей. Насколько велики эти потери, показывает следующий подсчет: люцерна в Средней Азии должна давать 4 укоса, что отвечает, по крайней мере, 100 ц сена, или — за 3 года — 300 ц; так как в сене люцерны содержится 2.3% азота, что в сумме дает 690 кг азота, а за люцерной следует хлопчатник, занимающий 6 полей в девятипольном севообороте, то на каждое поле хлопчатника в виде навоза должна попасть одна шестая часть всего азота люцерны, или 115 кг в год. Данные же по вывозке навоза показывают, что на каждый гектар хлопчатника в среднем попадает не 115, а только 15 кг азота.

Громадную потерю азота люцерны пытаются возмещать внесением 40—45 кг дорогого азота аммиачной селитры вместо того, чтобы применять ее на фоне хорошего навозного удобрения.

Ненормальность азотного баланса в хлопковом хозяйстве хорошо видна из следующего сопоставления: в то время как даже в наиболее индустриализованных странах Западной Европы из общего выноса азота урожаями (100%) с минеральными удобрениями возвращалось¹ 20—25%, а с навозом — свыше 40%, в Узбекистане мы имели обратное соотношение — только до 17.5% от выноса азота хлопчатником возвращалось с навозом,² а минеральными удобрениями покрывается 48% от выноса. Вот почему Узбекистан превосходит Францию, Германию и Бельгию по количеству применяемых минеральных удобрений на гектар и, конкурируя с Голландией за первое место в мире, имел урожай хлопчатника более низкий (16 ц/га), чем он должен был иметь при применении минеральных удобрений на фоне навоза (32 ц/га). Это расплата за отсутствие подстилки, за отсутствие правильно организованного навозного хозяйства.

Мною в 1942 г. было внесено предложение — ввести на орошаемые площади культуру хлебов, дающих солому, в такой пропорции, чтобы поднятие урожая на оставшейся площади с избытком компенсировало отведение части хлопковой площади под хлеба. А так как эти последние дают в Узбекистане два урожая в вегетационный период, когда

¹ По данным довоенного периода.

² Иногда же доля азота, возвращаемая с навозом, опускается до 5%, как это показано для Андижанской области проф. С. А. Кудриным.

хлопчатник дает только один, то получается крупный выигрыш в продукции как соломы, так и зерна.

Вопрос о более полном использовании навоза и других местных ресурсов для всего Советского Союза имеет огромную важность. Для того чтобы дать представление о возможной роли навоза в общем балансе питательных веществ, можно указать на то, что, по подсчетам академика Е. Ф. Лискуна, количество ежегодного вывоза навоза в СССР при доведении поголовья до размеров, отвечающих задаче полного обеспечения потребностей страны в продуктах животноводства (по расчету на душу населения), должно будет достичь грандиозной величины в 1 млрд. т. Если допустить, что на удобрение будет вывозиться 70% от этого количества (учитывая неполноту сбора навоза и частичное применение его на топливо), мы получим возможную перспективную величину применения навоза в 700 млн. т, что эквивалентно 3.5 млн. т азота. Это количество давало бы уже около 40% от общего выноса азота (8.2 млн. т) против 20%, как это имело место в 1937 г. Если же взять абсолютные цифры, то доведение ежегодной вывозки навоза до 700 млн. т означает увеличение по сравнению с 1937 г. примерно в три с половиной раза. А если учесть, что еще до войны фактические размеры применения навоза опускались у нас до 125 млн. т в год (как в 1940 г.) и еще более снизились, естественно, за время войны, то станет понятным, что означает для нас задание — довести ежегодное применение навоза до 700 млн. т.¹

Необходимо решительно покончить с недооценкой того огромного значения, которое принадлежит навозу как важнейшему, основному звену правильной системы применения удобрений.

Надо понять, что без радикального изменения степени навозообеспеченности наших полей нечего и думать о том, чтобы создать нормальное соотношение между приходной и расходной частью баланса азота и других питательных веществ в нашем земледелии, систематически повышать плодородие почв и поднять на должную высоту урожайность наших полей.

Но в то же время надо иметь в виду, что при всем огромном значении навоза он может только в том случае занять должное место в азотном балансе нашего земледелия, если мы резко увеличим приход азота с помощью расширения посевов клевера и других азотособирающих растений.

Нужно помнить, что сам по себе навоз не дает нового количества азота, он не содержит ничего, что не входило уже ранее в состав растений, и его применение было бы только частичной реутилизацией,

¹ О том, какое крупное облегчение в вывозке этих больших масс навоза может дать рациональное применение зеленого удобрения (в той новой форме, которая теперь предлагается) на более отдаленных полях и сосредоточение навоза в пределах ближних полей, занятых интенсивными культурами, будет сказано ниже (см. стр. 186).

подобно тому, как на заводах реутизируется вода холодильных установок, если бы в навоз не вливались новые количества азота через клевер. Но в то же время навоз является крупным источником потерь азота, особенно при неправильном хранении. И только при одновременном увеличении фиксации азота азотособирающими и улучшении обращения с навозом мы можем добиться ликвидации непомерной дефицитности нашего азотного баланса за счет биологического азота, т. е. азота, связанного клубеньковыми бактериями клевера и других бобовых. Примерно можно считать, что из всего количества азота, связанного клубеньковыми бактериями клевера, остается в почве половина (в корневых остатках), а другая половина переходит вместе с сеном, пройдя через организм животного, в навоз. Поэтому клевер участвует в азотном балансе двояким образом: во-первых, как непосредственный источник прихода азота в почву в виде корневых остатков и, во-вторых, через увеличение количества азота навоза за счет той части связанного азота, которая находится в надземной части клевера (также люцерны и других кормовых бобовых).

Таким образом в приходной графе баланса азот навоза, в свою очередь, составляется из двух частей — нового количества азота, связанного бобовыми, и азота, повторно возвращаемого в почву, который попал в навоз в составе подстилки и через другие корма, кроме клеверного и люцернового сена.¹ При построении перспективного азотного баланса следует поэтому иметь в виду *тесную сопряженность двух статей прихода — азота бобовых и азота навоза.*

Какова же должна быть площадь под бобовыми для того, чтобы удовлетворительно свести азотный баланс при установке на достижение средней урожайности в 16 ц/га и соответственном размере ежегодного выноса азота в 8—8.2 млн. т? Для разрешения этого вопроса необходимо учесть, сколько азота за год может накопить гектар, занятый клевером, люцерной, люпином и проч.

Конечно, количество азота, накапливаемое клевером, зависит от его развития. Но посмотрим, чего можно достигнуть при хорошем росте клевера (в предположении, что у нас клевер получит калий и фосфор).

Если мы возьмем клевер однолетнего пользования (двухлетнего возраста), то, по довольно давним данным Шульце² (Бреславль), он оставляет в корневых остатках 177 кг азота, по Вернеру и Вейске — 152 кг. Так как в надземных органах при хороших укосах клевера должно содержаться около 100 кг азота, то всего в урожае клевера может

¹ Здесь возможна и дальнейшая детализация. Так, например, при применении торфяной подстилки мы также через навоз вводим новые количества азота, затем путем применения навоза происходит перенос азота и других питательных веществ, взятых растениями с луговых угодий, на полевые земли. На этих деталях мы здесь подробнее останавливаться не будем.

² См. сопоставление прежних данных, например, в книге Ремера, Askersbaulehre (1933), стр. 152 и 202.

содержаться около 250—280 кг. Считая, что две трети этого азота взяты из воздуха, получим, что гектар хорошего клевера может усвоить около 160—180 кг. На этом основании мной при подсчете возможного азотного баланса в будущем и была принята цифра в 150—160 кг/га.

В литературе имеются и другие данные, согласно которым усвоение азота бобовыми происходило в меньших размерах, но характерно, что при тщательно проведенных десятилетних опытах Lyon и Bizzel в США эти авторы пришли к цифре фиксации азота красным клевером в 182 кг/га за год (см. ниже).

Поэтому я нахожу возможным при плановых предположениях принять накопление азота клевером в 150—160 кг в год на гектар, считая, что калий и фосфор для клевера будут обеспечены. При таких же условиях для люпина можно принять близкую цифру (160 кг), но значительно больше азота может накопить люцерна, дающая при орошении в условиях Средней Азии по 4 укоса в лето.

