

621 92

П. 8-9, 0

88462

нр 76

Грор

Д. Н. Прянишниковъ.

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ХИМІЯ (ИЗБРАННЫЯ ГЛАВЫ).

# УЧЕНІЕ ОБЪ УДОБРЕНІИ.

4-е ИЗДАНИЕ.

Съ 78 рисунками.

104.04/2

Библиотека

Отд. 631.8

Шифр Л. 859 у. а.

Инв. № 88465

Сель-хоз.

И-с-т-у-т

МОСКВА.

Типо-литографія В. Рихтеръ Тверская, Мамоновскій пер., с. д.  
1912.

К



Въ 1900 году студенты Н. М. Тулайковъ и С. М. Кочергинъ составили записки моихъ лекцій по ученію объ удобреніи и издали ихъ съ моими исправленіями и дополненіями. Въ 1903 году вышло второе изданіе, въ основу котораго легъ тотъ же самый текстъ, съ расширеніемъ нѣкоторыхъ главъ согласно курсу 1902 — 3 года; были добавлены также рисунки. Третье изданіе (1908) явилось значительно болѣе расширеннымъ, причемъ нѣкоторыя главы введены вновь (напр., использование азота воздуха для приготовления азотистыхъ удобреній), другія дополнены путемъ многочисленныхъ частичныхъ вставокъ. Истекшее со времени втораго изданія пятилѣтіе позволило во многихъ случаяхъ для обоснованія выставляемыхъ положеній и иллюстрированія ихъ использовать, помимо данныхъ иностранной литературы, въ большей мѣрѣ чѣмъ прежде также и факты, добытые нашими опытными учрежденіями.

Настоящее (четвертое) изданіе еще разъ пересмотрѣно и по возможности дополнено новыми данными; значительно увеличено число рисунковъ, причемъ большая часть ихъ является оригинальными.

Какъ видно изъ возникновенія изданія, оно не является справочной книгой, а ставитъ своей главной задачей выяснить основныя черты современнаго ученія объ удобреніи и дать читателю руководящую нить для послѣдующей самостоятельной оріентировки.

*Д. Прянишниковъ.*

Апрѣль 1912 года.  
Петровское-Разумовское.

## ВВЕДЕНИЕ.

Тотъ курсъ, который намъ предстоитъ излагать (*ученіе объ удобреніи*) разсматривается то какъ часть *общаго земледѣлія*, то какъ часть *агрономической химіи*, при чемъ зачисленіе его въ тотъ или иной отдѣлъ можетъ нисколько не вліять на существо изложенія<sup>1)</sup>, оно является простымъ слѣдствіемъ принятія той или другой системы группировки дисциплинъ, изъ которыхъ слагается агрономія.

Какъ вообще въ прикладныхъ областяхъ знанія, такъ и въ агрономіи объединяющимъ началомъ для всего цѣлаго является *не единство метода* (методы используются самые разнообразныя), а *единство цѣли*<sup>2)</sup>; здѣсь такой цѣлью служить изученіе тѣхъ явленій, съ которыми имѣетъ дѣло человѣкъ въ сельскохозяйственномъ промыслѣ.

Основной же чертой сельскохозяйственного промысла является *массовое использование солнечной энергіи*, при чемъ аппаратами для этого использованія являются не механизмы, а организмы, и прежде всего *хлорофиллоносное растеніе*.

Слѣдовательно, *знаніе свойствъ этого аппарата*, знакомство съ потребностями растенія должно лежать въ основѣ агрономіи; это знаніе дается намъ *физиологіей растеній* (или точнѣе: эти знанія мы суммируемъ и систематизируемъ подъ рубрикой «физиологіи растеній»).

Но этихъ знаній еще недостаточно для земледѣльца — нужно еще изучить *свойства окружающей среды*, чтобы знать, въ какихъ отношеніяхъ она отвѣчаетъ условіямъ наилучшаго развитія растеній, и въ какихъ — не отвѣчаетъ; эти знанія мы объединяемъ подъ рубриками *почвовѣднія и метеорологіи*.

<sup>1)</sup> Въ частности настоящій курсъ сложился изъ лекцій, читавшихся одновременно въ Московскомъ Университетѣ подъ общимъ заголовкомъ «агрономической химіи», а въ Сельскохозяйственномъ Институтѣ — подъ рубрикой «общаго земледѣлія».

<sup>2)</sup> Для раздѣленія же на части пользуются то различіемъ въ методахъ, то различіемъ въ изучаемыхъ объектахъ.



Зная потребности растенія и свойства среды, мы можем отыскивать *приемы воздѣйствія на среду* (преимущественно почву) и на *само растеніе*, которые позволяют по возможности согласовать свойства окружающей среды съ потребностями растенія въ цѣляхъ повышения урожая. Изученіемъ этихъ приемовъ занимается *земледѣліе*.

Итакъ, мы имѣемъ три послѣдовательныхъ этапа: 1) потребности растенія, 2) свойства среды и 3) способы согласованія тѣхъ и другихъ; но въ каждомъ изъ этихъ отдѣловъ мы можемъ прилагать то методы химическіе, то физическіе, то примѣнять знаніе законовъ размноженія и возникновенія формъ; для физиологій растений это дѣленіе не требуетъ комментарій (превращенія вещества, превращенія энергіи, превращенія формы). То же и при изученіи свойствъ среды: мы имѣемъ химию почвы, физику почвы, а въ послѣднее время — и стремленіе къ морфологической характеристикѣ почвъ, въ связи съ ихъ генезисомъ. При изученіи приемовъ воздѣйствія на среду мы имѣемъ приемы для измѣненія химическихъ свойствъ почвы (ученіе объ удобреніи) и физическихъ ея свойствъ<sup>1)</sup> (ученіе объ обработкѣ), но мы имѣемъ также рядъ воздѣйствій на само растеніе (уходъ за растеніемъ), на его форму, какъ на примѣръ обрѣзка (сокращеніе вегетационнаго періода для согласованія со свойствами среды — ходомъ температуры), пасынкованіе; или это воздѣйствіе имѣетъ цѣлью вліять на формы не даннаго индивидуума, а всей расы (селекція). Такимъ образомъ мы можемъ расположить наши послѣдовательныя рубрики въ три горизонтальныхъ строки, объединяющихъ каждая знанія касающіяся *того же самого объекта* (или служащія той же цѣли), но въ тоже время разбитъ ихъ на три вертикальныхъ столбца, въ которыхъ объединяющимъ началомъ является *методъ изслѣдованія*<sup>2)</sup>.

Если мы прочтемъ заглавія отдѣловъ, попавшихъ въ первый столбецъ (химія растенія, химія почвы, химія удобренія), то найдемъ,

<sup>1)</sup> Сравнительно рѣже въ полевой культурѣ употребляются приемы воздѣйствія на свойства окружающей атмосферы, но все же и эта рубрика не совершенно отсутствуетъ: сюда относится, напр. борьба съ утренниками при помощи дымящихъ костровъ.

<sup>2)</sup> Наша таблица, конечно, не охватываетъ всѣхъ частей агрономіи, въ нее вошло лишь растениеводство; но ее можно удобно продолжить, а именно: сельскій хозяинъ не только производитъ растительные продукты, но и ихъ перерабатываетъ, съ помощью организмовъ животныхъ обращая въ молоко, мясо, шерсть, въ источникъ мускульной силы: этими вопросами занимается *зоотехнія*, — и въ ней опять-таки можно различить отдѣлы разрабатываемые преимущественно *химическими методами* (обмѣнъ

что эти отдѣлы и составляютъ главное содержаніе *агрономической химіи*.

Такимъ образомъ, агрономическая химія не есть нѣчто параллельное съ физиологіей растенія, почвовѣдѣніемъ, земледѣліемъ, но она идетъ какъ бы въ поперечномъ направленіи, проникая внутрь этихъ дисциплинъ и охватывая въ каждой изъ нихъ все то, что подлежитъ изслѣдованію химическими методами; это части тѣхъ же дисциплинъ, объединенныя на иномъ принципѣ.

Можно предпочитать тотъ или иной принципъ дѣленія, смотря по цѣли, которая имѣется въ виду; такъ, въ цѣляхъ *изслѣдованія* дѣленіе по вертикальнымъ столбцамъ (т. е. по методамъ) проложило себѣ прочное русло и оказалось весьма плодотворнымъ.

Въ цѣляхъ же преподаванія можно держаться и того и другого приема, но если придавать значеніе тому обстоятельству, что преподаваніе въ высшей школѣ стоитъ всего выше и идетъ живѣе тамъ, гдѣ преподаватель и изслѣдователь объединяются въ одномъ лицѣ, то понятно, что и въ цѣляхъ преподаванія часто пользуются дѣленіемъ по методамъ изслѣдованія.

Итакъ, въ томъ обстоятельствѣ, что ученіе объ удобреніи разсматривается то какъ часть общаго земледѣлія, то какъ глава агрономической химіи, нѣтъ никакого противорѣчія или противоположенія, совершенно подобно тому, на примѣръ, какъ нѣтъ противорѣчія въ томъ, что любая клѣтка шахматной доски, находясь въ извѣстномъ вертикальномъ ряду, въ то же время принадлежитъ и къ извѣстному горизонтальному ряду.

веществъ въ организмѣ, составъ и переваримость кормовъ), отдѣлъ изучающій *физическія условія* существованія животныхъ (зоогигіена) и наконецъ отдѣлъ, гдѣ преобладающую роль играетъ *изученіе формъ* и законовъ ихъ измѣненія (экстерьеръ и скотоводческое искусство). Можно пойти и еще далѣе и включить сюда заводскую переработку растительныхъ продуктовъ (с. х. *технологія*); но для нашей цѣли достаточно вышеприведеннаго. Отмѣтимъ, что мы все время имѣли въ виду лишь естественно-научныя основы сельскохозяйственнаго промысла, но въ сущности терминъ „агрономія“ охватываетъ и общественно-научныя его основанія.

| Объектъ изучения.                                                                   | Соотвѣтствующія дисциплины.        | Агрономическая химія.                                | Агрономическая физика <sup>1)</sup> .                                             | Агрономическая ботаника <sup>2)</sup> (морфологія и систематика) въ приложеніи къ земледѣлію ↓ |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Свойства растенія.                                                               | Физиологія растеній. ↑             | Химія растеній.                                      | Физиологія физическая.                                                            | Физиологія размноженія (генезисъ формъ).                                                       |
| II. Свойства окружающей среды.                                                      | Почвовѣдѣніе. ↑<br>Метеорологія. ↑ | Химія почвы (и атмосферы).                           | Физическія свойства почвы.<br>Физика въ приложеніи къ явленіямъ атмосферическимъ. | 3).                                                                                            |
| III. Способы согласованія I и II (воздѣйствіе преимущественно на почву и растеніе). | Земледѣліе. ↑                      | Воздѣйствіе на химизмъ почвы (ученіе объ удобреніи). | Воздѣйствіе на физическія свойства почвы (ученіе объ обработкѣ).                  | Воздѣйствіе на растеніе (приемы ухода и селекціи).                                             |

<sup>1)</sup> Мы не употребляемъ новаго термина, говоря «агрономическая физика», такъ какъ въ Германіи этимъ именемъ обозначается цѣлое направленіе въ изученіи явленій сельскохозяйственныхъ и журналъ проф. Вольни, наиболѣе важнаго представителя этого направленія, носитъ названіе «Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik».

<sup>2)</sup> Точно также въ Германіи существуютъ учрежденія подъ именемъ «Agricaulturbotanische Versuchsanstalt», напр. въ Мюнхенѣ.

<sup>3)</sup> Сюда можно помѣстить рубрику «Морфологическія особенности почвы въ связи съ ихъ генезисомъ», но тогда бы пришлось заглавіе столбца сдѣлать болѣе общимъ.

## Ученіе объ удобреніи въ прошломъ и настоящемъ.

Подъ удобреніемъ въ широкомъ смыслѣ слова разумѣютъ всякое вещество, вносимое въ почву съ цѣлью повышенія урожая. Повышеніе это происходитъ или потому, что 1) вносимое вещество представляетъ пищу растеній, доставляя имъ непосредственно элементы, необходимые для жизни; 2) или потому, что оно вызываетъ рядъ реакцій въ почвѣ, результатомъ которыхъ является превращеніе прежде недоступныхъ для растенія веществъ въ форму легко усвояемую; 3) или оно усиливаетъ еще и энергію жизненныхъ процессовъ, идущихъ въ почвѣ, внося съ собой организованные ферменты и матеріалъ для ихъ жизнедѣятельности; 4) наконецъ, удобреніе измѣняетъ въ большей или меньшей мѣрѣ физическія свойства почвы<sup>1)</sup>.

Такимъ образомъ, чтобы оцѣнить удобрительное значеніе какого либо вещества, нужно знать потребности растенія, нужно быть знакомымъ съ цѣлымъ рядомъ процессовъ физическихъ, химическихъ и біологическихъ, происходящихъ въ окружающей его средѣ. Поэтому и развитіе ученія объ удобреніи было тѣсно связано съ развитіемъ естественныхъ наукъ вообще, физиологіи растеній и агрономической химіи въ частности.

Удобрять почву люди начали, конечно, ранѣе, чѣмъ наука познакомила ихъ съ жизнью растенія и съ той обстановкой, какую оно находитъ при полевой культурѣ. Какія либо правила приходилось выработывать чисто эмпирическимъ путемъ, и нужно сказать, что эти правила достигали иногда въ отдѣльныхъ случаяхъ значительной

<sup>1)</sup> По представленіямъ нѣкоторыхъ американскихъ авторовъ удобренія могутъ еще дѣйствовать какъ противоядія по отношенію къ нѣкоторымъ вреднымъ веществамъ въ почвѣ, при чемъ вещества эти разсматриваются, какъ выдѣленія корней растеній; но на самомъ дѣлѣ не доказано, чтобы растенія выдѣляли такія вещества (вредныя вещества въ почвѣ могутъ быть и другого происхожденія), и невѣроятно, чтобы разнообразныя удобренія обладали одинаковымъ свойствомъ противоядія для того или иного вреднаго вещества.



степени вѣрности и детальности, страдая лишь недостаткомъ объясненія. Такъ, римлянамъ напр. извѣстно было удобрительное дѣйствіе не только изверженій животныхъ, но и нѣкоторыхъ минеральныхъ веществъ, какъ зола, гипсъ, известь, мергель; различали нѣсколько сортовъ мергеля, изъ которыхъ предпочитался тотъ или другой, смотря по характеру почвы; между удобреніями животнаго происхожденія они особенно высоко цѣнили изверженія птицъ, какъ энергично дѣйствующія. Извѣстно было римлянамъ и употребленіе зеленого удобренія, причемъ для этого рекомендовались какъ разъ тѣ растенія, которыя усваиваютъ свободный азотъ воздуха (какъ это слѣдалось извѣстнымъ изъ недавнихъ изслѣдованій), т. е. мотыльковыя, и преимущественно лупины. Они знали также, что при плодосмѣнѣ можно получить съ тѣмъ же самымъ количествомъ удобренія больше продуктовъ, чѣмъ при культурѣ однообразной.

Накопленіе фактовъ такимъ образомъ происходило, но у древнихъ не было какой либо цѣльной теоріи питанія растеній, которая какъ нибудь связывала эти факты (если не считать, впрочемъ, смутныхъ указаній на «жиръ» почвы, «terrae adeps», который дѣлаетъ почву плодородной, и количество котораго увеличивается при внесеніи удобреній. Напомнимъ, что наше выраженіе «тукъ» (удобреніе) въ прежнее время употреблялось какъ синонимъ слова «жиръ», и до сихъ поръ слово «тучный» сохранило оба значенія <sup>1)</sup>).

Въ средніе вѣка нечего, конечно, искать прогресса въ дѣлѣ объясненія наблюденныхъ явленій; даже болѣе того—и тѣ знанія, какими обладали римляне, затерялись въ значительной степени и всплываютъ снова лишь спустя значительный промежутокъ времени. Такъ, книги по сельскому хозяйству, появляющіяся съ конца XIII вѣка, представляютъ сначала лишь компиляцію изъ древнихъ авторовъ. Въ позднѣйшихъ сочиненіяхъ къ этимъ заимствованіямъ изъ древнихъ авторовъ прибавляются и собственные измышленія, безъ измѣненія, впрочемъ, основныхъ точекъ зрѣнія; здѣсь часто даются совѣты, напр. приурочивать время внесенія удобреній къ извѣстнымъ фазамъ луны; считаться при внесеніи удобреній съ принципомъ комбинированія веществъ однородныхъ, напр.: «сухую и теплую» почву удобрять навозомъ сухимъ и теплымъ, потому что «simile simili gaudet» Colerus, Oecologia, 1592) или же, наоборотъ съ принципомъ уравниванія противоположностей. Питаніе и ростъ приписывали какой-нибудь «субстанціи», считая за сущность растительной жизни въ

<sup>1)</sup> Тоже наблюдается во французскомъ языкѣ (engrais, engraissement).

однихъ случаяхъ жиръ (unctuosum), въ другихъ соль, въ третьихъ селитру. Немного позднѣе Glauberus писалъ: Sal et nitrum est unica vegetatio, generatio omnium vegetabilium, animalium, mineralium.

Среди всей этой литературы рѣзко выдается по опредѣленности воззрѣній на роль и происхожденіе минеральныхъ веществъ и на значеніе удобреній сочиненіе Bernard'a Pallissy «Traité des sels divers et de l'agriculture», вышедшее еще въ 1563 году. Вотъ что писалъ онъ: «Соль есть основа жизни и роста всѣхъ посѣвовъ»... «Навозъ, который вывозятъ на поля, не имѣлъ бы никакого значенія, если бы не содержалъ соли, которая остается отъ разложенія сѣна и соломы. (Подъ солью авторъ подразумѣваетъ, какъ онъ самъ говоритъ, всѣ необходимыя для растенія соли). «Если кто засѣваетъ поле нѣсколько лѣтъ подрядъ, не унаваживая, то посѣвы извлекутъ изъ земли соль, необходимую для своего роста; земля, такимъ образомъ, обѣдняется солями и отказывается давать урожаи, поэтому нужно ее удобрить или дать отдохнуть нѣсколько лѣтъ, чтобы она снова приобрѣла нѣкоторую соленость, происходящую изъ дождей и росъ». Подробнѣе о Pallissy см. у Grandean, Cours de chimie et physiologie, 1879. (Это сочиненіе содержитъ лучшій изъ имѣющихся историческій очеркъ по развитію агрономической химіи).

Мы имѣемъ здѣсь впервые высказанный правильный взглядъ на почву, какъ источникъ минеральныхъ веществъ, необходимыхъ для растенія (еще въ 1800 г. многіе предполагали, что растеніе само ихъ синтезируетъ); имѣемъ вѣрное представленіе о причинахъ истощенія почвы, о необходимости возврата зольныхъ веществъ въ видѣ удобреній—положенія, вѣрность которыхъ была доказана точными опытами лишь 300 лѣтъ спустя. Однако работы Pallissy остались неизвѣстными какъ для большинства его современниковъ, такъ и для послѣдующихъ авторовъ, напр. Olivier de Serres, который въ сочиненіи своемъ (вышедшемъ въ 1600 г.) «Theâtre d'agriculture» полагаетъ, что причина дѣйствія навоза лежитъ въ «теплотѣ» его.

Гораздо позже, уже въ сочиненіяхъ 18-го вѣка, мнѣнія авторитетныхъ «философовъ» начинаютъ играть меньшую роль, большее мѣсто дается наблюденіямъ и опытамъ. Къ этому же времени относится и первый опытъ водной культуры: Duhamel'ю удалось вырастить въ водѣ и довести до плодоношенія бобы; дубъ росъ у него въ рѣчной водѣ болѣе 8 лѣтъ. Изъ этихъ двухъ опытовъ Duhamel вывелъ заключеніе, что растеніе можетъ питаться водой и воздухомъ, не придавши должнаго значенія тому обстоятельству, что обыкновенная вода содержитъ въ себѣ соли.

Въ 1766 году унсальскій профессор Vallerius, авторъ сочиненія «Fundamenta agriculturae chemica», утверждалъ, что зольныя части растений, полученные имъ при химическомъ анализѣ, не тождественны съ тѣми, которыя содержитъ почва и что онѣ приготовляются растеніемъ изъ воды и воздуха. «Жирная субстанція» еще фигурируетъ у Vallerius'a, и ей онъ объясняетъ дѣйствіе на почву навоза и всякаго перегноя. Солямъ почвы (въ частности селитрѣ) онъ приписываетъ значеніе только лишь въ томъ размѣрѣ, поскольку онѣ способны растворять «жиръ» почвы.

Вѣрныя представленія о роли минеральныхъ солей почвы въ дѣлѣ питанія растений, прорываясь въ отдѣльныхъ работахъ конца 18 вѣка <sup>1)</sup>, затѣмъ снова теряются; въ 1800 году въ отвѣтъ на вопросъ, предложенный Берлинскою Академіею, о происхожденіи зольныхъ частей растений, получился извѣстный отвѣтъ въ сочиненіи Шрадера, что растенія якобы сами производятъ свои зольныя вещества посредствомъ жизненнаго процесса, а потому не нуждаются въ доставленіи ихъ извне <sup>2)</sup>.

Но если втеченіе 18-го вѣка не было выработано прочныхъ знаній объ источникахъ и значеніи минеральныхъ солей въ растеніи, за то съ полной точностью и очевидностью (казалось бы) рѣшенъ былъ вопросъ объ источникѣ углерода.

Въ 1772 году Пристлей замѣтилъ, что растенія способны въ нѣкоторыхъ условіяхъ, выдѣляя кислородъ, исправлять воздухъ, испорченный животными.

Пингенгузъ (1779 г.) указалъ на связь, существующую между выдѣленіемъ зеленыхъ листовъ кислорода и свѣтомъ. Сенебье показалъ, что необходимымъ условіемъ выдѣленія кислорода является присутствіе углекислоты въ окружающемъ воздухѣ и что эта углекислота является источникомъ углерода растений. Отсюда Сенебье пришелъ къ заключенію, что въ удобреніяхъ присутствіе перегноя важно не потому, что онъ служитъ пищею растенія, а потому что онъ способенъ приходить въ броженіе и развивать углекислоту; онъ полагалъ, что корни воспринимаютъ эту углекислоту почвеннаго раствора

<sup>1)</sup> Такъ Rückert (1789) въ воззрѣніи на роль зольныхъ веществъ, на значеніе удобреній и сѣвооборотовъ приближался къ Palissy и Либиху, но его анализы были несовершенны и открывали противникамъ возможность возраженій и построеній противоположнаго свойства.

<sup>2)</sup> Schrader нашелъ въ проросткахъ въ четыре раза больше золы, чѣмъ въ сѣменахъ; причиной была нечистота воды и той среды, въ которой проращивались растенія (сѣрный цвѣтъ).

и приводить ее къ листьямъ, гдѣ она подъ вліяніемъ свѣта разлагается, отдавая углеродъ тканямъ, а кислородъ выдѣляя на воздухъ. Что касается воззрѣнія Сенебье на зольныя части, то онъ полагалъ, что онѣ увлекаются механически съ водою, поступающей въ растеніе, поэтому скептически относился съ употребленію минеральныхъ удобреній.

Продолжателемъ работъ Сенебье явился Соссюръ. Помимо ряда работъ по ассимиляціи углерода, онъ первый подвергъ обстоятельному анализу золу растений и пришелъ къ выводу, что минеральныя вещества не случайно проникаютъ въ организмъ. «Малое содержаніе солей не служитъ доказательствомъ ихъ безполезности», говоритъ Соссюръ. «Фосфорнокислая известь, содержащаяся въ животномъ организмѣ, не составляетъ быть можетъ 5% его вѣса; никто не сомнѣвается однако, что эта соль необходима для образованія костей. Я нашелъ ее въ золѣ всѣхъ растений, какія только изслѣдовалъ и нѣтъ ни малѣйшаго повода утверждать, что они могутъ обойтись безъ нея» <sup>1)</sup>.

Однако до 1842 года не было прямыхъ опытовъ, доказывающихъ необходимость минеральныхъ солей для растенія. До этого же времени не было хорошо обставленныхъ опытовъ выращиванія безъ гумуса и не смотря на то, что уже доказано было, что углеродъ растений берутъ изъ углекислоты воздуха, на ряду съ питательными веществами авторы того времени обычно ставятъ гумусъ. Теперь можетъ казаться страннымъ, какъ можно было говорить объ усвоеніи углерода изъ перегноя послѣ того, какъ Сенебье и Соссюръ такъ ясно показали, что углеродъ берется изъ углекислоты атмосферы; но дѣло въ томъ, что не было данныхъ и для того, чтобы сказать, что одного *только* углерода атмосферы достаточно для обезпеченія нормальныхъ урожаевъ растений углеродомъ; а ежедневный опытъ сельскихъ хозяевъ показывалъ къ тому же, что существуетъ какая-то связь между урожайностью почвы и количествомъ органическихъ веществъ, вносимыхъ въ нее или остающихся въ ней въ видѣ урожайныхъ остатковъ.

Соссюръ, указывая на значеніе перегноя для плодородія, между прочимъ отмѣчаетъ, что перегной содержитъ тѣ же самыя зольныя вещества, какія встрѣчаются въ растеніи (стр. 185); это напоминаетъ нѣсколько позднѣйшую органо-минеральную теорію Грандо, который пытался приписать гумусу роль передаточной (станции для минеральныхъ веществъ, поступающихъ въ растеніе.

<sup>1)</sup> Saussure, Recherches chimiques sur la vegetation, Paris, 1804 (стр. 261).



Другіе шли дальше Соссюра въ этомъ направленіи; такъ напр. извѣстный англійскій химикъ Дэви писалъ, въ 1813 г. «Растворы веществъ слизистыхъ, клеевыхъ, сахаристыхъ, маслянистыхъ, экстрактивныхъ, а также и растворы углекислоты въ водѣ содержатъ, такъ

ворить о золѣ, напр., что она можетъ быть хорошимъ удобреніемъ, такъ какъ содержитъ много угля и даже пытался узнать, не поступаетъ ли въ корни растений непосредственно тонко измельченный уголь, а получивъ отрицательный отвѣтъ на опытѣ, онъ объяснилъ,

дѣлая углеродъ въ сѣменахъ и въ полученныхъ изъ нихъ въ водной культурѣ! растяхъ, всегда наблюдалъ убыль углерода<sup>1)</sup>; отсюда сдѣлали выводъ, что безъ доставленія перегной корнямъ растеніе все-таки не можетъ обезпечить себя углеродомъ; съ этимъ ставились въ

ганицахъ вещества, почвы, сами по себѣ, вѣрно наблюденныя, но невѣрно объясненныя. Разъ принявъ гумусовую теорію питанія, Тэ-еръ систематически проводилъ ее, выражаясь огульно; напр. такъ: «плодородіе почвы зависитъ собственно цѣлкомъ отъ него, такъ какъ

<sup>1)</sup> Цитировано по французскому переводу (Elements de chimie agricole par H. Davy), т. II, стр. 6.

вліяніемъ книги Либиха «Химія въ приложеніи къ земледѣлію и физиологіи растений», годъ выхода которой (1840) и считается годомъ паденія гумусовой теоріи. Часто всю заслугу въ этомъ отношеніи приписываютъ Либиху, но и раньше его высказывались различными авторами болѣе или мѣнѣе правильныя представленія о значеніи гумуса и минеральныхъ солей почвы, въ особенности же въ числѣ этихъ авторовъ слѣдуетъ упомянуть Sprengel'я, который опубликовалъ свои взгляды на питаніе растений въ сочиненіяхъ: «Die Bodenkunde» (1837), «Die Lehre von den Urbarmachungen» (1838), «Die Lehre vom Dünger» (1839), Leipzig.

Насколько Sprengel въ своихъ воззрѣніяхъ приближался къ Либиху, можно видѣть изъ слѣдующихъ примѣровъ.

«Растенія изъ неорганическихъ веществъ, получаемыхъ ими изъ почвы и воздуха образуютъ тѣла органическія съ помощью свѣта, тепла, электричества и влаги», читаемъ мы на 48 стр. его «Ученія объ удобреніи». Ему извѣстно было, напр. и то, что нѣкоторыя минеральныя вещества необходимы для образованія бѣлковыхъ тѣлъ въ растеніи; такъ онъ говоритъ о постоянномъ присутствіи фосфора въ клейковинѣ, проводитъ параллель съ животными, у которыхъ мозгъ постоянно содержитъ фосфоръ.

Считая соли необходимыми для жизни растенія и зная ихъ происхожденіе изъ почвы, Шпренгель естественно пришелъ къ объясненію паденія урожая при непрерывной культурѣ и къ необходимости возврата минеральныхъ веществъ почвѣ. «Воздухъ остается всегда одинаковымъ по своему составу, но нельзя того же сказать о почвѣ; поэтому необходимо возмѣщеніе утраченнаго ею, причемъ всегда нужно обращать болѣе вниманія на такъ называемыя минеральныя вещества, чѣмъ на кислородъ, углеродъ и водородъ, такъ какъ эти послѣднія растеніе находятъ и въ воздухѣ; что же касается азота, то онъ долженъ быть также внесенъ въ связанной формѣ, такъ какъ большинство растеній не имѣетъ способности притягивать достаточно азота листьями изъ воздуха». (Die Lehre v. Dünger, стр. 10). Говоря объ отдѣльныхъ удобрительныхъ веществахъ Шпренгель всегда руководится ихъ химическимъ составомъ, причемъ особенное вниманіе обращено на тѣ питательныя вещества, которыхъ мало въ почвѣ.

Такимъ образомъ мы видимъ у Шпренгеля то самое ученіе о значеніи минеральныхъ веществъ и необходимости возврата ихъ, которое обыкновенно считается всецѣло принадлежащимъ Либиху.

Шпренгель ясно сознавалъ оригинальность своихъ воззрѣній; онъ говоритъ о «своей» теоріи питанія, «которая основана не только на

многихъ наблюденіяхъ и размышленіяхъ, но, что я считаю болѣе рѣшающимъ, также на многихъ и очень многихъ сравнительныхъ опытахъ».

Лишь въ одномъ пунктѣ Шпренгель сходится съ гумусовой теоріей и расходится съ Либихомъ—онъ, считая главнымъ источникомъ углерода въ растеніяхъ углекислоту воздуха, не отрицаетъ все же одновременнаго использованія перегной почвы корнями; но у него не было ни одного факта, который позволилъ бы ему отрицать это (какъ не было его въ началѣ и у Либиха).

Въ 1840 году появилось вышеупомянутое сочиненіе Либиха, производившее большое впечатлѣніе не только въ ученое мѣрѣ, но и въ массѣ сельскихъ хозяевъ; оно было написано не строгимъ языкомъ лекцій, какъ книга Шпренгеля, а въ формѣ популярной, выдѣлялось по блеску изложенія, рѣзкости критики и смѣлости выводовъ.

Либихъ началъ съ критики гумусовой теоріи, причемъ бралъ ее въ крайнихъ ея проявленіяхъ, доводя до абсурда. Аргументація его была приблизительно такая.

Если растеніе заимствуетъ углеродъ изъ перегной, то этотъ послѣдній долженъ быть предварительно растворенъ въ водѣ. Допустимъ, что все количество выпадающей воды поступаетъ въ растеніе, не тратясь на прямое испареніе съ поверхности почвы, не стекая съ полей и не просачиваясь вглубь, за предѣлы вліянія корней; оказывается, что всей этой воды далеко не хватаетъ, чтобы растворить количество перегной, необходимое для пополненія потребности растеній въ углеродѣ, при среднемъ урожаѣ <sup>1)</sup>. Слѣдовательно углеродъ долженъ поступать изъ атмосферы. Далѣе, такъ какъ самый перегной есть результатъ разложенія растительныхъ остатковъ, то *сначала должны были появиться растенія, и потомъ лишь перегной*, а стало быть первыя растенія заимствовали углеродъ только изъ воздуха. Слѣдовательно, перегной почвы не необходимъ для развитія растеній. Идя далѣе, Либихъ отвергъ совершенно самую возможность усвоенія органическихъ веществъ корнями, поставивши въ основѣ ученія о питаніи растеній (а слѣдовательно, и ученія объ удобреніи) положеніе, что *только неорганическая природа доставляетъ растеніямъ изъ первоначальную пищу* <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Замѣтимъ, что даже и Тэеръ прямо не утверждалъ, что углеродъ заимствуется *исключительно* изъ перегной.

<sup>2)</sup> Наличие слова «только» въ этомъ тезисѣ и составляетъ ту характерную черту, которой не доставало у Sprengel'я.



На долю перегной Либихъ оставилъ только одну роль — постояннаго источника углекислоты въ почвѣ; она ускоряетъ процессъ выѣтриванія силикатовъ и подготавливаетъ минеральную пищу растеніямъ. Что касается азота, вносимаго вмѣстѣ съ органическимъ веществомъ, (напр. въ навозѣ), то Либихъ не придавалъ ему вообще особаго значенія въ дѣлѣ удобренія, такъ какъ, зная, что воздухъ содержитъ въ небольшихъ количествахъ азотъ и въ видѣ амміака и въ формѣ окисленной, рѣшилъ, что почва достаточно получаетъ азота съ осадками, чтобы удовлетворить потребность культурныхъ растеній. Поэтому, съ точки зрѣнія Либиха, въ навозѣ цѣнна была лишь зольная часть его. (Это впоследствии опровергнуто было прямымъ опытомъ Буссенго, удобрившаго два однородныхъ участка, одинъ — навозомъ, а другой — золой отъ такого же количества его; на первомъ участкѣ эффектъ получился гораздо больший).

Естественнымъ продолженіемъ взглядовъ Либиха на питаніе растеній явилась его теорія удобренія и истощенія почвы при однообразной культурѣ, его мотивировка необходимости сѣвооборота.

Тьеръ и его послѣдователи считали существеннымъ условіемъ поддержанія плодородія почвы, накопленіе и сбереженіе въ ней гумуса, сообразно чему и растенія группировали на *обогащающія* и *истощающія* почву, смотря по количеству корневыхъ остатковъ, ими оставляемыхъ, съ одной стороны, и количеству органическаго вещества, уносимаго въ урожаяхъ, съ другой стороны; необходимость сѣвооборота вытекала изъ стремленія уравновѣсить предполагаемый расходъ органическихъ веществъ съ его приходомъ въ почвѣ.

Либихъ подвергъ критикѣ самое понятіе объ *обогащающихъ* почву растеніяхъ; разъ растенія берутъ изъ почвы только минеральныя вещества, необходимыя для ихъ развитія, то каждый урожай уноситъ нѣчто изъ почвы, обѣдняетъ ее, ни одно растеніе не можетъ обогащать почву элементами пищи для другихъ растеній, а можетъ только ее истощать. Но истощеніе это производится разными растеніями въ разномъ направленіи: одни берутъ преимущественно известь (напр. горохъ), третьи преимущественно кремнекислоту <sup>1)</sup> (хлѣба), значить, чередованіемъ культуръ мы только замедляемъ ходъ истощенія почвы, болѣе равномерно используемъ существующій въ ней запасъ питательныхъ веществъ; но рано или поздно истощеніе наступитъ, если мы не будемъ правильно возвращать почвѣ того, что изъ нея взято.

<sup>1)</sup> Большое содержаніе кремнекислоты въ соломѣ злаковыхъ дало поводъ Либиху первоначально считать и это вещество существеннымъ для развитія растеній.

На необходимости возврата минеральныхъ веществъ почвѣ (указанной ранѣе Palissy, Rückert'омъ, Sprengel'емъ) Либихъ настаивалъ съ громадной энергіей и несоблюденію этого приписывалъ большое историческое значеніе. «Причина возникновенія и паденія націй лежитъ въ одномъ и томъ же. Расхищеніе плодородія почвы обуславливаетъ ихъ гибель, поддержаніе этого плодородія — ихъ жизнь, богатство и могущество». Какъ на примѣръ, Либихъ указывалъ на судьбу Греціи и Рима, пришедшихъ къ упадку экономическому и нравственному благодаря незнанію законовъ природы. Той же судьбой грозилъ онъ и современному хозяйству, если оно во время не прекратитъ расхищеніе питательныхъ веществъ почвы, которое происходитъ, какъ указывалъ Либихъ, прежде всего въ слѣдующемъ направленіи. Большая часть хозяйствъ продаетъ въ городъ зерно и другіе продукты, увозя вмѣстѣ съ ними и тѣ вещества, которыя взяты были изъ почвы для ихъ образованія; возвращаются въ навозъ лишь вещества, входящія въ составъ соломы и сѣна, идущихъ на кормъ и подстилку животнымъ. Слѣдовательно, поля при исключительно навозномъ удобреніи ежегодно не дополучаютъ часть того, что отдаютъ растенію; а такъ какъ есть разница въ составѣ зерна и соломы, то не всѣми питательными веществами почва будетъ обѣдняться въ равной степени; прежде всего почувствуется недостатокъ въ фосфорной кислотѣ, которой много содержится въ зернахъ и менѣе — въ соломѣ. Это сейчасъ же скажется на урожаѣ зерна, такъ какъ величина урожая зависить отъ вещества находящагося въ наименьшемъ количествѣ (Либиховскій законъ минимума); сколько бы ни содержалось въ почвѣ кали, азота, она не даетъ хорошаго урожая, если въ ней нѣтъ должнаго количества фосфора, и наоборотъ: если не хватаетъ кали, не поможетъ фосфоръ и т. д.