Еще Буссенго (1836—1838) установил, что люцерна может уносить ежегодно по 200 кг азота в надземных частях, не получая азотистых удобрений; у нас в Средней Азии наблюдался вынос в 227 кг (данные Иоффе за 4 года); в упомянутых опытах Lyon и Bizzel мы находим еще большую цифру — до 272 кг (десятилетнее среднее), но одновременно происходит еще обогащение почвы азотом. Размеры этого обогащения оцениваются разными авторами весьма различно. Так, по данным Аккавакской станции,¹ на глинистых почвах за три года люцерна накопила 1200 кг азота в 40-сантиметровом слое почвы, в среднем — по 400 кг в год. В совхозе Баяут констатируется накопление 527 кг за 3 года в одном только пахотном горизонте. По данным Ширабудиной станции, трехлетняя люцерна накопила в почве 943 кг, а пятилетняя — 1219 кг азота.² Но, с другой стороны, в американской литературе часто приводятся для корневого накопления азота более низкие цифры.³

Поэтому мы примем как вероятный размер корневого накопления для люцерны 100 кг в год и для надземных частей — 200 кг, всего 300 кг азота на гектар ежегодно.⁴

¹ См. брошюру Гельцер и Ласуковой. «Влияние культур на плодородие почвы», Ташкент, 1934; там же данные Иоффе и Жорикова.

² Однако очень трудно достигнуть точности при определении прироста азота, так как его приходится определять при малых навесках, по разности, на фоне больших количеств азота самой почвы, а затем помножать на бесконечно большую величину (отношение веса почвы на гектар к величине навески по Кьельдалю).

³ См. обзор в статье «Биологический азот в земледелии». Социалистическая реконструкция сельского хозяйства, 1935, октябрь, стр. 126, а также статью Мишустина и Бернарда. «Химизация социалистического земледелия», 1935, № 11—12.

⁴ Однако, как выше показано, для условий Средней Азии до сих пор приходится считаться с фактом потери большей части азота надземных органов лю-

Еще из кормовых трав у нас может быть принята во внимание смесь вики с овсом; но здесь размер накопления не может быть велик как по краткости пребывания вики на корню, так и потому, что она разжижена овсом.

Часто у нас приходится сеять вику с овсом из-за недостатка клеверных семян, но при наличии клеверных семян гораздо рациональнее иметь чистый клевер однолетнего пользования, чем вику с овсом.

Преимущество клевера по сравнению с овсяно-виковой смесью, во-первых, обуславливается тем, что он, будучи посеян в предшествующем году, начинает вегетацию гораздо раньше и с первыми лучами весеннего солнца сразу приступает к ассимиляции углерода, начинает питать углеводами как самого себя, так и клубеньковые бактерии, фиксирующие азот. Между тем, для вики с овсом нужно время, чтобы обсохла почва до степени, необходимой для движения орудий, а затем когда-то еще появятся всходы и начнется перевес ассимиляции над дыханием у молодых растений. Во-вторых, если вика и является азотособирателем, то овес является азотопотребителем, в связи с чем результат, с точки зрения обогащения почвы азотом, весьма сомнителен, так как имеются наблюдения, из которых следует, что весь азот, который вика возьмет из воздуха, оказывается в надземных частях овсяно-виковой смеси и пойдет в навоз, который попадет под другие растения, а для озими, прямо следующей за вико-овсяной смесью, в почве может даже оказаться обеднение азотом в том случае, если овес возьмет из почвы азота больше, чем его успеет отложить в своих корневых остатках вика.

Отсюда возможность случая, что весь прирост азота от вики окажется в надземных органах, а не в почве; поэтому чистый посев клевера, даже однолетнего пользования, является гораздо лучшим предшественником озими, чем вика с овсом. Такой случай, когда комбинация однолетних бобовых со злаками при улучшении общего азотного баланса в хозяйстве уменьшала запас азота в почве, приведен в упомянутой работе Lyon и Bizzel.

Так как их результаты интересны в различных отношениях, то полезно на них остановиться.¹

Постановка опыта была такова: в течение 10 лет различные бобовые культивировались в чередовании с зерновыми хлебами, по типу двухпольного севооборота, причем все урожаи подвергались анализу; также было определено содержание азота в почве до опыта и после него; средние цифры сопоставлены в следующей таблице (килограммов азота в год на гектар):

церны и только азот корневых остатков считать застрахованным от потерь; но в дальнейшем, с введением культуры хлебов в хлопковые севообороты, условия приготовления и хранения навоза должны улучшиться.

¹ Journal of the American Society of Agronomy, 1934, № 8.

	Прибыль или потеря азота в почве	Азот в на- земных орга- нах	Общая при- быль азота
Клевер красный	66.5	116.0	182.5
» шведский	74.4	95.6	170.0
Люцерна	75.9	224.3	300.2
Донник	52.5	151.2	203.7
Вика с пшеницей	12.1	69.1	81.2
Смесь красного и шведского клевера	72.2	131.5	203.7
Донник и вика	51.2	143.8	195.0
Соя	-5.2	132.7	127.5
Горох с овсом	-4.0	61.5	57.5
Фасоль	-12.5	83.7	71.2
Люцерна при непрерывной культуре	63.1	271.9	335.0

Здесь интересно отметить, что при чередовании однолетних бобовых с зерновыми в итоге почва данного участка может терять часть азота, а весь избыток азота, происходящий от усвоения азота воздуха, оказывается в надземных частях растения (вместе с азотом, взятым из почвы).

Но если это снижает значение вики как предшественника озими, то в общем балансе, конечно, должен быть учтен и азот надземных частей вики. Можно принять, что вика, высеваемая в смеси с овсом, дает прибавку от 50 до 80 кг азота, заимствованного из воздуха.

Вероятно, того же порядка прибавку можно принять как минимальную для зерновых бобовых, площадь под которыми у нас должна быть значительно расширена, так как они имеют двоякое преимущество перед другими яровыми — не требуя азотистых удобрений, они содержат в зернах вдвое больше белка, чем злаковые хлеба, а также их солома гораздо богаче белками, чем солома злаковых; поэтому они могут служить важным источником для пополнения того общего недостатка белков в пищевом и кормовом балансе, который у нас имеет место (особенно в краях, пострадавших от немецкой оккупации). Богатое видами семейство бобовых позволяет выбрать подходящую к климатическим и почвенным условиям форму. Так, на юге возможна культура фасоли, сои и арахиса, на севере играют большую роль горох и чечевица, в лесостепной полосе к ним присоединяются конские бобы, а в засушливой юго-восточной зоне нут и чина стоят на первом месте.¹

¹ Кроме ярового клина, некоторые бобовые могут помещаться в занятом пару. Сюда относятся, с одной стороны, чечевица, которая в черноземной полосе созревает до посева озими, а с другой стороны, и позднеспелые растения, как бобы, при условии посева озими в промотыженные междурядья (45—50 см) до уборки бобов. Там, где бобы уже не могут культивироваться из-за сухости климата, заслуживает испытания «сладкий» люпин (на зерно) и нут (высокорослые разновидности). В отличие от других культур эти растения частично компенсируют обеднение парового поля азотом, а также и влагой, если при уборке оставляется достаточно высокое жнивье, чтобы обеспечить снегозадержание.

Отметим, что в десятилетних опытах Ляйона для накопления азота клевером получились величины, подобные тем, какие мы положили в основу наших приблизительных расчетов относительно накопления азота этим растением. А если мы примем, что гектар хорошего клевера, удобренного калием и фосфором, может дать 150—160 кг азота в год, считая как азот клеверного сена, так и азот корневых остатков, то отсюда следует, что 200 тысяч га клевера могут при правильной культуре связать 30 тыс. т азота за год, т. е. заменить собой довольно мощный азотный комбинат. Сказанное относительно клевера приложимо и к люпину, но люцерна при четырех укосах в лето может дать вдвое больше, чем клевер. Но, конечно, для того чтобы «биологический азот» приобрел должное значение в азотном балансе, необходимо повсеместное введение и освоение правильных севооборотов. Мы видели, как в Западной Европе переход к плодосменному севообороту с 25% клевера привел к удвоению урожаев хлебов и еще большему повышению общей продукции полеводства. Правда, там главная роль принадлежала четырехпольному севообороту (норфолькскому), у нас же преобладают восьмипольные севообороты, но при обычном у нас двухлетнем пользовании клевером он занимает также 25% площади. Конечно, чтобы дать больше места клеверу, нужно вводить его в севооборот не только за счет сокращения паровой площади (например, до 12.5%), но и за счет некоторого расширения посевной площади в нечерноземной полосе (см. сказанное на стр. 149). Если общая посевная площадь достигла бы 160 млн. га, то при восьмипольном севообороте ¹ площадь под бобовыми могла бы равняться 40 млн. га, что в случае клевера отвечало бы накоплению 6.4 млн. т азота, т. е. биологическим путем было бы покрыто три четверти будущей общей потребности в азоте. Но так как на Юго-Востоке придется пока думать только о введении однолетних бобовых зернового типа, а не клевера и люцерны, то мы поставим за-