«Придетъ время, писалъ Либихъ, когда каждое поле, сообразно съ растеніемъ, какое на немъ имѣютъ въ виду разводить, будетъ удобряться свойственнымъ удобреніемъ, притотовленнымъ на химическихъ заводахъ: тогда удобреніе будетъ состоять только изъ тѣхъ веществъ, которыя нужны для питанія растенія, такъ точно какъ теперь выѣчиваютъ лихорадку нѣсколькими гранами хинина, тогда какъ прежде больного заставляли глотать унціями хинную кору».

Проповѣдь Либиха вызвала обширную полемику и дала толчекъ къ многимъ опытнымъ изслѣдованіямъ. Около того времени (1838 г.) геттингенскій университетъ, въ виду отсутствія еще прочной почвы въ ученіи о питаніи растеній, назначилъ для полученія преміи слѣдующую тему: «такъ называемыя неорганическія вещества, которыя





О водных культурах напомнил ботаникъ Саксъ, напечатавшій въ 1857 году работу по морфологiи корневой системы; онъ сообщилъ, что его растенія въ обыкновенной водѣ могли расти и доходить до цвѣтенія. Эти опыты Сакса не касались вопроса о минеральномъ питанiи и въ сущности не отличались отъ культуръ Дюгамеля (1758 г.), но работа Сакса появилась въ такое время, когда Либихъ изложивъ свои «Fünzig Thesen» (1855 г.) далъ новый толчокъ спорамъ о питанiи растеній (спорнымъ былъ вопросъ объ относительномъ значенiи азота и зольныхъ частей); въ работѣ Сакса противники Либиха увидѣли опорный пунктъ для своихъ воззрѣнiй («растенія развиваются въ простой водѣ»), и въ тоже время сторонники минеральнаго питанiя были вызваны на новый рядъ экспериментовъ.

окрытъ, знакомясь съ состоянiемъ хозяйствъ, давать совѣты, читать лекцiи, анализировать почвы и удобрения; очевидно въ то время предполагалось, что хорошiй химикъ уже eo ipso одiнъ способенъ замѣнить и и cattedra ambulante и опытную станцiю. Мысль о такой возможности была въ нѣкоторой степени подана примѣромъ двухъ химиковъ, Stöckhardt'a и Petzholdt'a, приобрѣвшихъ извѣстность въ Саксонiи своими „проповѣдями (Feldpredigten), какъ ихъ называли сначала въ шутку, но затѣмъ Stöckhardt самъ далъ это названiе своему сборнику. (Chemische Feldpredigten für deutsche Landwirthe 1857 г., 4-е изд.). Въ 1847 году Штекгардтъ былъ назначенъ профессоромъ вновь учрежденной кафедры агрономической химiи въ Тарандѣ, получилъ въ распоряженiе лабораторiю, и такимъ образомъ его дѣятельность въ области агрономiи, раньше совершенно частная, теперь поставлена была на прочную почву и была обезпечена отъ случайныхъ перерывовъ; а въ 1851 году по инициативѣ Лейпцигскаго общества сельскаго хозяйства, возникла въ скромной обстановкѣ первая самостоятельная опытная станцiя въ Möckern'ѣ (какъ учрежденiе имѣющее цѣлью только изслѣдованiе, безъ связи съ преподаванiемъ) и завѣдующимъ былъ приглашенъ впоследствии столь извѣстный своими работами д-ръ Эмиль Вольфъ. Но при маломъ персоналѣ и скудномъ бюджетѣ первыхъ лѣтъ открытiя станцiи должны были работать при довольно неблагоприятныхъ условiяхъ—имъ приходилось сразу заниматься и научнымъ изслѣдованiемъ, и выполнениемъ заказовъ частныхъ лицъ на анализы кормовъ, почвъ, удобрений, сѣмянъ, при чемъ эта „контрольная“, дѣятельность давала въ значительной долѣ средства къ существованiю станцiи, но конечно замедляла выполнение основной задачи, отвлекая силы отъ научнаго изслѣдованiя. Тѣмъ не менѣе вскорѣ же опытная станцiя блестяще оправдала надежды на нихъ возложенныя, и ярче всего это сказалось на окончательной разработкѣ главы о минеральномъ питанiи. Отдѣльныя станцiи, обязанныя возникновениемъ соединенiю въ одномъ лицѣ и ученаго и хозяина (Буссенго и Лоозъ) ведутъ свое начало еще съ 1834 года во Францiи и Англiи (см. Тимирязевъ. Полѣвка опытныхъ станцiй). Хронологическiя данныя по развитiю германскихъ опытныхъ станцiй см. у Nobbe, L. Vers. Stationen. Bd. 22.

Съ слѣдующей же весны (1858 г.) начались опыты съ водными культурами на двухъ опытныхъ станцiяхъ, именно въ Möckern'ѣ (Кнопъ) и въ Tharand'ѣ (Stöckhardt и Handke) и на съѣздѣ сельскихъ хозяевъ и лѣсоводовъ въ Брауншвейгѣ 30 августа 1858 года Штекгартъ демонстрировалъ рядъ растенiй выращенныхъ въ водѣ. Но все-таки опыты 1858 года были лишь предварительными <sup>1)</sup> и въ 1859 году они были продолжены Кнопомъ и Мекернѣ, а въ Тарандѣ былъ приглашенъ для веденiя этихъ опытовъ вмѣсто Handke въ качествѣ ассистента Саксъ, встрѣтившiйся теперь съ необходимостью составить подходящiй питательный растворъ, пользуясь данными предыдущихъ опытовъ Handke (и также вначалѣ личными указанiями послѣдняго; ср. Кноп. I с. 592). Отмѣчаемъ это, чтобы констатировать, что *вся опытная разработка вопроса о зольномъ питанiи шла въ этотъ періодъ исключительно на опытныхъ станцiяхъ и въ агрономическихъ лабораторiяхъ*, и Саксъ участвовалъ въ этой разработкѣ въ качествѣ ассистента на одной изъ *этихъ станцiй* во второй годъ послѣ начала этихъ работъ.

Въ 1859 году впервые растенія въ водныхъ культурахъ были доведены до созрѣванiя, хотя еще при небольшомъ урожаѣ, о чемъ почти одновременно сообщали Кноп (Möckern) и Саксъ (Тарандѣ), но Саксъ пришелъ къ методу фракціонированныхъ растворовъ, и лишь Кноп установилъ полную питательную смѣсь для нормальныхъ культуръ въ той формѣ, въ какой до сихъ поръ ей пользуются [ $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ ]. Кнопъ подмѣтилъ вредъ закисныхъ соединенiй, а также констатировалъ, что недостаточный урожай получался у него не отъ неправильности состава исходной смѣси, а отъ нежелательныхъ измѣненiй въ составѣ этой смѣси за время развитiя растенiй (наклонность къ щелочной реакцiи) <sup>2)</sup>. Если примѣнять большiе объемы жидкости или мѣнять растворъ или вводить фосфорную кислоту для нейтрализацiи, то оказывалось возможнымъ получить большее развитiе растенiй, чего Кнопъ и достигъ въ 1860 году.

Интересно, что Кнопъ и вскорѣ затѣмъ напечатавшiе свои работы

<sup>1)</sup> Въ этихъ опытахъ Handke обнаружилъ чрезвычайную чувствительность растенiй къ щелочнымъ растворамъ, отмѣтилъ влiянiе селитры, раствора зольныхъ веществъ въ водѣ съ углекислотой и пр., но все-таки приемы были несовершенны и нормальнаго развитiя достигнуто не было. То же относится къ опытамъ Кнопа въ 1858 г.

<sup>2)</sup> Вводя  $\text{KNO}_3$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  Кнопъ констатировалъ, что азотная кислота потребляется растенiями въ большихъ количествахъ, чѣмъ основанiя, избытокъ которыхъ остается въ растворѣ въ видѣ двууглекислыхъ солей.

Stohmann и Nobbe (Tarandt) отмѣчаютъ въ видѣ отдѣльнаго тезиса, что растенія водныхъ культуръ достигали полнаго развитія, не имѣя другого источника углерода, кромѣ углекислоты атмосферы. Слѣдовательно еще въ 60-десятыхъ годахъ считалось нужнымъ окончательно констатировать эту независимость питанія растений отъ углерода почвы.

Разъ методъ былъ установленъ, имъ стали пользоваться для рѣшеній цѣлаго ряда вопросовъ многіе работники на опытныхъ станціяхъ: но имена Кноръ'a, Nobbe и Wolf'a особенно прочно связаны съ этимъ движеніемъ.

Разработка метода искусственныхъ культуръ, получившаго названіе метода *синтетическаго*, позволила окончательно установить то, что было лишь приблизительно намѣчено сначала Соссюромъ, а затѣмъ Шпренгелемъ и Либихомъ при помощи метода *аналитическаго*: только теперь, путемъ строгаго примѣненія метода разницы, оказалось возможнымъ установить, какіе элементы дѣйствительно необходимы для растений и какіе находятся въ золѣ случайно, только теперь можно было съ увѣренностью сказать хозяевамъ, что въ употребляемыхъ ими удобренияхъ существенно, и что составляетъ балластъ.

Этимъ путемъ были введены многія частныя поправки къ выводамъ Либиха, сдѣланнымъ на основаніи метода аналитическаго; такъ, предположеніе о замѣщаемости основаній другъ другомъ не оправдалось: калий нельзя замѣнить ни натріемъ, ни литіемъ, цезіемъ, рубидіемъ. Также кремнекислоту пришлось вычеркнуть изъ списка безусловно необходимыхъ для растений веществъ.

Можно сказать, что 60-е годы подарили наукѣ цѣлую новую главу о минеральномъ питаніи, и разработкой этой главы физиологія обязана именно агрономическимъ опытнымъ станціямъ.

Несомнѣнно, что толчокъ къ этой разработкѣ былъ данъ тѣмъ движеніемъ, которое вызвалъ Либихъ; хотя онъ самъ и не наклоненъ былъ къ экспериментальной проверкѣ своихъ выводовъ, но изъ нихъ вытекалъ рядъ вопросовъ, требовавшихъ этой проверки.

На ряду съ теоретической разработкой возбужденныхъ Либихомъ вопросовъ, его дѣятельность дала толчокъ цѣлому ряду опытовъ съ различными удобрениями въ полѣ и вызвала къ жизни новыя отрасли промышленности, какъ напр., фабрикація суперфосфатовъ. Либихъ указалъ на кости, какъ одно изъ важныхъ средствъ возвращать почвѣ взятую изъ нея фосфорную кислоту и предложилъ обрабатывать ихъ сѣрной кислотой, чтобы перевести нерастворимый въ водѣ трехъосновный фосфатъ въ форму растворимую; подъ влияніемъ

этого указанія Лоозъ въ 1842 году открылъ въ Англіи первый суперфосфатный заводъ <sup>1)</sup>.

Но многія черты ученія Либиха при столкновеніи съ дѣйствительностью должны были претерпѣть болѣе или менѣе существенныя поправки и дополненія. Прежде всего выше упомянутое требованіе возвращенія почвѣ всего изъ нея взятаго выраженное въ такой крайней формѣ, сталкивается съ основнымъ правиломъ организаціи въ хозяйствѣ; противиться этому «категорическому императиву» не можетъ послѣдовательно ни одинъ хозяинъ. Проведеніе же принципа возврата до конца могло бы потребовать въ интересахъ потомковъ примѣненія пріемовъ, даже убыточныхъ въ данное время для хозяйства. Покойный Н. Е. Ясковскій, читая въ 1886 году въ Моск. Универ. курсъ агрономической химіи, такъ выразился по этому поводу; «какъ намъ заботиться объ интересахъ потомковъ, когда они очевидно будутъ знать больше чѣмъ мы, и быть можетъ будутъ умѣть азотъ атмосферы утилизировать для приготовленія бѣлковъ». Появившаяся какъ разъ въ томъ же 1886 году работа Гельригеля указала косвенный путь для использованія атмосфернаго азота въ цѣляхъ синтеза органическаго вещества при помощи растений <sup>2)</sup>.

Наиболѣе крупная поправка къ взглядамъ Либиха должна была быть внесена какъ разъ по вопросу о значеніи *азотистыхъ* удобрений. Либихъ первоначально утверждалъ, что расходъ на покупку азотистыхъ удобрений есть расходъ непроизводительный, что атмосфера содержитъ въ достаточномъ количествѣ углекислый амміакъ, который поглощается почвой и растеніями и что имъ покрывается текущая потребность растений въ азотѣ. Какъ видно изъ приведенной ранѣе цитаты, Шпренгель правильнѣе Либиха смотрѣлъ на вопросъ объ азотистыхъ удобренияхъ.

По этому вопросу цѣлая серія работъ принадлежитъ другому крупному представителю агрономической химіи—Буссенго <sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Теперь въ одной Германіи работаетъ около 100 такихъ заводовъ (главнымъ матеріаломъ служатъ фосфориты).

<sup>2)</sup> Теперь сдѣланъ еще одинъ шагъ въ этомъ направленіи: азотъ воздуха используется для приготовленія селитры заводскимъ путемъ (см. ниже).

<sup>3)</sup> Либихъ род. 1803, умеръ 1873: Boussingault род. 1802, ум. 1887 г.; первыя работы Буссенго относятся къ 1837 году; непрерывной цѣпью продолжаютъ онъ на цѣлое столѣтіе, затрагивая основные вопросы физиологіи растений и агрономіи (см. его *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 8 томовъ).



Опыты Буссенго въ 1837—38 годахъ съ песчаными культурами, безъ внесенія азота, показали ему, что растенія усваиваютъ въ этихъ условіяхъ элементы углекислоты и воды (въ небольшихъ размѣрахъ), но что азота они содержали обыкновенно столько, сколько его было въ сѣменахъ; иногда лишь наблюдался нѣкоторый приростъ. Предполагая, что этотъ малый приростъ азота могъ произойти отъ поглощенія изъ атмосферы слѣдовъ углекислаго амміака растеніями и почвой <sup>1)</sup>, Буссенго въ слѣдующихъ опытахъ выращивалъ растенія подъ колпаками, замкнутыми сѣрной кислотой или въ стеклянномъ шкафу, съ постояннымъ токомъ воздуха очищеннаго отъ соединенія азота. Извѣстно, что эти опыты, произведенные (1851—54 гг.) въ большомъ числѣ, со всѣми возможными предосторожностями, привели Буссенго къ выводу, что атмосферный азотъ культурнымъ растеніямъ недоступенъ (теперь же мы добавляемъ: безъ содѣйствія бактерій), къ тождественному же выводу пришли Лоозъ и Джильтбертъ при тщательномъ повтореніи опытовъ Буссенго въ Ротамстедѣ. Напротивъ, азотъ связанный, внесенный въ формѣ нитратовъ, давалъ въ опытахъ Буссенго урожай, возрастающій пропорціонально его количеству; вотъ примѣръ:

Опытъ съ *Helianthus*.

|                                                  |           |          |          |          |
|--------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Дано селитры:                                    | 0         | 0,02 gr. | 0,04 gr. | 0,10 gr. |
| Полученъ урожай . . . . .                        | 0,397 gr. | 0,720    | 1,130    | 3,280    |
| Приростъ урожая подъ вліяніемъ селитры . . . . . | —         | 0,323    | 0,733    | 2,883    |

Какъ видимъ, внесеніе селитры въ количествахъ относящихся какъ 1: 2: 8 вызвало увеличеніе урожая почти въ такихъ же отношеніяхъ. Этотъ опытъ сдѣланъ былъ на открытомъ воздухѣ, слѣд. углекислый амміакъ, которому Либихъ приписывалъ такую роль, имѣлъ доступъ къ растеніямъ, но вліяніе его оказалось незамѣтнымъ. Такъ было установлено значеніе азотистыхъ удобреній, подвергнутое сомнѣнію со стороны Либиха.

<sup>1)</sup> Теперь намъ ясно, отчего происходилъ этотъ приростъ въ первыхъ опытахъ Буссенго — онъ наблюдался лишь въ случаѣ клевера, гороха, вообще бобовыхъ, злаки же не давали прироста; очевидно, въ этихъ первыхъ опытахъ Буссенго бобовыя имѣли клубеньки. Въ опытахъ же болѣе точныхъ, произведенныхъ позднѣе, прокаливаніе песка, изоляція сѣрной кислотой и другія мѣры для устраненія связаннаго азота устранили и бактерій.

Казалось, вопросъ объ азотѣ былъ исчерпанъ; если мы тѣмъ не менѣе видимъ, что Буссенго предпринималъ все новыя и новыя работы по изученію круговорота азота въ природѣ, то поводомъ къ этому явилось слѣдующее обстоятельство.

Кромѣ работъ лабораторныхъ, Буссенго имѣлъ возможность вести опыты и наблюденія въ своемъ хозяйствѣ, въ Bechelbronn'ѣ (Эльзасъ); тамъ онъ, подвергая учету путемъ анализа количество отдѣльных элементовъ вносимыхъ съ удобреніями и уносимыхъ урожаями послѣдовательныхъ культуръ даннаго сѣвооборота, замѣтилъ, что урожай въ суммѣ уноситъ больше азота, чѣмъ его вносится съ удобреніями за весь періодъ сѣвооборота.

| Вотъ эти данныя:                                     | Азотъ<br>урожаевъ. | Азотъ<br>удобре-<br>ній, | Раз-<br>ность. |
|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------|
| 1. Трехполье (паръ, два хлѣба) . . . . .             | 87,2 kgr.          | 82,8                     | 4,6            |
| 2. Пятиполье (1 годъ клевера) . . . . .              | 266,5              | 203,2                    | 63,3           |
| 3. 4-хъ поле (1 годъ клевера) . . . . .              | 338,7              | 182,0                    | 156,7          |
| 4. Непрерывная культура люцерны<br>(5 лѣтъ). . . . . | 1035,0             | —                        | 1035,0         |

Значитъ вопросъ объ источникахъ азота не былъ законченъ, нужно было выяснить откуда берутся эти излишки (какъ мы видимъ, связанные главнымъ образомъ съ участіемъ въ сѣвооборотѣ бобовыхъ).

Въ то время казалось возможнымъ, что связываніе свободного азота происходитъ между прочимъ при процессѣ нитрификации; если бы это было такъ, то конечно факты наблюдавшіеся въ Бехельброннѣ и въ другихъ хозяйствахъ стали бы понятнымъ.

Что нитраты образуются при разложеніи животныхъ и растительныхъ остатковъ въ землѣ — извѣстно было давно, и этимъ пользовались въ цѣляхъ практическихъ, именно, добывали селитру для приготовленія пороха изъ такъ наз. «селитряныхъ буртовъ», представлявшихъ изъ себя кучу земли, смѣшанной съ органическими остатками (навозомъ) и поливавшейся періодически навозной жижей или жидкими экскрементами людей и животныхъ.

Извѣстно было, что доступъ воздуха благопріятствуетъ нитрификации (перелопачиваніе кучъ), что нужна извѣстная температура что наличность основаній имѣетъ значеніе (отсюда прибавка золы) <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Еще въ 1748 году Piertsh сформулировалъ довольно точно условія благопріятныя для нитрификации, въ сочиненіи премированномъ Берлинской Академіей наукъ.

Помимо этого, процесс нитрификации мѣстами идетъ настолько энергично въ природѣ, что невольно останавливалъ на себѣ вниманіе; такъ, въ Индіи (долина Ганга), въ Испаніи, (окрестности Сарагоссы, Валенціи), въ южной Америкѣ мѣстами почва въ сухое время года покрывается бѣлымъ кристаллическимъ налетомъ—этотъ налетъ представляетъ изъ себя селитру, и жители подобныхъ мѣстностей пользуются такими почвами или для добыванія селитры (выщелачиваніе и выпариваніе) или для полученія обильныхъ урожаевъ пшеницы; по анализамъ Буссенго для южно-американскихъ почвъ содержаніе селитры въ нихъ можетъ превышать 1% <sup>1)</sup>.

Въ 1859 году Буссенго поставилъ опытъ съ цѣлью выяснитъ, насчетъ чего происходитъ образованіе селитры—азота органическихъ остатковъ и амміака, или же здѣсь происходитъ также окисленіе азота воздуха?

Для этого въ баллонъ около 100 литровъ емкости вводилась почва извѣстнаго состава и умѣренно увлажнялась; баллонъ закрывался наглухо каучуковой пробкой. Черезъ многолѣтній промежутокъ (11 лѣтъ) баллоны были вскрыты и почва вновь анализирована.

Вотъ результаты одного изъ опытовъ:

|                      | Всего азота. | Азота нитратовъ. |
|----------------------|--------------|------------------|
| До опыта. . . . .    | 0,4722       | 0,0007           |
| Послѣ опыта. . . . . | 0,4640       | 0,1457           |

Слѣдовательно, нитрификация не сопровождалась связываніемъ азота атмосферы.

Нужно было искать другихъ путей прихода связаннаго азота въ почвѣ. Буссенго обратился къ изученію состава атмосферныхъ осадковъ, чтобы судить насколько они могутъ обогащать почву нитратами и амміакомъ; онъ анализировалъ не только дождь и снѣгъ, но и росу, и влагу тумана.

Оказалось, что дождь приноситъ съ собой въ среднемъ около 0,5 mgr. амміака на литръ; но если дождь идетъ продолжительное время, то количество амміака падаетъ до 0,2 mgr. на литръ (атмосфера какъ бы промывается первыми порціями дождя). Та же пра-

<sup>1)</sup> Буссенго провелъ нѣкоторое время въ южной Америкѣ, въ 20-хъ годахъ истекшаго столѣтія; см. его описанія, точныя и изящныя (напр. „La nitrière de Tacunga“) въ вышеназванномъ собраніи сочиненій.

вильность наблюдается для содержанія азотной кислоты (2,0—0,2 mgr. на литръ).

Какъ же возобновляется въ атмосферѣ запасъ связаннаго азота? Буссенго указывалъ на грозы (особенно частыя въ странахъ экваторіальныхъ), какъ на факторъ обогащающій атмосферу нитратами (извѣстно было со времени Cavendish'a, что подъ вліяніемъ электрической искры азотъ соединяется съ кислородомъ). Шлезингъ, продолжавшій работы Буссенго, указывалъ еще на одинъ путь если не новаго обогащенія, то по крайней мѣрѣ возвращенія атмосферѣ связаннаго азота—это испареніе амміака вмѣстѣ съ парами воды съ поверхности морей <sup>1)</sup>; найдя, что вѣтеръ, проходящій съ моря приноситъ больше амміака, нежели вѣтеръ, проходящій по континенту, Шлезингъ построилъ на этомъ довольно стройную теорію круговорота азота, не лишенную тогда извѣстнаго значенія <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Кромѣ того обстоятельства, что углекислый амміакъ приносится въ почву съ дождями, слѣдовало еще съ точки зрѣнія этой теоріи учесть и прямое поглощеніе амміака почвой изъ атмосферы, и возможность еще болѣе непосредственнаго поступленія амміака черезъ листья и усвоенія его растеніями безъ участія почвы. (Опыты Сакса, Майера и Шлезинга доказали возможность такого условія, правда при искусственномъ обогащеніи атмосферы углекислымъ амміакомъ).

<sup>2)</sup> Съ особенной тщательностью Шлезингъ произвелъ опредѣленія амміака въ атмосферѣ при разныхъ условіяхъ температуры, разномъ направленіи вѣтра, и пр. Для того, чтобы точно учитывать колебанія этихъ очень небольшихъ величинъ, Шлезингъ построилъ приборы, позволяющіе весьма совершенно поглощать амміакъ изъ очень большихъ объемовъ воздуха, такъ, напр., въ одномъ случаѣ дно колокола съ сѣрной кислотой состояло изъ платиновой пластинки со множествомъ мелкихъ отверстій, и воздухъ, втягиваемый насосомъ проходилъ черезъ сѣрную кислоту въ видѣ массы тонкихъ пузырьковъ (см. описаніе этихъ приборовъ у Grandea, Chimie appliquée à l'agriculture).

|                | Ю. З. | С. З. | С. В. | Ю. В.                         |
|----------------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| днемъ. . . . . | 2,10  | 1,44  | 1,67  | 2,92 миллигр. NH <sup>3</sup> |
| ночью. . . . . | 2,68  | 1,99  | 2,58  | 4,08                          |

Такимъ образомъ при южныхъ вѣтрахъ атмосфера содержала больше амміака, чѣмъ при сѣверныхъ.

На совокупности своихъ наблюденій Шлезингъ построилъ такіа представленія о круговоротѣ связаннаго азота.

Амміакъ изъ атмосферы поглощается почвой (или приносится съ дождемъ), въ почвѣ онъ подвергается нитрификаціи, образовавшаяся селитра вымывается въ подпочву, оттуда въ рѣки и съ ними приходитъ въ моръ; въ морѣ нитратами питаются водоросли, которые или впослед-



Въ свое время теорія Шлезинга казалась единственнымъ выходомъ изъ противорѣчя, единственнымъ объясненіемъ факта, констатированнаго впервые Буссенго, что сумма урожаевъ содержитъ больше азота, нежели сумма удобреній, внесенныхъ за все продолженіе того или иного сѣвооборота.

Но кромѣ того, что притокъ связаннаго азота изъ атмосферы не является источникомъ достаточно обильнымъ, источникъ этотъ долженъ бы имѣть одинаковое значеніе для всѣхъ растений, а между тѣмъ въ сельскохозяйственной практикѣ все болѣе и болѣе накапливались факты, указывающіе, что одни изъ культурныхъ растений (бобовыя) используютъ какіе-то источники азота, недоступные для другихъ.

Весьма рельефно это сказалося и у Лооза и Гильберта (Ротамстедъ) при слѣдующихъ опытахъ (1850—60 гг.). на одномъ уча-

ствіи прямо отмирають или служатъ пищей животнымъ, тоже умирающимъ и приходящимъ въ разложеніе, какъ и водоросли; продуктомъ разложенія тутъ и тамъ является амміакъ; онъ въ видѣ углекислаго амміака обратно отдается постепенно морской водой атмосферѣ и круговоротъ такимъ образомъ заканчивается.

Но распредѣленіе амміака между жидкой и газообразной средой (океаномъ и атмосферой) подлежитъ извѣстнымъ физическимъ законамъ—чѣмъ выше  $t^0$ , тѣмъ больше амміака выдѣлится водой въ воздухъ, чѣмъ ниже  $t^0$ , тѣмъ вода будетъ удерживать большія количества амміака въ растворѣ; значитъ южныя моря будутъ отдавать атмосферѣ больше амміака, чѣмъ сѣверныя, значитъ южные вѣтры будутъ вызывать повышение титра амміака въ атмосферѣ, что и имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности.

По нѣкоторымъ опредѣленіямъ оказывается, что вмѣстѣ съ осадками и путемъ прямого поглощенія почва можетъ получить около 16 килогр. азотъ въ годъ, или около 1 пуда на десятину. Для сравненія укажемъ, что хорошій урожай пшеницы беретъ до 5 п. азота съ десятины.

Но подобныя опредѣленія дали въ разныхъ мѣстахъ результаты несовпадающіе. У насъ имѣются по этому вопросу данныя Плотянской опытной станціи гдѣ получены такіа результаты:

|            |                |          |          |
|------------|----------------|----------|----------|
| N въ mgr . | въ видѣ $NH_3$ | $N_2O_5$ | $N_2O_3$ |
| На литръ . | 0,932          | 0,042    | 0,009    |

Въ суммѣ за годъ на десятину это даетъ только 0,27 пуда азота, при чемъ этому малому приходу азота отвѣчаетъ и малое вымываніе нитратовъ изъ почвы, почти равное въ данномъ случаѣ приходу (Сводъ работъ Плотянской опытной станціи за десятилѣтіе 1895—1904, ст. *Вельбеля*). Въ другихъ климатахъ, болѣе влажныхъ, осадки могутъ приносить больше азота, но и вымываніе будетъ больше.

сткѣ (I) они культивировали пшеницу 10 лѣтъ подрядъ, на другомъ (II) чередовали пшеницу съ бобами, 10 урожаевъ пшеницы на первомъ участкѣ взяли въ суммѣ 262 kilogr. азота (считая на гектаръ) но и *пять* урожаевъ на участкѣ, (II) взяли почти столько же (253 kilogr.), кромѣ того, пять урожаевъ бобовъ унесли 574 kilogr. азота изъ почвы второго участка, значитъ въ суммѣ сѣвооборотъ съ бобами далъ втрое больше азота въ урожаяхъ, нежели его было въ 10 урожаяхъ пшеницы при непрерывной культурѣ, причемъ почва отъ этого очевидно не обдѣлѣла азотомъ, если слѣдующіе урожаи пшеницы могли брать вдвое болѣе азота (каждый), чѣмъ въ первомъ случаѣ.

Благопріятное вліяніе культуры клевера на урожай слѣдующихъ хлѣбовъ (отзывчивыхъ къ азотистому удобренію) наблюдалось постоянно: какъ мы видѣли выше, Тэеру было хорошо извѣстно, что пшеница тѣмъ лучше развивается послѣ клевера, чѣмъ лучше росъ самый клеверъ.

Изъ болѣе позднихъ наблюденій (начало 80-хъ годовъ) упомянемъ объ опытахъ Шульца (въ Люницѣ), который показалъ, что можно получать на бѣдной песчаной почвѣ удовлетворительные урожаи ржи и картофеля, не примѣняя ни селитры, ни навоза, а культивируя lupinus на зеленое удобреніе и внося подъ нихъ каинитъ и фосфаты.

Въ то же время сами бобовыя оказывались мало чувствительными къ азотистому удобренію или же совсѣмъ на него не реагировали, т.-е. вели себя въ природѣ иначе, чѣмъ въ опытахъ Буссенго.

Причину этого развитія выяснилъ, какъ извѣстно, Гелльригель. Онъ еще въ 60-хъ годахъ, завѣдуя сельско-хозяйственной опытной станціей <sup>1)</sup>, поставилъ себѣ съ 1862 года одной изъ главныхъ задачъ опредѣленіе количества отдѣльныхъ элементовъ пищи (N, K, P.), какія необходимы для полученія нормальныхъ урожаевъ сельскохозяйственныхъ культурныхъ растений. Оказалось, что установленіе такихъ нормъ для азота натолкнулось на непредвидѣнныя затрудненія. Именно, при песчаныхъ культурахъ (въ пескѣ *непрокаленномъ*, въ отличіе отъ опытовъ Буссенго) злаки обнаруживали извѣстную правильность, давая урожай тѣмъ большій, чѣмъ больше введено было въ сосуды азота въ формѣ селитры, но бобовыя развивались внѣ всякой зависимости отъ этого фактора.

«Въ 1862 и 63 году мы видѣли, что на нашемъ пескѣ при удобреніи, не содержащемъ азота, клеверъ обильно цвѣлъ, а на слѣду-

<sup>1)</sup> Тогда въ Dahme, позднѣе въ Bernburg'ѣ.

ющій годъ горохъ хорошо развивался и давалъ нормальныя зерна, но бывали годы, когда въ тѣхъ же условіяхъ тѣ же растенія погибали отъ голода; при контрольныхъ опытахъ одно растеніе развивалось превосходно, а другое плохо, безъ видимыхъ причинъ заболѣванія», пишетъ Гелльригель въ своемъ краткомъ введеніи <sup>1)</sup>.

Эти обстоятельства заставили Гелльригеля обратиться къ изученію условій развитія растеній въ сосудахъ, именно прослѣдить вліяніе объема сосудовъ, влажности, освѣщенія, свойства сѣмянъ; эти опыты дали матеріалъ извѣстной книгѣ Гелльригеля «Naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues», вышедшій въ 80-хъ годахъ <sup>2)</sup>; но съ этой стороны все-таки не вытекало объясненія причинъ особеннаго поведенія бобовыхъ и опыты 1883, 84 и 85 годовъ обнаружили лишь еще болѣе ясно различіе между ними и злаковыми.

Около этого времени появилась работа Brunhorst'a посвященная анатоміи клубеньковъ на корняхъ бобовыхъ <sup>3)</sup>, около того же вре-

<sup>1)</sup> См. описаніе этой серіи работъ: „Untersuchungen über die Stickstoffnährung der Leguminosen“, von Hellriegel und Willfarth, 1888; вотъ одинъ взятый отсюда примѣръ.

| Дано N. | Урожай овса. | Урожай гороха.      |
|---------|--------------|---------------------|
| 0       | 0,511 gr.    | Отъ 0,551 до 33,147 |
| 0,056   | 5,616        | „ 9,155 „ 14,04     |
| 0,112   | 11,140       | „ 16,9 „ 22,36      |

При анализѣ оказалось, что злаки содержатъ не болѣе азота, чѣмъ его было дано, а горохъ часто (но не всегда) обнаруживалъ накопленіе азота, причемъ прибыль эта выражалась не въ миллиграммахъ, а въ дециграммахъ и даже цѣлыхъ граммахъ, такъ что о погрѣшностяхъ анализа не могло быть и рѣчи. Въ то время, какъ для злаковыхъ оказывалось возможнымъ предсказать величину урожая, именно на каждую единицу азота удобренія приходится около 95 единицъ сухого вещества, если конечно азотъ находится въ минимумѣ), для бобовыхъ никакое предвидѣніе не удавалось.

<sup>2)</sup> Въ 1874 г. Гелльригель прекратилъ дѣятельность въ Dahme и до 1883 (Bernburg) онъ не имѣлъ въ распоряженіи лабораторіи и приборовъ. Въ этомъ внѣшнемъ обстоятельствѣ съ одной стороны и во внутреннихъ качествахъ самаго изслѣдователя съ другой, нужно искать причины, что работа объ усвоеніи азота бобовыми получила оглашеніе лишь въ 1886 г. „Il faut savoir se critiquer soi-meme; c'est seulement quand on a épuisé toutes les objections, qu'on en a pesé la valeur, qu'il faut conclure“. Эти слова принадлежатъ Буссенго (приведены въ некрологѣ, составленномъ Deherain'омъ); но Гелльригель смѣло могъ бы избрать это правило девизомъ своихъ работъ.

<sup>3)</sup> Клубеньки эти изслѣдовались еще въ 1865 году Воронинымъ, который призналъ микроорганизмы виновниками ихъ образованія; но ни въ какую связь съ усвоеніемъ азота эти образованія тогда не приводились.

мени Бертело сообщилъ о своихъ наблюденіяхъ, по которымъ почва, населенная микроорганизмами, нѣсколько обогащается азотомъ насчетъ атмосферы, но будучи стерилизована утрачиваетъ эту способность.

Все это заставило Hellriegel'я при опытахъ 1886 года испытать вліяніе стерилизации почвы и зараженія на усвоеніе азота бобовыми; результатъ получился совершенно рельефный: только тѣ изъ стерилизованныхъ сосудовъ, которые были вновь заражены почвеннымъ настоемъ, дали растенія бобовыхъ снабженныя клубеньками, способныя развиваться независимо отъ внесенія связаннаго азота; если же зараженія не было, не было и клубеньковъ, не было отличія отъ злаковыхъ въ отношеніи къ азотистому удобренію.

Сообщивъ объ этихъ наблюденіяхъ на съѣздѣ натуралистовъ въ Берлинѣ въ 1886, Гелльригель тѣмъ далъ ключъ къ разрѣшенію давней загадки, къ установленію того исключенія, которое не подчинялось общему правилу Буссенго; послѣдній, желая работать въ возможно чистыхъ условіяхъ и удаляя всякіе слѣды азота, тѣмъ самымъ большею частью удалялъ и бактерій, главныхъ виновниковъ этого «исключенія». Гелльригель между прочимъ дополнилъ еще свои данныя повтореніемъ извѣстнаго опыта Буссенго въ замкнутомъ баллонѣ съ искусственной атмосферой, но съ зараженнымъ пескомъ; если въ такой песокъ, лишенный соединеній азота, посеять бобовыя и злаковыя, то первыя лишь развиваются; такъ какъ обмѣна воздуха при этомъ не происходитъ, то этимъ опытомъ отклонено было возраженіе, будто бобовыя используютъ не свободный азотъ атмосферы, а азотъ углекислаго (или азотистокислаго) амміака, обладая способностью полифе чѣмъ злаки утилизировать тотъ источникъ азота, которому такое значеніе придавалъ Либихъ.