¹ Восьмипольные севообороты с двумя годами клевера, с двумя полями как озимых, так и яровых хлебов, и с одним или двумя полями пропашных, генетически связаны с классическим плодосменным севооборотом, а именно, норфолькским четырехпольем (пропашное, яровое, клевер, озимое). Следующим звеном послужило датское восьмиполье, в котором ради экономии семян клевера было введено двухлетнее пользование им. Тогда получилась такая последовательность: пропашное, яровое, клевер, клевер, озимь, пропашное, озимь, ярь. У нас благодаря климатическим условиям приходится вместо одного из пропашных иметь паровое поле, при сохранении в остальном основных правил плодосмена. Если порядок полей изменяется отчасти в зависимости от того, подсеивается ли клевер под озимое или под яровое, то все же процент площади под клевером в основных севооборотах не превосходит обычно 25, что характерно для севооборотов плодосменного типа, и только когда в хозяйстве встречается второй (добавочный) севооборот специально для снабжения кормами скотного двора, он может иметь 60% и более под травами, т. е. принимать характер травопольного севооборота. Но для основных севооборотов чаще всего характерен плодосменный тип, кроме засушливого Юго-Востока, где преобладают севообороты паропропашного типа (без многолетних трав).

дание более ограниченного размера — накопление бобовыми половины всего будущего выноса азота культурами, или 4.1 млн. т азота, что возможно при отведении под клевер и люцерну 27 млн. га.

Из общего количества азота, связанного бобовыми (4.1 млн. т), половина (2.05 млн. т) будет оставаться непосредственно в почве — в корневых остатках, а половина будет поступать в почву через навоз.

В итоге мы можем наметить в общих чертах следующую схему перспективного построения азотного баланса в земледелии Советского Союза, рассчитанного на первоочередное обеспечение техническим азотом наиболее ценных культур, поднятие урожаев на всей посевной площади до среднего уровня 16 ц на гектар зерновых (и соответственного повышения урожайности других культур).

Перспективный проект азотного баланса в земледелии СССР

Статьи баланса	В тыс. т	В %	Итого	
			в тыс. т	в %
I. Вынос азота с площади 160 млн. га при урожае 16 ц/га зерновых и при соответственном уровне урожаев других культур	8200	100.0	8200	100.0
II. Возврат:				
1) азот минеральных удобрений . . .	1300	15.9	1300	15.9
2) азот, связанный бобовыми (на площади 27 млн. га)	4100	50.0	—	—
В том числе:				
а) в корневых остатках	2050	25.0	2050	25.00
б) азот надземных частей, поступающий в почву с навозом	2050	25.0	—	—
3) азот навоза (700 млн. т)	3500	42.7	3500	42.7
В том числе:				
а) азот надземной части бобовых	2050	25.0	—	—
б) азот, взятый из почвы растениями и обратно возвращаемый с навозом (реутилизация)	1450	17.7	—	—
Итого	—	—	6850	83.6
III. Дефицит, покрываемый деятельностью свободно живущих азотособирателей	—	—	1350	16.4

Это сопоставление главных статей перспективного баланса азота показывает, по нашему мнению, каким путем, по каким основным направлениям мы должны идти для разрешения проблемы снабжения азотом нашего земледелия, добиваясь коренного изменения в отношении ликвидации чрезмерной дефицитности нашего баланса азота и обеспечения дальнейшего роста урожаев и повышения плодородия почв. Это основное направление, с нашей точки зрения, должно заключаться в ставке, главным образом, на азот биологический, азот клевера и

люцерны в первую очередь. Именно в этом пути мы видим ключ к разрешению азотной проблемы для нашей главной культуры — зерновых хлебов. Вместе с тем и в тесной связи с этой основной ставкой на биологический азот выступает на первый план громадное значение навоза, применение которого должно обеспечить вовлечение в хозяйственный круговорот около половины всего количества азота, связанного клевером и люцерной.

Для более четкой характеристики пути, который мы должны пройти при разрешении поставленной задачи, сравним соответственные рубрики фактического состояния нашего довоенного азотного баланса, по данным на 1937 г., и намеченного нами перспективного плана (см. таблицу).

В миллионах тонн азота

Баланс	Вынос	Возврат				Дефицит
		минер. удобрения	клевер		навоз	
			4	5 ¹		
1	2	3	4	5 ¹	6	7
1937 г.	4.90	0.20	0.20	0.20	0.90	3.40
Перспективный план	8.20	1.30	2.05	2.05	1.45	1.35
Разность	+3.30	+1.10	+1.85	+1.85	+0.55	-2.05

Таким образом, по намеченному плану, увеличение выноса азота на 3.3 млн. т лишь на одну треть покрывается соответственным увеличением размеров потребления технического азота; остальные же две трети дополнительного выноса должны быть покрыты за счет увеличения других источников прихода азота, главным образом азота «биологического» и азота навоза. Эти же источники должны, кроме того, дать еще около 2 млн. т азота для снижения исходной дефицитности азотного баланса.

Что касается увеличения той части азота навоза, которая приходится на азот, взятый растениями из почвы и обратно возвращаемый с навозом (графа 6-я), то этот прирост должен получиться за счет увеличения подстилки и кормов вследствие повышения урожайности зерновых и небобовых кормовых культур, а также за счет сокращения потерь азота при хранении навоза и более полного и рационального его использования.

¹ Графа 5-я, общая для клевера и навоза, включает азот надземной части клевера и других бобовых, поступающий в почву с навозом; в 4-й графе показан азот корневых остатков клевера (и люцерны). Графа 6-я включает ту долю азота навоза, которая представляет реутилизацию (азот, взятый из почвы растениями и обратно возвращаемый в почву с навозом).

В приведенном здесь плане азотного баланса, как мы уже сказали, указаны лишь главные статьи прихода и не учтены еще некоторые другие дополнительные источники, которые также должны быть использованы. Если они и не играли до сих пор решающей роли в общем разрешении азотной проблемы, то в дальнейшем эти дополнительные источники заслуживают серьезного внимания. Особенно это следует иметь в виду для самого ближайшего времени, когда по ряду причин, вызванных войной, произошло резкое снижение основных источников прихода «биологического азота» вследствие уменьшения поголовья скота (особенно в районах, бывших в немецкой оккупации) и связанного с этим уменьшения количества навоза, гибель клеверных посевов и недостаток семян клевера, что вызвало в ряде случаев сокращение площади под клеверами, и т. д. При этом надо иметь в виду, что полный эффект от тех мероприятий, которые будут предприняты для коренного улучшения азотного баланса с помощью расширения посевов клевера, — даже когда оно будет осуществлено, — получится не сразу.

Дело в том, что при нашем способе многолетнего пользования клевером между годом его посева и уборкой той культуры, под которую он должен улучшить почву, ложится промежуток в 4—5 лет. Правда, действие обогащенного азотом навоза, получаемого от клевера, может сказаться раньше, но все же только на третий год от посева. Кроме того, только постепенно проходя по всем полям севооборота, клевер будет оказывать общее влияние на подъем урожая.

Поэтому, например, расширение клеверных посевов, произведенное в 1946 г., даст прирост урожая культур, идущих по клеверищу, только в 1949—1950 гг. Для обеспечения роста площадей под клевером необходимо прежде всего быстрое и энергичное проведение мероприятий по развитию производства семян в совхозах и колхозах определенных районов, так как именно недостаток семян клевера, а не площади, ограничивает в настоящее время развитие нашего клеверосеяния.

Понятно, что и повышение размеров накопления и применения навоза, даже при всем внимании к этому делу, будет идти лишь постепенно, параллельно с восстановлением и развитием животноводства и расширением кормовой базы, т. е. главным образом тех же посевов клевера.

В связи со сказанным для нас в настоящее время приобретают особо важное значение все те дополнительные ресурсы и возможности, какие только можно мобилизовать для пополнения приходной части азотного баланса. Остановимся кратко на рассмотрении некоторых из них.

Новые возможности в области применения зеленого удобрения

Помимо культуры кормовых трав (клевер и люцерна, главным образом), способность бобовых фиксировать азот из воздуха должна быть использована еще путем высева их на зеленое удобрение, и в этом отношении главная роль принадлежит люпину, который при хорошем раз-

витии может накопить ко времени запахивания под озимые около 160 кг азота на гектар, т. е. не меньше, чем содержится в 30—35 т навоза. Принимали, что в одной только Европейской части СССР (нечерноземная полоса) возможно ежегодно применять зеленое удобрение на площади 2,5 млн. га; затем широкое поле для применения зеленого удобрения имеется в Сибири, где пар предшествует яровой пшенице и, следовательно, можно позднее запахивать зеленую массу, чем это делается под озимь; также и в субтропиках культура бобовых на зеленое удобрение приобретает большое значение.