Такимъ образомъ, Гелльригель доказалъ, что въ извѣстной мѣрѣ правы были старые авторы, давая нѣкоторымъ растеніямъ названіе *обогащающихъ* почву: бобовыя могутъ увеличивать въ ней не только количества органическаго вещества, но и азота; учетъ обнаруживаетъ, что послѣ удачнаго посева клевера почва можетъ получить не менѣе того и другого, чѣмъ съ обычной нормой навознаго удобренія (2400 п.).

Отмѣтимъ, что мы и здѣсь (какъ въ вопросѣ о зольномъ питаніи) видимъ, что въ основѣ своей вопросъ былъ разрѣшенъ представителями агрономической химіи, Буссенго и Гелльригелемъ (причемъ опыты того и другого повторены и подтверждены на старѣйшей изъ существующихъ станцій, т. е. въ Ротамстедѣ). Когда узелъ былъ распутанъ, когда сущность процесса стала извѣстна, то оказалось



возможнымъ занести данное явленіе въ извѣстную рубрику логической классификаціи наукъ и предоставить дальнѣйшую разработку представителямъ соответствующей дисциплины. Разъ было установлено, что это процессъ бактеріальный, то нужно было выдѣлить соответственный организмъ въ чистой культурѣ, прослѣдить его развитіе, способъ проникновенія; такъ возникли работы Бейеринка; тщательныя изслѣдованія Пражмовскаго и болѣе поздніе опыты Mazé, впервые констатировавшаго способность клубеньковыхъ бактерій усвоить азотъ и внѣ организма бобовыхъ (для другой группы бактерій такой фактъ былъ еще до работы Mazé установленъ Виноградскимъ). Отмѣтимъ еще изящные опыты Шлезинга (сына) и Лорана доказавшихъ прямымъ анализомъ убыль азота въ замкнутой атмосферѣ, окружавшей бобовое, убыль въ количествѣ отвѣчающемъ приросту азота въ растеніи. Упомянемъ о работахъ Nobbe и Hiltner'a, показавшихъ, что бактеріи разныхъ бобовыхъ не одинаковы, что съ этимъ приходится считаться при искусственномъ зараженіи, что есть нѣкоторые небобовыя, также имѣющія клубеньки (напр. ольха); о работѣ Коссовича (П. С.), констатировавшаго, что водоросли, свободныя отъ бактерій, не усваиваютъ свободного азота.

Одно время казалось необходимымъ условіемъ, чтобы азотъ амміака перешелъ въ форму нитратовъ, чтобы послужить пищей высшимъ растеніямъ; но Мюнцъ путемъ метода полустерилизаціи (устраненіе нитрификаціи) и Pitsch путемъ полной стерилизаціи почвы (и введенія соли аммонія) показалъ, что высшія растенія способны развиваться и безъ нитратовъ; но въ этихъ опытахъ все-таки питаніе солями амміака дало результаты уступающіе селитрѣ, потому что не принята была во вниманіе фізіологическая кислотность солей аммонія; Коссовичъ и Mazé, проведя одновременно съ стерилизаціей и нейтрализацію остающейся кислотности, показали, что при этихъ условіяхъ аммоній является не худшимъ источникомъ азота чѣмъ селитра<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Названныя сейчасъ имена (Münz, Pitsch, Коссовичъ) показываютъ, что и этотъ фізіологическій вопросъ рѣшенъ при видномъ участіи агрономическихъ лабораторій. Тоже относится къ вопросу объ усвоеніи азота изъ амміака, поступающаго черезъ листья растеній: въ 1859 Stöckhardt на опытной станціи въ Tharand't предпринялъ повтореніе старыхъ опытовъ Davu относительно вліянія углекислаго амміака, при чемъ ассистентъ Штекгардта Саксъ видоизмѣнилъ опытъ, доставляя углекислый амміакъ не корнямъ, а листьямъ; анализъ показалъ усвоеніе азота. Эти опыты въ 1873 году были повторены съ болѣею тщательностью Шлезингомъ во Франціи и Майеромъ въ Германіи; въ то время какъ Шлезингъ старался возможно полно уединить атмосферу окружающую листья

Совершенно аналогично съ предыдущимъ вопросомъ шла разработка вопроса о нитрификаціи: только съ развитіемъ агрономической химіи удалось установить основной характеръ процесса, а затѣмъ уже было задачей бактеріологовъ выдѣлить и изучить морфологию соответственныхъ микроорганизмовъ.

Такъ, Шлезингъ и Мюнцъ открыли бактеріальный характеръ этого процесса, тщательно изучили вліяніе температуры, влажности и состава воздуха на ходъ нитрификаціи (подробнѣе объ этомъ будетъ говориться дальше). Работы эти были повторены и подтверждены въ Ротамстедѣ Варингтономъ и изученіе процесса было доведено въ агрономическихъ лабораторіяхъ приблизительно до той же стадіи, какъ и вопросъ объ условіи азота Гелльригелемъ: какъ тамъ затѣмъ понадобились работы Пражмовскаго для выдѣленія самаго микроорганизма, такъ здѣсь только благодаря Виноградекому найдены были соответственныя формы (*Nitrosomonas* и *Nitrobacter*), при чемъ задача Виноградекаго была гораздо труднѣе, такъ какъ ему пришлось для новыхъ фізіологическихъ типовъ бактерій отыскивать новыя условія изобрѣтать новую культурную среду (замѣнить желатину минеральнымъ студнемъ—кремнекислотой).

Представители агрономической химіи такимъ образомъ не разъ являлись въ роли пионеровъ, опредѣляющихъ сущность неизвѣстнаго еще явленія, основной характеръ того или иного процесса, когда же выяснено, куда слѣдуетъ его отнести, тогда выступаютъ на сцену спеціалисты данной отрасли, изучаютъ явленіе во всей его чистотѣ, и тогда оно можетъ описываться въ соответственныхъ отдѣлахъ общей классификаціи наукъ<sup>1)</sup>.

отъ почвенной атмосферы (неполнота этой изоляціи ставилась въ упрекъ опытамъ Сакса), Майеръ остроумнымъ приспособленіемъ устранилъ всякія возраженія съ этой стороны; у него корни двухъ сравниваемыхъ растеній погружались въ общій водный растворъ, проходя каждое черезъ одно изъ горлышекъ Вульфовой склянки; надземныя же части обоихъ растеній были окружены атмосферой разнаго состава (изоляция съ помощью двухъ стеклянныхъ колпаковъ), и только то растеніе, которое получало углекислый амміакъ черезъ листья усваивало азотъ изъ этого источника, а не другое; и у Шлезинга результатъ получился довольно доказательный; позднѣе по этому вопросу еще работалъ Мюнцъ, такъ что можно считать несомнѣнно установленнымъ, что изъ искусственно обогащенной атмосферы растенія могутъ заимствовать значительныя количества связаннаго азота.

<sup>1)</sup> То же вліяніе въ вопросѣ о денитрификаціи (Deherain, Gayon, Wagner), о метановомъ броженіи (Deherain, Schloesing), и въ многихъ другихъ случаяхъ.

Въ томъ фактъ, что разработка извѣстныхъ главъ физиологич. растений шла подъ флагомъ *агрономической химіи*, мы видимъ одинъ изъ случаевъ какъ бы несовпаденія логического порядка въ распределеніи научнаго матеріала съ порядкомъ историческимъ, который обуславливается больше всего наибольшей продуктивностью при раздѣленіи труда изслѣдованія: логически агрономія базируется на физиологич. растений, получаетъ отъ нея готовые выводы, исторически во многихъ отношеніяхъ мы видимъ обратное; но такое раздѣленіе труда только ускорило общую научную разработку, такъ какъ въ распоряженіи агрономическихъ станцій и лабораторій были методы и была обстановка, какой не было у ботаниковъ того времени (мы видѣли выше, какъ Саксъ констатировалъ, что не такъ давно въ Германіи хотя и были ботаники, но не было физиологовъ), а кромѣ того жизнь выдвигала рядъ вопросовъ, насущность научнаго рѣшенія которыхъ именно агрономами чувствовалась наиболѣе осязательно, и опытные станціи съ честью выполнили эту задачу, несмотря на то, что многія изъ нихъ при скудномъ бюджетѣ обременены еще были аналитической (контрольной) дѣятельностью <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Мы отмѣтили выше случаи, когда цѣлый рядъ физиологическихъ вопросовъ, одновременно важныхъ для рѣшенія насущныхъ задачъ земледѣлія, разрабатывался во второй половинѣ XIX столѣтія въ лабораторіяхъ агрономическихъ; но кромѣ этихъ вопросовъ непосредственно связанныхъ съ земледѣліемъ агрономическія лабораторіи принимали участіе въ изученіи физиологическихъ процессовъ, вовсе не связанныхъ столь близко ни съ ученіемъ объ удобреніи, ни съ другими практическими задачами, потребовавшими также примѣненія химическаго метода. Въ качествѣ примѣра упомянемъ о работахъ по дыханію Ад. Майера (установленіе большой кривой дыханія), по ассимиляціи—Deherain'a, Kreisler'a (не говоря о Буссенго), Годлевскаго, по проростанію—Детмера, Галльригеля, (въ Россіи—Лясковаго), въ особенности же—Шульце, специально занимающагося изученіемъ азотистыхъ веществъ, при проростаніи и въ работавшаго методы для изолированія отдѣльныхъ продуктовъ. Самая методика анализа растений создана преимущественно въ агрономическихъ лабораторіяхъ—достаточно назвать способъ опредѣленія бѣлковъ по „Штуцеру“, рядъ модификацій „Кіельдаля“, опредѣленіе нитратовъ по „Шлезингу“, амміака по Боссгарту, аспарагина—по Саксе, амидокислотъ—по Бемеру и пр. Тоже и для безазотистыхъ веществъ—опредѣленіе клѣтчатки—по „Геннебергу и Штоману“, пентозановъ—по Толленсу жира по Сокслету, и т. д.—все это настолько вошло въ лабораторный обиходъ, что каждый студентъ, проходившій анализъ растенія, знаетъ эти методы по именамъ авторовъ, ихъ предложившихъ.

Замѣтимъ, что мы не касались въ нашемъ обзорѣ того ряда многочисленныхъ работъ опытныхъ станцій и агрономическихъ лабораторій, которыя легли въ основу почвовѣдѣнія; эти работы касались какъ происхожденія почвъ (явленія вывѣтриванія), такъ и процессовъ постоянно

Обращая взглядъ на путь, пройденный за текущее столѣтіе, можемъ констатировать, что отошедшія въ прошлое теоріи, какъ бы односторонними они не казались, все-таки обычно содержали въ себѣ какое-нибудь вѣрное обобщеніе, но преувеличивали его значеніе и преуменьшали значеніе остальныхъ факторовъ; новое ученіе иногда стремилось отбросить все старое и замѣнить ему противоположнымъ; мы же теперь, пользуясь опытомъ прошлаго, ставимъ своей задачей комбинированіе отдѣльныхъ факторовъ, изученіе вліянія на урожай всей ихъ совокупности, не преувеличивая, по возможности, и не преуменьшая роли каждаго. Такъ, Тэеръ училъ, что перегной—все, зольныя вещества почвъ—ничто въ дѣлѣ удобренія, Либихъ училъ обратному (при чемъ не только углероду, но и азоту перегноя онъ не придавалъ значенія); мы же признаемъ, вмѣстѣ съ Тэеромъ, какъ роль перегноя въ опредѣленіи физическихъ свойствъ почвы, такъ и вмѣстѣ съ Либихомъ, все значеніе зольныхъ веществъ въ дѣлѣ удобренія; вмѣстѣ съ Буссенго признаемъ значеніе азотистыхъ удобреній для большинства сельскохозяйственныхъ культурныхъ растений (въ противоположность первоначальной формулировкѣ Либиха), но къ факторамъ физическимъ и химическимъ добавимъ, на основаніи работъ Гелльригеля, Шлезинга, Виноградскаго, признаніе значенія фактора біологическаго, не упуская изъ виду, что факторъ этотъ можетъ дѣйствовать какъ въ положительную сторону (усвоеніе азота, нитрификация) такъ и въ отрицательную (денитрификация).

Только на основаніи суммы вліяній, которое оказываетъ то или иное вещество на процессы почвы (физическіе, химическіе, біологическіе) и на самое растеніе, мы можемъ правильно оцѣнить его значеніе въ качествѣ удобренія.

повторяющихся въ почвахъ, какъ разложеніе органическаго вещества, какъ явленія поглощенія; отношеніе почвъ къ водѣ, ихъ тепловыя свойства изучены также преимущественно въ этихъ лабораторіяхъ; нѣкоторые изъ результатовъ этихъ работъ будутъ излагаться ниже, здѣсь же достаточно ради примѣра назвать имена Wollny въ Германіи, Hilgard'a въ Америкѣ и Костычева въ Россіи.

Точно также мы совершенно не касались той широкой области дѣятельности многихъ изъ опытныхъ станцій, вторая имѣла въ виду разработку научныхъ основъ зоотехніи, путемъ многочисленныхъ опытовъ по переваримости кормовъ, по изученію обмѣна веществъ въ зависимости отъ работы и др. факторовъ, по вопросу объ образованіи жира въ организмѣ и т. д. И въ этихъ работахъ многое представляетъ цѣнный общенаучный матеріалъ, но ихъ разсмотрѣніе выходитъ за предѣлы нашего вѣдѣнія.

Ученіе объ удобреніи.



## Почва, какъ посредникъ между растеніемъ и удобреніемъ.

### Поглотительная способность почвъ.

Уже давно было замѣчено, что почва способна задерживать извѣстные вещества изъ растворовъ, проходящихъ черезъ нее, переводя ихъ въ трудно растворимое состояніе, но лишь въ сравнительно недавнее время выяснено было значеніе этой категоріи явленій въ дѣлѣ питанія растеній.

Внесеніе удобреній въ почву во многихъ отношеніяхъ отличается отъ того простого случая, который мы имѣемъ при внесеніи солей въ водныя и песчаныя культуры; кромѣ прямого дѣйствія, мы имѣемъ здѣсь еще рядъ побочныхъ, иногда даже это побочное дѣйствіе является главной цѣлью внесенія удобренія; поэтому для насъ важно познакомиться съ тѣмъ, какъ почва относится къ вносимымъ въ нее солямъ, какова ея роль, какъ посредника между удобреніемъ и растеніемъ.

Исторію изученія явленій поглощенія ведутъ обыкновенно съ Gázzeri (Италія), который съ 1819 г. издалъ сочиненіе озаглавленное «Новая теорія удобренія». Тамъ онъ описываетъ свои опыты процѣживанія навозной жижи черезъ глину, причемъ происходитъ обезцвѣчиваніе жидкости, и приходитъ къ выводу, что «почва, въ особенности же глина, воспринимаетъ приходящія съ ней въ соприкосновеніе вещества и удерживаетъ ихъ, чтобы передать растеніямъ по мѣрѣ надобности». Въ Германіи Броннеръ въ 1836 году производилъ такіе же опыты, не зная о работахъ Gázzeri и пришелъ къ заключенію, что даже песчаныя почвы способны притягивать растворимыя вещества и сполна ихъ воспринимать, не отдавая ихъ затѣмъ притекающей водѣ; даже растворимыя соли, будучи поглощены, лишь въ незначительныхъ количествахъ вымываются водою; отсюда Броннеръ заключилъ, что дѣйствіе удобренія касается лишь верхняго слоя почвы, не достигая подпочвы.

Въ Англіи въ 1845 г. Томсонъ наблюдалъ поглощеніе амміака изъ солей, причемъ замѣтилъ, что при дѣйствіи на почву растворомъ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  въ растворъ переходитъ гипсъ. Въ 1850 году въ Англіи же появились обстоятельныя изслѣдованія Уэ (Way), который продѣлалъ опыты съ многими почвами и различными веществами, пытаясь выяснитъ, какая составная часть обуславливаетъ поглощеніе. Процѣживая черезъ почву растворы калийныхъ и амміачныхъ солей, онъ наблюдалъ поглощеніе оснований, кислоты же, связанныя съ ними (сѣрная, соляная, азотная) оказывались въ растворѣ, большей частью въ видѣ солей извести, а частью и другихъ оснований; фосфорная кислота вела себя иначе—она тоже задерживалась почвой; если кали и амміакъ употреблялись въ соединеніи съ  $\text{P}_2\text{O}_5$ , то они поглощались сильнѣе. Уэ объясняетъ это явленіе реакціями взаимнаго обмѣна между растворомъ и почвой; сначала онъ думалъ, что въ почвѣ вступаютъ въ эти реакціи кремнекислая известь, но опыты съ этимъ веществомъ не подтвердили его предположенія. Тогда Уэ обратилъ вниманіе на такъ называемую цеолитную часть почвы — водныя двойныя соединенія кремнекислаго глинозема съ другими кремнекислыми основаниями, которыя, какъ предполагаютъ, образуются въ почвѣ при процессахъ вывѣтриванія непосредственно или путемъ вторичнымъ, при соприкосновеніи веществъ, являющихся продуктами этихъ процессовъ; онъ приготовилъ искусственный натровый цеолитъ, приливая растворъ натроваго стекла къ раствору квасцовъ и констатировалъ его способность поглощать кали. Тоже показалъ онъ и для известкового цеолита. При этомъ наблюдалась эквивалентность оснований входящихъ и выходящихъ изъ состава цеолита. Такимъ образомъ опыты Уэ говорили за чисто химическую природу явленій поглощенія.

Опыты Уэ не обратили на себя должнаго вниманія, пока Либихъ въ 1858 г. не поднялъ вновь вопроса о поглотительной способности почвы и не подчеркнул важность его съ точки зрѣнія питанія растеній и удобренія. Онъ усумнился однако въ правильности толкованія Уэ относительно роли цеолитовъ и относительно химической природы явленій поглощенія вообще; напротивъ Либихъ склонялся къ объясненію этихъ явленій чисто физическимъ путемъ. Основывался онъ на слѣдующихъ своихъ опытахъ. Процѣживая слабыя растворы сѣрно-кислаго кали черезъ почву разнаго состава, онъ наблюдалъ во всѣхъ случаяхъ почти полное истощеніе раствора (благодаря очень широкому отношенію между количествомъ взятой соли и вѣсомъ почвы); работая другимъ методомъ (взбалтываніе) съ растворами  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  большей концентраціи, онъ хотя и нашелъ разное поглощеніе

у разныхъ почвъ, но не замѣтилъ никакой связи ни съ содержаніемъ глинозема, ни съ содержаніемъ извести; поэтому онъ рѣшилъ, что явленія поглощенія не зависятъ отъ химическаго состава почвы, и должны отойти къ категоріи явленій физических<sup>1)</sup>. Для сравненія онъ указывалъ на способность угля задерживать красящія вещества и обезцвѣчивать такимъ образомъ процѣженный растворъ. Этой способностью дѣйствительно обладаютъ многія вещества въ тонко измелченномъ состояніи, какъ сѣра, мышьякъ, но нельзя сравнивать поглощеніе солей почвою съ этимъ поглощеніемъ, такъ какъ здѣсь задерживаются лишь трудно растворимыя вещества, трудно диффундирующія, съ высокимъ молекулярнымъ вѣсомъ. Соли же щелочныхъ и щелочноземельныхъ металловъ не задерживаются въ замѣтныхъ количествахъ ни этими веществами, ни углемъ, если уголь не содержитъ минеральныхъ примѣсей. Адольфъ Майеръ приготовилъ свободный отъ золы уголь, осажда сажу отъ коптящей керосиновой лампы на дно чашки съ холодной водой и затѣмъ прокаливая ее въ закрытомъ тиглѣ. Такъ приготовленный уголь не поглощалъ веществъ завѣдомо поглощаемыхъ почвою, напр., кали изъ растворовъ  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , и т. д.: титры профильтровываемыхъ жидкостей оставались безъ измѣненія; а красящія вещества этотъ же уголь осаждаетъ.

Помимо того, что сравненіе почвы съ углемъ является не вполне подходящимъ, рядъ работъ по поглотительной способности, вызванныхъ Либихомъ же, доставилъ рядъ фактовъ, подтверждающихъ взглядъ Уэ; тѣмъ не менѣе на выводахъ германскихъ изслѣдователей надолго отразилось вліяніе авторитета Либиха и многіе изъ нихъ старались доказать, что не химическимъ причинамъ принадлежитъ главная роль въ объясненіи явленій поглощенія.

Впрочемъ о Либихѣ нужно сказать, что онъ не отрицалъ участія химическихъ явленій; такъ онъ показалъ, что изъ слабыхъ растворовъ  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  почвы богатая органическими кислотами поглощаютъ много кали и мало  $\text{SiO}_2$ , такъ что фильтратъ при выпариваніи даетъ студень; если же почву прокалить, или прибавить  $\text{CaCO}_3$ , то и  $\text{SiO}_2$  начнетъ поглощаться; химизмъ здѣсь очевидный, но Либихъ не находилъ возможнымъ признать его въ другихъ случаяхъ.

Переходимъ къ описанію и количественному изученію явленій по-

<sup>1)</sup> Впрочемъ позднѣе Либихъ самъ констатируетъ различіе между угольнымъ порошкомъ и почвою (см. „Химія въ приложеніи къ земледѣлію“, переводъ Ильенкова съ 7-го изд., стр. 93. Упомянутые въ текстѣ опыты Либиха подробнѣе изложены у Густавсона. „Двадцать лекцій агрономической химіи“, стр. 63.

глощенія, какъ они выяснились на основаніи работъ Геннеберга и Стомана, Петерса, Раутенберга и др.

*Поглощеніе щелочей.* Не только кали, какъ мы видѣли изъ опытовъ Уэ, можетъ поглощаться почвою, но тоже и натръ, и амміакъ, причемъ кислота остается въ растворѣ (если только это не была фосфорная кислота или  $\text{SiO}_2$ ) въ связи съ другими основаніями, замѣняющими поглощенные въ эквивалентныхъ количествахъ. Но энергія, съ которой поглощается основаніе, различна; такъ, натръ значительно уступаетъ въ этомъ отношеніи кали, какъ это можно видѣть изъ слѣдующихъ цифръ:

| Взято на 250 к. с.<br>0.55 gr. $\text{Na}_2\text{O}$ въ<br>формѣ. | Поглощ.<br>въ гр. | Въ % отъ<br>взятаго<br>колич. | Для кали.<br>Взято. | Погло-<br>щено. | %.   |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|------|
| Сѣрнистой соли . . . . .                                          | 0.0216            | 13.9%                         | 0.2355              | 0.0977          | 41.0 |
| Азотистой . . . . .                                               | 0.0228            | 14.7                          | 0.2355              | 0.0840          | 35.7 |
| Фосфористой . . . . .                                             | 0.0414            | 26.7                          | 0.2355              | 0.1271          | 53.9 |
| Углекислой . . . . .                                              | 0.0348            | 22.4                          | 0.2355              | 0.1178          | 50.0 |

Амміакъ также уступаетъ по силѣ связыванія кали, но разница гораздо меньше, чѣмъ для натра. Такъ въ одномъ опытѣ слѣдующія количества  $\text{CaO}$  вытѣснены были  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| $\text{KCl}$ . . . . .           | 0.354 $\text{CaO}$ |
| $\text{NH}_4\text{Cl}$ . . . . . | 0.319 $\text{CaO}$ |
| $\text{NaCl}$ . . . . .          | 0.168 $\text{CaO}$ |

Концентрація растворовъ въ вышеприведенныхъ случаяхъ была 0.01 отъ нормальной т. е. растворы были эквимолекулярны; употреблялось 250 куб. с. раствора.

Но нужно замѣтить, что размѣры поглощенія того или другого основанія зависятъ еще отъ предшествующаго состоянія или искусственной (химической) обработки почвы; такъ если обработать почву калийными солями, такъ сказать насытить ее кали, то ея поглотительная способность для натра возрастаетъ, какъ показалъ Петерсъ: его почва поглощала вначалѣ изъ 250 к. с. раствора съ 0.3609  $\text{Na}_2\text{O}$  (въ формѣ  $\text{NaCl}$ )—0.0270  $\text{Na}_2\text{O}$ , а послѣ обработки растворомъ кали—0.0621  $\text{Na}_2\text{O}$ . Тоже можетъ быть слѣдствіемъ и естественныхъ свойствъ почвы—если въ ней много натра въ поглощенномъ состояніи, то она будетъ поглощать его плохо, если же много  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , то  $\text{Na}_2\text{O}$  будетъ хорошо поглощаться.

Величина поглощенія не представляетъ чего-либо постояннаго, но находится въ зависимости и отъ условій опыта; такъ, она зависитъ отъ того, съ какой кислотой соединено основаніе; затѣмъ концен-



трация раствора также сильно влияет: чѣмъ крѣпче растворъ, тѣмъ абсолютно больше изъ него беретъ почва, но процентно — меньше; слабые растворы истощаются поэтому сильнѣе, но никогда — до конца. Это можно видѣть на слѣдующихъ цифрахъ:

| Въ 500 частяхъ воды<br>растворено: | K <sub>2</sub> O поглотилось: |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 0.585-mmг.                         | 0.190-mmг.                    |
| 1.170                              | 0.250                         |
| 2.340                              | 0.390                         |

Какъ видно, поглощеніе повышается не пропорціонально концентрации, а медленнѣе. Бедеръ пытался установить такое правило для этого: величина поглощенія возрастаетъ при увеличеніи концентрации въ 2, 3, 4 раза какъ  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{4}$  и т. д. Но эта законность вѣрна лишь приблизительно; такъ вмѣсто 1,41 (т. е.  $\sqrt{2}$ ) получалось при удвоеніи концентрации отъ  $\frac{1}{30}$  до  $\frac{1}{10}$  нормальн. раствора для K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — 1,21 (min.), для KNO<sub>3</sub> — 1,85 (max.).

Для высшихъ концентрацій отступленія еще сильнѣе.

Мы здѣсь имѣемъ дѣло съ условіями подвижнаго равновѣсія; подобно тому, какъ количество газа раствореннаго въ жидкости зависитъ отъ парціальнаго давленія, такъ и количество вещества поглощеннаго почвою зависитъ отъ содержанія его въ окружающемъ растворѣ послѣ поглощенія. Только здѣсь законность не столь проста, какъ въ случаѣ газовъ, такъ какъ взаимнѣе поглощаемого вещества выдѣляется другое и равновѣсіе опредѣляется не только количествами веществъ реагирующихъ, но и энергіей замѣщенія, различной для разныхъ веществъ. По опытамъ Беммелена кривая, выражающая эту зависимость, имѣетъ видъ параболы, т. е. поглощеніе вначалѣ быстро слѣдуетъ за концентраціей, а затѣмъ уже мѣняется очень медленно, какъ бы приближаясь къ точкѣ насыщенія. Поэтому и законъ Бедера не можетъ быть всегда вѣренъ: для начальныхъ ступеней концентрации можетъ существовать пропорціональность не корнямъ, а цѣлымъ числамъ, а для высшихъ ступеней возрастаніе поглощенія отстаетъ и отъ квадратныхъ корней, постепенно приближаясь къ постоянной величинѣ. Вотъ напр. цифры изъ опытовъ Кельнера <sup>1)</sup> (для большихъ концентрацій).

<sup>1)</sup> Landwirthschaftliche Versuchsstationen XXXII. Значительная часть другихъ примѣровъ цитирована по Sachsse, Lehrbuch d. Agriculturchemie, и Гейдену, Ученіе объ удобреніи.

|                   |     |                    |         |
|-------------------|-----|--------------------|---------|
| 100 гр. почвы изъ | 10% | раствора поглотили | 0.855   |
| »                 | »   | » 15%              | » 0.897 |
| »                 | »   | » 20%              | » 0.909 |
| »                 | »   | » 25%              | » 0.907 |

Величина поглощенія измѣняется также, если мы будемъ дѣйствовать разными количествами раствора одной и той же концентрации, какъ это можно видѣть изъ слѣдующихъ данныхъ одного опыта:

| Взято кали:                                    | Растворено: | Поглощено:   | %     | Отношеніе: |
|------------------------------------------------|-------------|--------------|-------|------------|
| 100 гр. почвы { 0.5888 гр. K <sub>2</sub> O въ | 250 к. с.   | 0.1990 гр. = | 33.8% | 1.—        |
| 1.1795 » » »                                   | 500 »       | 0.2517 » =   | 21.3% | 1.21       |
| 2.3550 » » »                                   | 1000 »      | 0.2935 » =   | 12.4% | 1.47       |

И здѣсь опять поглощеніе возрастаетъ не пропорціонально количеству раствора, а слабѣе: это ясно и a priori; положимъ, что изъ количества основанія A, раствореннаго въ 1 жидкости, почва поглотила a гр.; слѣдовательно въ жидкости осталось  $\frac{A-a}{1}$  гр.; при этомъ

распределеніи существуетъ равновѣсіе въ притяженіи веществъ почвой и растворомъ. Удвоимъ теперь объемъ раствора, не мѣняя концентрации и допустимъ, что поглощеніе тоже удвоилось; тогда бы мы имѣли конечную концентрацію  $\frac{2A-2a}{2}$ , т. е. тоже самое, что и

раньше. Но такъ какъ нельзя въ этой подвижной реакціи заставить почву поглотить вдвое больше вещества при томъ же составѣ окружающаго раствора, то равновѣсіе нарушилось бы и началось бы обратное выдѣленіе вещества изъ почвы въ растворъ; оно продолжается до нѣкоторой промежуточной между 1 и 2 ступеню, на которой осуществится равновѣсіе. Кромѣ того, увеличеніе поглощенія вслѣдствіе увеличенія объема жидкости уступаетъ увеличенію вслѣдствіе удвоенія концентрации, что опять таки ясно, такъ какъ 1-й случай отличается отъ 2-го лишь участіемъ двойного количества воды, слѣдовательно, вещество съ большей силой отнимается отъ почвы въ 1-мъ случаѣ, нежели во 2-мъ.

Величина поглощенія зависитъ также отъ времени дѣйствія раствора на почву; впрочемъ зависимость здѣсь не особенно рѣзкая: такъ въ одномъ изъ опытовъ Геннеберга и Стомана изъ амміачнаго раствора поглотилось черезъ 4 часа—0.050 гр., черезъ 24—0.058 и черезъ 168—0.067 гр.

Зависимость отъ t° нельзя еще считать достаточно выясненной; во всякомъ случаѣ вліяніе этого фактора не велико.

Относительно того, насколько отвѣчаютъ эквивалентамъ количества поглощаемыхъ оснований, даютъ возможность судить слѣдующія цифры Kellner'a, полученные имъ для 5 почвъ Японіи (анализы агрономической лабораторіи въ Токио<sup>1)</sup>).

При обработкѣ почвъ KCl поглотились слѣдующія количества K<sub>2</sub>O на 100 gr. почвы:

| 1                                                                                                                | 2     | 3     | 3     | 4     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2.483                                                                                                            | 1.700 | 1.940 | 1.524 | 1.583 |
| При обработкѣ NH <sub>4</sub> Cl и перечисленіи (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O на K <sub>2</sub> O получается |       |       |       |       |
| 2.510                                                                                                            | 1.712 | 1.980 | 1.562 | 1.610 |

Совпаденіе получается слѣдовательно достаточно полное. Цифры вычисленные изъ опытовъ съ амміакомъ, какъ видимъ, всѣ нѣсколько выше найденныхъ опытомъ для кали; это зависитъ отъ того, что почва въ естественномъ состояніи всегда уже содержитъ замѣтныя количества кали въ поглощенномъ состояніи, они то и уменьшаютъ поглощеніе при опытѣ. Амміака же въ почвѣ всегда немного, такъ такъ онъ быстро превращается, какъ мы увидимъ ниже, въ азотную кислоту. Во всякомъ случаѣ выше приведенные два ряда цифръ достаточно близко сходятся между собою, чтобы служить доводомъ въ пользу эквивалентности поглощаемыхъ количествъ калия и аммонія.

Петерсомъ получены были также близкія къ эквивалентнымъ числа другимъ методомъ: дѣйствуя растворомъ KCl на почву, онъ въ фильтратѣ опредѣлялъ CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O и перечислялъ всѣ эти основанія на кали, получалось слѣдующее:

|                                          | Эквивалент.<br>основ. | Поглощено<br>K <sub>2</sub> O. |
|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| При 0.2944 K <sub>2</sub> O въ 250 к. с. | 0.1241                | 0.1381                         |
| » 0.5888 »                               | 0.2061                | 0.1990                         |
| » 1.1776 »                               | 0.3138                | 0.3124                         |
| » 2.3552 »                               | 0.4540                | 0.4503                         |

Что касается *щелочныхъ земель*, то ихъ поглощеніе происходитъ слабѣе поглощенія щелочей; магnezія поглощается съ большей энергіей, нежели известь, какъ это видно изъ слѣдующихъ цифръ:

| Концентрація<br>(норм. раств.=1), | Количество<br>основанія. | Поглощено.   |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------|
| MgCl <sub>2</sub> 0.1             | 1.0 gr. на 250 к. с.     | 0.0985—9.8%  |
| CaCl <sub>2</sub> 0.1             | 1.4 gr. »                | 0.0374—2.7%  |
| MgCl <sub>2</sub> 0.01            | 0.1 »                    | 0.0346—34.6% |
| CaCl <sub>2</sub> 0.01            | 0.14 »                   | 0.0208—15.0% |

<sup>1)</sup> Landw. Versuchsstationen. XXXIII.

Опыты эти произведены были съ почвой бѣдной известью и магnezіей: въ ней было 0.24 CaO (раств. въ HCl) и 0.28 MgO, въ почвахъ же богатыхъ этими веществами поглощеніе будетъ равно 0, или даже, при извѣстныхъ условіяхъ растворъ будетъ обогащаться известью или магnezіей.

Разсмотрѣвши тѣ измѣненія, какія претерпѣваютъ растворы относительно содержанія оснований при соприкосновеніи съ почвой, обратимся теперь къ этой послѣдней и посмотримъ, какія изъ ея составныхъ частей и въ какой мѣрѣ участвуютъ въ поглощеніи оснований.

*Песокъ и невыветрившіеся минералы* видимо должны быть исключены изъ числа факторовъ поглощенія<sup>1)</sup>. Первый, состоя изъ кварцевыхъ зеренъ, представляетъ почти неизмѣняемое химически тѣло, противостоящее дѣйствию даже сильныхъ реактивовъ. Остаются слѣдовательно слѣдующія вещества: силикаты водные (являющіеся продуктомъ сложнаго вывѣтриванія), гидраты окиси желѣза и глинозема, свободная водная SiO<sub>2</sub>, карбонаты, сульфаты, фосфаты и гуматы.

Что касается водныхъ силикатовъ, то они или представляютъ конечные продукты вывѣтриванія, простые силикаты, какъ водный кремнекислый глиноземъ (каолинъ), водная кремнекислая магnezія (талькъ), или суть продукты вывѣтриванія сложнаго, способные дальше разлагаться и обмѣниваться основаніями—двойные силикаты.

Начнемъ съ *каолина*, какъ наиболѣе распространеннаго соединенія, къ которому часто пытались свести поглотительную способность почвъ.

Когда Раутенбергъ пробовалъ опредѣлить поглотительную способность отдѣльныхъ составныхъ частей почвы (1863 г.), то оказалось, что чистый каолинъ совершенно не поглощаетъ кали и амміака изъ среднихъ солей сильныхъ кислотъ. Тоже подтвердилъ Кнопъ, дѣлавшій опыты съ азотнокислымъ кали. Отсюда нужно заключить, что не каолину принадлежитъ *главная* роль въ дѣлѣ поглощенія. Все же каолинъ не лишенъ этой способности для солей кремнекислоты и фосфорной кислоты. Кремнекислые щелочи поглощаются каолиномъ въ извѣстной степени дѣйкомъ безъ разложенія, образуя двойныя соли. Что же касается фосфорнокислыхъ соединеній, то тутъ можетъ происходить отчасти обмѣнное разложеніе: образуется съ одной стороны

<sup>1)</sup> Въ послѣднее время впрочемъ накапливаются данныя показывающія что безводные силикаты не безусловно стойки и поддаются дѣйствию растворовъ въ большей мѣрѣ чѣмъ казалось ранѣе: значить ихъ роль въ поглощеніи можетъ быть не равна нулю; см. *К. Д. Гамка*. Исслѣдованія въ области процессовъ вывѣтриванія, 1906, а также *Ditrich*, Bied. Centralblatt, 1902, 196.



фосфорнокислый глиноземъ, а съ другой — кремнекислосое кали напр., это послѣднее можетъ связаться опять таки избыткомъ каолина.

*Цеолиты.* Что встрѣчающіеся въ природѣ цеолиты обладаютъ въ сильной степени способностью обмѣнивать свои основанія, показали опыты Эйхгорна и Лемберга. Первый изъ нихъ бралъ известковый цеолитъ (шабазитъ) въ мелкоистолченномъ состояніи (I) и обрабатывалъ его при обыкновенной т° растворами поваренной соли (II), хлористаго аммонія (III), соды (IV), углекислаго аммонія (V) и KCl (VI). Вотъ составъ шабазита неизмѣннаго и послѣ обработки этими растворами:

|                                   | I (шабаз.) | II (NaCl) | III (NH <sub>4</sub> Cl) | IV (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) | V (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | VI (KCl) |
|-----------------------------------|------------|-----------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>                  | 47.44      | 48.31     | 51.26                    | 48.39                                 | 50.61                                             | 47.89    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 20.69      | 21.04     | 22.17                    | 20.76                                 | 21.26                                             | 23.62    |
| CaO                               | 10.37      | 6.65      | 4.15                     | 5.64                                  | 5.63                                              | —        |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O | —          | —         | 6.94                     | —                                     | 5.91                                              | —        |
| K <sub>2</sub> O                  | 0.65       | 0.64      | 0.61                     | 6.86                                  | 0.87                                              | —        |
| Na <sub>2</sub> O                 | 0.42       | 5.40      |                          |                                       |                                                   |          |
| H <sub>2</sub> O                  | 20.18      | 18.33     | 14.87                    | 18.46                                 | 15.72                                             | 14.58    |

Какъ видимъ, въ составъ цеолита можно было по произволу ввести кали, натръ, или амміакъ (кстати замѣтимъ, что этими опытами опровергается возраженіе Либиха противъ Уэ, что силикаты не должны связывать амміака).

Кромѣ способности обмѣнивать основанія, цеолиты могутъ еще поглощать свободныя основанія, вытѣляя взамѣнъ ихъ

ную вѣроятность, такъ какъ все, что можетъ разрушать цеолиты, уничтожаетъ и явленія поглощенія и наоборотъ, все способствующее образованію цеолитовъ вызываетъ и усиливаетъ эти явленія.

Такъ, цеолиты разлагаются кислотами; и почва также при обработкѣ кислотами теряетъ въ значительной степени способность поглощать основанія. Петерсъ обрабатывалъ почву HCl при нагреваніи, затѣмъ промывалъ ее водою до исчезновенія реакціи на Cl; вліяніе раствора KCl на почву до и послѣ этой операціи было слѣдующее:

| Оказалось въ растворѣ. | CaO    | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Поглотилось K <sub>2</sub> O. |
|------------------------|--------|-------|-------------------|-------------------------------|
| До обработки HCl . . . | 0.0940 | 0.084 | 0.0261            | 0.1841                        |
| Послѣ обработки . . .  | 0.0136 | —     | 0.0004            | 0.0227                        |

Брустлейнъ наблюдалъ даже полное уничтоженіе поглощенія почвой амміака изъ NH<sub>4</sub>Cl послѣ обработкѣ HCl одной изъ изслѣдованныхъ имъ почвъ. Но лишь долгая обработка HCl способна низводитъ поглощеніе на низкую степень; происходитъ это частью отъ трудности, съ какой цеолиты отдають свои основанія, а затѣмъ и отъ того, что въ почвѣ силикаты находятся въ разныхъ степеняхъ вывѣтриванія въ то время какъ одни продукты вывѣтриванія разрушаются кислотой, измѣняются подъ ея вліяніемъ, — вывѣтрившіеся силикаты даютъ водныя соединенія, способныя опять поглощать.

Кромѣ дѣйствія кислотъ водные силикаты измѣняются подъ вліяніемъ прокаливанія. Послѣ прокаливанія большинство изъ нихъ ста-

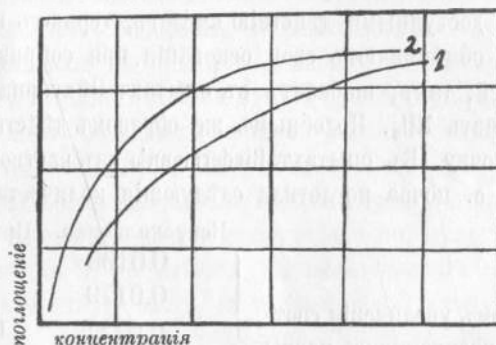
приливалъ столько кремнекислой щелочи, чтобы сполна осадить известь и глиноземъ. Такимъ образомъ получался каолинъ съ разными количествами искусственнаго цеолита (смотря по количеству взятыхъ веществъ).

Поглощеніе амміака изъ раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  получилось слѣдующее:

|                                |           |        |
|--------------------------------|-----------|--------|
| 100 гт. каолина съ 5% силиката | поглотили | 0.1291 |
| » » 10% » » »                  | »         | 0.2324 |
| » » 20% » » »                  | »         | 0.3245 |

Такимъ образомъ каолинъ приобрѣлъ способность поглощать основанія и притомъ тѣмъ въ большемъ количествѣ, чѣмъ больше было прибавлено цеолита.

Поглощеніе цеолитами основаній изъ растворовъ подчиняется тѣмъ же законамъ, какъ и поглощеніе ихъ почвой. Armsby прослѣдилъ <sup>1)</sup> параллельно поглощеніе для нильской почвы и искусственно имъ приготовленнаго силиката, послѣдній представлялъ натрово-глиноземную водную соль кремнекислоты такого состава:  $\text{SiO}_2$ —48.42,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —23.16,  $\text{Na}_2\text{O}$ —14.20 и  $\text{H}_2\text{O}$ —14.13; полученъ онъ былъ путемъ осажденія щелочнаго раствора глинозема растворомъ кремнекислаго натра. Въ зависимости отъ измѣненія концентрации раствора поглощеніе въ обоихъ случаяхъ увеличивалось по одному и тому же закону; кривыя, выражающія измѣненіе поглощенія для почвы и для цеолита, получились весьма близкія между собой:



Вліяніе концентраціи раствора на енергію поглощенія почвой (1) и цеолитомъ (2).

Взамѣнъ поглощаемаго основанія цеолиты выдѣляютъ другое; если растворъ не мѣняется, то на извѣстномъ пунктѣ реакція останавливается, подъ вліяніемъ накопленія въ растворѣ вытѣсненнаго осно-

<sup>1)</sup> Land. Versuchsstationen, XXI; также LXV, 247.

ванія; поэтому можно искусственно уменьшить размѣры поглощенія, введя въ растворъ соль вытѣснимаго изъ цеолита основанія. Такъ, въ тѣхъ-же опытахъ съ натровыми цеолитами Armsby наблюдалъ слѣдующее поглощеніе изъ раствора  $\text{CaCl}_2$ , причемъ въ одномъ случаѣ прибавлялся  $\text{NaCl}$ , а въ другомъ нѣтъ.

| Взято силиката. | Поглощено безъ $\text{NaCl}$ . | Поглощено+ $\text{NaCl}$ . |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| 2.5             | 0.1151                         | 0.1039                     |
| 1.25            | 0.0663                         | 0.0585                     |
| 0.625           | 0.0389                         | 0.0303                     |
| 0.3125          | 0.0187                         | 0.0143                     |

Тоже наблюдалъ и Лембергъ въ своихъ многочисленныхъ опытахъ.

Затѣмъ, и порядокъ замѣщенія основаній тотъ же самый для цеолитовъ, какъ и для почвы: кали наиболѣе вытѣсняется и съ наибольшей энергіей замѣняетъ другія основанія при поглощеніи, натръ и известь ведутъ себя обратно.

Если цеолиты играютъ такую большую роль въ дѣлѣ поглощенія, естественно ожидать, что будетъ извѣстная пропорціональность между ихъ содержаніемъ въ почвѣ и поглотительною способностью. Но до сихъ поръ такой параллелизмъ строго не могъ быть установленъ въ виду того, что у насъ нѣтъ точнаго мѣрила для количества цеолитовъ въ почвѣ. Кнопъ предлагалъ судить о содержаніи ихъ по количеству основаній, извлекаемыхъ изъ почвы соляной кислотой (исключивши, конечно, карбонаты); но у него не получалось полной послѣдовательности для всѣхъ отдѣльныхъ случаевъ; согласіе получалось лишь для среднихъ чиселъ. Да и трудно было бы ожидать здѣсь совершенной правильности; въ кислотахъ могутъ растворяться и другія основанія, напр., гидратъ окиси желѣза. Поэтому быть можетъ правильнѣе было бы опредѣлять поглощенные основанія, вытѣсняя ихъ аммоніемъ, путемъ промыванія почвы растворомъ  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Но и въ такомъ случаѣ, если бы мы могли точно опредѣлить поглощенные основанія, все же не имѣли бы точной мѣрки поглощенія цеолитами, такъ какъ одинъ и тотъ же цеолитъ можетъ быть въ разной степени насыщенъ основаніями; а затѣмъ разные цеолиты будутъ опять таки обмѣниваться основаніями съ различной легкостью, въ зависимости отъ характера основаній, входящихъ въ нихъ. Гейденъ наблюдалъ приблизительный параллелизмъ между количествомъ цеолитовъ и поглощеніемъ въ почвѣ, принимая за мѣрило количество кремнекислоты, выдѣляемой кислотами въ свободномъ состояніи и явля-



ющей результомъ разложенія цеолитовъ <sup>1)</sup>. Во всякомъ случаѣ современное состояніе этого вопроса можетъ быть вкратцѣ охарактеризовано такимъ положеніемъ: явленія поглощенія въ почвѣ происходятъ такъ, какъ они должны бы происходить подѣ влияніемъ цеолитовъ, если не исключительнымъ, то преобладающимъ.

*Гидраты окиси желѣза и глинозема* также въ нѣкоторой мѣрѣ могутъ участвовать въ явленіяхъ поглощенія; первый заслуживаетъ большаго вниманія, такъ какъ принимаетъ болѣе замѣтное участіе въ составѣ почвы. Но поглощеніе это не похоже, конечно, на поглощеніе цеолитами, такъ какъ здѣсь нечему вступать въ обмѣнъ. Поэтому оба гидрата поглощаютъ непосредственно лишь свободныя основанія; и это процессъ чисто химическій, такъ какъ извѣстна способность этихъ веществъ вступать въ соединеніе съ щелочами. Но какъ реакція не идущая до конца, процессъ этотъ стоитъ въ зависимости отъ концентрации раствора и количества его, обнаруживая тѣ же законности какъ и ранѣе разсмотрѣнныя явленія. Такъ

| 10 gr. Fe <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> поглощали |  | при концентраціи раствора: |              |
|----------------------------------------------------|--|----------------------------|--------------|
| 0.0396 gr. NH <sub>3</sub>                         |  | 0.8417                     | на 200 к. с. |
| 0.0462 »                                           |  | 1.6834                     | »            |
| 0.0478 »                                           |  | 3.6650                     | »            |
| 0.1264 gr. K <sub>2</sub> O                        |  | 0.8482                     | на 200 к. с. |
| 0.1468 »                                           |  | 1.6927                     | »            |
| 0.1577 »                                           |  | 3.4247                     | »            |

<sup>1)</sup> Въ послѣднее время D. Meyer указалъ еще на одно обстоятельство, по его мнѣнію доказывающее присутствіе цеолитовъ въ почвѣ. Именно, предложено было опредѣлять количество „дѣятельной“ извести въ почвѣ путемъ обработки ея хлористымъ аммоніемъ: если кипятить почву съ воднымъ растворомъ NH<sub>4</sub>Cl, то часть извести (именно углекислая), должна переходить въ растворъ въ видѣ CaCl<sub>2</sub>, а аммоній превращается въ углекислый амміакъ и отгоняется, такъ что по количеству послѣдняго въ дистиллятѣ можно бы судить о количествѣ углекислой извести въ почвѣ; но оказывается, что этотъ способъ даетъ всегда повышенныя показанія противъ опредѣленія углекислой извести по количеству вытѣсняемой кислотами CO<sub>2</sub>, что по Meyer'у и зависитъ отъ присутствія въ почвѣ цеолитовъ, такъ какъ сдѣланный съ цеолитами отдѣльный опытъ показалъ, что они также отдаютъ свою известь вытяжкѣ съ NH<sub>4</sub>Cl, причемъ соответственная часть амміака переходитъ въ дистиллятъ. (Landw. Jahrbücher, XXIX). Но съ другой стороны высказывается мнѣніе, что цеолитамъ въ настоящее время приписывается слишкомъ большая роль благодаря тому, что свойства другихъ силикатовъ (въ томъ числѣ и безводныхъ) являются плохо изученными.

Кромѣ ѣдкихъ щелочей глиноземъ способенъ еще поглощать кремнекислосое кали, образуя цеолитообразное соединеніе. Хлористыя же, сѣрно-кислыя и азотнокислыя соли почти совершенно не задерживаются. (По Варингтону, сѣрно-кислыя щелочи нѣсколько все-таки задерживаются, что нужно объяснить образованіемъ основныхъ солей).

Затѣмъ Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> и Al<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> могутъ играть и косвенную роль въ поглощеніи, связывая кислоты, вводимыя въ почву вмѣстѣ съ поглощаемымъ основаніемъ.

*Гидратная SiO<sub>2</sub>* не обладаетъ способностью задерживать щелочи изъ сѣрно-азотно-и солянокислыхъ солей, но поглощаетъ основанія карбонатовъ (не говоря, конечно, о свободныхъ щелочахъ); такъ K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> отдаетъ кремнекислотѣ часть своего кали, превращаясь въ двууглекислую соль: это происходитъ въ замѣтныхъ размѣрахъ, такъ у Беммелена изъ 200 к. с. съ 1.1040 gr. K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> поглощено было 45% K<sub>2</sub>O 20-ю граммами SiO<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O <sup>1)</sup>; при этомъ въ растворѣ остается KHCO<sub>3</sub>. Точно также въ случаѣ фосфорнокислыхъ щелочей возможно поглощеніе части основанія съ образованіемъ соответственныхъ кислыхъ солей. Но амміакъ не связывается кремнекислотой, въ какой бы формѣ онъ ни былъ введенъ. Присутствіе гидратной кремнекислоты въ почвахъ обработанныхъ кислотами, является одной изъ причинъ неполной утраты ими поглотительной способности. У Беммелена такая почва (100 gr.) поглотила изъ 1.3818 gr. K<sub>2</sub>O (въ 200 к. с.)—0.5828 gr., а изъ 0.4700 (на 250.)—0.2397, т. е. проявила весьма значительное поглощеніе относительно раствора углекислыхъ щелочей. Еще большую роль кремнекислота играетъ въ возстановленіи поглотительной способности почвы, какъ это обнаружилось въ опытахъ Гейдена. Онъ, послѣ обработки почвы соляной кислотой, кипятилъ ее съ содой, чтобы удалить SiO<sub>2</sub>. Когда послѣ этой обработки онъ испытывалъ дѣйствіе раствора KCl, то почва, вмѣсто ожидаемаго пониженія поглощенія показала увеличеніе его противъ почвы ничѣмъ не обработанной; именно, почва вначалѣ поглощала 0.0524 gr. K<sub>2</sub>O, а послѣ дѣйствія HCl и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>—0.1124, т. е. вдвое больше. Дѣло объясняется такъ. При дѣйствіи кислоты цеолиты отдаютъ ей свои основанія, выдѣляя SiO<sub>2</sub>; въ связи съ кремнекислотой остается лишь глиноземъ, слѣдовательно, получается каолинъ. При дѣйствіи углекислой щелочи на SiO<sub>2</sub> получается кремнекислая щелочь, которая съ каолиномъ и даетъ опять цеолитъ; что же касается того, почему поглощеніе не только возстановляется, но и уве-

<sup>1)</sup> Landw. Versuchsstationen, XXIII.

личивается, то во первыхъ всѣ бывшія въ почвѣ основанія замѣнены однимъ — натромъ, поэтому отсутствующія будутъ усиленно поглощаться; а во вторыхъ кислота можетъ еще измѣнять несполна вывѣтрившіеся силикаты, обогащать ихъ водными остатками, отнимая часть основаній, благодаря чему поглотительная способность увеличивается.

Подобнымъ же образомъ какъ сода, въ другихъ опытахъ (Петерса) *углекислая известь* восстанавливала и увеличивала поглотительную способность почвы, промытой соляной кислотой. Беммеленъ показалъ, что въ присутствіи углекислой извести водная  $\text{SiO}_2$  способна поглощать щелочи въ небольшомъ количествѣ и изъ среднихъ солей, напр. изъ  $\text{KCl}$ . (Объясняетъ это онъ такъ: растворъ  $\text{KCl}$  способенъ растворять небольшія количества  $\text{CaCO}_3$ ; естественно допустить, что въ растворѣ будетъ существовать  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{CaCl}_2$ ; тогда  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и будетъ реагировать съ  $\text{SiO}_2$  обычнымъ путемъ, съ образованіемъ  $\text{KHSiO}_3$ ).

*Перегонныя вещества* почвы также участвуютъ въ процессахъ поглощенія. Что касается поглощенія ими основаній изъ среднихъ солей, то оно можетъ совершаться на подобіе цеолитовъ. Гуминовая кислота способна образовывать сложные соли; такъ, Детмеромъ приготовлена была нерастворимая двойная известково-аммиачная соль. Поэтому можно представить себѣ, что при дѣйствіи раствора щелочной соли на гуминовокислую известь, щелочь и известь будутъ отчасти обмѣниваться мѣстами. Это и наблюдалъ Раутенбергъ, дѣйствовавшій на гумусъ (происшедшій отъ разложенія букового дерева) растворомъ  $\text{NH}_4\text{Cl}$ : взамѣнъ поглощенного количества амміака выдѣлились въ соответствующемъ количествѣ известь и магнезія. При кипяченіи гумуса съ соляной кислотой поглотительная способность его сильно уменьшалась. Свободныя гумусовыя кислоты способны отчасти прямо разлагать среднія соли, поглощая часть основанія и дѣлая растворъ кислымъ. Но сильнѣе всего перегонныя вещества поглощаютъ ѣдкія и углекислыя щелочи. Такъ въ опытахъ König'a <sup>1)</sup> перегной (изъ *Sphagnum*) поглотилъ слѣдующія количества амміака (въ % отъ раствореннаго количества):

|                                                |       |                                            |       |
|------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|-------|
| Изъ $\text{NH}_4\text{OH}$ . . . . .           | 82.0% | изъ $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ . . . . . | 57.3% |
| » $\text{NH}_4\text{Cl}$ . . . . .             | 7.6%  | » $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . . . . .   | 65.3% |
| » $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ . . . . . | 11.6% | » $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .   | 8.2%  |
| » $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . . . . .      | 44.8% |                                            |       |

<sup>1)</sup> Biedermann's Centralblatt für Agriculturchemie, 1881.

*Карбонаты* извести и магнезіи участвуютъ во 1-хъ въ поглощеніи кислотъ, дающихъ съ ними нерастворимыя соединенія (какъ фосфорная, кремневая) а во 2-хъ они отчасти обуславливаютъ взаимное поглощеніе; если къ почвѣ, содержащей  $\text{CaCO}_3$ , будетъ притекать растворъ  $\text{MgCl}_2$ , то отчасти будетъ образовываться  $\text{MgCO}_3$ , а  $\text{CaCl}_2$  переходитъ въ растворъ; точно также и наоборотъ—содержаніе  $\text{MgCO}_3$  въ почвѣ можетъ вызвать поглощеніе извести изъ  $\text{CaCl}_2$ . Какъ направленіе реакціи, такъ и степень замѣщенія будетъ зависѣть отъ количественнаго соотношенія реагирующихъ веществъ. Подобныя же реакціи карбонатовъ возможны, въ извѣстной мѣрѣ и съ азотнокислыми и сѣрнокислыми солями. Но эти явленія играютъ второстепенную роль, сравнительно съ вышеперезсмотрѣнными.

Наконецъ, *фосфаты* и *сульфаты* тоже отчасти могутъ являться факторами поглощенія основаній, поскольку эти послѣднія способны давать нерастворимыя соединенія вслѣдствіе реакцій обмѣна или образованія сложныхъ соединеній, напр. фосфорно-аммиачно-магнезіальная соль.

*Поглощеніе кислотъ.* Фосфорная кислота поглощается наиболѣе, за нею слѣдуетъ кремневая и угольная; поглощеніе сѣрной, азотной и соляной кислотъ совершенно ничтожно (приближается къ нулю).

*Фосфорная кислота.* Здѣсь мы находимъ законности подобныя тѣмъ, какія видѣли при поглощеніи основаній: тоже абсолютное возрастаніе и процентное пониженіе при повышеніи концентраціи. Вотъ цифры Петерса для  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

|                                                |                   |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                | 24 часа.          | 3 недѣли.         |
| 100 гр. изъ $0,892$ гр. $\text{P}_2\text{O}_5$ |                   |                   |
| раств. въ 250 к. с. погл.                      | $0,3238 = 36,3\%$ | $0,5141 = 56,6\%$ |
| 100 гр. изъ $1,784$ гр. $\text{P}_2\text{O}_5$ |                   |                   |
| раств. въ 250 к. с. погл.                      | $0,5168 = 29,0\%$ | $0,7196 = 40,4\%$ |

Кромѣ того, данныя эти показываютъ, что вліяніе времени сказалось здѣсь весьма существенно: увеличеніе срока дѣйствія оказалось равносильнымъ удвоенію концентраціи.

При поглощеніи фосфорной кислоты можетъ не происходить обмѣна, въ томъ смыслѣ, что никакой кислоты вмѣсто нея въ растворъ не переходитъ. Основаніе, въ связи съ которымъ дается фосфорная кислота, поглощается также, но въ количествахъ не всегда стоящихъ въ связи съ количествомъ поглощенной кислоты; такъ, для  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  оказалось, что поглощеніе было въ случаѣ различныхъ почвъ:

Ученіе объ удобреніи.



|                            | 1.    | 2.    | 3.    | 4.    | 5.    |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| для $\text{Na}_2\text{O}$  | 0,143 | 0,233 | 0,233 | 0,355 | 0,286 |
| для $\text{P}_2\text{O}_5$ | 0,070 | 0,177 | 0,229 | 0,289 | 0,514 |

Такимъ образомъ не наблюдается какого-либо постоянного соотношенія между поглощеніемъ натра и  $\text{P}_2\text{O}_5$  <sup>1)</sup>. Тоже оказалось и при опытахъ съ калийными и амміачными солями. Но всетаки поглощеніе основанія и кислоты не идутъ вполне независимо другъ отъ друга; именно, первое можетъ косвенно повышать второе, взаѣмъ кали и натра въ растворѣ переходитъ извѣсть, магнезія, способная связывать  $\text{P}_2\text{O}_5$  и поглощеніе ея усиливается. Обратное воздѣйствіе [также можетъ имѣть мѣсто: разъ  $\text{P}_2\text{O}_5$  связываетъ извѣсть, напряженіе въ растворѣ и стремленіе обратно замѣщать напр. натръ — уничтожается, и новое количество натра можетъ вступить изъ раствора въ реакцію.

Если мы употребляемъ кислую фосфорнокислую соль для опыта, то на величину поглощенія можетъ существенно вліять температура. Это объясняется разложеніемъ карбонатовъ кислыми фосфатами, энергія котораго естественно увеличивается съ температурой; это же относится и къ вышеупомянутому вліянію *времени* на поглощеніе  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Кромѣ того, силикаты могутъ отдавать основанія кислымъ фосфатамъ и свободной  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; извѣстно что водные силикаты могутъ быть въ различной степени насыщены основаніями, основанія эти могутъ выходить изъ ихъ состава, замѣщаясь водой, если для нихъ является какое либо болѣе сильно связывающее ихъ вещество, какимъ и можетъ явиться  $\text{P}_2\text{O}_5$  для извести и магнезіи.

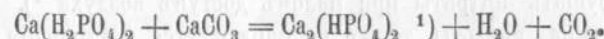
Такимъ образомъ силикаты способствуютъ поглощенію фосфорной кислоты двояко: или они отдаютъ связывающія ее основанія (Ca, Mg) *въ обменъ* на щелочи, если мы вводимъ въ почву фосфорнокислую щелочи, или отдаютъ ихъ благодаря прямому дѣйствію свободной или не вполне связанной фосфорной кислоты.

Большая роль въ поглощеніи  $\text{P}_2\text{O}_5$  принадлежитъ  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ ; въ виду важности этого вопроса для разъясненія превращеній фосфорнокислыхъ удобрень въ почвѣ рассмотримъ его подробно. Наипаче фосфорная кислота съ цѣлью удобренія вносится

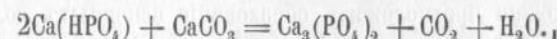
<sup>1)</sup> Это очевидно зависитъ отъ природы основаній, которые вытѣснялись натромъ: если въ однихъ почвахъ вытѣснялась преимущественно извѣсть, то фосфорная кислота связывалась больше; въ другихъ могло вытѣсняться кали, дающее растворимыя соли съ фосфорной кислотой.

въ почву въ видѣ  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  — одноизвестковаго фосфата, растворимаго въ водѣ (это соединеніе находится въ суперфосфатахъ); затѣмъ существуетъ еще двуосновной фосфатъ  $\text{CaHPO}_4$ , нерастворимый въ водѣ, но растворимый въ лимонной кислотѣ и лимоннокисломъ амміакѣ; его называютъ поэтому полурстворимымъ фосфатомъ; наконецъ, трехъосновный фосфатъ  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  въ безводномъ состояніи принадлежитъ къ веществамъ нерастворимымъ ни въ водѣ, ни въ лимоннокисломъ амміакѣ; онъ поддается лишь дѣйствію кислотъ.

Представимъ, что вносимый въ почву монофосфатъ приходитъ въ соприкосновеніе съ  $\text{CaCO}_3$ ; вследствие кислаго характера перваго соединенія происходитъ выдѣленіе  $\text{CO}_2$  изъ  $\text{CaCO}_3$  и воспринятіе извести:



Реакція идетъ тѣмъ лучше, чѣмъ въ болѣе тонкихъ частицахъ находится  $\text{CaCO}_3$ . При благопріятныхъ условіяхъ (избытокъ  $\text{CaCO}_3$ ) реакція можетъ идти и дальше:



Но даже и въ первой стадіи фосфорная кислота является поглощенной, не переходящей въ растворъ.

Съ полутороокисями фосфорная кислота образуетъ соединенія вообще въ водѣ нерастворимыя, но они могутъ быть при меньшемъ количествѣ основанія растворимы въ лимоннокисломъ амміакѣ. Напаче встрѣчается въ почвѣ  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ ; смотря по количеству онъ отнимаетъ большее или меньшее количество  $\text{P}_2\text{O}_5$  у известковаго монофосфата и переводитъ его въ ди- или трифосфатъ. Желѣзо также можетъ выходить изъ состава силикатовъ и связываться съ  $\text{P}_2\text{O}_5$ , а въ силикатъ войдетъ основаніе фосфорнокислой соли.

Гейденъ показалъ, что послѣ обработки почвы  $\text{HCl}$  поглощеніе ею  $\text{P}_2\text{O}_5$  спускается до незначительной величины; это совершенно понятно, такъ какъ  $\text{HCl}$  удаляетъ большую часть основаній связывающихъ  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Наоборотъ, при обработкѣ почвы известковой водой или прибавленіи къ ней  $\text{Fe}_2\text{Cl}_6$  поглощеніе  $\text{P}_2\text{O}_5$  увеличивалось.

*Азотная, серная и соляная кислоты.* Ни одна изъ этихъ кислотъ не поглощается сколько нибудь правильно и въ замѣтныхъ количествахъ. Вотъ цифры Кюпа для  $\text{HNO}_3$ , полученные въ опытахъ съ черноземомъ (100 gr. почвы):

<sup>1)</sup>  $2\text{CaHPO}_4$ .

|                          |    |                         |      |
|--------------------------|----|-------------------------|------|
| свободная $\text{HNO}_3$ | 1) | дано 26 к. с. N найдено | 24   |
|                          | 2) | " 13.5                  | " 15 |
|                          | 3) | " 17.0                  | " 15 |
|                          | 4) | " 17.0                  | " 17 |
|                          | 5) | " 25.0                  | " 25 |
| въ видѣ $\text{KNO}_3$   | 1) | " 13.5                  | " 16 |
|                          | 2) | " 32.0                  | " 32 |
|                          | 3) | " 64.0                  | " 64 |

Незначительное уменьшение содержания азота, наблюдавшееся въ нѣкоторыхъ случаяхъ не можетъ быть отнесено насчетъ поглощенія: отчасти оно можетъ быть слѣдствіемъ возстановленія подѣ влияніемъ органическихъ веществъ, или дѣятельности микроорганизмовъ способныхъ разрушать нитраты при маломъ доступѣ воздуха <sup>1)</sup>.

Для сѣрной кислоты также не наблюдается поглощенія, а часто происходитъ обогащеніе раствора ею, если почва содержала сѣрно-кислыя соли въ замѣтномъ количествѣ. Тоже относится и къ соляной кислотѣ. Что касается объясненія тѣхъ случаевъ, когда все-таки наблюдается поглощеніе и этихъ кислотъ (въ очень слабыхъ размѣрахъ), то можно предположить образованіе основныхъ солей съ полутороокисями почвы; такъ, Варингтонъ наблюдалъ, что  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$  дѣлаетъ щелочными растворы  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  <sup>2)</sup>.

Затѣмъ нѣкоторые щелочно-глиноземные силикаты способны образовывать двойныя соединенія съ сѣрнокислыми щелочами. Въ такихъ случаяхъ возможно присоединеніе соли цѣликомъ, безъ разложенія.

*Кремневая кислота* поглощается почвой по тѣмъ же причинамъ, какъ и фосфорная: она также образуетъ трудно нерастворимыя соединенія съ известью, желѣзомъ и глиноземомъ. Перегонныя вещества почвы, представляя изъ себя довольно сильныя кислоты, могутъ помѣшать кремнекислотѣ вступитъ въ подобныя соединенія и потому ихъ присутствіе понижаетъ способность  $\text{SiO}_2$  поглощаться почвой, какъ это наблюдалъ Либихъ.

Уничтоженіе кислотности почвы путемъ прибавленія  $\text{CaCO}_3$  или прокаливанія увеличиваетъ поглощеніе кремнекислоты.

Изъ предыдущаго изложенія видно, что явленія поглощенія сво-

<sup>1)</sup> Gutzeit впрочемъ высказалъ мнѣніе, что могутъ существовать трудно растворимыя соединенія кальція съ азотной и гуминовой кислотами (Vers. Stat. Bd. LXV); но его предположеніе не провѣрено. О разрушеніи нитратовъ при 48-часовомъ настаиваніи почвы см. работу Франкфурта и Душечкина, Вѣстникъ Сахарной Промышленности 1906.

<sup>2)</sup> Jahresbericht für Agriculturchemie 1868 г.

дятся главнымъ образомъ къ причинамъ химическимъ; причины физическія не исключаются совершенно, но ихъ роль является подчиненной <sup>1)</sup>.

Остановимся на значеніи поглотительной способности для питанія растений и ея влияніи на дѣйствіе удобрень.

Изъ физиологіи растений извѣстно, что корни растений воспринимаютъ пищу изъ весьма слабыхъ растворовъ: при водныхъ культурахъ употребляются растворы 1—3 на тысячу; 5 pro mille часто оказывается уже излишнимъ. Въ почвѣ, именно благодаря явленіямъ поглощенія, концентрація поддерживается на должной степени; при процессахъ вывѣтриванія питательныя вещества могутъ накапливаться въ значительныхъ количествахъ; поглощаясь, они находятся въ состояніи всегда готовомъ для воспріянія корнями, но не дѣйствуютъ разрушающимъ образомъ на нихъ. Ходъ усвоенія нужно представлять себѣ такъ: растеніе поглощаетъ изъ слабого раствора питательныя вещества въ большей пропорціи, чѣмъ остальные (не по какой-либо особой *избирательной способности*, а просто потому, что вещества усвояемыя исключаются изъ сферы дѣйствія, и постоянно въ клѣточку можетъ проникать новое количество усвоеннаго вещества). Разъ извѣстныхъ веществъ въ растворѣ стало меньше, цеолиты отдаютъ вновь часть ихъ, вслѣдствіе нарушенія равновѣсія и растеніе вновь можетъ усвоить ихъ и т. д.

Точно также при внесеніи въ почву удобрень въ видѣ растворимыхъ солей концентрація повышалась бы чрезмѣрно, если бы тѣ

<sup>1)</sup> Кромѣ явленій поглощенія въ собственномъ смыслѣ какъ онѣ выше описаны различаютъ еще „адсорпцію“ и „абсорпцію“. Значеніе этихъ терминовъ не всегда одинаково; мы приведемъ только слѣдующее ихъ объясненіе. Подѣ адсорпціей разумѣютъ неравенство концентраціи раствора, окружающаго почвенныя частицы, въ зависимости отъ разстоянія отъ поверхности частицы, именно для большинства солей концентрація эта будетъ нѣсколько повышена у самой поверхности частицы по сравненію съ пунктами болѣе удаленными; поэтому растворы такихъ солей обнаруживаютъ *положительную адсорпцію*, т. е. послѣ взбалтыванія раствора съ почвой (или рядомъ другихъ мелко измѣльченныхъ веществъ) нѣсколько понижаютъ свои концентрации, слѣдовательно часть соли задерживается почвой (но цѣликомъ, безъ обмѣннаго разложенія, имѣющаго мѣсто при типичномъ поглощеніи); въ другихъ же случаяхъ возможна отрицательная адсорпція. Подѣ абсорпціей разумѣютъ способность коллоидовъ поглощать изъ растворовъ то часть основанія, то часть кислоты (смотря по природѣ коллоида) и такимъ образомъ нарушать нейтральную реакцію среды, дѣлать ее то кислой, то щелочной (См. литературу въ статьѣ Гедройца „Почвенный растворъ etc“, Журналъ Опытной Агрономіи, 1906 г., стр. 540).



вещества, напряженіе которыхъ въ растворѣ наибольшее, не поглощались бы съ наибольшей силой. Поглотительная способность является такимъ образомъ регуляторомъ почвеннаго раствора со стороны *концентраціи* его. Болѣе того, она обезпечиваетъ и *разнообразіе* почвеннаго раствора <sup>1)</sup>, какъ это ясно изъ вышесказаннаго: при внесеніи въ почву, напр., солей натра, часть его поглотится и замѣнитъ его выдѣлится соли кали, известь, магнезія и др. Поэтому никакое удобрение не дѣйствуетъ только прямо, а вызываетъ въ почвѣ рядъ измѣненій, дѣйствуетъ и косвенно (особенно въ большихъ количествахъ въ качествѣ косвеннаго удобрения употребляется известь) <sup>2)</sup>.

Затѣмъ поглотительная способность сохраняетъ въ почвѣ цѣлый

<sup>1)</sup> Замѣтимъ, что получение почвеннаго раствора въ неизмѣненномъ видѣ въ цѣляхъ изслѣдованія его состава требуетъ особыхъ приемовъ; см. между прочимъ статью *Ищерекова*, Журналъ Опытной Агрономіи 1907, 147.

<sup>2)</sup> Обычно принимаютъ, что только поглощенные почвой вещества являются усвояемыми и опредѣляютъ ея плодородіе другія же соединенія (какъ безводные силикаты) представляютъ лишь тотъ запасъ, изъ котораго постепенно при вывѣтриваніи образуются легко усвояемые вещества. Существуютъ однако лишь единичные опыты, въ которыхъ напр. констатируется совпаденіе между количествомъ кали въ поглощенномъ состояніи (способнаго вытѣсниться растворомъ  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) и потребленіемъ кали растеніями за вегетаціонный періодъ.