Посев бобовых на зеленое удобрение дает более быстрый эффект, чем посев клевера и люцерны.¹ На эти мероприятия необходимо теперь обратить особенно большое внимание при восстановлении сельского хозяйства в пострадавших от войны областях для поднятия плодородия полей при недостатке навоза.

Применение зеленого удобрения раньше ограничивалось преимущественно песчаными почвами, теперь же оно *должно бы найти широчайшее распространение*, так как этим путем можно заменять недостающий навоз *на всех почвах* (даже в черноземной полосе, если применять его с осени под яровые). Но здесь мы сталкиваемся с таким препятствием, как *недостаток семян*.

При борьбе с этим злом приобретает большое значение выбор растения — предпочтительными являются бобовые с *мелкими семенами*, тогда требуется меньше семян на гектар и расширяется возможность вставочной культуры азотосборителя без занятия особого поля весной (подсевом под хлеба).

К сожалению, до сих пор главную роль играл у нас узколиственный люпин, имеющий крупные семена. Это заставляет доводить норму высева до 160—200 кг/га, причем это количество затрачивается на получение только одного укоса зеленой массы, так что каждый год этот расход должен повторяться. Кроме того, к северу от Москвы, где семена этого люпина не вызревают, возникает надобность также в дополнительных расходах и организационных мероприятиях по транспорту семян.

Поэтому следует, не отменяя заботы о размножении семян однолетнего люпина, использовать также и мелкосеменной многолетний люпин, у которого отношение между количеством семян и получаемой за их счет зеленой массы раз в 35 или 45 выгоднее, чем у однолетнего люпина, так как для высева на гектар требуется в этом случае раз в шесть меньше семян (30 кг/га), а сроки пользования укосами раз в 6—8 (а иногда и в 10 раз) больше. А если к этому прибавить, что многолетний люпин может давать в одно лето от двух укосов (под Ленинградом) до трех (Чернигов), то указанное выше отношение может оказаться для многолетнего люпина раз в 100 выгоднее, чем в случае люпина однолетнего.

¹ См. сказанное на стр. 182.

Конечно, первый год жизни у многолетнего люпина, как и у клевера, еще не является годом пользования; посеянный весной, он развивает только прикорневую розетку, цветение же, очень раннее, наступает лишь на второе лето, но, несмотря на это, вопрос о снабжении своими семенами всего скорее и легче может быть разрешен именно при многолетнем люпине, тем более, что и коэффициент размножения у него гораздо выше, чем у однолетнего. По данным Волоколамского опытного поля, при широкорядном посеве с мотыжением можно высевать 4 кг семян и получать урожай от 4 до 9 ц на гектар, т. е. коэффициент размножения может достигать величины сам-100 (и даже сам-200). Кроме того, первый год жизни может быть сильно сокращен в его первой (вегетационной) части, потому что возможно, даже под Ленинградом, кроме весеннего, применять еще июльский посев этого люпина, а так как его семена могут быть убраны раньше уборки озимых, то, например, на юге Белоруссии вполне возможен посев семенами, собранными в этом же году. Тогда не пропадет ни одного лета на подготовку травостоя люпина к следующему году и будет ускорено расширение площади под люпином. Далее, у этого люпина возможно даже совмещение сбора семян и использования главной массы на укос в целях удобрения; именно, на той части поля, которая оставлена для получения семян, можно срезать серпами высоко выдающиеся над листьями цветочные стебли (в июле — на севере, в июне — на юге), а главную массу после этого скашивать и свозить на удобряемое поле.

Так как многолетний люпин дает зрелые семена вплоть до Архангельска, то везде возможно получение посевного материала на месте.

Кроме роли поставщика зеленой массы и семян, многолетний люпин может играть роль мощного мелиоратора бедных почв Севера: не только 7—8 лет люпиновой залежи, но даже 3 года существенно поднимают плодородие участка. Так, на Судогодском опытном поле после двух лет пользования люпином для скашивания на удобрение было получено 222 ц картофеля на поле, раньше заброшенном из-за малой урожайности. В этом случае никаких удобрений не применялось; если же применять фосфоритную муку и калийную соль, то с помощью многолетнего люпина могут быть освоены не только большие площади сильно оподзоленных почв (вересковых пустошей), но и бедные пески, которыми мы так богаты, начиная от «песчаного моря», занимающего обширные пространства на Севере (Шенкурский район), и кончая знаменитыми аleshкинскими песками на Юге. За счет закрепления последних с помощью люпина можно создать около 200 000 га виноградников и поддерживать их плодородие с помощью междурядной культуры того же люпина, подобно тому, как за границей занимаются «подгонкой сосны» с помощью люпина на бедных песках.

Пока у нас мало семян многолетнего люпина, главным видом его использования приходится считать культуру вне севооборота, на запольных участках, которые должны явиться как источником семян, так

и доставлять зеленую массу для укосного удобрения смежных полей. Но когда семян будет больше, тогда можно будет перейти к культуре в севообороте, для однократного пользования — запахивания цветущего люпина в паровом поле для удобрения озимой ржи, причем подсев люпина должен производиться предыдущей весной под овес, предшествующий пару. Этот прием с успехом испытан на Судогодском опытном поле (Ивановская область). На Северо-Востоке, судя по данным Соликамской опытной станции, он не всегда удается, но к западу от меридиана Москвы он дает очень хорошие результаты, а именно: в трехлетних опытах, проведенных агрономом Кондратовым в Смоленской области, урожай ржи по многолетнему люпину был выше, чем по 18 т навоза, и приближался к урожаю по 36 т. Кроме того, последствие на следующем за рожью картофеле было весьма значительно.

Вот средние данные за 3 года (1936, 1937 и 1939):

	Озимая рожь (в ц/га)	Картофель (последствие) (в ц/га)
Контроль	8.4	87.4
Многолетний люпин	15.0	176.8
Навоз (36 т)	15.9	168.3
Навоз (18 т)	12.3	151.6

Еще более благоприятные результаты были получены на Уральской зональной станции (Молотовская область), где действие люпина было значительным даже на третьей культуре (в центнерах на га):

	1) Рожь	2) Лен по ржи солома семена	3) Ячмень после льна
Контроль	7.0	11.0 2.5	6.0
Люпин запахан в цвет	19.1	21.2 5.3	12.1
Запаханы только пожнивные остатки люпина	16.6	19.9 4.7	10.9

В настоящее время очередной задачей является форсированное размножение семян многолетнего люпина. Для этого мной было предложено семена, собранные на малых площадях в июле и августе 1944 г. на севере (Ивановская, Московская, Смоленская, Калининская области), высеять в августе или сентябре на Кубани; предполагалось, что они дадут новый урожай семян (сам-100 или выше, при высеве 4.5 кг широко-рядным посевом) в начале лета 1945 г., а к осени на юге ожидалось второе цветение и плодоношение. Тогда уже к 1946 г. можно было бы увеличить запас семян, привезенных с севера, в 10 000 раз (или — к 1947 г. в миллион раз),¹ чтобы снабдить семенами прежде всего обла-

¹ План этот на деле оказался несколько нарушенным вследствие того, что крайне сухая погода на юге осенью 1944 г. не позволила появиться всходам посеянного люпина, они в значительной части взошли лишь весной 1945 г. Поэтому раннего сбора семян в этом году получено не было. Кроме дальнейших мер в этом направлении, понятно, надо всячески развивать производство семян многолетнего люпина на месте в северных районах. Примером успешного разрешения этой задачи может служить опыт Семеновского района Горьковской области.

сти, лишившиеся скота во время войны, а затем стремиться и в других районах заменить при удобрении паров навоз люпином, а навоз применять под картофель и другие культуры.

Необходимо отметить, что введение посевов люпина на паровых полях всей нечерноземной полосы поможет разрешению еще одного очень важного вопроса — оно даст крупное облегчение такой трудоемкой работы, как вывозка навоза. Дело в том, что, если на более отдаленных от усадьбы полях люпин (в соединении с фосфатами и калийными солями) сполна заменит навоз, то последний будет вывозиться только на ближние поля (особенно под овощные культуры, но также и под хлеба), и если окажется, что среднее расстояние для возки навоза сократится только в два раза, то можно себе представить, какую это даст экономию в расходе на горючее при этой трудоемкой работе. Конечно, люпиновый пар годится преимущественно в районах достаточного увлажнения,¹ но запахивание скошенной массы люпина, выращенной на запольном участке, уже не будет оказывать того иссушающего влияния, какое может получиться при выращивании люпина на месте.