Однако, если такое совпаденіе для извѣстной почвы констатируется въ случаѣ одного растенія (для люпина въ опытахъ Kellner'a), то еще нельзя ожидать такого же совпаденія для другихъ растеній, въ виду возможныхъ различій въ усвояющей способности корневой системы (см. примѣры въ главѣ о фосфатахъ). Затѣмъ, для нѣкоторыхъ случаевъ несомнѣнно констатируется, что безводные силикаты могутъ отдавать часть своего кали растеніямъ (см. въ главѣ о калийныхъ удобренияхъ); конечно, можно предполагать, что эти минералы при этомъ подвергаются предварительному ряду превращеній, и что кали берется растеніемъ уже не изъ безводнаго силиката, а изъ соединенія типа цеолитовъ; тѣмъ не менѣе, это показываетъ, что рѣзкую грань между элементами „богатства“ и элементами „плодородія“ почвы проводить трудно. Съ другой стороны имѣются указанія на столь прочное поглощеніе амміака цеолитами, что растенія уже не могутъ взять всего азота въ этой формѣ за вегетаціонный періодъ (см. Pfeiffer, Ueber Festlegung des Ammoniaks etc, Breslauer Mitteilungen, Band III). Поэтому можно лишь при извѣстной схематизаціи приближенно допускать совпаденіе категоріи поглощенныхъ и усвояемыхъ веществъ въ почвѣ, на дѣлѣ же требуется болѣе точное изученіе и разчлененіе вопроса, при которомъ необходимо считаться съ природою отдѣльныхъ растеній, поглощаемыхъ веществъ и характеромъ самого поглощенія.

рядъ питательныхъ веществъ, противодействуя ихъ вымыванію. Разсмотримъ поэтому отношеніе поглощенныхъ веществъ къ водѣ нѣсколько подробнѣе.

Для изученія этого вопроса или дѣлаютъ опытъ въ совершенно опредѣленныхъ условіяхъ, т.-е. съ почвой извѣстнаго состава, поглотившей извѣстное количество вещества, извлеченіе котораго водой и наблюдаютъ; или анализируютъ дренажныя воды, т.-е. профильтровывающіяся черезъ почву атмосферные осадки, собранные проложенными въ подпочвѣ дренажными трубами. Первымъ методомъ работалъ напр., Петерсъ. Подѣйствовавши на почву растворомъ  $\text{KCl}$  онъ промывалъ ее затѣмъ водой и въ послѣдовательныхъ обработкахъ получилъ слѣдующія цифры для различныхъ почвъ:

|                      | I.     | II.    | III.   | IV.    | V.     | VI.    |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Поглощеніе           |        |        |        |        |        |        |
| кали . .             | 0.2036 | 0.1928 | 0.1801 | 0.1686 | 0.1572 | 0.1497 |
| Кали въ растворѣ . . | —      | 0.0109 | 0.0127 | 0.0115 | 0.0114 | 0.0081 |

Въ среднемъ Петерсъ нашелъ, что 1 часть поглощеннаго кали растворяется въ 27,600 частяхъ воды. Значительно сильнѣе растворяется кали въ водѣ, содержащей углекислоту; 1 часть на 9200 ч. воды. Такимъ образомъ, столь легко растворимое вещество, какъ кали, благодаря поглотительной способности переводится въ форму трудно вымываемую, но все же постоянно находящуюся въ растворѣ въ небольшихъ количествахъ. Основанія, поглощаемыя съ меньшей энергіей, легче переходятъ въ растворъ; это отражается и на составѣ дренажной воды, какъ показываютъ слѣдующія цифры:

| На 1000 ч. | $\text{K}_2\text{O}$                            | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$  |                        |               |
|------------|-------------------------------------------------|-----------------------|--------------|---------------|------------------------|---------------|
| Случай а)  | слѣды                                           | 0.014                 | 1.069        | 0.010         |                        |               |
| » б)       | 0.003                                           | 0.020                 | 0.083        | 0.013         |                        |               |
| На 1000 ч. | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$        | $\text{Cl}$  | $\text{SO}_3$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{NH}_3$ |
| Случай а)  | 0.006                                           | 0.014                 | 0.010        | 0.025         | слѣды                  | 0.0003        |
| » б)       | 0.005                                           | 0.009                 | 0.017        | 0.045         | 0.001                  | 0.0003        |

Какъ видимъ, преобладаютъ въ дренажныхъ водахъ известь, натръ, серная кислота. Это различное отношеніе кали и натра къ циркулирующей въ почвѣ водѣ сказалось и на составѣ морской воды: уносящейся водами натръ скопился въ ней въ гораздо большемъ коли-



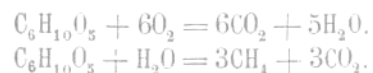


## Органическое вещество почвы.

Мы познакомились съ тѣмъ, какъ относятся главные минеральныя составныя части почвы къ вносимому удобрению.

Органическія вещества почвы также не ведутъ себя пассивно по отношенію къ вносимымъ въ почву матеріаламъ; помимо того, что они являются источникомъ углекислоты, дѣйствующей какъ слабый растворитель, они иногда обуславливаютъ кислотную реакцію почвы и энергично растворяютъ напр. фосфаты; далѣе они являются источникомъ азота для растений, который выдѣляется при ихъ разложеніи въ видѣ амміака и превращается далѣе обычно въ азотную кислоту. Органическія вещества мы также вносимъ въ почву въ видѣ удобрений, какъ навозъ, кровяная мука, зеленое удобрение, и намъ важно составить представленіе о дальнѣйшихъ ихъ превращеніяхъ.

Характеръ разложенія органическихъ веществъ въ почвѣ зависитъ отъ большаго или меньшаго притока кислорода воздуха. При достаточномъ притоцѣ кислорода разложеніе находящихся въ почвѣ органическихъ веществъ идетъ до образованія сполна окисленныхъ продуктовъ: клѣтчатка превращается въ углекислоту и воду; въ обратномъ случаѣ клѣтчатка расщепляется на менѣе окисленный продуктъ, метанъ и болѣе окисленный—углекислоту; эти процессы изображаются такими схемами:



Условія этого разложенія органическаго вещества съ выдѣленіемъ равныхъ объемовъ углекислоты и метана можно осуществить на опытѣ (Шлезингъ, Омелянскій), но такъ какъ въ почвѣ разлагается обычно не только клѣтчатка, но и бѣлки и другія составныя части растений, то процессъ усложняется, и при анаэробномъ разложеніи въ числѣ продуктовъ разложенія получается  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{N}$ ; преимущественно же выдѣляются углекислота и метанъ<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Замѣтимъ еще, что кромѣ метановаго броженія для самой клѣтчатки существуютъ и другіе типы анаэробнаго распада; такъ, Омелян-

Энергія разложенія не одинакова въ обоихъ случаяхъ: при доступѣ воздуха обычное разложеніе происходитъ сильнѣе, нежели безъ него. Это видно напр., изъ опытовъ Гейона (Gayon), который помѣщалъ навозъ въ ящики съ сплошными и продыравленными стѣнками и наблюдалъ температуры разложенія. Въ ящикахъ съ продыравленными стѣнками, при болѣе свободномъ доступѣ кислорода воздуха на шестой день опыта температура была  $58^\circ$  (близъ стѣнокъ), а внутри ящика  $44^\circ$ , между тѣмъ какъ въ ящикахъ съ непродыравленными стѣнками она колебалась около  $11-12^\circ$  (была близка къ  $t^\circ$  окружающей среды).

Не трудно однако придти къ заключенію, что приведенныя выше схемы разложенія клѣтчатки съ распадомъ до воды и углекислоты или метана и углекислоты не охватываютъ всей сложности процесса, такъ какъ въ противоположномъ случаѣ клѣтчатка должна бы разлагаться безъ остатка, на дѣлѣ же происходитъ измѣненіе состава неразложеннаго остатка; можно представить, что подобно тому какъ напримѣръ, при сухой перегонкѣ дерева идутъ одновременно два рода распаденія, такъ и при анаэробномъ броженіи клѣтчатки, вообще говоря сходномъ съ процессомъ сухой перегонки, съ одной стороны мы имѣемъ глубокое распаденіе основнаго ядра клѣтчатки на болѣе простыя молекулы, при чемъ одни атомы углерода оказываются связанными съ кислородомъ ( $\text{CO}_2$ ), другіе съ водородомъ ( $\text{CH}_4$ ), съ другой же—процессъ выдѣленія элементовъ воды при сохраненіи (или даже конденсаціи) основнаго углероднаго ядра; отсюда постепенное относительное обогащеніе углеродомъ остатка отъ разложенія, тѣмъ болѣе, чѣмъ далѣе это разложеніе продолжалось.

Слѣдующіе примѣры могутъ служить къ поясненію сказаннаго<sup>1)</sup>:

|                         | Древесина<br>дуба. | Продукты ея постепеннаго раз-<br>ложенія. |       |       |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------|-------|
|                         |                    | 1.                                        | 2.    | 3.    |
| Углерода . . . . .      | 50,2%              | 53,5%                                     | 54,0% | 56,0% |
| Водорода . . . . .      | 6,1                | 5,1                                       | 5,1   | 4,9   |
| Кислородъ + азотъ . . . | 43,7               | 41,3                                      | 40,1  | 39,1  |

скій наблюдалъ, что въ зависимости отъ вѣтшнихъ условій при зараженіи иломъ (или конскимъ навозомъ) устанавливается то метановое, то водородное броженіе клѣтчатки, при чемъ въ послѣднемъ случаѣ образуется большое количество летучихъ органическихъ кислотъ (около 64% отъ вѣса клѣтчатки). См. докладъ Омелянскаго на XI съѣздѣ естествоиспытателей и врачей (Труды, стр. 129), а также его работы напечатанныя въ *Архивъ біологическихъ наукъ*.

<sup>1)</sup> Цитировано по Cross et Bevan, La cellulose, 1900, стр. 339.

Еще дальше тот же процесс выдѣленія элементовъ воды и процентнаго обогащенія углеродомъ заходить при образованіи каменнаго «угля»:

|                     | Лигнитъ<br>(бурый уголь). | Каменный уголь<br>качества. | различнаго<br>1. | Антрацитъ.<br>3. | 3.    |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------|
| Углеродъ . . . . .  | 67,8%                     | 78,5%                       | 82,3%            | 88,0%            | 91,9% |
| Водородъ . . . . .  | 5,8                       | 8,1                         | 5,7              | 5,3              | 3,3%  |
| Кислородъ + азотъ . | 23,4                      | 13,7                        | 10,5             | 6,7              | 3,9%  |

Въ связи съ подобными же причинами продуктами разложенія органическихъ веществъ въ почвѣ являются темно-окрашенные вещества, носящія въ совокупности своей названіе *перегноя* или *гумуса*. При аэробномъ разложеніи обычно получается нейтральный перегной, при анаэробномъ же чаще всего кислый. Въ обоихъ случаяхъ также происходитъ относительное обогащеніе остатковъ разложенія и азотомъ. Такъ, свѣжіе листья дуба содержали 1,7% азота, послѣ разложенія при доступѣ воздуха количество азота поднялось до 2,01. Въ листьяхъ бука до разложенія азота 1,78%, послѣ разложенія 2,00%.

При анаэробномъ разложеніи, наблюдающемся напр., при образованіи торфа, по мѣрѣ углубленія (т. е. перехода къ болѣе старымъ отложеніямъ) процентное содержаніе азота также увеличивается, при томъ относительно быстрѣ чѣмъ углерода:

|                                                 | Сверху | на 7 ф. глуб. | на глуб. 14 фун. |
|-------------------------------------------------|--------|---------------|------------------|
| Содержаніе C                                    | 57.8   | 62.0          | 64.1             |
| » H—измѣняется очень мало, колеблется около 5%. |        |               |                  |
| » O                                             | 36.0   | 30.7          | 26.8             |
| » N                                             | 0.8    | 2.1           | 4.1              |
| » Зола                                          | 2.7    | 7.4           | 9.2              |

Увеличеніе процентнаго содержанія азота объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что обычно газообразные продукты распада содержатъ углеродъ, водородъ и кислородъ, комбинированные попарно, но не азотъ (за нѣкоторыми исключеніями), поэтому понятно, что относительное обогащеніе органическихъ остатковъ азотомъ идетъ быстрѣ, чѣмъ это имѣетъ мѣсто для углерода; такъ, въ приведенномъ при мѣрѣ для торфа наблюдается увеличеніе содержанія азота въ 5 разъ противъ первоначальнаго.

Если наблюдать измѣненіе не элементарнаго состава, а ближайшихъ составныхъ частей, то вообще раньше разрушаются менѣе стой-

кія вещества; напр., пентозаны разрушаются относительно скорѣе, что видно изъ слѣдующихъ цифръ.

|                     |          |                |       |
|---------------------|----------|----------------|-------|
| Въ торфѣ на глубинѣ | 10 сант. | количество ихъ | 17.4% |
| »                   | 50       | »              | 10.3% |
| »                   | 100      | »              | 5.3%  |
| »                   | 200      | »              | 1.6%  |

Наоборотъ, смоль, какъ веществъ болѣе прочныхъ, по мѣрѣ разложенія органическихъ соединений накапливается относительно больше; кромѣ того смолы, обволакивая и пропитывая другія вещества, мѣшаютъ ихъ смачиванью водой и препятствуютъ ихъ разложенію. Вольни пробовалъ выдѣлять смолы изъ торфа эфиромъ и тогда разложеніе шло энергичнѣе; эфиръ извлекъ изъ торфа 5.1% смоль; до обработки торфа эфиромъ выдѣлялось углекислоты 25.9 объема на 1000 объемовъ протянутого черезъ него воздуха; послѣ обработки торфъ, подвергнутый разложенію, давалъ 30.6 двоицныхъ вещества также трудно разлагаются и также задерживаютъ разложеніе; Вольни смачивалъ различные матеріалы растворомъ таннина различной концентрации и чѣмъ больше была концентрація раствора, тѣмъ слабѣе шло разложеніе. Такъ, листья сои, смоченные растворомъ таннина

|                      |      |      |      |                    |
|----------------------|------|------|------|--------------------|
| въ                   | 1    | 2    | 4    | 8%                 |
| дали CO <sub>2</sub> | 19.9 | 19.0 | 18.0 | 16.0 <sup>1)</sup> |

Въ результатѣ разложенія органическихъ веществъ являются темно окрашенные гуминовые соединения. Повидимому, цвѣтъ ихъ обусловленъ родомъ дѣйствующихъ при разложеніи микроорганизмовъ, которые являются главнымъ факторомъ разложенія, такъ какъ кислородъ воздуха самъ по себѣ, при обычныхъ температурахъ, дѣйствуетъ ничтожно, и его дѣйствіе значительно лишь при высокихъ температурахъ, которыя не имѣютъ мѣста въ обычныхъ условіяхъ. Имѣются наблюденія, показывающія, что темный цвѣтъ продуктовъ разложенія органическаго вещества происходитъ только лишь при условіи появленія гифовыхъ грибовъ; бактеріи же не даютъ темноцвѣтныхъ продуктовъ, обозначаемыхъ общимъ названіемъ гуминовыхъ веществъ (Костычевъ). Всякая прибавка къ органическому веществу ядовитыхъ для микроорганизмовъ соединений (карболовой кислоты, хлороформа), повышеніе температуры (за извѣстный предѣлъ) приближаютъ разложеніе къ нулю. Если принять за 100 количество выдѣляющейся уг-

<sup>1)</sup> Wollny, Zersetzung der organischen Substanz 1897.



лeкислоты при нормальныхъ условіяхъ разложенія торфа, то послѣ прибавки карболовой кислоты углекислоты выдѣляется 5.7, послѣ нагреванія до 115° — 2.3. То обстоятельство, что выдѣленіе CO<sub>2</sub> въ двухъ послѣднихъ случаяхъ не прекращается совсѣмъ, объясняется отчасти тѣмъ, что ткани растений механически удерживаютъ CO<sub>2</sub>, образуящуюся ранѣе, и продолжаютъ затѣмъ отдавать ее окружающему воздуху.

Нѣкоторое вліяніе на ходъ разложенія органическихъ веществъ оказываютъ животныя: слизни, дождевые черви, личинки и т. п. Дождевые черви напр., измельчаютъ растительные остатки, пропускаютъ ихъ черезъ кишечникъ и тѣмъ измѣняютъ ходъ разложенія. Смотра по тому, присутствуютъ или нѣтъ дождевые черви и другія животныя, структура гумуса получается различной, почему нѣкоторые авторы предлагаютъ различать гумусъ: 1) *копрогенный*, при образованіи подвергавшійся предварительному воздѣйствію животныхъ организмовъ и 2) *торфяной* гумусъ, образовавшійся безъ участія ихъ, благодаря чему строеніе растительной массы долго сохраняется <sup>1)</sup>).

Примѣръ энергичнаго участія личинокъ мухъ въ разрушеніи органическаго вещества находимъ между прочимъ въ работахъ Костычева («Почвы черноземной области Россіи, ихъ происхожденіе, составъ и свойства», стр. 79).

«При опытахъ, для которыхъ сѣно, березовыя листья и еловая хвоя разлагались предварительно въ большихъ плоскихъ чашкахъ, однажды замѣчено было, что въ чашкѣ, соержавшей до 150 gr. вещества листья превратились въ однообразный бурый порошокъ, въ которомъ было множество маленькихъ мухъ, принадлежащихъ къ роду *Sciara*. Въ другихъ чашкахъ, гдѣ мухъ не было, листья сохранили свое строеніе. Такъ какъ было очевидно, что измельченіе листьевъ было произведено личинками, то небольшое число ихъ пересажено было въ другую чашку съ неизмельченными листьями, которые вскорѣ превратились тоже въ однообразный порошокъ. Превращеніе это совершается чрезвычайно быстро, такъ что на первый взглядъ трудно повѣрить, чтобы такіе мелкія насѣкомыя могли въ короткій срокъ измельчать такіа значительныя количества растительныхъ остатковъ; 150 gr. вещества измельчены было въ мѣсяцъ съ небольшимъ»).

Микроорганизмы работаютъ съ различной энергіей въ зависимости отъ температуры среды, влажности и кислорода воздуха. При аэроб-

<sup>1)</sup> См. Müller, Studien über die natürlichen Humusformen, стр. 220 и слѣд.

номъ разложеніи прибавка кислорода увеличиваетъ энергію разложенія, но лишь до извѣстнаго предѣла. Вольни наблюдали разложеніе органическихъ веществъ при различномъ содержаніи кислорода:

|                                           |     |     |      |      |      |
|-------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                                           | 0   | 2   | 8    | 16   | 21%  |
| Соотвѣтственно выдѣлялись CO <sub>2</sub> | 3.3 | 3.6 | 10.0 | 10.8 | 12.5 |

Вліяніе влажности весьма существенно, но часто кромѣ непосредственнаго воздѣйствія она измѣняетъ ходъ разложенія въ связи съ доступомъ воздуха. До извѣстнаго предѣла разложеніе тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ больше содержаніе влаги; въ опытѣ Вольни, влажность, взятая въ процентахъ отъ полной влагоемкости почвы была:

|                                                                                |      |       |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------------|
|                                                                                | 6.8% | 26.8% | 46%        |
| Соотвѣтственно выдѣлилось CO <sub>2</sub> на 1000 ч. протянутаго воздуха . . . | 2    | 18    | 35 частей. |

При небольшомъ количествѣ влаги разложеніе особенно замедляется, если количество ея падетъ ниже гигроскопическаго содержанія влаги въ органическомъ веществѣ: — повидиму микроорганизмы требуютъ для сколько нибудь замѣтной дѣятельности влаги значительно больше, чѣмъ содержитъ ее въ гигроскопическомъ состояніи данное вещество. Въ опытѣ Костычева при влажности березовыхъ листьевъ, выдѣлилось

|              |      |        |                      |
|--------------|------|--------|----------------------|
|              | 3.6% | 11.7%  | 38.0%                |
| углекислоты: | 0    | 0,0023 | 0.5184 gr. въ сутки. |

Изъ этихъ трехъ случаевъ во второмъ влажность приблизилась къ гигроскопичности. Сильное повышеніе влажности, вслѣдствіе вытѣсненія воздуха изъ поръ вещества, уменьшаетъ разложеніе; такъ въ одномъ изъ опытовъ Костычева влажность была:

|                     |     |      |      |                             |
|---------------------|-----|------|------|-----------------------------|
|                     | 16% | 42%  | 49%  | 72%                         |
| энергія разложенія: | 126 | 1665 | 1966 | 1648 mgt. CO <sub>2</sub> . |

Это обстоятельство приходится имѣть въ виду напр., при храненіи навоза, гдѣ является возможность въ извѣстной мѣрѣ вліять ходъ разложенія, измѣняя степень насыщенія навоза влагой.

Вліяніе температуры на процессъ разложенія также весьма существенно: при повышеніи температуры, въ естественныхъ условіяхъ разложенія, энергія послѣдняго сильно увеличивается; при дальнѣйшемъ повышеніи температуры наступаетъ орѣжимъ энергіи разложе-

нія, за которымъ начинается съ дальнѣйшимъ поднятіемъ температуры паденіе. Вотъ данныя одного опыта Костычева:

|                                            |      |     |      |     |     |
|--------------------------------------------|------|-----|------|-----|-----|
| Температура разложенія                     | 1.5° | 17° | 35°  | 50° | 65° |
| Энергія разложенія въ mgr. CO <sub>2</sub> | 195  | 378 | 1491 | 518 | 381 |

Этотъ optimum температуры связанъ, очевидно, optimum'альной температурой для развитія микроорганизмовъ и не является постояннымъ, а зависитъ отъ рода разлагающихъ веществъ и природы микроорганизмовъ, подъ вліяніемъ которыхъ происходитъ это разложеніе. Для болѣе стараго перегноя напр., optimum температуры болѣе высока. Предполагали, что при повышеніи температуры выше optimum'a разложенія, наконецъ, прекращается выдѣленіе CO<sub>2</sub>, а наблюдаемая при этомъ слѣды ея объясняли цѣликомъ присутствіемъ ранѣе образовавшейся углекислоты, задержанной тканями; но еще у Костычева есть указанія, (см. его книгу: «Почвы черноземной области Россіи, ихъ происхожденіе, составъ и свойства»), что при долгое обработки почвы при 100° углекислота всетаки выдѣляется. Дегеренъ показалъ, что при высокихъ температурахъ начинается уже непосредственное воздѣйствіе кислорода воздуха на органическое вещество; онъ замѣтилъ, что при нагрѣваніи почвы въ запаянныхъ трубкахъ кислородъ воздуха потребляется и замѣщается углекислотой. Исслѣдовавъ ближе это явленіе, онъ пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ: за optimum'омъ температуры, когда «біологическая» кривая разложенія падаетъ, постепенно начинаетъ подниматься кривая непосредственнаго дѣйствія кислорода воздуха (химическая кривая), слѣдуя за повышеніемъ температуры; при приближеніи къ 100° и выше энергія разложенія отъ причинъ химическихъ возрастаетъ и можетъ даже за извѣстнымъ предѣломъ превышать энергію выдѣленія углекислоты подъ вліяніемъ микроорганизмовъ при optimum'ныхъ условіяхъ ихъ дѣятельности. Въ лабораторныхъ опытахъ это обстоятельство необходимо имѣть въ виду, но оно имѣетъ малое значеніе въ обычныхъ условіяхъ. Здѣсь наблюдается почти исключительно законность повышенія разложенія съ повышеніемъ температуры (восходящая часть «біологической» кривой).

При разложеніи органическихъ веществъ играютъ роль и другіе факторы. Напр., кислая реакція среды, вообще говоря, мѣшаетъ разложенію органическихъ веществъ, а присутствіе щелочей облегчаетъ этотъ процессъ, такъ какъ органическія вещества въ щелочной средѣ вообще легче окисляются, нежели въ средней и кислой. При разложеніи подъ вліяніемъ бактерій накопленіе кислотъ также является препятствіемъ къ дальнѣйшему разложенію, такъ какъ онъ подав-

ляетъ дѣятельность микроорганизмовъ; поэтому прибавка CaCO<sub>3</sub> обыкновенно повышаетъ разложеніе органическаго вещества, если мы имѣемъ дѣло съ кислымъ перегноемъ. Однако, если вносится избытокъ углекислой извести, во много разъ превосходящей количество, необходимое для нейтрализаціи кислотъ, то этотъ избытокъ или оказывается безъ вліянія или даже вызываетъ нѣкоторое пониженіе энергіи разложенія<sup>1)</sup>. Внесеніе CaO можетъ создать въ началѣ сильно щелочную среду, задерживающую разложеніе; но по мѣрѣ приближенія реакціи къ нейтральной (вслѣдствіе связыванія CaO органическими кислотами и CO<sub>2</sub>), количество выдѣляемой CO<sub>2</sub> увеличивается въ связи съ увеличеніемъ разложенія (впрочемъ вліяніе извести иногда бываетъ сложнымъ; ср. ниже главу о косвенныхъ удобренияхъ).

Самый характеръ органическаго вещества также весьма сильно вліяетъ на разложеніе: въ свѣжихъ матеріалахъ разложеніе идетъ энергичнѣе, такъ какъ части легче разрушаемыя исчезаютъ первыми, а остающіяся, какъ болѣе прочныя, труднѣе подвергаются разложенію. Энергія разложенія тѣмъ больше, чѣмъ выше содержаніе пентозановъ, углеводовъ, бѣлковъ и тѣмъ ниже, чѣмъ больше смоль и древесины въ разлагающемся веществѣ.

Вольни дѣлалъ опытъ съ навозомъ свѣжимъ, съ навозомъ разлагавшимся 8 недѣль и 20 недѣль, (соотвѣтственно содержаніе углерода въ сухомъ веществѣ было 24%, 30% и 34%); углекислоты выдѣлялось на 1000 ч. воздуха: 13, 11 и 8 частей.

Для торфа по мѣрѣ углубленія (и возрастанія относительнаго содержанія углерода) энергія разложенія также наблюдалась убывающая:

|              |        |        |         |                                           |
|--------------|--------|--------|---------|-------------------------------------------|
| Глубина: . . | 0—20   | 50—80  | 110—140 | сант.                                     |
| % углерода:  | 40%    | 42%    | 45%     |                                           |
| выдѣлилось:  | 2.9 ч. | 2.5 ч. | 2.2 ч.  | CO <sub>2</sub> на 1000 объемовъ воздуха. |

Продуктамъ разложенія органическихъ веществъ еще Тэеромъ было дано названіе *гумуса*, однако и до сихъ поръ гумусъ еще не изученъ достаточно. Несомнѣнно, что гумусъ есть смѣсь органическихъ (органоминеральныхъ тѣлъ). Сложность этой смѣси, неспособность ея составныхъ частей перегоняться и растворяться въ водѣ, а часто и въ другихъ реактивахъ, особенно же неспособность ихъ къ кристалли-

<sup>1)</sup> См. работу Коссовича и Третьякова. „О вліяніи углекислаго кальция на разложеніе органическихъ веществъ“ въ Журналъ Опытной Агрономіи, 1902 г., стр. 459.



зации до сих пор не позволили установить удовлетворительной классификации гуминовых веществ. За неимением другой приведем обычную группировку по Мюльдеру. Онъ раздѣляетъ гумусъ на двѣ части, именно *индифферентныя тѣла* и *кислоты*; къ первымъ относятся *ульминъ*—желтоватобураго цвѣта, часто сохраняющій еще строе- ние древесины, продуктомъ разложенія которой онъ является, и *гуминъ*— болѣе темный, продуктъ дальнѣйшаго разложенія; оба имѣютъ ней- тральную реакцію, не растворяются въ водѣ и щелочахъ.

При долгомъ кипяченіи со щелочами изъ этихъ тѣлъ образуются вещества *кислотнаго* характера—*ульминовая* и *гуминовая кислоты*, обычно являющіяся главными составными частями гумуса и въ при- родѣ; лучше изучена гуминовая кислота. Въ почвѣ гуминовая кислота встрѣчается чаще всего въ видѣ кальціевой соли, нерастворимой въ водѣ, какъ и самая кислота; щелочныя же соли гуминовой кислоты растворяются въ водѣ. Для извлеченія гуминовой кислоты изъ почвы послѣдняя обрабатывается HCl, а потомъ обработкой амміакомъ гуми- новая кислота удаляется въ видѣ аммонійной соли. Можно также сразу обработкой  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  перевести гуминовую кислоту въ растворъ, при чемъ происходитъ обмѣнное разложеніе съ образованіемъ гуми- ново-кислаго аммонія и  $\text{CaCO}_3$ .

Гуминовая кислота очищается повторнымъ осажденіемъ (HCl) и рас- твореніемъ въ амміакѣ; въ высушенномъ состояніи онъ представляетъ черныя блестящія неправильной формы частички; въ водѣ почти нерастворима. По элементарному составу гуминовую кислоту пытались приблизить къ углеводамъ (минусъ часть воды) и приписывали ей фор- мулу  $\text{C}_{24}\text{H}_{18}\text{O}_9$ . (Мюльдеръ). Дѣло въ томъ что Мюльдеръ, получивъ изъ сахара дѣйствіемъ крѣпкихъ кислотъ (HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) вещества по-

Кромѣ того  $\text{P}_2\text{O}_5$  ведетъ себя здѣсь обратно, нежели въ минераль- ныхъ соединеніяхъ: она находится въ растворѣ, пока онъ имѣетъ щелочную реакцію, осаждается при подкисленіи. Безъ азота, и золь- ныхъ частей гуминовая кислота была получена также Бертло при дѣйствіи на сахаръ соляной кислотой, но она не вполне тождественна съ природной гуминовой кислотой.

Мюльдеръ получилъ еще двѣ растворимыя въ водѣ кислотой: *кре- новую* и *апокреновую* (или «*ключевую*» и «*осадочно-ключевую*»). Апокреновая кислота представляетъ аморфную буроватую массу, легко растворимую въ водѣ; она является продуктомъ окисленія гуминовой кислоты и можетъ быть получена изъ нея искусственно, дѣйствіемъ  $\text{HNO}_3$ , а при восстановленіи ея (водородомъ *in statu nascendi*) полу- чается неокрашенная креновая. Обѣ кислоты переходятъ вмѣстѣ съ гуминовой кислотой при обработкѣ почвы растворомъ углекислаго аммо- нія <sup>1)</sup>, затѣмъ гуминовая кислота выдѣляется изъ раствора HCl; филь- тратъ нейтрализуется и въ присутствіи уксусной кислоты основной уксусномѣдной солью осаждается апокреновокислая мѣдь. Въ фильтратѣ остается креновокислая мѣдь, которая выдѣляется при нейтрализаціи раствора амміакомъ. Въ процессѣ образованія подзолистыхъ почвъ сѣвера Россіи этимъ кислотамъ приписываютъ значительную роль, благодаря ихъ способности давать растворимыя соли съ известью и и большею частью основаній и такимъ образомъ содѣйствовать вы- щелачиванью почвы.

При повтореніи работъ Мюльдера и другихъ предшественниковъ <sup>2)</sup>, Эггерцъ показалъ, что тождество искусственнаго и естественнаго гу- муса не полное: если растворъ перегнойныхъ веществъ въ амміакѣ выпарить до суха, то остатокъ растворяется въ водѣ: если слѣлать

тоже самое съ гуминовымъ веществомъ изъ крахмала, то получается остатокъ почти нерастворимый въ холодной водѣ.

Азотъ въ гуминовой кислотѣ не находится въ формѣ амміака, такъ какъ напр. въ гумусѣ лежавшемъ нѣсколько лѣтъ на воздухѣ при повторномъ смѣшиваніи съ  $\text{CaO}$  амміакъ не выдѣлялся, какъ не выдѣлялся онъ и при отгонкѣ съ  $\text{MgO}$ ; даже при кипяченіи со щелочами лишь очень медленно происходитъ отщепленіе амміака.

Минеральныя вещества природной гуминовой кислоты также болѣе связаны съ органической ея частью, чѣмъ основанія солей гуминовой кислоты.

Самый составъ осадковъ отъ  $\text{HCl}$  въ амміачныхъ вытяжкахъ отличается значительнымъ разнообразіемъ въ зависимости отъ исходнаго матеріала; вотъ каковы колебанія состава этихъ осадковъ (гуминовой кислоты) для разныхъ почвъ по Эггерцу:

|                                                             |      |         |
|-------------------------------------------------------------|------|---------|
| C. . . . .                                                  | 40   | — 56%   |
| H. . . . .                                                  | 4.3  | — 6.6%  |
| O. . . . .                                                  | 35   | — 40%   |
| N. . . . .                                                  | 2.6  | — 6.0%  |
| $\text{SiO}_2$ . . . . .                                    | 0.37 | — 10.5% |
| $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . .                            | 0.15 | — 7.5%  |
| S. . . . .                                                  | 0.5  | — 2.09% |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . . | 0.3  | — 3.9%  |

Такимъ образомъ органическія вещества почвы не могутъ быть получены совершенно свободными отъ золы и азотистыхъ веществъ <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Послѣдующими изслѣдованіями доказано, что предполагаемымъ кислотамъ (гуминовой, апокреновой и креновой) сопутствуетъ въ вытяжкахъ изъ почвы рядъ органическихъ веществъ, лишь отчасти ближе опредѣленныхъ; такъ Schreiner и Shorey нашли въ щелочной вытяжкѣ изъ почвы слѣдующія вещества:

щелочная вытяжка

Осадокъ при подкисленіи (гуминовая кислота):

Глицериды, кислоты парафиновую и лигноцериновую, агостеринъ, фитостеринъ и др.

Фильтратъ (креновая и апокреновая кислоты):

Ксантинъ, гипоксантинъ, аргининъ, гистидинъ, цитозинъ; пентозаны; кислоты дигидростеариновую и пиколинъ-карбоновую.

Одни изъ этихъ веществъ являются обычными составными частями растений, другія образуются въ почвѣ при процессахъ разложенія растительныхъ остатковъ. Составъ той смѣси, которую обозначаютъ именемъ гумуса, является такимъ образомъ болѣе сложнымъ, чѣмъ это предполагали первоначально (Schreiner and Shorey, Chemical nature of soil organic matter, Bureau of soils, Bulletin № 74, 1910).

Это постоянное присутствіе въ гумусѣ зольныхъ веществъ дала возможность предполагать нѣкоторымъ ученымъ, что гумусъ служитъ для питанія растений, если не непосредственно, какъ это думалъ Тэеръ, то какъ посредникъ между минеральными составными частями почвы съ одной стороны и растеніемъ съ другой, какъ это предполагалъ Соссюръ, а болѣе опредѣленно высказалъ основатель органо-минеральной теоріи питанія растений Грандо; хотя теорія Грандо является теперь достояніемъ прошлаго, мы все же кратко изложимъ ее здѣсь, въ виду того значенія, какое ей придавалось въ свое время.

Грандо, изслѣдуя различныя почвы (между прочимъ и нашу черноземъ) постоянно находилъ при своихъ работахъ несоотвѣтствіе между запасомъ питательныхъ веществъ въ почвахъ и ихъ плодородіемъ.

Изслѣдуя органическое вещество этихъ почвъ (такъ наз. «matière noire» — терминъ, вошедшій въ общее употребленіе въ агрономической литературѣ), которое Грандо получалъ при помощи амміака изъ промытой кислотой почвы <sup>1)</sup>, онъ находилъ въ немъ всегда присутствіе P и S; но эти элементы находясь въ перегной, ведутъ себя иначе по отношенію къ нѣкоторымъ реактивамъ: такъ напр., ни P, ни S обычными реактивами въ растворѣ «matière noire» не открываются: въ то время какъ напр., фосфорнокислая известь растворяется въ кислотахъ и осаждается щелочами, фосфоръ гуминовой кислоты находится вмѣстѣ съ ней въ растворѣ при щелочной реакціи и вмѣстѣ же съ ней осаждается при подкисленіи. Также можно сказать и о K и Fe. Количество органическаго вещества, переходящаго въ амміачный растворъ, было весьма различно для разныхъ почвъ.

Возьмемъ въ качествѣ примѣра цифры Грандо для 4-хъ почвъ.

I — мергельная почва, дающая хорошіе урожаи, но только при періодическомъ удобреніи;

II — черноземная — дающая урожаи безъ удобренія втеченіи значительнаго ряда лѣтъ;

III — огородная почва (скорѣе «парниковая земля»)

IV — торфяная почва.

<sup>1)</sup> Если берутъ растворъ углекислаго аммонія, то предварительное промываніе почвы соляной кислотой становится не нужнымъ.



|                                                                                        |           |       |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|------|------|
| Въ нихъ общее качество органическихъ веществъ было таково (на 100 gr. почвы) . . . . . | I.        | II.   | III. | IV.  |
| Matière noire . . . . .                                                                | 11. 9 gr. | 7.1   | 46.4 | 35.9 |
| Зольныхъ веществъ въ matière noire . . . . .                                           | 0.94      | 4.2   | 4.3  | 1.0  |
| Количество золы въ % отъ вѣса органическаго вещества. . . . .                          | 0.12 gr   | 2.16  | 0.07 | 0.02 |
|                                                                                        | 13.7%     | 51.4% | 1.6% | 2.0% |

Такимъ образомъ почва, которую Грандо считалъ очень плодородной, именно нашъ черноземъ оказалась выдающейся по количеству *matière noire* и содержанию золы въ последней; отсюда Грандо предположилъ, что содержание *matière noire* и % золы въ ней и является условіемъ, опредѣляющимъ плодородіе почвъ. Если высчитать количество напр., фосфорной кислоты въ *matière noire* для черноземныхъ почвъ Россіи, то получается около 3150 килограммъ на десятину, а въ вышеупомянутой мергельной почвѣ (I)—155 kg.

Если раздѣлить количество  $P_2O_5$ , находящееся въ *matière noire* русскихъ черноземовъ, на количество необходимое для одного урожая, то въ черноземѣ этого запаса хватитъ приблизительно на 321 годъ, между тѣмъ, какъ мергельной почвы Франціи (I) запасъ фосфорной кислоты въ *matière noire* всего лишь въ 16 разъ превосходитъ ежегодное потребление  $P_2O_5$  урожаями.

Эти данныя были опорными для Грандо при построении его теоріи; онъ предположилъ, что органо-минеральное вещество (*matière noire*), легко поглощая питательныя вещества, столь же легко отдаетъ ихъ растеніямъ, что растенія легче воспринимаютъ элементы пищи черезъ эту посредствующую инстанцію, чѣмъ прямо изъ почвы.

Чтобы еще больше подтвердить свои соображенія. Грандо помѣщалъ *matière noire* въ діализаторъ и при этомъ наблюдать, что иногда до 90% зольныхъ веществъ проходили у него черезъ перепонку; отсюда онъ заключилъ, что корни (имѣющіе слегка кислыя выдѣленія) тѣмъ легче будутъ воспринимать эти зольныя вещества *matière noire*, которыя такъ легко проходятъ черезъ перепонку діализатора. Дальше Грандо показалъ на опытѣ, что если почву лишить *matière noire*, то она становится бесплодной и наоборотъ, при внесеніи въ бесплодную почву этого вещества, плодородіе ея повышается. Такъ онъ извлекалъ изъ почвы, обработанной HCl, органическое вещество амміакомъ; плодородіе почвы сильно падало. Наоборотъ, внесеніе органическаго вещества повышало плодородіе почвы. Однако въ заключенія изъ этихъ опытовъ Грандо есть погрѣшность. При обработкѣ

почвы въ вышеуказанныхъ условіяхъ помимо органическихъ многія другія вещества напр., растворимыя въ кислотахъ, удаляются изъ почвы. Прибавленіе органическаго вещества въ свою очередь вноситъ много постороннихъ веществъ и кромѣ того — азотъ, не говоря объ измѣненіи физическихъ свойствъ почвы; такъ что повышеніе урожая отъ внесенія перегноя можетъ быть объяснено независимо отъ органо-минеральной теоріи. Точно также при промываніи почвы растворомъ углекислаго амміака уносятся изъ почвы, помимо *matière noire*, многія другія вещества, напр., основанія вытѣсняемыя изъ цеолитовъ. Далѣе показаніе Грандо относительно содержанія золы въ органо-минеральномъ веществѣ несомнѣнно преувеличено и по другой причинѣ: темно окрашенная амміачная вытяжка содержитъ въ взмученномъ состояніи оставшіся незамѣченными трудно отдѣляемый тонкій илъ <sup>1)</sup>.

При повтореніи опытовъ Грандо въ лабораторіи проф. Густавсона (Петровская Академія) Гавриловымъ принятъ былъ во вниманіе первый источникъ погрѣшностей: чтобы отдѣлить *matière noire* отъ растворенныхъ попутно солей, амміачная вытяжка не прямо выпаривалась, а обрабатывалась соляной кислотой; тогда растворенныя соли оставались въ жидкости, а органо-минеральное вещество осѣдало; послѣ промыванія опредѣленіе показало, что *matière noire* содержитъ всего 12% золы <sup>2)</sup>; а при дальнѣйшихъ опытахъ въ той же лабораторіи сдѣлана была поправка и на вторую погрѣшность — на взмученный илъ, отдѣлить который отъ раствора можно лишь протягивая его черезъ пористый глиняный фильтръ. Если сдѣлать это, то *matière noire* получается уже далеко не съ такимъ количествомъ золы, а значительно меньше (работа Г. Ф. Нефедова; см. Труды Вольно-Экономическаго Общества 1894 г., № 4-й).

Позднѣе Эггерцъ <sup>3)</sup> произвелъ повѣрку опыта Грандо съ діализомъ и получилъ также иные результаты; онъ бралъ взвѣшенное количество перегноя и наблюдая количество  $P_2O_5$ , проходящей черезъ перепонку діализатора, нашелъ, что количества эти вообще не велики. Если брать вещество не обработанное соляной кислотой, то изъ на-

<sup>1)</sup> Этимъ обстоятельствомъ очевидно объясняется странный результатъ полученный для нильскаго ила и другихъ почвъ Тухен'омъ: найдено гумуса 1,56%, *matière noire* 2,64 (L. Vers Stat, 26,120).

<sup>2)</sup> Объ опытахъ Гаврилова упоминается въ курсѣ Густавсона. Двѣдцать лекцій агрономической химіи.

<sup>3)</sup> См. работы Эггерца въ изложеніи Костычева: Сельское Хозяйство и Лѣсоводство 1889 г., октябрь.

вѣски 1.749 гр. проходить черезъ перепонку въ теченіе 12 дней, 0.026 гр.; черезъ слѣдующіе 6 дней—0.002 гр. Послѣ обработки гуминовой кислоты HCl проходятъ черезъ перепонку только слѣды  $P_2O_5$ . Напр., опытъ шелъ въ теченіе 64 дней и прошло только 0.005 гр. Замѣтимъ, что было бы невѣроятно, чтобы минеральныя вещества, неизвлекаемыя соляной кислотой изъ органическаго вещества (при промываніи ею почвы), столь легко отщеплялись отъ него при подобныхъ опытахъ.

Далѣе Грандо указываетъ, что удаленіе изъ почвы *matière noire* понижаетъ плодородіе, но Эггерцъ показалъ, что уже одна обработка HCl безъ удаленія чернаго вещества понижаетъ плодородіе, такъ какъ при этомъ извлекается много питательныхъ веществъ.

Необработанная HCl почва даетъ напр., для овса:

|                                          |                                |
|------------------------------------------|--------------------------------|
| Растенія. . . . .                        | высотой 83 см. съ 28 метелками |
| Для вики . . . . .                       | » 41 3 бобами                  |
| Послѣ же обработки HCl { овесъ . . . . . | » 22 2 метелки                 |
| { вика. . . . .                          | « 6 0                          |

Здѣсь органическое вещество было налицо, тѣмъ не менѣе урожайность пала просто вслѣдствіе удаленія усвояемыхъ минеральныхъ веществъ. Эггерцъ показалъ, что прибавляя смѣсь солей необходимыхъ для питанія растений, можно возстановить плодородіе почвы; точно также *прокаливанье* такой почвы (разрушеніе органическаго вещества) *повышало ея плодородіе*, вслѣдствіе освобожденія зольныхъ частей изъ органоминеральныхъ соединений.

Вообще можно думать, что минеральныя вещества гумуса, наоборотъ, менѣе доступны, чѣмъ минеральныя вещества почвы и только послѣ распаденія этихъ органическихъ веществъ, они становятся доступными для культурныхъ растений. Если почву оставить долгое время на воздухѣ, то будетъ происходить, какъ извѣстно, разложеніе органическихъ веществъ; при этомъ наблюдалось напр., слѣдующее въ одномъ изъ опытовъ Эггерца:

Почва въ 1881 году содержала 0.059 гр.  $P_2O_5$ , извлекаемой соляной кислотой; послѣ четырехлѣтняго лежанія на воздухѣ, безъ растительнаго покрова («черный паръ»), фосфорной кислоты получилось уже 0.114 гр.; въ другомъ опытѣ соотвѣтствующія величины были 0.077% и 0.150%.

Въ какой формѣ находится фосфоръ въ органическомъ веществѣ до сихъ поръ въ точности еще не извѣстно. Можно предполагать, что онъ находится тамъ—по крайней мѣрѣ отчасти—въ видѣ  $P_2O_5$ ,

такъ какъ иногда достаточно дѣйствія не очень сильныхъ агентовъ, чтобы обнаружить отщепленіе фосфорной кислоты. Напр. въ нѣкоторыхъ случаяхъ при нагреваніи почвы до 150° и 160° фосфорная кислота уже подвергается какому то измѣненію, при этомъ образуется болѣе легко растворимая въ HCl форма; при одномъ опытѣ съ торфяной почвой:

|                                                     |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|
| Изъ неизмѣненной почвы HCl извлекала . . . . .      | 0.156% $P_2O_5$ |
| Послѣ нагреванія съ водой подъ давленіемъ . . . . . | 0.282 —         |
| Послѣ озоленія . . . . .                            | 0.307% $P_2O_5$ |

Основываясь на томъ, что такъ ведетъ себя  $P_2O_5$  въ нуклеинахъ, которые сравнительно легко отдѣляютъ  $P_2O_5$  при нагреваніи выше 150°, Schmoeger высказалъ предположеніе, что фосфорная кислота органическаго вещества находится въ такомъ же состояніи, какъ и въ нуклеинахъ. Подобныя же данныя получены были въ лабораторіи проф. Н. Я. Демьянова Я. П. Королевымъ, который работалъ съ уфимскимъ черноземомъ; именно, въ зависимости отъ подготовки почвы переходило въ солянокислую вытяжку слѣдующее количество  $P_2O_5$  (въ % отъ вѣса почвы):

|                                                                |          |         |
|----------------------------------------------------------------|----------|---------|
|                                                                | 0,5% HCl | 12% HCl |
| Первоначальная почва: . . . . .                                | 0,034%   | 0,082%  |
| Послѣ 3 час. нагреванія съ паромъ при 3 атмосферахъ: . . . . . | 0,109%   | 0,150%  |
| Черезъ 6 часовъ нагреванія: . . . . .                          | 0,120%   | 0,172%  |
| Черезъ 9 часовъ . . . . .                                      | —        | 0,181%  |

Такимъ образомъ нагреваніе въ автоклавѣ (напр., въ цѣляхъ стерилизаціи почвы) способно значительно измѣнить растворимость кислоты, очевидно способствуя ея отщепленію отъ соединенія съ органическимъ веществомъ почвы. Есть указанія даже, что и простое высушиваніе почвы не представляетъ вполне безразличной операціи. Оказывается, что иногда наблюдается разница въ результатахъ вегетационныхъ опытовъ, смотря потому, подвергается почва высушиванію до наполненія ею сосудовъ, или же нѣтъ; напр., высушенная торфянистая почва при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ дала урожай 59.9 гр., а не высушенная 27.2 (опыты Taske); въ первомъ случаѣ въ урожаѣ содержалось 249 mgr.  $P_2O_5$ , а во второмъ—79 mgr. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Однако, въ упомянутыхъ опытахъ Королева нагреваніе почвы до 100° не увеличило количества  $P_2O_5$  въ солянокислой вытяжкѣ по сравненію съ воздушно-сухой почвой.



Существование нестойких соединений фосфорной кислоты с гуминовыми веществами находит себе подтверждение и в явлениях обратного порядка, т. е. поглощение фосфорной кислоты из растворов гуминовой кислотой; если например взять раствор гуминовоей кислоты и осаждают фосфорной кислотой, то выпадающая гуминовая кислота связывает около 6%  $P_2O_5$ ; еще больше связывается фосфорной кислоты если осаждают раствором однокальцевого фосфата: тогда осадок содержит 8—12%  $P_2O_5$ , неуступающей действию не только воды, но и разведенной уксусной кислоты *Dumont*, реф. в *Biedermann's Centralblatt* 1907, 433). По данным Н. Н. Кулишича гуминовые кислоты из разных почв связывали 0,13—0,25%  $P_2O_5$  в форме не поддающейся действию воды, подкисленной соляной кислотой; но искусственная гуминовая кислота не обнаружила поглощения при такой постановке опыта (работа сделанная у проф. Демьянова, цитировано по рукописи).

Сбра в органическом веществе содержится в форме, не обнаруживаемой обычными реакциями на  $SO_3$ . Если взять раствор органического вещества и осадить его  $BaCl_2$ , то получается осадок, растворимый в соляной кислоте, т. е. сбра находится здесь не в виде сбра кислоты. Только при окислении органического вещества получается сбра кислота, которую можно обнаружить  $BaCl_2$ .

То же относится и к Fe, Ca K. Для калия впрочем есть основания предполагать, что он находится в состоянии близком к поглощенному *Berthelot*).

Органическое вещество почвы содержит и азот, в связи с чем некоторые почвы довольно богаты азотом. Чернозем в этом отношении превосходит многие почвы: так, он может содержать до 5,0 и 0,6% азота, что не уступает содержанию азота в навозе среднего достоинства (считая на сырое вещество навоза); уже одно такое сопоставление говорит за то, что азот в почвах находится в форме не усвояемой растениями непосредственно. Если в черноземе посчитать азот только на органическое вещество, то его может получиться напр. около 5%, т. е. значительно больше нежели в растительных остатках еще не разложившихся. Оказывается, что большее или меньшее содержание азота в органическом веществе почвы зависит от климата и положения: чем суше почва, благодаря климату или условиям залегания, тем богаче органическое вещество ее азотом. Для калифорнийских почв, напр., получаются по *Hilgard* следующие результаты определения азота: если почва лежит в низине, то азота содержится около 5,2%; для некоторого промежуточного рода почв—

10%, а для возвышенных (сухих) местностей азота в органическом веществе около 15,8%.

Относительно того вопроса, в каком виде находится азот в органическом веществе, Костычевым высказано было предположение, что азот этот принадлежит белкам. При своих работах на эту тему он применял методы определения азота белков к азоту почвы. Так, в перегнивших листьях он нашел, напр. 2,83% белкового азота и 0,25% азота небелкового. Т. е. черноземы, которые исследовал Костычев, содержат около 5% азота в органическом веществе. Почвы эта населены массой различных микроорганизмов, которые окисляют органическое вещество в углекислоту и воду. Пусть почва получает запас углеводов в виде солоمیстаго навоза, или пожнивных остатков. Микроорганизмы действительно принимаются за их разложение, и процент азота постепенно будет расти (вследствие траты углеводов на дыхание) и дойдет, наконец, до 5%—это ровно столько азота, сколько содержится его в тканях самого организма (т. е. грибов и бактерий, по Костычеву). Дальше затрудняется размножение их вследствие недостатка углеводов, начинается частичное отмирание, и азот будет освобождаться в форме  $NH_3$  и  $HNO_3$  и будет улавливаться корнями растений или вымываться в подпочву; содержание его в органическом веществе не повысится больше, чем это отвечает требованию азота в теле грибов. Таким образом микроорганизмы почвы являются регулятором содержания азота в органическом веществе ее.

Такова, в основе, гипотеза Костычева; но нужно указать, что методы анализа, которыми он пользовался при своих работах, как напр., осаждение белков по Штуцеру, не могли быть применены в данном случае, так как при этом способе всякое нерастворимое в воде азотистое соединение будет причислено к белкам, а значит к ним будет отнесен и азот гуминовых веществ. Может быть в деятельности грибов и бактерий действительно можно видеть регулятор содержания азота в органическом веществе почвы, но число 5% не остается постоянным, да и сказать, сколько в почве приходится азота на белки собственно, пока еще трудно<sup>1)</sup>. Можно указать еще, что кроме белков организма почвы могут оставлять и другие вещества содержащие азот; так, клеточные стенки грибов состоят не из обыкновенной клетчатки, а в них

<sup>1)</sup> См. некоторые сюда относящиеся данные у *Shigehiro Suzuki*. Studies on Humus formation (Bulletin of Agriculture, Tokyo, 1907).

входят и азотистыя вещества (какъ это показалъ Винтерштейнъ) и эти вещества должны отличаться значительной стойкостью.

Были высказаны и другія предположенія о характерѣ азотистыхъ органическихъ веществъ почвы. Бертло, напр., полагалъ, что азотъ находится тамъ въ видѣ амидной группы. Этому предположенію было дано фактическое подтвержденіе въ послѣднее время въ лабораторіи проф. Демьянова: оказалось, дѣйствительно, что при дѣйствіи  $\text{HNO}_2$  на органическое вещество почвы около половины азота его выдѣлялось въ видѣ газообразнаго N, какъ это происходитъ при дѣйствіи  $\text{HNO}_2$  на амидо-группу. Можно различить два положенія амидной группы,  $\text{RNH}_2\text{COOH}$  и  $\text{RCONH}_2$ ; во второмъ случаѣ (амиды кислотъ) при кипяченіи съ соляной кислотой происходитъ отщепленіе амміака, въ первомъ же случаѣ (амидо-кислоты) амидная группа отличается большей стойкостью, и не поддается дѣйствію соляной кислоты; такимъ образомъ можно опредѣлить въ отдѣльности группу  $\text{RCONH}_2$  (кипяченіе  $\text{HCl}$  и отгонка амміака) и группу  $\text{RNH}_2\text{COOH}$  (дѣйствіе  $\text{HNO}_2$  на остатокъ отъ предыдущаго опредѣленія); по опредѣленію А. Г. Дояренко для нѣкоторыхъ черноземныхъ почвъ наблюдались слѣдующія относительныя доли амидокислотнаго и амиднаго азота:

|                               | N% въ гуминовой к. | въ % отъ всего N приходится на $\text{RNH}_2\text{COOH}$ | $\text{RCONH}_2$ |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|------------------|
| № 1-й (Нижегородск. г.) . . . | 2,73%              | 49,1%                                                    | 11,3%            |
| № 2-й (Тульск. г.) . . .      | 3,38 »             | 53,5 »                                                   | 12,1 »           |
| № 3-й (Самарск. г.) . . .     | 2,64 »             | 49,2 »                                                   | 11,0 »           |
| № 4-й (Самарск. г.) . . .     | 3,33 »             | 70,3 »                                                   | 9,6 »            |
| № 5-й (Тульской г.) . . .     | 4,59 »             | 22,0 »                                                   | 10,5 »           |

Въ какой формѣ находится остальная часть азота гуминовой кислоты, не поддающейся дѣйствію обоихъ названныхъ выше реактивовъ ( $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_2$ ), остается пока неизвѣстнымъ<sup>1)</sup>. Еще въ 1881 году Тарховымъ было констатировано<sup>2)</sup>, что органическое вещество почвы способно удерживать азотъ амміака и переводить его въ состояніе болѣе прочное. Если напр., на гуминовую кислоту дѣйствовать  $\text{NH}_3$  и высушить это вещество, то затѣмъ не удастся отдѣлить амміакъ при помощи отгонки  $\text{MgO}$ , что говоритъ за то, что N удерживается уже болѣе крѣпко, чѣмъ если бы онъ находился въ видѣ гуминовоамміачной соли. Тоже самое подтверждено было Эггерцомъ въ 1888 году;

<sup>1)</sup> См. Дояренко. Гуминовые вещества какъ азотистая составная часть почвы. Извѣстія М. С. Х. И., 1901.

<sup>2)</sup> См. работы Тархова въ Извѣстіяхъ Петровской Академіи 1881 года.

при этомъ связываются не какіе-нибудь слѣды азота, а 4—5% отъ вѣса гуминовой кислоты<sup>1)</sup>. Этотъ переходъ амміачнаго азота въ форму болѣе стойкую идетъ и въ растворахъ (безъ высушиванія), но не въ столь сильной мѣрѣ.

Въ выше названной работѣ Дояренко прослѣжена ближе судьба поглощаемого амміачнаго азота; при этомъ оказалось, что по мѣрѣ поглощенія увеличивается количество амиднаго азота, т.-е. въ группы  $\text{RCONH}_2$ .

Интересно, что поглощеніе это идетъ при соприкосновеніи гуминовой кислоты съ растворами не только углекислаго, но и сѣрнокислаго аммонія.

Такъ какъ переходъ азота гуминовыхъ веществъ въ форму доступную высшимъ растеніямъ есть въ концѣ концовъ процессъ окислительный, то представляютъ извѣстный интересъ опыты окисленія чисто химическаго характера, въ которыхъ учитываются постепенные переходы азота изъ сложныхъ соединений въ простѣйшія. Поэтому приведемъ слѣдующія данныя относительно дѣйствія перекиси водорода на превращенія гуминовой кислоты изъ работы А. Г. Дояренко (цитировано по рукописи).

При нагреваніи гуминовой кислоты съ перекисью водорода на водяной банѣ, она постепенно переходитъ въ растворъ, пріобрѣтающій кислую реакцію и темнобурый цвѣтъ; значительная часть раствореннаго вещества ведетъ себя какъ апокреновая кислота (осажденіе въ видѣ мѣдной соли), при чемъ эта часть содержала 44% отъ всего взятой навѣски гуминовой кислоты, но 56% этого азота осталось въ растворѣ послѣ осажденія апокреновой кислоты, при томъ часть въ видѣ амміака (около 24,2%), часть въ видѣ амидовъ (16%) и амидокислотъ (16%). Потеря азота при окисленіи не происходила. Въ абсолютныхъ цифрахъ распределеніе азота по группамъ до окисленія и послѣ окисленія выражается слѣдующими величинами (миллиграммы):

|                                                 | N общій | Амидо-К-тн. | Амид-ный | Гумино-вый <sup>2)</sup> | Амміач-ный N. |
|-------------------------------------------------|---------|-------------|----------|--------------------------|---------------|
| Въ 10 гт. гуминовой кислоты . . .               | 360     | 135         | 27       | 198                      | 0             |
| Послѣ окисленія { въ апокреновой к-тѣ . . . . . | 157     | 127         | 28       | 0                        | 0             |
| { въ фильтратѣ послѣ ея осажденія . . . . .     | 203     | 58          | 57       | 0                        | 82            |

<sup>1)</sup> Эггерцъ не зналъ о работѣ Тархова, такъ какъ она была напечатана только по русски, и, какъ большинство такихъ работъ, осталась совершенно неизвѣстной для западно-европейскихъ изслѣдователей.

<sup>2)</sup> Подъ „гуминовымъ“ азотомъ разумѣется та часть его, которая не входитъ ни въ одну опредѣленную категорію изъ вышеназванныхъ.



Точно также при повторномъ раствореніи гуминовой кислоты въ щелочи и осажденіи кислотой происходитъ постепенное уменьшеніе количества «гуминового» азота и увеличеніе на счетъ его растворимыхъ формъ (амиднаго и амміачнаго азота); можно думать что и въ природныхъ условіяхъ образованіе амидосоединеній является промежуточной стадіей, предшествующей образованію амміака <sup>1)</sup>.

Извѣстно, что для высшихъ растений наиболѣе доступнымъ источникомъ азота являются не органическія соединенія, а простѣйшія и при томъ главнымъ образомъ окисленные, именно азотнокислыя соли. Поэтому для насъ важно знать тѣ условія, при которыхъ азотъ перегной превращается въ азотъ амміака и нитратовъ. Анализы показываютъ, что нитратовъ въ почвѣ содержится мало. Буссенго нашелъ, напр., что въ одной изъ почвъ, имъ изслѣдованныхъ, при общемъ содержаніи въ органическихъ веществахъ азота въ 1.43 gr. на 1 кило почвы), на долю амміака приходилось 0.004, а на долю нитратовъ—0.040 gr. Такое распредѣленіе азота является обычнымъ для большинства почвъ; но не смотря на малое количество нитратовъ, обнаруживаемое анализомъ, культурныя растенія могутъ пользоваться этимъ источникомъ, благодаря его постоянству: взаменъ потребленной (или вымытой дождемъ, при отсутствіи растений) азотной кислоты образуются новыя количества ея.

**Нитрификация.** Какъ уже было говорено выше, процессъ нитрификации давно обратилъ на себя вниманіе, но лишь Буссенго показалъ, что источникомъ азота въ данномъ случаѣ является именно перегной (а не атмосферный воздухъ). Изъ его опытовъ обнаружилось также, что необходима прибавка непрокаленной почвы, чтобы вызвать нитрификацію какого-нибудь матеріала; что отдѣльныя составныя части почвы (песокъ, известь) сами по себѣ нитрификации не вызываютъ. Буссенго высказывалъ предположеніе, что причина здѣсь біологическая, что виновниками являются вѣроятно „les champignons de Pasteur“. Самъ Пастеръ также указывалъ (1862 г.) на необходимость разработки вопроса о нитрификации на почвѣ новаго ученія о броженіи. Осуществленіе это дано было въ работахъ Шлезинга и Мюнца съ одной стороны, Виноградскаго—съ другой.

Шлезингъ и Мюнцъ <sup>2)</sup> натолкнулись на это явленіе, занимаясь

<sup>1)</sup> Объ отношеніи микроорганизмовъ почвы къ разнымъ категоріямъ азота перегной см. нѣкоторые данныя у Никитинскаго (jun.) въ его работѣ о разложеніи гуминовой кислоты. (Извѣстія С. Х. Института за 1902 г.

<sup>2)</sup> Cp. Chimie agricole par Schloesing (X. т. Энциклопедіи Fremy).

вопросомъ объ обезвреживаніи сточныхъ водъ города Парижа. При фильтраціи черезъ почву такихъ водъ азотъ органическаго вещества переходитъ въ форму окисленную, т.-е. идетъ нитрификація. Шлезингъ и Мюнцъ, изучая роль отдѣльныхъ составныхъ частей почвы въ обезвреженіи водъ, повторили опыты Буссенго съ прокаленнымъ пескомъ, фильтруя черезъ него клоачныя воды, но вели опытъ значительно долѣе, чѣмъ Буссенго, при этомъ оказалось, что черезъ 20 дней послѣ фильтрованія у нихъ начали появляться нитраты. По аналогіи съ уксуснокислымъ броженіемъ, которое начинается при приготовленіи уксуса изъ разведеннаго спирта на буковыхъ стружкахъ не сразу, а спустя нѣсколько дней (когда размножится ферментъ). Шлезингъ и Мюнцъ сдѣлали допущеніе, что нитрификація обязана своимъ существованіемъ организмамъ почвы. Они стали примѣнять стерилизацію и констатировали, что все, что подавляетъ жизнедѣятельность бактерій, останавливаетъ и процессъ нитрификации. Достаточно было ввести хлороформъ—нитрификація останавливалась. Точно также нагреваніе почвы до 100° останавливало нитрификацію; но достаточно было прибавить къ такой почвѣ немного почвы нестерилизованной (или водной вытяжки изъ нея) — процессъ возобновлялся, очевидно вслѣдствіе зараженія соответствующими микроорганизмами. Однако Шлезингу и Мюнцу не удалось выдѣлить этихъ микроорганизмовъ въ совершенно чистомъ видѣ. Это сдѣлалъ Виноградскій, показавшій, что процессъ идетъ въ двѣ фазы, подъ влияніемъ двухъ организмовъ: сначала образуется азотистая, а затѣмъ уже азотная кислота.

Извѣстно, что Виноградскій воспользовался для изолированія нитрифицирующихъ бактерій именно той ихъ отличительной чертой, которая явилась препятствіемъ для другихъ авторовъ, работавшихъ въ томъ же направленіи: нитрифицирующія бактеріи не растутъ на желатинѣ (столь благопріятной средѣ для развитія большинства микроорганизмовъ), но развиваются хорошо лишь на минеральныхъ субстратахъ (непригодныхъ для другихъ бактерій). Виноградскій культивировалъ ихъ сначала въ водѣ, содержащей  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  (по 1 грамму на литръ). Такая жидкость, зараженная одной каплей жидкости уже нитрифицированной, и налитая не толстымъ слоемъ, чтобы не затруднить доступа воздуха, даетъ черезъ 2—3 дня интенсивное синее окрашиванье съ дифениламиномъ (извѣстная реакція на азотную кислоту); черезъ 2 недѣли весь амміакъ оказывается уже окисленнымъ, а бактеріи—сильно размножившимися и облекающими частички осадка, состоящаго изъ  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ;

эти вещества (карбонаты) доставляют основание, необходимое для нейтрализации азотной кислоты. Еще болѣе совершенныя (чистыя) культуры Виноградскій получилъ, замѣнивши желатину также студнеобразной, но минеральной средой — студенистой кремнекислотой, позволяющей вызвать образование отдѣльныхъ колоній этихъ своеобразныхъ бактерій. Этимъ путемъ удалось показать, что въ процессѣ превращенія амміака въ азотнокислыя соли участвуютъ два рода бактерій: одни доводятъ окисленіе лишь до азотистой кислоты (*Nitrosomonas*), а другія продолжаютъ его до азотной кислоты (*Nitrobacter*); какъ первыя не способны образовать азотную кислоту, такъ вторыя не способны окислять амміакъ; функции ихъ строго раздѣлены; но такъ какъ въ природѣ обѣ формы встрѣчаются совместно, то азотистая кислота не накапливается въ почвахъ, но тотчасъ превращается въ азотную <sup>1)</sup>).

Не могла не остановить на себѣ вниманіе Виноградскаго способность этихъ организмовъ размножаться въ отсутствіи органическаго вещества; подвергая количественному анализу свои культуры, онъ констатировалъ приростъ органическаго вещества въ 20—30 mgr. на каждые 100 к. с. жидкости; приходится, слѣдовательно, принять, что эти бактеріи способны разлагать углекислоту карбонатовъ или углекислоту воздуха (ср. Godlewski, 0 nitrifikacyi) и брать изъ нея углеродъ, необходимый для образования органическаго вещества, используя для этой цѣли энергію окисленія амміака въ азотную кислоту (взамѣнъ энергіи свѣтового луча, которой пользуются хлорофиллоносные организмы). По Виноградскому, на каждые 35 mgr. азота, перешедшаго въ окисленную форму, приходится 1 mgr. углерода, усвоеннаго бактеріями изъ углекислыхъ солей.

Если это имѣетъ мѣсто, то понятными будутъ такіе факты, какъ нахожденіе нитрифицирующихъ бактерій на горныхъ вершинахъ, непокрытыхъ почвой: углекислый амміакъ, приносимый въ небольшихъ

<sup>1)</sup> Изъ того, что въ почвѣ образование окисленныхъ соединений насчетъ амміака разсматривается какъ слѣдствіе дѣятельности бактерій не слѣдуетъ, что инымъ путемъ это окисленіе вовсе не происходитъ; есть чисто химическіе процессы, идущіе въ томъ же направленіи, но только роль ихъ является совершенно второстепенной по сравненію съ процессами біологическими; такъ, Sestini (Pisa) показалъ, что гидратъ окиси желѣза при обыкновенной температурѣ способствуетъ образованию азотистой кислоты изъ амміака, при условіяхъ исключающихъ возможность вмѣшательства микроорганизмовъ; но количество азотистой кислоты могущее образоваться такимъ путемъ, не учтено, во всякомъ случаѣ оно не велико (см. Landw. Versuchs-Stationen, Bd. 60, стр. 103).

количествахъ дождемъ и чисто минеральный субстратъ (горныя породы) доставляютъ имъ пищу, и онѣ энергично воздѣйствуютъ на этотъ субстратъ выделяемой азотной кислотой, ускоряя процессъ вывѣтриванья.

Чтобы познакомиться съ зависимостью процесса нитрификации отъ окружающихъ условій, возвратимся еще къ работамъ Шлезинга и Мюнца.

Шлезингъ и Мюнцъ старались точно опредѣлить вліяніе на ходъ нитрификации вѣшнихъ условій, каковы притокъ кислорода, влажность и температура воздуха. Оказалось, что при увеличеніи доступа кислорода воздуха, повышалась энергія процесса нитрификации, т.-е. повторяется тоже, что и при аэробномъ разложеніи органическаго вещества съ выдѣленіемъ  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Такъ оказалось, напр. что при содержаніи:

|                |      |      |       |       |                             |
|----------------|------|------|-------|-------|-----------------------------|
| 1.5%           | 6%   | 11%  | 16%   | 21%   | кислорода                   |
| энергія нитри- |      |      |       |       |                             |
| фикации        | 45.7 | 95.7 | 132.5 | 162.6 | 246.6 mgr. $\text{HNO}_3$ . |

Количество воды вліяетъ точно также до тѣхъ поръ, пока она не въ избыткѣ и не затрудняетъ доступъ  $\text{O}_2$  къ нитрифицирующимъ организмамъ; напр.: при содержаніи  $\text{H}_2\text{O}$

|                     |      |      |      |                |
|---------------------|------|------|------|----------------|
| 9%                  | 14%  | 16%  | 20%  | отъ вѣса почвы |
| получено нитратовъ: | 28.9 | 48.8 | 53.0 | 86.6 mgr.      |

Вліяніе температуры весьма замѣтно; вотъ цифры, данныя Шлезингомъ и Мюнцемъ:

|         |       |      |      |      |      |      |     |                                  |
|---------|-------|------|------|------|------|------|-----|----------------------------------|
| °: 5—8° | 14—16 | 23°  | 27°  | 33   | 37°  | 43   | 49° | 56°С                             |
| 2.3     | 19.5  | 39.4 | 59.7 | 81.8 | 98.9 | 40.3 | 5.1 | 0.0 mgr $\text{N}_2\text{O}_5$ . |

Въ этихъ опытахъ optimum лежалъ при 37°; но позднѣе Müntz et Lainé наблюдали болѣе низкое положеніе optimum'a въ значительной серіи опытовъ, напр.:

|               |       |       |       |       |       |          |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| т°:           | 14,3° | 18,5° | 23,9° | 29,9° | 35,8° | 41,6°    |
| Нитрифікація: | 1) 38 | 66    | 88    | 117   | 82    | 5 mgr.   |
|               | 2) 88 | 229   | 338   | 390   | 322   | 146 mgr. |

По мнѣнію названныхъ авторовъ эти передвиженія optimum'a зависятъ отъ стадіи развитія нитрифицирующихъ бактерій, именно въ періодъ размноженія optimum лежитъ выше (35—37°), впослѣдствіи же выгоднѣе поддерживать температуру при 27—28; но возможно, что кромѣ названной причины на положеніе optimum'a могутъ вліять

Ученіе объ удобреніи.



и другія обстоятельства, какъ напр. концентрація раствора и реакція среды. Во всякомъ случаѣ изъ названныхъ опытовъ видно, что эти микроорганизмы весьма чувствительны къ повышенію температуры <sup>1)</sup>.

Точно также чувствительны эти организмы и къ измѣненію реакціи среды; такъ, кислая реакція задерживаетъ нитрификацію, такъ же какъ и сильно щелочная. Напротивъ слабо щелочная реакція (или еще лучше, наличие основныхъ веществъ, не вызывающихъ щелочной реакціи) благоприятна для нитрификации, такъ какъ благодаря ей нейтрализуется получающаяся свободная азотная кислота, избытокъ которой вредилъ бы нитрификации. При опытахъ съ  $\text{KHCO}_3$  прибавка соли до 2.5 на 1000 повышала нитрификацію, а за этими предѣлами уже вредила. Лучше всего дѣйствуютъ  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , предупреждая полученіе кислой реакціи.

Нужно замѣтить, что тенденція къ кислой реакціи зависитъ не только отъ накопленія вновь образованной азотной кислоты, но и отъ освобожденія кислоты, связанной ранѣе съ амміакомъ; если напр. нитрификація подвергается  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , то нужно дать столько основанія, чтобы связать и образующуюся азотную и остающуюся сѣрную кислоту. При нейтральной средѣ концентрація исходнаго и конечнаго продукта можетъ за извѣстнымъ предѣломъ (5:1000) подавлять нитрификацію. Впрочемъ по даннымъ Müntz et Lainé для сѣрно-кислаго аммонія можно поднимать концентрацію до 9 граммовъ на литръ воды, содержащейся въ почвѣ, не мѣшая энергіи нитрификации <sup>2)</sup>; что касается до  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , являющагося главнымъ продуктомъ реакціи, то его накопленіе (напр. при повторномъ введеніи сѣрно-кислаго аммонія) можетъ идти до болѣе высокихъ концентрацій безъ замѣтнаго ущерба для энергіи нитрификации.

Избытокъ неразложенныхъ органическихъ веществъ (особенно растворимыхъ углеводовъ) также вреденъ для этого процесса; этотъ фактъ стоитъ отчасти въ связи съ особенной способностью нитрифицирующихъ организмовъ разлагать углекислыя соли и усвоить изъ нихъ углеродъ. Но присутствіе перегнойныхъ веществъ не мѣшаетъ

<sup>1)</sup> По даннымъ Boulanger et Massol нитритныя бактеріи отличаются болѣе чувствительностью и гибнуть уже черезъ 5 минутъ нагрѣванія при 45°, нитратныя же—при 55°C (Annales de l'Institut Pasteur, t. 17).