В будущем обильным источником семян многолетнего люпина могут стать лесные хозяйства, занимающиеся посадками сосны на песчаных почвах. Опыт Запада достаточно ясно показал, что посев люпина в междурядьях, на 5—6 лет, без всякого дальнейшего ухода служит хорошим средством подгонки сосны (тогда 20-летняя сосна достигает того же роста, как без люпина 30-летняя), а ежегодный сбор семян с междурядий на молодых посадках является добавочной статьей дохода для лесной дачи и важным источником для снабжения этими семенами сельского хозяйства.

Кроме многолетнего люпина, имеются, конечно, и другие мелкосемянные азотособиратели, в том числе и однолетние, но ни один из них не может иметь столь широкого распространения в северной половине нашей равнины. Такова, например, сераделла, количество семян которой при рядовом севе также может опускаться до 30 кг (при разбросном требуется 45—50); она может подсеиваться и под хлеба и осенью давать хороший укос зеленой массы, пригодной как на корм, так и на удобрение. Но это хорошо удается на Черниговщине и в Белоруссии, а уже под Москвой осень слишком коротка для пожнивного использования подсеивной сераделлы. Во всяком случае, сераделла заслуживает полного внимания в очень обширной полосе и имеет большое преимущество в скорости развития, так как при подсеиве под хлеба она той же осенью дает укос (а отава может быть запахана на удобрение), тогда как клевер и многолетний люпин дадут укос лишь в следующем году.

По подсчетам Е. К. Алексеева, только в Полесье и Южной Белоруссии имеется около 1,5 млн. га, на которых уместен посев сераделлы (включая и подсев под хлеба). Но еще большие площади возможной

¹ По данным Судогодского опытного поля после запахки многолетнего люпина в пару необходима последующая двойка (для избежания засорения озими).

культуры сераделлы в той или иной форме лежат между Белоруссией и югом Горьковской области, однако подсчитывать их сейчас бесполезно, ввиду громадного расхождения между потребностью и возможностью обеспечения семенами. Важно их размножить, но тут-то и выступает контраст между однолетними растениями, у которых культура на зеленое удобрение стоит в противоречии с культурой на семена, и многолетним люпином, у которого можно собрать семена и все-таки иметь укос зеленой массы на удобрение.

Кроме того, из числа мелкосемянных однолетних бобовых, пригодных для подсева под хлеба, могут быть интересны: хмелевидная люцерна, часто применяемая в Германии, пикариатный клевер, культура которого встречается во Франции и Швейцарии, и однолетняя разновидность донника, выведенная в США. Но у нас эти растения менее испытаны, чем люпин и сераделла, однако следовало бы иметь больше семенного материала для их широкого испытания, чем это было возможно до сих пор.

Если мы подчеркиваем большое значение многолетнего люпина и сераделлы, то это не значит, что однолетний люпин не требует внимания — он сохраняет значение, имея некоторые положительные стороны, которых нет у многолетнего люпина. Так, однолетний люпин может высеваться пожнивно, после уборки ржи в Южной Белоруссии и на Черниговщине, затем он представляет интерес как зерновое бобовое, особенно «сладкий» люпин, дающий ценный концентрированный корм; в то же время корневые остатки люпина, убранного на зерно, обеспечивают хороший урожай следующего за ним картофеля.

Необходимо отметить, что для нашей обширной страны совершенно недостаточно иметь только один западный очаг получения семян люпина и сераделлы — необходимо создать новые очаги в Центре и на Востоке. Прежде всего нам кажется подходящим для этой цели громадный район песчаных почв, идущий к югу от Муромы по правому берегу Оки и Цны до Моршанска и Тамбова. Здесь можно найти условия для вызревания не только синего (узколистного), но и желтого люпина, и отсюда можно снабжать семенами и север, где свои семена не вызревают, и крайний юг, где нужны семена для зимних посевов на удобрение, но где не стоит ценные земли тратить на культуру семян. Затем можно думать, что много семян люпина легко будет иметь, когда в их массовом производстве будут заинтересованы сами хозяйства. Примером такой заинтересованности может служить хозяйство на песчаных почвах, если оно основывается на «трех китах» — люпин, картофель и свинья.

Мне пришлось видеть за границей в 1927 г. хозяйства на песках, в которых велся массовый откорм свиней исключительно на картофеле и люпине, но в те годы приходилось семена люпина запаривать и промывать для удаления горечи, теперь же, когда имеется «сладкий» люпин, являющийся ценным источником белков для кормления поросят, эта тягостная операция стала ненужной. В то же время эти два назван-

ных растения (люпин и после него картофель) образуют весьма удачную пару в севообороте, так как люпин, убранный на зерно, оставляет не меньше азота в почве, чем люпин, запаханный в цвет (это обнаружили еще прежние опыты Кудрина), а если хозяйство использует и солому люпина, то сумма азота, остающегося в пользу хозяйства помимо зерна, будет больше, чем при запахивании цветущего люпина. Кстати, опыт Судогодского опытного поля показал, что измельченная солома сладкого люпина, обваренная кипятком, хорошо поедается животными. Так как под Тамбовом и Воронежем можно после раннего картофеля сеять рожь, то на приречных гумозных песках мыслимо, например, такое интенсивное четырехполье: люпин на зерно, картофель, рожь с подсевом сераделлы (пожнивный укос), яровое. Но частные случаи могут быть многообразны, важно, чтобы зерно люпинов не было каким-то раритетом, идущим только на сторону, чтобы его производство имело местное хозяйственное значение, тогда всегда можно будет стимулировать и поставку люпина на семена, зачитывая в известном отношении их сдачу вместо зерна ржи. Этого вне Белоруссии, к сожалению, до сих пор не делалось, и потому, например, Судогодская станция не могла продвинуть в местное хозяйство культуру обыкновенного люпина на семена в Ивановской области, только «сладкий» люпин заинтересовал колхозников.

Остановимся еще на совершенно новых возможностях применения зеленого удобрения в Средней Азии, где резко изменились условия во время войны, а именно: с одной стороны, хлопковое хозяйство лишилось азотистых удобрений, игравших главную роль в поднятии урожая хлопчатника, и урожай сильно понизился, вернувшись к уровню 1930 г. С другой же стороны, в 1943 г. открылись небывалые возможности для широкого применения зеленого удобрения благодаря существенной перестройке севооборотов. До этого хозяйство было пересыщено хлопчатником, посев хлебов на орошаемой площади не допускался совершенно; поэтому хозяйства были лишены соломы, а без соломы нечем было поглощать жидкие выделения скота, в которые переходит весь азот переваримой части люцернового сена. Поэтому навоза было мало, и он был беден азотом. Отсюда громадная потребность в минеральном азоте в прошлом и недостаток в нем для хлопководства во время войны.

Кроме того, при господствовавшем на орошаемых землях севообороте не было возможности использовать посев озимых азотособирателей. Система посева хлопка по хлопку в течение шести лет подряд не оставляла возможности осуществить этот прием, так как хлопчатник занимает поле до декабря, когда высевать озимый горох слишком поздно, а попытки подсева гороха в междурядья до уборки хлопчатника не были успешны. Но вот с 1943 г. в Узбекистане из 900 000 га орошаемых земель, раньше занятых целиком хлопчатником, было отведено под посевы хлебов и сахарной свеклы 300 000 га, чем открыта

широчайшая возможность культуры озимых азотособирателей, так как не только хлеба, но и сахарная свекла оставляет поле гораздо раньше хлопчатника.¹

Но наиболее обширное поле для посева озимых азотособирателей открывается на площади, освобождаемой хлебами, причем в случае озимых можно даже думать об осуществлении «трехъярусного посева» и озимую культуру бобовых проводить, как третий посев в году. Дело в том, что уборка озимого ячменя наступает под Самаркандом 1 июня, а в Таджикистане и Туркмении — в половине мая, после этого можно снять урожай еще одной продовольственной культуры (картофель, скороспелые сорта джугары и пр.) и все-таки успеть в сентябре или октябре, смотря по широте места, высеять озимый горох. Можно также к озимому хлебу подсеять персидский клевер, взять его летний укос на зеленый корм или сено (что даст лишнее количество молока, которое так необходимо городам Средней Азии), а второй укос пустить в зиму, для заправки на зеленое удобрение весной под хлопчатник. Наконец, имеются данные (Гельцер), что известные сорта гороха, при условии полива после уборки зерна, отрастают и дают вновь зеленую массу; тогда возможен ранне-июньский посев гороха на зерно и оставление отавы для заправки на удобрение под хлопчатник в октябре — ноябре или весной.