<sup>2)</sup> Въ этомъ отношеніи замѣчается неполное совпаденіе у разныхъ авторовъ, вѣроятно въ связи съ измѣненіемъ другихъ условий, быть можетъ также возрастомъ культуры и пр. (см. Boulanger et Massol, Annales de l'Institut Pasteur, t. 17 и 18).

нитрификации, какъ это видно на примѣрѣ черноземныхъ почвъ, способныхъ при правильной обработкѣ пара накоплять значительныя количества селитры. Точно также торфъ при смачиваніи растворомъ амміачной соли оказывается хорошимъ субстратомъ для нитрифицирующихъ бактерій, если конечно позаботиться о должной вентиляціи и о поддержаніи нейтральной реакціи <sup>1)</sup>.

Первоначально Шлезингъ и Мюнцъ наблюдали лишь конечное образованіе нитратовъ насчетъ азота органическихъ веществъ, не изслѣдуя промежуточныхъ стадій этого процесса, но затѣмъ Шлезингъ обнаружилъ, что амміакъ введенный въ почву нитрифицируется очень легко, и далѣе—что это вещество въ природѣ является именно промежуточной ступенію въ разложеніи органическихъ веществъ съ конечнымъ образованіемъ нитратовъ. Онъ демонстрировалъ это слѣдующимъ опытомъ; если на короткое время нагрѣть почву до 90°, то нитрифицирующій ферментъ, какъ нестойкій, погибаетъ, нитрификація въ такой полустерилизованной почвѣ прекращается, но за то наблюдается способность накоплять значительныя количества амміака (одновременно съ обычнымъ разложеніемъ, съ выдѣленіемъ  $\text{CO}_2$ ). Амміакъ этотъ образуютъ другіе организмы, болѣе стойкіе чѣмъ нитрифицирующіе, и потому не погибшіе при 90°; отсюда естественно заключить, что такое же образованіе амміака постоянно идетъ въ почвахъ, но такъ какъ онъ по мѣрѣ образованія нитрифицируется, то мы и не можемъ констатировать въ нормальныхъ почвахъ значительныхъ количествъ амміака. Образованіе амміака изъ органическаго вещества не является функціей какого-нибудь особаго организма: цѣлый рядъ бактерій и плѣселей способенъ, развиваясь на органическомъ веществѣ, переводить азотъ бѣлковъ и другихъ сложныхъ соединений въ форму амміака.

Если почва, достаточно богатая перегноемъ, поддерживается въ рыхломъ и влажномъ состояніи, то въ ней происходитъ накопленіе нитратовъ, часто превышающее тѣ количества, которыя вносятся съ полнымъ удобреніемъ селитрой; этотъ случай мы имѣемъ напр. для нашихъ черноземныхъ почвъ: если онѣ находятся подъ паромъ правильно обработаннымъ, то они не склонны реагировать на азотистыя удобренія благодаря естественному обогащенію селитрой за счетъ азота перегноя; и чѣмъ богаче черноземъ перегноемъ, тѣмъ менѣе

<sup>1)</sup> Müntz, L'établissement des nitrères a hauts rendements, въ Annales de l'Institut agronomique, Paris, 1908). Макримова, Нитрификація съ биологической стороны (Вѣстникъ Бакт. Агрон. Станціи, №№ 14 и 15).

нуждается онъ въ азотистомъ удобрении <sup>1)</sup>. Въ другихъ же почвахъ, не столь богатыхъ перегноемъ, для достиженія энергичной нитрификации необходимо внесение удобрений, содержащихъ азотъ въ видѣ органическихъ соединений или амміачныхъ солей.

Но процессъ нитрификации является общимъ лишь для почвъ болѣе или менѣе вентилируемыхъ; въ почвахъ же заболоченныхъ, гдѣ вентиляция происходитъ очень медленно или отсутствуетъ совсѣмъ, и гдѣ продукты разложенія органическаго вещества имѣютъ кислотный характеръ, нитрификация не идетъ. Такъ, напр., въ опытахъ Мюнца было взято три рода почвъ и прибавлена въ каждую въ качествѣ азотистаго удобрительнаго вещества, способнаго въ конечномъ результатѣ къ нитрификации, кровяная мука. Послѣ прибавленія кровяной муки почвы оставались въ умѣренно-влажномъ состояніи въ теченіе 8 мѣсяцевъ; потомъ определено было содержаніе амміака и нитратовъ, оно оказалось:

|                            | Амміака. |                 | Нитратовъ. |                 |
|----------------------------|----------|-----------------|------------|-----------------|
|                            | Неуд.    | Съ кров. мукой. | Неуд.      | Съ кров. мукой. |
| Первая почва (огородная)   |          |                 |            |                 |
| заклучала въ 100 gr.       | 0.9      | 23.9            | 24.4 mgr.  | 99.3            |
| Вторая (торфяная) почва.   | 2.1      | 39.7            | 0.0 »      | 0.0             |
| Третья (вересковая) почва. | 2.5      | 73.9            | 0.0 »      | 0.0             |

Тѣ же самые результаты получены были и для другого азотистаго удобрения (кожаной муки).

Такимъ образомъ разложеніе азотистыхъ веществъ въ кислыхъ, заболоченныхъ почвахъ не идетъ до образованія азотной кислоты, а по большей части образуется только амміакъ.

*Потери нитратовъ.* Благодаря важной роли, которую играютъ въ дѣлѣ питанія растений азотнокислые и амміачные соединения почвы, вопросъ о разрушеніи нитратовъ, потеряхъ ихъ изъ почвы привлекъ вниманіе многихъ изслѣдователей. Способы, при помощи которыхъ нитраты могутъ тратиться безвозвратно для растений, сводятся къ слѣдующимъ: возстановленіе нитратовъ, связанное съ образованіемъ свободнаго азота (денитрификация), и вымываніе ихъ изъ почвы, какъ легко растворимыхъ въ видѣ соединений азотной кислоты, не-

<sup>1)</sup> О накопленіи нитратовъ въ черноземныхъ почвахъ въ связи съ обработкой и удобрениемъ см.: 1) сводъ работъ Плотнянской опытной станціи за десятилѣтіе 1895—1904 г. (Вельбель и Бычизинъ). 2) Труды съѣти опытныхъ полей, 1907 г., III. (Франкфуртъ и Душечкинъ). 3) Труды Ивановской опытной станціи за трехлѣтіе 1904—6 гг. (Рождественскій и Сазановъ).

поглощаемыхъ почвой; кромѣ того, возможна временная убыль нитратовъ, зависящая отъ образованія на ихъ счетъ органическихъ азотистыхъ соединений (напр. бѣлковыхъ веществъ) организмами почвы.

*Вымываніе нитратовъ* сильно зависитъ отъ различныхъ условий: большаго или меньшаго количества осадковъ и размѣровъ испаренія въ данной мѣстности, отъ присутствія или отсутствія растительнаго покрова, отъ рода и степени развитія культурнаго растенія, отъ строенія почвы и пр. О количествѣ нитратовъ, теряемыхъ почвой, можно заключать по содержанію азотнокислыхъ солей въ дренажныхъ водахъ съ даннаго участка. Напр., на удобренной почвѣ занятой пшеницей нитратовъ было въ дренажныхъ водахъ 1.2 килограмма, а въ водахъ съ участка бывшаго подъ паромъ 15.1 килогр. (Ротамстедъ). Надо замѣтить, что накопленіе нитратовъ для обезпеченія развитія озимыхъ считается одной изъ цѣлей оставленія земли подъ паромъ. Дегеренъ напр. сравниваетъ паръ съ кучей, служащей для добыванія селитры (т. наз. селитряные бурты), такъ какъ и здѣсь и тамъ почва намѣренно обогащается органическимъ веществомъ, поддерживается въ извѣстномъ состояніи скважности, содержаніе влаги стараются регулировать, идетъ борьба съ потребителями нитратовъ (сорные растенія) etc.; только въ пару производство селитры является гораздо болѣе экстензивнымъ.

Но незанятый паръ удобенъ не для всѣхъ климатовъ: растенія потребляютъ нитраты и тѣмъ предохраняютъ ихъ отъ вымыванія, между тѣмъ какъ въ паровомъ полѣ жизнедѣятельностью бактерій постепенно накапливаются значительныя количества нитратовъ, за отсутствіемъ растений они не потребляются и паръ не въ состояніи предотвратить ихъ отъ вымыванія, если выпадаетъ много осадковъ. Если паръ былъ удобренный, то напр. для условій Англіи потери нитратовъ достигаютъ значительной величины: во влажномъ климатѣ, съ продолжительной и теплой осенью, является возможность значительнаго вымыванія нитратовъ при незанятой почвѣ, такъ какъ большое количество осадковъ, при маломъ испареніи имѣетъ прямое слѣдствіемъ увеличеніе количества дренажныхъ водъ, а послѣднее влечетъ и болѣе вымываніе, какъ показываютъ такіа наблюденія въ Ротамстедѣ (возьмемъ цифры для трехъ слѣдующихъ одинъ за другимъ годовъ):

Дренаж. водъ: 25.3 40.7 65.9 сант.  
Потеря азота: 30.7 43.6 54.1 килограммовъ въ годъ на гектаръ.  
Значитъ, чѣмъ больше было дренажныхъ водъ, тѣмъ больше те-



рялось нитратовъ. Вольни оцѣниваетъ въ среднемъ эти потери въ 60 марокъ на гектаръ (около 30 р. на десятину), считая азотъ нитратовъ по рыночной цѣнѣ азота въ формѣ чилийской селитры. Но

это будетъ понижать концентрацію растворенныхъ въ водѣ нитратовъ. Кромѣ того вода проходя черезъ почву можетъ растворять и

Судя по этому, на одну десятину при трехпольном хозяйствѣ въ Московской губерніи, теряется около 14 кило (почти 1 пудъ) азота <sup>1)</sup>.

**Денитрификація.** Шлезингъ еще въ 1873 г. сдѣлалъ наблюденіе, что почва насыщенная водой или инымъ способомъ лишенная доступа воздуха не только не накапливаетъ вновь нитратовъ, но утрачиваетъ и то ихъ количество, которое въ ней содержалось, причемъ замѣчается выдѣленіе свободного азота. Первое указаніе на микроорганизмовъ, какъ на виновниковъ этого восстановительнаго процесса, принадлежитъ повидимому Meusel'ю (1875 г.), который наблюдалъ, что вода изъ источника, содержащая азотнокислыя соли, при стоянии обнаруживала значительное образование азотистой кислоты; этотъ ферментъ не замѣчалось, если въ воду прибавлялась карболовая кислота, и только тогда сравнивалась съ кипяченой.

Аналогичное наблюденіе сдѣлалъ Дегеренъ (около 1882 г.), именно, онъ запаивалъ почву, содержащую нитраты, въ стеклянныя трубки; черезъ нѣкоторое время нитраты исчезали (небольшое количество воздуха въ трубкахъ оказывается вскорѣ потребленнымъ на образование углекислоты); если въ трубку ввести хлороформъ, то нитраты сохраняются; значитъ, въ процессѣ участвуютъ микроорганизмы. Одновременно Gayon и Dupetit выдѣлили изъ почвы и изъ сточныхъ водъ 2 микроорганизма, которые почти начисто разлагали селитру (въ присутствіи органическаго вещества) съ выдѣленіемъ  $N_2$  и образованіемъ  $K_2CO_3$  или  $Na_2CO_3$ .

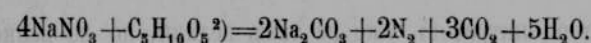
Затѣмъ Bréal констатировалъ присутствіе денитрифицирующихъ бактерій на соломѣ, сѣнѣ люцерны, Giltay и Aberson (Голландія) нашли форму распространенную въ воздухѣ, въ водѣ и почвѣ, обладающую той же способностью; частью подъ вліяніемъ работъ Вагнера (Дармштадтъ), Stutzer и Burri, (а также Широкихъ, Егуновъ, Северинъ и др.), занимаясь изученіемъ бактерій соломы и твердыхъ экскрементовъ с. х. домашнихъ животныхъ, нашли и въ этихъ матеріалахъ нѣсколько формъ близкаго фізіологическаго типа; словомъ, бактеріи этой группы оказываются довольно распространенными и при томъ

<sup>1)</sup> См. Извѣстія нашего Института, 1901 и 1902 г. Отчасти эта потеря покрывается тѣмъ приходомъ, который даютъ осадки (ср. примѣчаніе на стр. 28); вполнѣ сравнимыхъ данныхъ, правда, мы не имѣемъ, но по опредѣленіямъ Плотянской станціи почвой получается около 4 kgr. связаннаго азота за годъ съ осадками, что для той мѣстности уже покрываетъ потери отъ вымыванія. (См. анализы *Вельбеля* въ Трудахъ Плотянской станціи).

бактеріи почвы и навоза между собой повидимому не тождественны <sup>1)</sup>. Одни изъ этихъ бактерій способны разлагать селитру съ выдѣленіемъ свободного азота, какъ организмы выдѣленные Gayon'омъ и Dupetit; другія же достигаютъ того же эффекта лишь при совмѣстной работѣ (такъ что одна форма даетъ азотисто-кислыя соли, а другая уже разлагаетъ послѣднія до конца). Обыкновенно разумѣютъ подъ денитрифицирующими бактеріями (если не сдѣлано оговорки) бактерій первой категоріи.

Описываемый процессъ является противоположнымъ нитрификаціонному не только по самому направленію реакціи, но и (въ связи съ этимъ) по роду зависимости отъ окружающихъ условий; такъ,

денитрификація требуетъ доступа воздуха, а главныя денитрификаторы являются наиболее энергичными именно въ отсутствіи кислорода. Напротивъ нитрифицирующій ферментъ страдаетъ отъ избытка разлагающаго органическаго вещества, а денитрификація необходимо связана съ наличностью такихъ веществъ; денитрифицирующіе ферменты пользуются кислородомъ селитры для окисленія органическаго вещества, съ образованіемъ углекислоты и воды; углекислота соединяется съ основаніемъ нитрата, а азотъ выдѣляется какъ таковой. Приблизительно процессъ этотъ можетъ быть выраженъ такимъ уравненіемъ:



Часть углекислоты остается въ жидкости, образуя двууглекислыя соли, часть выдѣляется (смотря по составу среды, въ большемъ или меньшемъ количествѣ); азотъ же почти весь удаляется какъ свободный азотъ.

<sup>1)</sup> Такъ по Kühnemann'у въ почвѣ чаще встрѣчаются *Bacillus pycnosaneus*, *Bacillus fluorescens liquefaciens* и *Bac. denitrificans* III; въ навозѣ рогатаго скота — *Bac. denitrificans* I + *Bacterium coli*; въ навозѣ лошадей — *Bacillus denitrificans* II (Landw. Versuchs-Stationen, 1898 г.); по даннымъ эти оспариваются Höflich'омъ (Bied. Centralblatt, 1903, 521). См. также: *Северинъ*, О разложеніи азотно-кислыхъ солей бактеріями (Вѣстникъ Бакт. Агрон. Станціи, № 15).

<sup>2)</sup> Здѣсь взята пентоза, такъ какъ пентозаны по нѣкоторымъ наблюденіямъ особенно наклонны вызывать денитрификацію; но если не придавать значенія этому обстоятельству, то можно просто смотрѣть на приведенное уравненіе, какъ на примѣрную схему; клѣтчатка также способна служить для питанія денитрификаторовъ; см. работу Van-Iterson реф. въ Bied. Centralblatt, 1905, стр. 709). О чувствительности денитрификаторовъ по отношенію къ сѣроуглероду см. у *Hiltner'a*, Studien über die Bacterienflora des Ackerbodens (Arbeiten Biologisch. Abth., Bd. III 1903).



Въ сущности, здѣсь медленно происходитъ тоже самое, что при взрывѣ пороха осуществляется моментально.

Значеніе органическаго вещества для процесса денитрификаціи констатировано было не одинъ разъ; но много значитъ также степень усвояемости органическаго вещества.

Такъ, Дегерентъ показалъ, что крахмалъ способенъ сильно увеличивать денитрификацію (или точнѣе, вызывать исчезновеніе нитратовъ); напр. въ одномъ случаѣ при внесеніи крахмала количество нитратовъ понижалось такимъ образомъ:

|         |         |        |         |               |
|---------|---------|--------|---------|---------------|
| 13 окт. | 31 окт. | 2 дек. | 23 дек. | черезъ 1 годъ |
| 100     | 88.3    | 33.2   | 24.6    | 1.11          |

Обстоятельство это имѣетъ извѣстное значеніе при удобреніи неперепрѣвшимъ навозомъ, съ которымъ вносятся пентозаны, клѣтчатка и др. углеводы.

Въ опытахъ Дегерента при внесеніи соломы количество нитратовъ въ опытѣ параллельномъ съ только что приведеннымъ уменьшилось такимъ образомъ:

|         |        |         |             |
|---------|--------|---------|-------------|
| 13 окт. | 2 дек. | 23 дек. | черезъ годъ |
| 100     | 69.6   | 76.7    | 74.3        |

Здѣсь потери нитратовъ уже не такъ велики, но во всякомъ случаѣ избытокъ неперепрѣвшаго матерьяла въ навозѣ можетъ сказываться дурно на содержаніи нитратовъ въ почвѣ (а значитъ и на урожаяхъ), если количество вносимаго удобренія велики и если между внесеніемъ навоза и посѣвомъ промежутокъ малъ <sup>1)</sup>. Подробнѣе объ этомъ будемъ говорить въ главѣ о навозѣ.

Какъ было ранѣе сказано, подъ удобреніями мы понимаемъ вещества, вносимыя въ почву съ цѣлью повышенія урожаевъ. Повышеніе это въ однихъ случаяхъ происходитъ потому, что вносимымъ

<sup>1)</sup> Последнее объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что убыль нитратовъ при внесеніи углеводовъ вызывается не всегда денитрификаціей въ собственномъ смыслѣ слова, (т.-е. безвозвратной потерей азота въ газообразной формѣ), но часто имѣетъ мѣсто лишь временное потребленіе нитратовъ благодаря переходу ихъ азота въ сложные ограниченные соединения (бѣлки, грибная клѣтчатка и пр.); черезъ нѣкоторое время, когда избытокъ углеводовъ будетъ потребленъ въ процессѣ дыханія микроорганизмами, азотъ этотъ снова можетъ переходить въ форму амміака и нитратовъ.

удобреніемъ мы непосредственно повышаемъ въ почвѣ содержаніе какого либо необходимаго питательнаго вещества; такіа удобрения средства называются *прямыми удобрениями*. Прямые удобрения могутъ содержать или одно только питательное вещество, тогда они называются *односторонними*; или они содержатъ въ различныхъ количествахъ всѣ питательныя вещества необходимыя для растенія и тогда они называются *полными удобрениями*.

При внесеніи другого рода удобрительныхъ веществъ, мы вызываемъ въ почвѣ реакціи, въ результатѣ которыхъ освобождается то или другое необходимое для растеній питательное вещество, или устраняются вредныя вещества; удобрения, дѣйствующія такимъ образомъ, называются *косвенными удобрениями*.

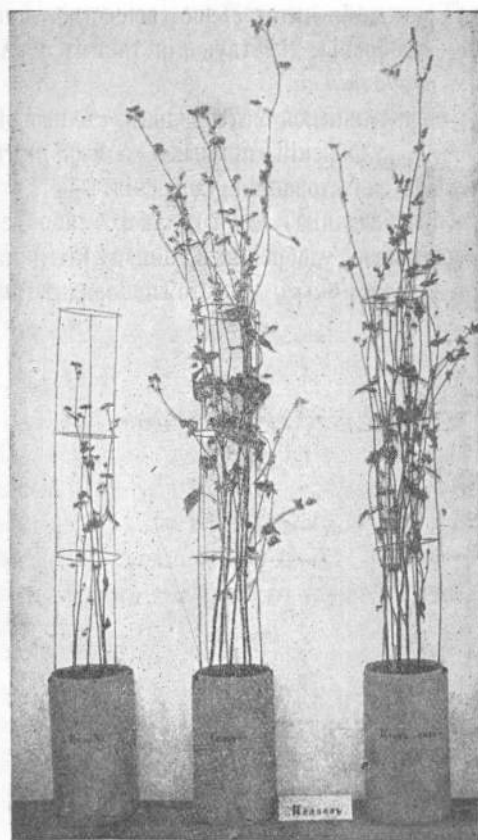
Мы начнемъ разсмотрѣніе удобрительныхъ матерьяловъ съ первой изъ названныхъ категорій, т.-е. удобреній прямыхъ, а изъ нихъ поставимъ впереди болѣе простыя, одностороннія удобрения.

Смотря по содержанію (или преобладанію) одного какого либо вещества въ прямыхъ одностороннихъ удобренияхъ, они дѣлятся на *азотистыя*, *фосфорнокислыя* и *калійныя*; въ этомъ порядкѣ мы ихъ и разсмотримъ.

## Одностороннія удобрительныя вещества.

### А. Азотистыя удобрения.

Рис. 2-й Гречиха на подзолѣ.



Безъ азота. Селитра. Ціанъ-амидъ.

Азотъ, какъ одинъ изъ четырехъ элементовъ, являющихся необходимыми для образования бѣлковыхъ веществъ, представляетъ изъ себя питательное вещество, потребляемое растеніями въ весьма значительныхъ количествахъ ( $\frac{1}{6}$  часть отъ вѣса образованнаго бѣлка). Если взять наши главные растенія, хлѣбные злаки, то средній урожай съ десятины уносить въ зернѣ и соломѣ (по даннымъ Стебута) около  $2\frac{1}{2}$  пудовъ азота, а наибольшій возможный урожай (по Вагнеру)—до 8 пудовъ азота на десятину <sup>1)</sup>; для картофеля среднее потребление принимается въ 4 пуда, а для кормовой свеклы—

въ 7 пудовъ (считая и листья). Правда, значеніе этихъ цифръ нѣсколько смягчается тѣмъ обстоятельствомъ, что часть азота, въ соломѣ (или ботвѣ) возвращается на поля въ видѣ навоза; но солома, остающаяся въ хозяйствѣ, содержитъ меньше азота, чѣмъ зерно, отчуждаемое изъ хозяйства; затѣмъ, при храненіи навоза еще нѣкоторая часть азота неизбежно теряется <sup>1)</sup>. Поэтому навозное удобреніе въ зерновомъ хозяйствѣ обычно не въ состояніи пополнить потребности культурныхъ растеній въ азотѣ; для устраненія этого недостатка хозяевамъ приходится прибѣгать или къ спеціальнымъ азотистымъ удобрениямъ или къ культурамъ растеній изъ группы «азотособираателей»—бобовыхъ.

Азотистыя удобрения представляютъ изъ себя съ одной стороны продукты съ преобладаніемъ сравнительно простыхъ соединений (селитра, амміачныя соли, ціанъ-амидъ) или же отбросы органическаго происхожденія, содержащія сложныя (бѣлковыя или близкія къ нимъ вещества) вещества или продукты ихъ (кровяная мука, шерсть, рогъ, жмыхи, гуано и пр.).

#### 1. Чилійская селитра ( $\text{NaNO}_3$ ).

Чилійская селитра привозится въ Европу изъ Южной Америки, гдѣ наиболѣе богатая залежи ея находится въ Чили (пустыня Атакама) и Перу (плоскогоріе Рампа Negra, на 1000 м. надъ уровнемъ моря, между Кордильерами и грядой прибрежныхъ возвышенностей, а также и въ нѣкоторыхъ районахъ Боливіи <sup>2)</sup>). Селитряныя залежи достигаютъ толщины отъ 1 до 5 метровъ и обычно бываютъ покрыты пескомъ и глиной; иногда прослойки этихъ примѣсей встрѣчаются въ перемежку съ слоями селитры.

Относительно происхожденія залежей селитры мы не имѣемъ точныхъ данныхъ. Нужно думать, что здѣсь игралъ роль процессъ нитрификации, столь энергично идущій въ тѣхъ климатическихъ усло-

<sup>1)</sup> Для болѣе точнаго расчета слѣдовало бы, конечно, принять во вниманіе, что въ навозъ попадаетъ еще азотъ изъ сѣна съ луговъ, но съ другой стороны и изъ хозяйства вывозятся еще азотистые продукты въ видѣ молока, мяса, шерсти и пр., да и луга, состоящіе преимущественно изъ злаковой растительности, въ свою очередь требуютъ азотистаго удобрения.

<sup>2)</sup> Въ 1880 г. между Перу и Чили возникла война изъ-за селитряныхъ залежей, вслѣдствіе которой провинція Тарапака отошла отъ Перу къ Чили; этимъ объясняется несовпаденіе указаній старыхъ и новыхъ авторовъ на относительное значеніе чилійскихъ и перуанскихъ залежей.

<sup>1)</sup> По даннымъ Плотнянской станціи въ разные годы, въ связи съ колебаніями въ урожаяхъ оз. пшеница „банатка“ уносить въ надземныхъ частяхъ отъ 3,5 до 6,5 пудовъ азота, яровая пшеница „улька“ отъ 2,6 до 5,0 пуд., озимая рожь отъ 4,3 до 5,5 пуд. на десятину (см. Сводъ работъ Плотнянской станціи за десятилѣтіе 1892—1904 гг., стр. 206).



виях; матеріаломъ для нитрификаціи могли послужить, напр., отложенія гуано, или, по предположенію другихъ авторовъ, массы морскихъ водорослей, выброшенные на берегъ океаномъ (или скорѣе оставшіеся въ бассейнѣ, отрѣзанномъ отъ моря при процессахъ горообразовательныхъ или иныхъ, и затѣмъ высохшемъ).

Но если селитра могла произойти такимъ образомъ, то не на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ она теперь отложена. Это слѣдуетъ думать на томъ основаніи, что при разложеніи органическаго вещества должна оставаться на мѣстѣ фосфорная кислота, обычно въ видѣ известковыхъ солей. Залежи селитры не содержатъ этого вещества, отсюда можно думать, что селитра перенесена сюда изъ другихъ мѣстъ водою. Далѣе предполагали, что въ процессѣ образованія селитры принимала участіе морская вода, такъ какъ въ почвѣ при разложеніи органическаго вещества чаще образуется не  $\text{NaNO}_3$ , а  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; замѣщеніе же Ca при помощи Na легче всего объяснить участіемъ морской воды, тѣмъ болѣе, что реакція эта имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, если смѣшать растворъ  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{NaCl}$ ; при выпариваніи смѣси выкристаллизовывается  $\text{NaNO}_3$ , а  $\text{CaCl}_2$  остается въ растворѣ. Въ связи съ составомъ морской воды стоитъ, по этой гипотезѣ, присутствіе въ натровой селитрѣ (помимо примѣси  $\text{NaCl}$ ) іодовато и бромоватокислыхъ K и Na.

Въ послѣднее же время высказывается мнѣніе, что селитра эта *обычнаго почвеннаго происхожденія*, что она постепенно выщелачивалась со склоновъ Кордильерской цѣпи, а на плоскогоріи подпочвенныя воды, благодаря непроницаемости подстилающихъ глинистыхъ сланцевъ и кристаллическихъ породъ, благодаря препятствію къ дальнѣйшему движенію въ видѣ береговой цѣпи возвышенности, должны были скопляться и, выступая на поверхность, испаряться и выделять отложенія селитры и другихъ солей, непоглощаемыхъ почвой; сходство же съ составомъ морской воды не представляетъ чего либо особеннаго, такъ какъ соли морской воды принесены въ нее рѣками и тоже выщелочены изъ почвъ <sup>1)</sup>. Кромѣ того, въ мѣстахъ отложенія селитры отсутствуютъ указанія на близость моря въ прошломъ (камни не окатаны etc).

Сырая, только что добытая масса селитры состоитъ (такимъ образомъ изъ  $\text{NaNO}_3$  въ смѣси съ хлористымъ натромъ, сѣрнистымъ

<sup>1)</sup> Что касается отсутствія скопленія селитры въ морской водѣ, то оно объясняется постепеннымъ ея потребленіемъ растительными организмами; при условіяхъ же образованія залежей въ Чили растительность очевидно не могла развиваться благодаря высокой концентраціи раствора солей.

рнатомъ, глиной и пескомъ и др. примѣсями; иногда встрѣчаются и калийныя соли; вотъ данныя двухъ анализовъ (см. Müntz, Les engrais II).

| (Перу)                                                         | (Чили)                        |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 60.97% $\text{NaNO}_3$ . . . . .                               | 47.2% (съ колебаніями 20—80%) |
| 16.85 $\text{NaCl}$ . . . . .                                  | 7.4%                          |
| 4.56 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ и $\text{H}_2\text{O}$ . . . . . | 26.0%                         |
| песокъ, глина . . . . .                                        | 18.7%                         |
| 0.73 іодоватокислаго кали . . . . .                            | 0.2—0%                        |

При добываніи обычно твердую массу взрываютъ порохомъ, крупные комки примѣсей отбираютъ руками, а потомъ обрабатываютъ полученную массу горячей водою; послѣ декантациі растворъ выпаривается, изъ него при охлажденіи выкристаллизовывается селитра, представляющая продажный матеріалъ, содержащій около 95%  $\text{NaNO}_3$ . Такое дѣйствіе однократной перекристаллизаціи объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что для селитры растворимость рѣзко мѣняется въ зависимости отъ температуры, для примѣшаннаго же къ ней хлористаго натра она измѣняется очень мало; поэтому при охлажденіи горячаго раствора выпадаетъ преимущественно селитра, а  $\text{NaCl}$  остается главнымъ образомъ въ маточной жидкости.

Высушенная на солнцѣ перекристаллизованная масса нагруженная въ мѣшки прежде вьюками (на ослахъ) доставлялась къ гаванямъ (Pisagua и Iquique), въ настоящее же время къ большей части крупныхъ гаваней, проложены рельсовые пути <sup>1)</sup>.

Чистая натровая селитра должна содержать по формулѣ 16.47% азота; продажная же селитра содержитъ до 15—16% азота; такое содержаніе и считается достаточнымъ показателемъ чистоты продукта и гарантируетъ отъ примѣсей (благодаря высокой цѣнѣ селитру иногда фальсифицируютъ различными малоцѣнными веществами, какъ-то поваренной солью, глауберовой солью, пескомъ и т. п.).

Что касается потребленія селитры, то лишь около  $\frac{1}{10}$  части ея потребляется въ Америкѣ, остальное количество вывозится въ Европу, главнымъ образомъ Германію, Францію, Бельгію. Въ концѣ 80-хъ годовъ вывозилось ежегодно до 30 милліоновъ пудовъ селитры и считывали, что при такомъ потребленіи однихъ залежей въ Тарапакѣ хватитъ на 100 лѣтъ; но вывозъ ея быстро повышается (около 90 милліоновъ пудовъ въ 1903 г.; изъ этого количества  $\frac{4}{5}$  идутъ на нужды сельскаго хозяйства, а  $\frac{1}{5}$  потребляется промышленностью) и

<sup>1)</sup> Подробности относительно добыванія селитры см. въ книгѣ въ Weitz'a „Der Chilialpeter“, 1905.

теперь предсказывают истощение залежей через 40—50 лет, а быть может ранее; <sup>1)</sup> тогда предстоит обратиться исключительно к приготовлению селитры из азота и кислорода воздуха (электрический разряд); в этом направлении уже имеются весьма благоприятные результаты. Для России это удобрение является обычно еще экономически менее выгодным, чем на западе, так как пуд селитры у нас стоит дороже (пока не менее 2 р.), а пуд хлеба—дешевле, чем там. Тем не менее нам важно познакомиться с селитрой, так как она является прототипом всех азотистых удобрений и с ней сделано больше всего опытов, позволяющих судить о влиянии азотистых удобрений на растения. Изучение ее важно еще потому, что всякое азотистое удобрение, будучи внесено в почву, прежде чем поддействовать, образует в почве азотнокислые соли благодаря процессу нитрификации. Кроме того, и прямое употребление селитры у нас уже начинает практиковаться, расширение его есть вопрос ближайшего будущего.

**Действие селитры на растения.** Ни одна группа удобрений не представляет таких различий в отношении к разным растениям, как группа удобрений азотистых, селитра—в частности: так, приходится исключить все растения сем. бобовых из числа растений удобряемых селитрой. Нельзя сказать, чтобы селитра на эти растения совершенно не действовала, но действие это, если оно и имеет место, мало по размерам и дѣлает употребление селитры под бобовые экономически невыгодным. Мало того, иногда оно может быть и прямо вредным, напр. при культуре зерновых бобовых, когда избыток азота, затягивая развитие растений и усиливая образование вегетативных органов, понижает урожай зерна; но это частный случай, более общей причиной является просто не-  
рентабельность.

Контраст бобовым представляют все остальные культурные растения; урожай их настолько правильно повышается в зависимости от количества усвояемого азота, что являются попытки подсчета, сколько же нужно внести азота в форму селитры, чтобы достигнуть такого-то повышения урожая. Заимствуем пример из Вагнера «Удобрение азотом» (1894), с некоторым упрощением цифр.

Пусть средний урожай зерна озимаго хлеба равен 100 пуд., со-  
ломы 250 п. с десятины; мы же хотим получить урожай в 150 пуд. зерна; приросту 50 пуд. зерна соответствует прирост 125

<sup>1)</sup> По последним данным однако эти предсказания являются слишком пессимистичными.

пуд. соломы; если считать в среднем в зернах два процента азота, то потребуется 1 пуд азота для прироста 50 пуд. зерна и (примерно) 1 пуд азота на 125 пуд. соломы, всего 2 пуда азота, следов. около 12 пуд. селитры.

Но в эти рассуждения нужно внести поправку: ни одно растение не использует всего азота удобрения до конца и в почве всегда останется некоторое количество его, хотя бы мы внесли растворимую соль. Если принять за 100 количество внесенного в почву азота, то для овса коэффициент использования будет 73, для пшеницы 60, для моркови 90. В общем, коэффициент использования равен приблизительно  $\frac{2}{3}$ , а поэтому для рассматриваемого нами случая надо брать селитры не 12, а 18 пудов. Эта цифра и соответствует приблизительно обычным нормам удобрения в западно-европейской практике (15—18 пуд. на десятину). При благоприятных условиях этот расчет оправдывается на деле, но если какого-либо фактора произрастания не хватает, то вышеуказанное количество селитры полного действия не окажет.

Чтобы взять пример из русской действительности, приведем результаты опытов А. В. Ключарева с овсом, произведенных в Рязком уезде в 1899 и 1902 годах; здесь действие селитры было очень резко:

|                          | 1899 г. |         | 1902 г. |         |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                          | Зерно.  | Солома. | Зерно.  | Солома. |
| Без удобрения . . . . .  | 88 п.   | 83 п.   | 78      | 102     |
| Селитра . . . . .        | 132     | 105     | 147     | 205     |
| Томасов шлак . . . . .   | —       | —       | 108     | 140     |
| Шлак и селитра . . . . . | —       | —       | 177     | 227     |

Если такие благоприятные результаты и способны окупить внесение 15—20 пудов селитры, то все же постоянными они являться не будут, отсюда стремление—понизить дозу селитры у нас, давая небольшое ее количество весной, в качестве импульса к более энергичному росту; имеющиеся благоприятные случаи такого внесения малых доз селитры вероятно объясняются тем, что при нашем быстром переходе от зимы к весне нитрификация не успевает еще достигнуть должных размеров к началу роста хлебов и поддержка азотистого питания в эту первую стадию является для них существенной.

Весьма часто пытаются характеризовать действие селитры, устанавливая эмпирическим путем—какое увеличение урожая дает 1 пуд



селитры. Вагнеръ считаетъ, что 1 пудъ селитры даетъ приростъ зерна: 3 пуда для пшеницы и ржи, 4 для ячменя, до 4—5 п. для овса, 35 пуд. клубней картофеля и 60 пуд. корней свеклы <sup>1)</sup>; но само собою разумѣется, что эти цифры колеблются въ зависимости отъ цѣлаго ряда условій; онѣ могутъ служить лишь примѣрнымъ указателемъ, чего можно ожидать при отсутствіи задержекъ въ развитіи, отъ засухи, недостатка другихъ питательныхъ веществъ и пр.

Эти цифры позволяютъ въ то же время приблизительно судить о предѣлѣ рентабельности примѣненія селитры; если напр. пудъ селитры стоитъ 2 р., а пудъ пшеницы—50 к., то ясно, что селитру нельзя въ этихъ условіяхъ примѣнять подъ пшеницу; но если цѣна на пшеницу будетъ 1 руб. за пудъ или выше, то употребленіе селитры можетъ быть выгоднымъ. Поэтому въ Россіи естественно ожидать постепеннаго распространенія селитры съ запада и паденія ея сбыта къ востоку, такъ какъ въ этомъ направленіи падаютъ цѣны на хлѣбъ и увеличивается цѣна на селитру, вслѣдствіе большей стоимости провоза; около большихъ городовъ можно ждать возникновенія мѣстныхъ центровъ выгоднаго примѣненія селитры, благодаря высокимъ цѣнамъ напр. на овесъ.