Что касается размеров действия зеленого удобрения в условиях Средней Азии, то приведем пример из опыта академика Е. К. Алексеева под Самаркандом в 1942 г. Он получил удвоение урожая свеклы (384 ц против 182 на контроле) под влиянием гороха, запаханного на удобрение. В Казахстане получены приросты урожая свеклы в 140—160 ц под влиянием пожнивного зеленого удобрения (Зубрилин).² Подобным же образом должен отзываться на зеленое удобрение и хлопчатник. Вопрос об особом значении широкого применения озимых посевов азотособирателей для Средней Азии в военное время поднят был мною весной 1943 г. с тем, чтобы было время для выписки семян из США. Эти семена не удалось получить к осени 1943 г., но в 1944 г. поступила партия в 4 тыс. т озимого гороха и других азотособирателей, которые пущены в размножение. Если путем размножения довести запасы этих семян до 30—45 тыс. т, то это количество будет достаточным для занятия азотособирателями площади в 200—300 тыс. га, что было бы крупным фактором повышения сбора хлопка в Узбекистане.

Если мое предложение, сделанное в 1943 г., — о посевах озимых азотособирателей после уборки хлебов и свеклы, при всей важности этой

¹ Частичная уборка свеклы должна начинаться с 15 августа, так как к этому времени содержание сахара в свекле мартовского посева достигает 17%, и гораздо выгоднее пустить заводы в ход раньше, чем потом перерабатывать в марте 10—12%-ную свеклу (на Юге свекла хранится хуже, чем на Украине).

² Мы не упоминаем здесь о прежних опытах, при которых растения на зеленое удобрение высевались весной вместо хлопчатника; теперь же интересна только пожнивная или подсевная культура азотособирателей.

меры, касалось лишь одного поля из шести полей хлопчатника, имеющих в обычных севооборотах, то в 1944 г. я поставил новый вопрос, а именно: нельзя ли не ограничиваться однократным применением этого приема, но найти способ повторять его чаще. В связи с этим возникает вопрос о возможности даже 100%-ного насыщения хлопковой площади азотособирателями без сокращения посевов самого хлопчатника.

Поводом к такой постановке вопроса послужили некоторые данные о культуре хлопчатника в Египте. Опыт Египта, конечно, не может быть прямо распространен на весь хлопковый пояс, но из его рассмотрения могут возникнуть некоторые вопросы, заслуживающие внимания наших опытников.

Основной вопрос, меня заинтересовавший, состоит в следующем: в некоторых частях Египта, особенно в дельте Нила, имеет место повторный посев хлопчатника на той же самой площади, и, тем не менее, это нельзя назвать монокультурой, потому что посеvy хлопчатника отделены один от другого посевом александрийского клевера, дающего несколько укосов в течение «зимнего периода», причем последний укос не используется на сено, но запахивается в качестве зеленого удобрения. Этим клевером в Египте занято около 520 тыс. га, а под хлопчатником имеется 770 000 га, т. е. почти весь хлопчатник высевается по клеверу. Частично при такой же двухсменности там возделывается и другая пара: кукуруза и пшеница, но для нас важно установить, что хлопчатник, как правило, высевается по запаханному клеверу, и это является для него главным источником азота.

Может ли что-либо подобное иметь место у нас? Нельзя ли иметь хотя бы один укос бобовых между каждыми двумя посевами хлопчатника? До сих пор казалось, что нельзя, так как опыты с подсевом озимого гороха под хлопчатник не дали удовлетворительных результатов. Однако не следует складывать руки и считать вопрос исчерпанным, необходимо испытать разные азотособиратели, различные способы и время посева. Что сдвиг в этом отношении возможен, видно из статей В. Г. Петрова¹ относительно подсева озимой пшеницы к хлопчатнику, что раньше также не приводило к хорошим результатам, но теперь, судя по сообщенным в названных статьях данным, вопрос этот все же удастся разрешить, если взять подходящий сорт (одна из форм *Graecum*) и изменить время посева — сеять пшеницу по междурядьям хлопчатника довольно рано — в августе.

Это дает повод предположить, что из богатого видами семейства бобовых тоже можно найти однолетние формы, пригодные для подсева под хлопчатник. Если александрийский клевер может быть интересен только для Таджикистана и Туркмении, то для Узбекистана следует обратить внимание, например, на пажитник (*Trigonella foenum graecum*), разводимый с успехом в качестве кормовой культуры в Азербай-

¹ См., например, «Совхозное производство», 1944, № 7.

джане под именем шамболы. Эта культура сосредоточена в Нахичеванском крае, где занимает довольно видное место в полеводстве. В литературе имеется мало сведений по технике культуры этого растения, но все же находим следующие характерные строки в статье Серпуховой:¹ «...благодаря очень короткому вегетационному периоду она может быть использована в уплотненных севооборотах как пожнивная культура на корм и зеленое удобрение и является хорошим предшественником для ценных технических культур (хлопок, табак). Пожнивная озимая культура шамболы встречается во Франции».

Ясно, что культуру этого растения интересно испытать в Средней Азии путем подсева под хлопчатник и в качестве поживной культуры.

Затем может представить интерес инкарнатный клевер, высеваемый в Южной Европе в смеси с озимой рожью для получения самого раннего корма весной. Шабдар должен быть испытан не как «вообще шабдар», а во всем разнообразии его рас, имеющих в Иране и Афганистане; также должны быть испытаны и другие однолетние формы бобовых, имеющиеся в ботанических садах (наших и иностранных), или в дикой форме.

Введение азотособирателей этого типа является очень важной мерой замены недостающих азотистых удобрений и навоза, причем этот путь свободен от некоторых дефектов, которые характерны для навоза и особенно дают себя чувствовать в Средней Азии. Здесь весь азот удобрений попадает в почву, без всяких потерь, а кроме того, не требуется вывозки; это есть навоз, растущий на том самом поле, которое нуждается в удобрении, и к тому же не требуется и подстилки для изготовления удобрения.

Если бы удалось найти бобовое, которое допускает подсев под хлопчатник по способу В. Г. Петрова, то этот прием можно проводить методически и тем обеспечить хорошие урожаи хлопчатника даже при временном отсутствии минеральных азотистых удобрений. Предположим (ради краткости обозначения), что этим самым азотособирателем будет пажитник; тогда этот гипотетический севооборот принял бы такой вид: 1) ячмень с подсевом люцерны; 2) люцерна; 3) люцерна; 4) и 5) хлопчатник + пажитник; 6) хлопчатник + озимь; 7) озимь + летние поживные культуры + пажитник; 8) и 9) хлопчатник + пажитник.

Нужно думать, что пять посевов пажитника и три года люцерны, даже если принять во внимание только ее корневые остатки, могли бы обеспечить достаточным количеством азота пять урожаев хлопчатника. Можно идти еще дальше в предположениях и допускать, что пара «хлопчатник + пажитник» может повторяться без ущерба не только два года подряд, но и больше, что позволило бы увеличить процент площади под хлопчатником без снижения его урожаев, но для этого надо иметь в руках такой сидератор (будет ли это пажитник, или инкарнат,

¹ В. Н. Серпухова. Пажитник (шамбола). Растениеводство СССР, 1933, изд. ВИР, т. II, стр. 457—476.

или «александриец»), который мог бы с успехом подсеиваться с осени под хлопчатник и накапливать к весне в зеленой массе до 100 кг азота.

Чем удачнее будет разрешена эта задача, тем полнее мы будем застрахованы от падения урожаев хлопчатника в периоды недостатка минеральных удобрений. Но не только при недостатке азотистых удобрений, а и в дальнейшем, когда минеральные удобрения будут в изобилии, необходимо все-таки сохранить культуру зимних азотособирателей, тем более, что их можно использовать не только на зеленое удобрение, но и для зимней подкормки скота, особенно молочного, количество которого в Средней Азии требует увеличения и который так нуждается в белковых кормах. Вообще с помощью озимых культур разного рода (зерновых, кормовых и сидератов) важно использовать добавочную солнечную энергию, которая в Средней Азии довольно обильно притекает не только осенью, но и весной (до посева хлопчатника), но уловить которую может только растение, еще с осени заготовившее ассимилирующую поверхность; поэтому следовало бы вообще не оставлять на зиму поля незасеянными.¹

В Закавказье условия для озимой культуры бобовых на удобрение еще более благоприятны: во влажных субтропиках зимой нет морозов, обычных в Узбекистане. Например, если в Сухуми выпадает иногда снег в январе, то он падает на цветущие розы, не принося им вреда, так как он быстро тает. Затем в этих районах осадки столь обильны, что орошения не требуется. До сих пор применение зеленого удобрения на Юге имело место главным образом на плантациях чая и цитрусовых, теперь же обращено внимание (Кулжинский) и на значительные площади кукурузных полей, которые пустуют с сентября или октября до начала мая; а между тем, на них можно за это время вырастить от 50 до 100 т зеленой массы на гектар, особенно если применять фосфоритную муку и калийную соль. При больших урожаях вполне возможно часть массы употреблять в корм скоту и все-таки получить хороший урожай кукурузы за счет запахивания остальной массы. Кроме того, возможно получение весной ценной пищевой продукции, а именно: убрав «зеленые лопатки» раннего гороха, остальную массу запахать на удобрение или использовать для кормления животных. Кроме озимого гороха, заслуживают внимания мелкосеменные бобовые, требующие меньше посевного материала, как, например, однолетние клевера: инкарнатный, персидский и александрийский;² на кислых же почвах Закавказья, в отличие от карбонатных почв Средней Азии, возможна культура сераделлы и люпина, причем и многолетний люпин найдет свое место, на-

¹ Конечно, для получения четкого ответа на поставленный вопрос нужна дополнительная экспериментальная его проработка. Но положительное решение было бы очень заманчиво, и работа в этом направлении является настолько благодарной, что она должна привлечь к себе внимание среднеазиатских опытников.

² В этих условиях вполне осуществим вышеупомянутый «египетский плодосмен»: зимой — азотособиратель, летом — кукуруза.

пример, для закрепления крутых склонов между террасами на чайных и цитрусовых плантациях.

Кроме получения зеленой массы на корм и удобрение, зимняя культура азотособирателей в Закавказье еще очень важна как средство борьбы с эрозией, принимающей особенно большие размеры там, где годовое количество осадков достигает 2000 мм.

Кукурузные районы могут сами себя обслужить посевным материалом, но потребность в семенах люпина, сераделлы и гороха для культуры на цитрусовых и чайных плантациях лучше удовлетворить за счет привоза их с Севера, чтобы не отнимать ценных площадей от южных культур.

Итак, если для начала можно было увеличивать резервы семян бобовых путем выписки из-за границы, то в интересах следующих лет необходимо немедленно принять ряд систематических мероприятий по развитию новых очагов семеноводства ценных азотособирателей, которые помогут нам расширить земледелие на Севере и поддержать урожаи хлебов и картофеля в Центре, а в субтропиках — обеспечить хорошие урожаи таких важных технических и пищевых культур, как хлопчатник, чай, цитрусы.

В субтропиках мягкий климат благоприятствует вставочной культуре азотособирателей, а в континентальной Сибири имеется другое обстоятельство, также открывающее широкие возможности для применения зеленого удобрения, — это наличие царовых полей перед яровой пшеницей. К этому присоединяется еще и трудность вывозки навоза, часто создаваемая дальностью расположения полей от усадьбы и гористым характером местности, особенно в Восточной Сибири. Что касается выбора растений для зеленого удобрения, то те причины, которые препятствуют распространению однолетнего люпина на севере Европейской части СССР и приводят к мысли о замене его люпином многолетним, в Сибири еще более выражены. Сюда относится возможность выращивания своих семян и гораздо большая их транспортабельность. Конечно, в Алтайском и Минусинском крае возможна культура и однолетнего люпина на семена, но и там возможность обойтись 30 кг вместо высева 180—200 кг часто может играть решающую роль. В ряде случаев полезным окажется донник, который не годится для кислых почв, но на почвах солонцеватых и слабощелочных будет более пригоден, чем люпин, для подсева под яровые и запахивания на следующий год в паровом поле (опасения, что донник будет засорять поля, не должны иметь места, надо лишь не допускать плодоношения).

Итак, в самых разнообразных климатических и почвенных условиях есть возможность использовать зеленое удобрение как прием, позволяющий, в ожидании восстановления и расширения посева клевера и восстановления животноводства, более быстро ввести в оборот хозяйства громадное количество азота и тем способствовать поднятию урожаев и хлебов и ряда технических культур. Но нужно иметь в виду, что даже и

тогда, когда площадь под клевером достигнет 25% от посевной площади в подзолистой полосе, нет смысла отказываться от применения зеленого удобрения под озимые с тем, чтобы навоз, полученный от скормливания клевера, направить под картофель, сахарную свеклу, коноплю, табак и другие ценные культуры.

Из числа источников азота нам остается еще указать на необходимость более широкого использования азота городских отходов и азота торфа.

Общее содержание азота в отбросах человеческого организма для будущего населения нашего Союза в 230 млн. человек можно принять равным 1100 тыс. т. Это было бы крупной статьей, в несколько раз превышающей размеры довоенного уровня нашей азотной промышленности, если бы эти отбросы не было так трудно собирать. В городах они уходят в канализацию, а в деревнях большой процент их разбрасывается где попало. Очень трудно сказать, какую часть из них удастся использовать. Ясно лишь одно, что при недостатке удобрений вообще, нельзя игнорировать большие возможности, которые представляет этот источник азота, особенно при одновременном использовании торфа. Распространение приема приготовления торфо-фекальных компостов в населенных пунктах, не имеющих канализации, важно не только с точки зрения сохранения азота, но и с точки зрения санитарии. Там, где нет торфа, экскременты следует компостировать с землей.¹

Предпочтение перед компостированием, дающим громоздкий продукт, заслуживал бы другой путь, приводящий не только к обеззараживанию нечистот, но и к получению ценного концентрата, богатого азотом и содержащего заметное количество фосфора, — это хлорирование фекальных масс и их высушивание на дисковой сушилке;² но этот способ применим лишь в том случае, если расходы на топливо не входят целиком в стоимость пудрета, а частично покрываются городом (по статье обезвреживания и удаления нечистот). Но есть условия, при которых приготовление пудретов может вестись за счет солнечного тепла. Это следовало бы осуществить, например, в Средней Азии, где города, как правило, не имеют канализации, а климатические условия обеспечивают бездождие и сильный солнечный нагрев в течение летнего полугодия. Можно представить даже возможность получения сернокислого аммония, если бы жидкие выделения из общественных уборных собирались тонким слоем в плоских вместилищах с зачерненным дном и туда же

¹ В качестве хорошего примера использования фекальных масс на нужды земледелия при одновременном разрешении вопроса об их удалении из населенных мест приведем следующий случай, имевший место в одном из небольших городов Средней Азии. Окрестные колхозники взяли на себя заботу о городских уборных, — когда яма заполняется нечистотами, они рядом выкапывают вторую, и на нее переносится навес. В первую же яму добавляется земля. Этот компост зреет в течение нескольких месяцев, после чего вывозится на поля масса, уже совершенно лишенная запаха.

² С. П. Гусев (диссертация).

вводились кислые отбросы (например, серная кислота с протравочных цехов хлопкоочистительных заводов или бисульфат), а затем концентрированный раствор спускался бы в защищенные от солнца резервуары для кристаллизации сульфата аммония. Точно так же солнечный нагрев мог бы быть использован для приготовления пудрета из обычной смеси нечистот при условии предварительного хлорирования. Тогда сразу достигалось бы несколько целей — сохранение аммиака, обеззараживание и устранение зловония. Но и там, где химические методы воздействия недоступны, солнце Средней Азии позволяет применить ряд приемов частичного или полного использования фекальных масс с большим успехом, чем где бы то ни было.¹

Что касается торфа, то, кроме применения в подстилку и повышения, таким образом, качества навоза, при одновременном увеличении его количества, важным является приготовление торфяных компостов, с введением разнообразных веществ, помимо фекалий, как, например, навозной жижи, птичьего помета, сорных трав, барды (если она неполно используется для кормления) с добавкой золы, особенно в случае применения кислого торфа, прудового ила и пр.

При приготовлении торфо-фекального удобрения в него входит еще азот торфа, а частью торф как таковой применяется на удобрение. Но нужно сказать, что азот торфа нельзя механически причислять к азоту фекальных масс, так как азот торфа гораздо труднее подвергается минерализации; поэтому едва ли стоит пытаться подсчитывать усвояемую часть азота торфа, но можно сделать приблизительное допущение, что суммарно с помощью фекальных масс и торфа мы легко сможем дать дополнительно около 500 тыс. т легко минерализующегося азота.

В итоге можно сделать заключение, что мы располагаем огромнейшими возможностями как вообще для радикальной перестройки азотного баланса в нашем земледелии, так и для немедленного исправления особенно обострившегося в условиях военного времени дефицита азота.

ЗАКЛУЧЕНИЕ

Как это явствует из всего сказанного выше, разрешение проблемы азота должно состоять в сочетании двух путей: 1) повышение обеспеченности минеральными удобрениями прежде всего технических культур и 2) максимальное использование «биологического азота» за счет расширения культуры азотособирателей, лучшей организации накопления и применения навоза и мобилизации других местных ресурсов удобрений (торф, фекалии т. д.). При этом на различие в системе удобрений при

¹ Сюда относится прежде всего раздельное собиране жидких и твердых выделений с тем, чтобы только первые стекали в яму, а вторые высыхали без всякой примеси. Но более полное использование тех и других возможно при замене ям надземными устройствами с постоянной присыпкой выделений лёссовой почвой, прекрасно поддающейся тонкому измельчению, что позволяет уменьшить количество вводимого балласта (П. Я. Гуров).

возделывании технических растений и при культуре хлебов нужно смотреть отнюдь не как на временное только явление, зависящее от того, что наша молодая химическая промышленность не может дать столько же удобрения хлебам, как хлопчатнику или свекле. Ясно, что по причинам экономическим и впредь останется основное различие в этом отношении между такими культурами, площадь под которыми ограничена (хлопок, чай) и для которых мы можем существенно изменить только один множитель (высоту урожая), и такими культурами, как хлеба и клевер, для которых мы можем менять оба множителя (площадь посева и урожай), определяющие валовой сбор продуктов.

Но, конечно, мы говорим о двух противоположных способах построения системы удобрения только ради первого приближения, на самом деле здесь имеется ряд переходов. Так, на одном конце этого многоцветного спектра будет стоять безнавозное хозяйство чайных и цитрусовых плантаций, где для борьбы с эрозией и для накопления органического вещества нужно, конечно, прибегать к сидерации, но в основе снабжение растений минеральной пищей должно строиться на внесении промышленных удобрений. В хлопковом хозяйстве, наряду с большим значением минеральных удобрений, уже выступает важная роль люцерны, появляются скот и навоз. В большей мере сдвиг в сторону навоза имеет место в свекловичном хозяйстве, и еще больше этот сдвиг будет в северной земледелии, где зерновые чередуются с клевером и картофелем; здесь будет сильный уклон в сторону «сверхнавозного» хозяйства (однако лен будет получать минеральное удобрение). Но если чайные плантации на Юге и молочное хозяйство на Севере являются контрастами, то с ними обоими контрастирует на Востоке степное хозяйство неорошаемой части Казахстана, Киргизии и Западной Сибири, где даже навоз еще недостаточно используется для удобрения. В безлесных степных районах одной из помех является трата навоза на приготовление топлива (кизяка), а в лесных и гористых местностях Восточной Сибири выступает другое препятствие — трудность вывозки навоза на участки пашни, разбросанной среди тайги, что заставляет думать о применении там зеленого удобрения. Так иногда могут сходиться в известных отношениях крайности — влажные субтропики и континентальная Сибирь.

Между названными контрастирующими типами будет лежать, конечно, целая гамма переходов в построении системы удобрения в связи с многообразием условий в разных частях нашей родины. Когда мы говорим о желательном среднем урожае или о среднем балансе внесения и выноса питательных веществ из почвы, то надо иметь в виду, что средние эти слагаются из весьма разнообразных компонентов.

Кроме того, само собою разумеется, что при плановых предположениях, касающихся одной шестой суши, приходится прибегать к некоторой общей схеме. Но от нее в отдельных случаях будут наблюдаться отступления. Так, известная часть азотистых удобрений может быть снята с технических культур и передана орошаемым хлебам, ибо боль-

шие затраты на орошение нужно окупать высокими урожаями. Точно так же культура злаковых на крайнем севере связана с применением азотистых удобрений.

Однако все это не меняет основного направления в разрешении азотного вопроса на громадной площади зерновых культур.

В заключение я хотел бы остановиться на следующем: сейчас мы проектируем в качестве ближайшей перспективы план азотного баланса, в основном базирующийся на расширении культуры азотособирающих, на «азот биологический», а в задании химической промышленности исходим из минимальной потребности технических и других более ценных культур в минеральных азотистых удобрениях. Однако это вовсе не значит, что мы ставим тем самым какие-то ограничения для возможности дальнейшего, более высокого роста химической азотной промышленности и применения минеральных азотистых удобрений. Этот план следует рассматривать как один из этапов на пути к дальнейшему росту, в процессе которого мы сможем и должны будем далеко опередить считавшиеся раньше передовыми в техническом и экономическом отношении страны. Дело в том, что отвечающий нашему плану размер продукции химической промышленности,¹ даже в пределах спроектированного баланса, значительно превышает сумму довоенной продукции не только такой, например, страны, как Германия, но и Германии и Японии, вместе взятых. Однако намеченный рост продукции в СССР еще не означает насыщения сельского хозяйства туками, тогда как в названных странах отсутствует основа хозяйственного расчета для дальнейшего крупного роста химической промышленности в будущем вследствие уже значительного насыщения туками современной посевной площади и недостатка в земельных ресурсах для расширения этой площади. У нас же, помимо возможности расширения пашни, остаются, даже при существующей посевной площади, громадные возможности для расширения применения удобрений в будущем, — это площадь под зерновыми хлебами. А когда азотная продукция будет обслуживать и хлеба, размеры нашей азотной промышленности превзойдут по мощности не только суммарную мощность заводов европейских стран, но они смогут конкурировать и с мировой промышленностью, если бы это оказалось нужным.

¹ Это относится к сумме минеральных удобрений, а не только к одному азоту.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I

Об источниках азота растений

	<i>Стр.</i>
Из истории вопроса об азоте	6
О формах соединений азота, доступных растениям	14
Обмен азотистых веществ в растениях и роль в нем аммиака и амидов	22
Синтез органических азотистых соединений за счет нитратов и нитритов	64
Усвоение растениями свободного азота	75

Часть II

Физиологическая характеристика аммиачных и нитратных солей как источников азота для растений

Отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в зависимости от реакции среды, концентрации раствора и запаса углеводов	92
О влиянии возраста ассимилирующих растений на скорость поглощения NH_4 и NO_3 из раствора азотнокислого аммония	118
Значение сопутствующих катионов и анионов при аммиачном и нитратном питании	124

Часть III

Азот в земледелии СССР

Поднятие урожаев и роль азота в земледелии	134
Структура азотного баланса в разных странах. Азот «технический» и «биологический»	142
Задачи и перспективы улучшения баланса азота в земледелии СССР	149
О перспективах производства и применения минеральных азотистых удобрений	159
Об увеличении прихода «биологического» азота. Перспективный азотный баланс в земледелии СССР	171
Новые возможности в области применения зеленого удобрения	182
Заключение	195

TABLE DES MATIÈRES

1-ère partie

Les sources de l'azote des plantes

	<i>Pages</i>
L'histoire de la question de l'azote	6
Des formes des composés de l'azote accessibles aux plantes	14
Le métabolisme des matières azotées dans les plantes et le rôle de l'ammoniaque et des amides	22
La synthèse des composés organiques azotés aux dépens des nitrates et des nitrites	64
L'assimilation de l'azote gazeux par les plantes	75

2-ème partie

Caractéristique physiologique des sels ammoniacaux et des nitrates comme sources de l'azote pour les plantes

Les rapports des plantes envers la nutrition avec l'ammoniaque et les nitrates dépendant de la réaction du milieu, de la concentration de la solution et des réserves des hydrates de carbone	92
L'influence de l'âge des plantes assimilantes sur l'absorption de NH_4 et de NO_3 de la solution de nitrate d'ammonium	118
Le rôle des cations et des anions présents pendant la nutrition avec l'ammoniaque et les nitrates	124

3-ème partie

L'azote dans l'agriculture de l'URSS

L'augmentation de la récolte et le rôle de l'azote dans l'agriculture	134
La structure du bilan azotique dans les différents pays. L'azote «technique» et l'azote «biologique»	142
Les problèmes et les perspectives de l'amélioration du bilan de l'azote dans l'agriculture de l'URSS	149
Les perspectives de la production et de l'application des engrais minéraux azotés	159
L'accroissement de l'obtention de l'azote «biologique». Les perspectives du bilan azotique dans l'agriculture de l'URSS	171
Les voies nouvelles dans l'utilisation des engrais verts	182
Conclusion	195

Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ — АЗОТ В ЖИЗНИ
РАСТЕНИЙ И В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР



*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР*

№ 2268.



A22346 Подписано в печать 5/XI—1945 г.
Формат бумаги 70×108^{1/16} Печ. л. 12^{1/2}
Уч.-изд. л. 16. Тип. заказ № 651. Тираж 10 000.



2-я тип. Издат. Академии Наук Союза ССР.
Москва, Шубинский пер., 10.

74