Нужно однако замѣтить, что вышеприведенныя отношенія (1:3, 1:4) установлены западно-европейской практикой при высокихъ дозахъ селитры. При употребленіи малыхъ дозъ весной въ качествѣ стимула къ развитію корневой системы въ періодъ, пока нитрификація еще слаба, возможны болѣе крупныя приросты зерна на каждый пудъ внесенной селитры, и слѣдовательно мыслимо, что удобреніе селитрой въ этихъ условіяхъ можетъ оказаться рентабельнымъ и при невысокихъ цѣнахъ на зерно.

Понятно, что размѣръ дѣйствія селитры на урожай хлѣбовъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ зависитъ отъ цѣлаго ряда условій; отмѣтимъ, какъ весьма существенное изъ этихъ условій, вліяніе рода предшествующихъ культуръ; если въ сѣвооборотъ входятъ бобовыя (азотособиратели), особенно многолѣтнія (клеверъ, люцерна), то они оставляютъ въ корневыхъ остаткахъ столько азота, что дѣйствіе селитры на хлѣба будетъ ослаблено; если же такихъ растений въ сѣвооборотѣ нѣтъ, то дѣйствіе будетъ болѣе рѣзкимъ <sup>2)</sup>. Такая замѣна

<sup>1)</sup> Такой значительный приростъ свеклы и картофеля сравнительно съ другими растеніями объясняется тѣмъ, что въ нихъ много воды и мало N.

<sup>2)</sup> Иллюстраціи къ этому см. напр. въ статьяхъ М. А. Вонзбейна „Объ опытахъ съ минеральными удобрениями на надѣльныхъ земляхъ“ въ Вѣстникѣ Сельскаго Хозяйства за 1908 г., январь.

дорогой селитры накопленіемъ въ почвѣ азота насчетъ атмосферы при помощи азотособирателей является при введеніи полевого травосѣянія, весьма крупнымъ плюсомъ, существенно дополняющимъ непосредственное его значеніе («больше корма, больше скота, больше навоза», больше азота въ кормѣ и навозѣ).

Въ то время какъ для нечерноземной Россіи массовымъ приемомъ для замѣны дорогихъ пока азотистыхъ удобрений является культура клевера, для черноземной полосы можетъ играть значительную роль использование запасовъ азота въ перегноѣ, являющагося при правильной обработкѣ пара обильнымъ источникомъ нитратовъ.

Азотистое удобреніе вліяетъ не только количество, но и на качество урожая. «Внутренняя часть зернъ нашихъ хлѣбныхъ растений состоитъ изъ клѣтокъ, содержащихъ много крахмала; промежутки между зернами крахмала заняты отчасти воздухомъ, отчасти же ссохшеюся массою азотистыхъ веществъ; иногда, однако, азотистыхъ веществъ въ зернѣ бываетъ такъ много, что всѣ промежутки между крахмальными зернами выполняются ими почти сплошь. Въ обоихъ случаяхъ зерна отличаются между собою бѣжъ снаружи, такъ въ особенности—и въ изломѣ: при маломъ количествѣ азотистыхъ веществъ они бываютъ мучнистыя, а при большомъ содержаніи ихъ—стекловидныя. Азотистыя удобрения, увеличивая въ зернахъ процентное содержаніе азотистыхъ веществъ, способствуютъ стекловидности зеренъ» (Костычевъ «Ученіе объ удобреніи почвъ» стр. 66). Отмѣтимъ, впрочемъ, что связь между строеніемъ зерна и его стекловидностью недостаточно еще выяснена; но во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что подъ вліяніемъ азотистаго удобрения растеть % бѣлковъ въ зернахъ, число зеренъ стекловидныхъ увеличивается на счетъ зеренъ крахмалистыхъ; это было неоднократно констатировано путемъ полевыхъ опытовъ для пшеницы, это хорошо извѣстно хозяевамъ культивирующимъ ячмень для пивоваренія—такой ячмень долженъ быть мучнистымъ въ изломѣ, а потому подъ него избѣгаютъ примѣнять селитру. Это, конечно, случай спеціальны, въ большинствѣ же случаевъ увеличить содержаніе бѣлковъ въ зернахъ желательно. Насколько это повышеніе можетъ быть значительнымъ видно напр. изъ опытовъ Kreusler'a, въ которыхъ наблюдалось для пшеницы повышеніе съ 16,3% до 22,6% бѣлка въ зернахъ. Не останавливаясь далѣе на результатахъ полевыхъ опытовъ, для примѣра приведемъ результаты опытовъ въ песчаныхъ культурахъ, произведенныхъ у насъ въ 1896 году (С. М. Кузнецовымъ):

|                                       |      |   |      |   |      |   |      |
|---------------------------------------|------|---|------|---|------|---|------|
| Кол. азота въ удобрѣніи растетъ какъ: | 1    | : | 2    | : | 4    | : | 6    |
| Урожай зеренъ . . . . .               | 1.6  |   | 2.6  |   | 3.5  |   | 5.5  |
| % содержаніе азота . . . . .          | 1.46 |   | 1.50 |   | 1.85 |   | 2.00 |

т.-е. урожай повышался съ увеличеніемъ количества вносимаго азота, вмѣстѣ съ тѣмъ повышалось и % содержаніе бѣлковъ въ зернахъ

Одностороннее внесеніе селитры измѣняетъ также отношеніе зерна къ соломѣ: хотя количество зерна абсолютно увеличивается, но приростъ соломы идетъ еще въ большей степени, и чѣмъ больше вносится въ почву азота, тѣмъ отношеніе зерна къ соломѣ становится менѣе выгоднымъ; это довольно общее правило для полевыхъ опытовъ. Изъ опытовъ Штутцера оказалось, что если считать количество зерна и соломы пшеницы за 100, то безъ азотистаго удобрения зерна будетъ 57%, при удобрѣніи 47%; для ржи соответствующія цифры будутъ 62 и 53. Нѣкоторые авторы возражаютъ противъ обобщенія выказаннаго положенія; такъ, Вагнеръ говоритъ, что вышеуказанное отношеніе зерна къ соломѣ при удобрѣніи азотомъ зависитъ просто отъ способа внесенія азотистыхъ удобрѣній: они вносятся обыкновенно при началѣ развитія растений, причемъ большая часть азота скоро используется, а ко времени образованія зеренъ азота остается въ почвѣ немного, поэтому пропорціональнаго прироста зеренъ и не должно замѣчаться. Чтобы доказать свое положеніе, Вагнеръ вносилъ селитру въ различныя фазы развитія растений. Его опыты, дѣйствительно, подтверждаютъ въ извѣстной мѣрѣ справедливость его предположеній; напр., опытъ съ овсомъ: если селитра внесена при посѣвѣ, то зерна получается 51 часть на 100 ч. соломы; если половина внесена при посѣвѣ, а половина послѣ кушенія, то зерна 53; если вся селитра внесена послѣ кушенія, зерна получилось 57, и, наконецъ, при внесеніи всей селитры передъ созрѣваніемъ зерна получилось 64 части. Слѣдовательно, внесеніемъ азота въ послѣдній періодъ роста растений можно увеличить отношеніе зерна къ соломѣ. Но практически положеніе Вагнера не примѣнимо вслѣдствіе необходимости внесенія азотистыхъ удобрѣній въ началѣ роста растений, такъ какъ коэффициентъ использованія удобрения тѣмъ меньше, чѣмъ оно позднѣе внесено; кромѣ того, неудобно разбрасывать удобрѣніе при высокомъ стояніи хлѣба; чтобы внесенное поздно удобрѣніе подействовало, необходимо еще, чтобы вскорѣ послѣ этого прошелъ дождь. Очевидно, съ нежелательнымъ уменьшеніемъ отношенія между зерномъ и соломою практичѣе бороться одновременнымъ внесеніемъ другихъ (фосфорнокислыхъ) удобрѣній.

Къ числу неблагоприятныхъ вліяній азотнокислыхъ удобрѣній при одностороннемъ внесеніи надо отнести и то, что при употребленіи одной селитры созрѣваніе растений можетъ запаздывать; кромѣ того, растения богатыя бѣлковыми веществами скорѣе и чаще подвергаются дѣйствію ржавчины.

Въ нѣкоторыхъ (исключительныхъ) случаяхъ замѣчается даже пониженіе урожая отъ употребленія селитры. Въ сухое лѣто, напр., удобренныя селитрой участки могутъ сильнѣе пострадать, чѣмъ неудобренныя, такъ какъ на первыхъ сильнѣе развивается листва и почва сильнѣе иссушается, при чемъ возможно и излишнее повышеніе концентраціи растворовъ въ почвѣ при обильномъ удобрѣніи. При избыткѣ удобрения и достаточной или избыточной влажности можетъ произойти полеганіе хлѣбовъ, вслѣдствіе взаимнаго затѣненія сильно кустящихся растений, которое обуславливаетъ малое развитіе древесины и недостаточную толщину клѣточныхъ стѣнокъ. Такимъ образомъ, комбинаціи различныхъ условій могутъ дать иной разъ отрицательные результаты при внесеніи азотнокислыхъ удобрѣній и съ этимъ необходимо считаться при примѣненіи селитры <sup>1)</sup>.

Во всякомъ случаѣ заботы о томъ, какъ избѣжать неблагоприятныхъ послѣдствій избыточнаго внесенія селитры (полеганіе и пр.)

<sup>1)</sup> Нѣкоторое вліяніе на физическія свойства почвы вытекаютъ не изъ первичныхъ свойствъ самой селитры, а изъ тѣхъ измѣненій, которыя вызываются дѣятельностью растений, изъ такъ называемой „физиологической щелочности“ этой соли; такъ какъ растеніе беретъ кислоту (азотную) и оставляетъ основаніе (натръ), то среда окружающая корни обогащается постепенно щелочью, преимущественно углекислымъ натромъ (углекислота образующаяся при дыханіи корней, соединяется съ основаніемъ, оставшимся отъ селитры); эта щелочная реакція замѣтна въ водныхъ и песчаныхъ культурахъ, можетъ проявиться и въ почвахъ въ случаѣ постояннаго примѣненія селитры на тѣхъ же самыхъ участкахъ (Ротамстедъ), но чѣмъ больше поглотительная способность почвы, чѣмъ больше въ ней органическихъ веществъ, тѣмъ меньше шансовъ наблюдать это побочное и неблагоприятное вліяніе щелочности. Интересно что если подвергать механическому анализу почву, удобренную селитрой, то получается разница въ быстротѣ осѣданія или въ образцахъ взятыхъ до и послѣ произрастанія растений: въ то время какъ жидкость въ цилиндрѣ съ взмученной почвой въ первомъ случаѣ уже станетъ прозрачной, параллельная проба во второмъ случаѣ (почва изъ подъ растений) остается еще очень мутной, очевидно, вслѣдствіе образованія небольшихъ количествъ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (взамѣнъ  $\text{NaNO}_3$ ); прибавка соды къ почвѣ, не бывшей подъ растеніями уравниваетъ свойства жидкости въ обоихъ цилиндрахъ (см. характерныя фотографіи къ работѣ Krüger'a въ Landw. Jahrbücher Bd. 34, Taf. XVI).



имѣютъ больше значенія для западно-европейскихъ хозяйствъ, нежели для нашихъ, такъ какъ у насъ высокія цѣны на селитру являются сами по себѣ хорошимъ предостереженіемъ отъ односторонняго ея примѣненія.

*Корнеплоды* очень отзывчивы на азотистое удобрение. Они требуютъ азота даже больше, чѣмъ хлѣба, и именно въ растворимой формѣ. Особенно замѣтна большая потребность въ азотистомъ удобрении при повтореніи культуры ихъ на одномъ и томъ же участкѣ. Такъ хлѣба въ Ротамстедѣ при опытахъ съ 1844 г. по 1881 годъ дали урожай

|                                                             | въ первую полови-<br>ну срока опытовъ | во вторую полови-<br>ну срока опытовъ |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| На участкахъ не получившихъ<br>удобрения . . . . .          | 14.6                                  | 11.8                                  |
| На участкахъ съ минеральнымъ<br>удобрениемъ . . . . .       | 20.0                                  | 13.0                                  |
| На участкахъ съ минеральнымъ<br>и азотист. удобрен. . . . . | 30.0                                  | 29.3                                  |

Пониженіе урожая злаковъ при отсутствіи азотистаго удобрения идетъ такимъ образомъ постепенно. Между тѣмъ, турнепсъ произраставшій на одномъ и томъ же мѣстѣ далъ слѣдующіе результаты:

|                          |       |         |
|--------------------------|-------|---------|
| въ 1843 году урожай былъ | 10000 | килогр. |
| » 1844 » » »             | 5000  | »       |
| » 1845 » » »             | 1700  | »       |

т.-е., урожай его быстро падали<sup>1)</sup>; но азотистое удобрение повышало урожай турнепса въ большей еще мѣрѣ, чѣмъ урожай хлѣбовъ.

Урожай турнепса.

|            |            |
|------------|------------|
| Безъ азота | 13.558 klg |
| Съ азотомъ | 25.637 klg |

У корнеплодовъ подъ вліяніемъ азотистаго удобрения обыкновенно измѣняется отношеніе листьевъ къ корнямъ. Такъ, безъ удобрения листья свеклы составляли въ одномъ опытѣ 47% отъ вѣса корней, при удобрении же селитрой 60%; въ другомъ опытѣ количество листьевъ возросло съ 34% до 51%. При внесении азотнокислыхъ удобре-

<sup>1)</sup> Это явленіе авторы опытовъ объясняютъ тѣмъ, что корнеплоды требуютъ вдвое или втрое больше азота, чѣмъ хлѣба, но трудно при этомъ учесть вліяніе побочныхъ причинъ, каковы напр. поврежденія отъ на-сѣкомыхъ, развивающихся при долговременной культурѣ корнеплодовъ на томъ же мѣстѣ.

ній замѣчается увеличеніе содержанія азота въ свеклѣ и картофелѣ. Въ одномъ опытѣ при слабомъ удобрении содержаніе азота въ свеклѣ было 0.44%, при сильномъ азотистомъ удобрении 0.70%; соответствующія цифры другого опыта 1.0% и 1.3%. Въ одномъ опытѣ напр. получилась свекловица слѣдующаго состава:

Въ сухомъ веществѣ содержалось %

|                                                |       |        |       |
|------------------------------------------------|-------|--------|-------|
| При удобрении селитрой азотист. веществ. . . . | 8.70; | сахара | 52.45 |
| На удобренномъ полѣ » » »                      | 4.35  | »      | 67.30 |

Урожай свеклы. % сахара въ сокѣ.

|                          |             |       |
|--------------------------|-------------|-------|
| Безъ удобрения . . . . . | 20.725 кил. | 15.2% |
| Селитры 20 п. . . . .    | 28.160 »    | 14.8% |
| Селитры 30 п. . . . .    | 33.363 »    | 14.2% |

Съ картофелемъ получаютъ подобные же результаты.

Такимъ образомъ азотистыя удобрения, увеличивая урожай, повышаютъ содержаніе въ свекловицѣ и картофелѣ азотистыхъ веществъ (бѣлковыхъ и небѣлковыхъ) и нѣсколько понижаютъ содержаніе углеводовъ (крахмала и сахара). Въ виду того, что высокое содержаніе азотистыхъ веществъ въ заводскихъ сортахъ свекловицы нежелательно, не рекомендуется вносить большихъ количествъ азотистыхъ удобрений подъ нихъ, тѣмъ болѣе, что одностороннимъ избыточнымъ удобрениемъ можно понизить содержаніе сахара и крахмала. Наоборотъ, подъ кормовые сорта свеклы и картофеля можно смѣлѣе вносить азотистыя удобрения, такъ какъ повышеніе содержанія въ урожаяхъ бѣлковыхъ веществъ здѣсь только желательно.

Вышеупомянутыя слѣдствія односторонняго внесенія азота, какъ излишнее развитіе листва, малое содержаніе сахара (или крахмала), большое содержаніе азотистыхъ веществъ позволяютъ заключить, что мы имѣемъ въ этихъ случаяхъ дѣло съ растеніями недозрѣвшими; дѣйствительно, опытъ показываетъ, что избытокъ азотистаго питанія удлинняетъ періодъ развитія растеній. Необходимо вносить вмѣстѣ съ азотистыми удобрениями и другія (особенно фосфорнокислыя) для парализованія односторонняго дѣйствія ихъ; тогда можно достигнуть *повышенія урожая безъ пониженія качества*.

Упомянутые примѣры взяты изъ западно-европейской практики; у насъ же начинаетъ входить въ употребленіе не сплошное удобрение 10—20 пудами селитры, а *мѣстное* (рядовое) удобрение сахарной свеклы малыми количествами, напр. 2—3-мя пудами; вотъ примѣръ изъ опытовъ Я. М. Жукова, констатировавшаго возможность внесенія съ выгодой такихъ малыхъ дозъ въ цѣломъ рядѣ опытовъ:

|              | Безъ удобрёнія | Суперфосфатъ | Суперфосфатъ<br>и селитра |
|--------------|----------------|--------------|---------------------------|
| Урожай . . . | 100            | 120.1%       | 133.2%                    |

(среднее изъ 10 опытовъ 1902; см. также у С. Л. Франкфурта, *Труды сѣти etc.*).

Такимъ образомъ 2—3 пуда селитры при рядовомъ внесеніи даютъ приростъ въ нѣсколько разъ окупающій стоимость удобрёній, при томъ безъ пониженія качества, нѣсколько позволяютъ судить имѣющіеся опыты. Вѣроятно, и здѣсь сказывается потребность растений въ усвояемомъ азотѣ ранней весной, а затѣмъ хорошо укоренившееся растение лучше обезпечиваетъ себя азотистой пищей въ видѣ образующихся по наступленіи теплаго времени нитратовъ. Способъ этотъ заслуживаетъ широкаго испытанія при различныхъ культурахъ, помимо свеклы <sup>1)</sup>.

Другія растения (рапсъ, макъ, табакъ) очень отзывчивы на азотистыя удобрёнія и выносятъ ихъ въ значительныхъ количествахъ, равно какъ и ленъ, хотя односторонній избытокъ азота можетъ дурно вліять на выходъ и качество волокна. Вообще, необходимо въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ соразмѣрить количество удобрёнія съ возможностью неблагоприятнаго дѣйствія избытка азота на качество продукта, не говоря уже объ экономическихъ соображеніяхъ.

Азотнокислыя удобрёнія вліяютъ также и на составъ луговой смѣси. Въ опытахъ, произведенныхъ въ Ротамстедѣ Лоозомъ и Джилбертомъ, нормальная луговая смѣсь состояла изъ 6% бобовыхъ и 73% злаковыхъ растений; при удобрёнии селитрой бобовыхъ стало 0.8%, а злаковъ 89%. Сильное повышеніе злаковъ при азотистомъ удобрёнии понятно: бобовыя отъ внесенія азота ничего не выигрываютъ, для злаковъ же азотистое удобрёние безусловно полезно; такъ что шансовъ въ борьбѣ за существованіе у нихъ стало больше чѣмъ до внесенія удобрёнія <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Нѣкоторыя данныя по технику рядового внесенія удобрёнія подъ картофель см. въ статьѣ Дояренко въ Вѣстникѣ С.-Хоз. за 1903 г., № 47-й; при этихъ опытахъ оказалось что 3 п. селитры и 10 п. суперфосфата, внесенные въ ряды дѣйствовали сильнѣе, нежели удвоенное количество удобрёній внесенныхъ въ разбросъ.

<sup>2)</sup> Эти опыты относятся къ 60-мъ годамъ, слѣдовательно, предшествовали на четверть столѣтія открытію Геллеригеля, объяснившему такіе факты; рядъ другихъ наблюденій подобнаго рода, эмпирически установившихъ малую чувствительность бобовыхъ къ азотистымъ удобрёніямъ, упоминается у Sachse, Lehrbuch d. Agriculturchemie, стр. 577 и слѣд.

При опытахъ на Жабенскомъ лугу нашей фермы, нами получены въ одномъ случаѣ такіе результаты:

| Участки         | Безъ<br>удобрёнія. | Удобрённая<br>N (селитрой). | P (суперф.). | K (каинитъ). |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| Урожай . . .    | 18 ф.              | 65                          | 24           | 15 ф.        |
| % бобовыхъ . .  | 12%                | 5                           | 8            | 24 %         |
| % злаковыхъ . . | 53%                | 67                          | 51           | 32 %         |

Итакъ, безъ подѣва травъ мы часто можемъ однимъ поверхностнымъ удобрёніемъ вліять на составъ луговой смѣси въ ту или другую сторону, смотря по характеру удобрёнія. (Послѣднія цифры, относящіяся къ калийному удобрёнію, указываютъ на большее значеніе для бобовыхъ минеральныхъ удобрёній, чѣмъ азотистыхъ; дѣйствіе суперфосфата могло быть въ этомъ случаѣ нехарактернымъ влѣдствіе кислаго характера почвы).

Что касается *способа внесенія селитры*, то она непосредственно передъ внесеніемъ въ почву размалывается. Размалывать ее задолго до внесенія неудобно, потому что она какъ вещество гигроскопическое можетъ сплываться снова (особенно если при храненіи мѣшки оказываютъ давленіе другъ на друга). Говоря вообще, въ сухомъ климатѣ полезно селитру не разбрасывать по полю въ видѣ поверхностнаго удобрёнія, а запахивать, или вносить съ помощью комбинированныхъ сѣялокъ рядовымъ способомъ. Иногда селитру смѣшиваютъ съ торфянымъ порошкомъ, пескомъ, сухой землей для болѣе равномернаго распредѣленія; но обычно въ этомъ нѣтъ надобности. Если вносятъ селитру и суперфосфатъ, то не рекомендуется смѣшивать эти удобрёнія за долго до внесенія, во избѣжаніе потерь азота <sup>1)</sup>. Примѣнять ее въ качествѣ поверхностнаго удобрёнія приходится тогда, когда запахать ее уже нельзя, напр., когда желаютъ весной поправить пострадавшіе озимые хлѣба. Запахать (или хотя бы инымъ способомъ смѣшать съ почвой, напр., съ помощью эжектиратора) селитру передъ посѣвомъ полезно, потому что она, внесенная поверхностно, способствуетъ образованію корки, особенно при слабомъ дождѣ, смачивающемъ только поверхностные слои почвы. Такая корка можетъ вызвать запаздываніе появленія всходовъ и иногда даже по-

<sup>1)</sup> При храненіи такой смѣси кислотный характеръ суперфосфата вызываетъ выдѣленіе окисловъ азота; кромѣ прямыхъ потерь (улетучиванье) окислы эти вступаютъ въ реакцію съ клѣтчаткой, входящей въ ткань мѣшки, и мѣшки разрушаются, слѣдовательно, при перевозкѣ возможны потери отъ разсыпанія, и т. д.



нижение урожая вместо повышения. Если же дождя вовсе не случится, то поверхностно внесенная селитра останется без действия.

Так как азотная кислота не поглощается почвой, то внесение всей дозы селитры осенью (напр. под озимые хлеба), говоря вообще, не рекомендуется, потому что осенние и весенние воды могут выщелочить селитру еще не использованную растениями; если же хотеть, чтобы селитра действовала и на кушение осенью, и на плодоношение будущим летом, то делять на две части назначенное количество удобрения, одна часть вносится осенью, другая — весной. Впрочем, Костычев высказал предположение, что «у нас в черноземной полосе можно ожидать лучшего действия селитры от осеннего удобрения, но тоже поверхностного перед самыми морозами. В черноземе влага вообще не проникает глубоко и потому опасаться выщелачивания нельзя. Раннее осеннее употребление было бы не удобно только потому, что озимое до морозов успело бы развиваться слишком бурно». (Костычев, «Учение об удобр. почв», стр. 72). Так как под хлеба селитра у нас мало применяется, то для практики эти соображения имеют пока лишь второстепенное значение и серьезной проверки на опыте не подвергались (к тому же черноземные почвы при хорошей обработке мало нуждаются в азотистом удобрении).

В вышеизложенном мы имели в виду преимущественно применение селитры к растениям полевой культуры, не касаясь более интенсивных культур, как огородная и садовая; здесь лишь отметим, что для этих культур применение селитры облегчается как лучшей оплатой, благодаря большей ценности продуктов, так и более благоприятными условиями для местного применения удобрения, а такое применение позволяет понизить дозы удобрения (и повысить тем отношение между количеством затраченного удобрения и размером прироста урожая); при огородной культуре возможно не только рядовое внесение селитры, но внесение отдельной дозы под каждое растение, напр. под каждый будущий кочан капусты, под каждый куст картофеля<sup>1)</sup>; далее, здесь возможно внесение удобрения не только при посадке, но и позднее, путем введения раствора селитры в почву при поливке (с должными предосторожностями против образования корки); та же поливка, обеспечивая от засухи, тем гарантирует более высокую оплату внесенного удобрения.

<sup>1)</sup> Так для картофеля имеются указания, что даже внесение 1 грамма ( $\frac{1}{4}$  золотника) селитры под каждый куст уже способно оказать заметное повышающее действие на урожай. Лучше конечно одновременно с селитрой вносить и другие удобрения.

Не так давно (перед 1900 г.) обращено внимание еще на одно неблагоприятное обстоятельство при употреблении недостаточно чистой продажной селитры, именно, вредное действие примеси к ней хлорнокислого кали,  $\text{KClO}_4$ . Достаточно примеси 1—2% этой соли в селитре для отравления растений; повидимому хлеба (особенно рожь) чувствительнее в этом отношении, чем напр. свекла, способная даже при 6%  $\text{KClO}_4$  в селитре вынести такое удобрение не отмирая, но ограничившись лишь запозданием в появлении и в численном развитии всходов. Поэтому необходимо при покупке требовать гарантии как известного содержания азота, так и отсутствия вредных примесей.

Нужно впрочем сказать, что страх отравления растений хлорнокислым кали при удобрении селитрой стал в значительной мере уже достоянием прошлого, так как раз обращено было внимание на эту сторону, стали исследовать на  $\text{KClO}_4$  разные части залежей; оказалось, что содержание этого вещества не является общим, что при очистке селитры возможно принять известные меры к уменьшению его содержания в конечном продукте; сообразно этому анализы опытных станций за последние годы гораздо реже обнаруживают содержание хлорнокислого кали в селитре, чем лет 8—10 тому назад<sup>1)</sup>.

## 2. Прямое использование азота атмосферы в целях приготовления азотистых удобрений.

*Норвежская селитра*  $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$  и *цианъ-амидъ кальция*  $(\text{CN}_2\text{Ca})$ .

Как ни громадны казались залежи селитры в Чили и Перу, но и они могут оказаться не в состоянии долго выносить громадного экспорта, превышающего теперь 100 милл. пудов в год; по одним расчетам (Брукс) уже в 1925 году они должны истощиться, другие полагают, что чилийской селитры хватит еще до 1940 года, третьи же утверждают, что их хватит еще на целое столетие; так или иначе, но только надвигается вопрос о том, чем будет заменена чилийская селитра в будущем, а увеличивающийся спрос

<sup>1)</sup> Как доступное средство определения  $\text{KClO}_4$  используется способность этой соли (как и  $\text{KClO}_3$ ) выделять кислород при нагревании до 520° и превращаться в  $\text{KCl}$ , что сказывается прежде всего в соответственной потере в весе (см. Märcker, Landw. Vers. St., Bd. 52, стр. 84; там же рисунки повреждений, вызываемых присутствием  $\text{KClO}_4$  в селитре; см. также доклад Pellet — в трудах V Intern. Kongress für angewandte Chemie. т. III, стр. 754).

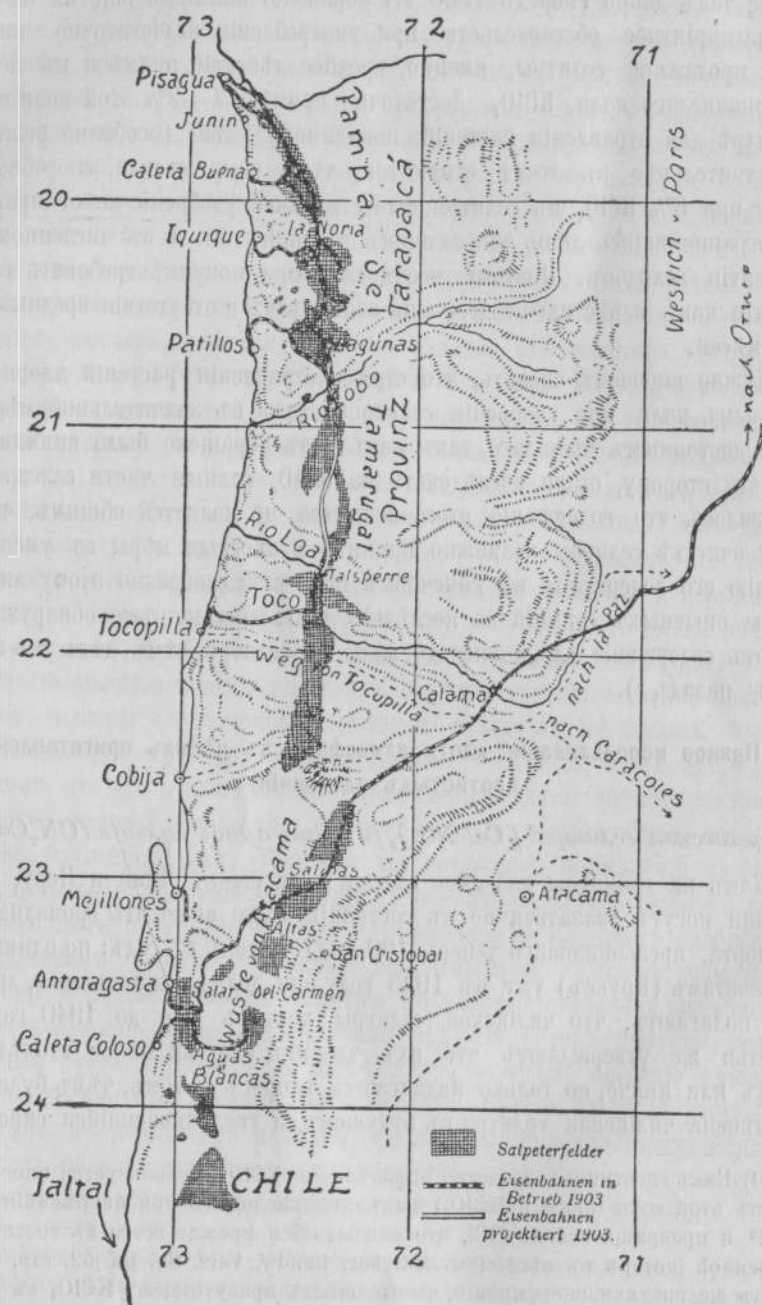
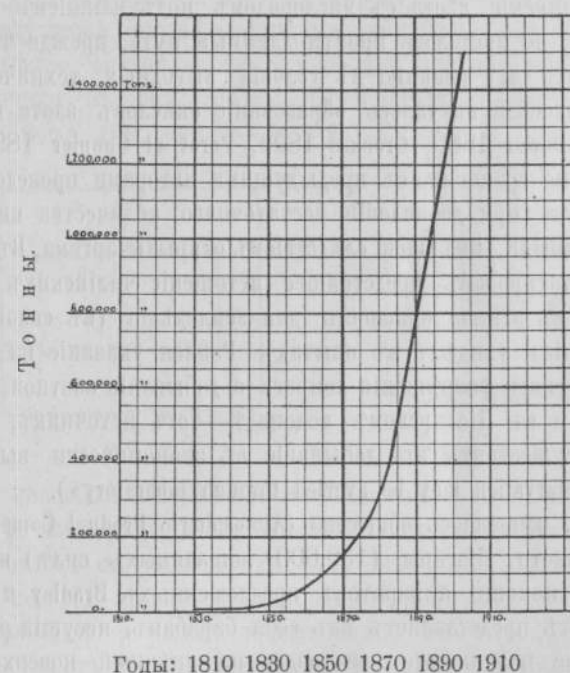


Рис. 3. Залежи селитры въ Ю. Америкѣ.

и съ нимъ связанный подъемъ цѣнъ заставляютъ искать доступныхъ источниковъ азота уже и въ настоящемъ. Правда, кромѣ селитры на рынкѣ давно имѣется еще одно концентрированное азотистое удобрение, именно сѣрнистый аммоній, получаемый при газовомъ (и коксовомъ) производствѣ, но его количества не таковы, чтобы видѣть въ немъ замѣну чилийской селитры.

Давно, конечно, извѣстно, что азотъ является преобладающей составной частью воздуха; но съ перваго взгляда мы не привыкли

Рис. 4. Ростъ вывоза селитры.



достаточно цѣнить всей громадности абсолютной величины этого запаса азота въ воздушномъ океанѣ, между тѣмъ, простой расчетъ показываетъ, что столбъ воздуха, находящийся надъ одной только десятиной площади, содержитъ около 5 милл. пудовъ азота, что отвѣчаетъ по количеству азота 30 милл. пуд. селитры, а этого количества достаточно для покрытія годовой потребности цѣлой страны, притомъ стоящей впереди всѣхъ другихъ по потребленію селитры, т.-е. Германіи, на которую приходится  $\frac{1}{3}$  всей ввозимой въ Европу селитры; слѣдовательно, въ столбѣ воздуха, находящагося



надъ площадью въ три десятины, содержитсяъ столько азота, сколько покупаетъ ежегодно въ видѣ селитры вся Европа.

Недоставало слѣдовательно лишь средства, которое позволило бы черпать изъ этого громаднаго запаса азота путемъ переведенія его въ связанное состояніе, при томъ не столь экстензивнымъ и косвеннымъ путемъ, какъ это имѣетъ мѣсто при культурѣ бобовыхъ, а путемъ болѣе быстрымъ и дающимъ высокопроцентный продуктъ, удобный для сбыта и перевозки на большія разстоянія.

Въ концѣ концовъ для этой цѣли оказалась наиболѣе пригодной давно извѣстная, наблюденная еще въ 1783 году Savendish'емъ реакція, т. е. соединеніе азота съ кислородомъ подъ вліяніемъ электрической искры, но пришлось пройти длинный путь, прежде чѣмъ удалось поставить эту реакцію въ условія выгодныя технически. Не разъ наблюдалось и изучалось образованіе окисловъ азота въ вольтовой дугѣ (Dewar 1880, Crookes 1892, Perot et Couper 1895), особенно полно по сравненію съ предыдущими авторами проведено было окисленіе азота (при добавленіи достаточнаго количества кислорода) въ работѣ Raileigh, имѣвшей слѣдствіемъ открытіе аргона. Въ 1898 г. Круксъ, констатировавъ предстоящее истощеніе чилийскихъ залежей и связанную съ этимъ опасность для земледѣлія (въ связи съ ростомъ населенія), увидѣвъ въ опытахъ Рэйлея указаніе на возможность технического разрѣшенія вопроса о добычаніи азотной кислоты изъ воздуха, а въ Ніагарскомъ водопадѣ—тотъ источникъ, который позволить осуществить это добычаніе въ экономически выгодныхъ условіяхъ («Starvation may be averted through laboratory»).

Въ 1902 г. основалось общество (Atmospheric Product Company) для утилизаціи части Ніагары (150,000 лошадиныхъ силъ) въ этихъ цѣляхъ при помощи аппаратовъ предложенныхъ Bradley и Lovejoy; такой аппаратъ представляетъ изъ себя барабанъ, несущій радіально расположенные платиновые электроды на внѣшней поверхности, и одѣвающий его цилиндръ, несущій такіе же электроды на внутренней поверхности. При токъ высокаго напряженія сближающіеся при вращеніи одного изъ цилиндровъ электроды даютъ дождь искръ, вытягивающихся, погасающихъ, вновь возникающихъ между другими сближающимися электродами; въ пространство между обоими цилиндрами вдувается воздухъ, изъ него вытѣсняется азотъ, который и идетъ на образованіе окисловъ азота; здѣсь имѣлось въ виду, что при искрахъ (дугахъ) возможно болѣе длинны, возможно малаго поперечнаго сѣченія, увеличенная поверхность соприкосновенія дастъ большіе выходы, чѣмъ вольтова дуга обычнаго типа; если съ этой стороны ожиданія оправдались, то

самые аппараты оказались дорогими и нестойкими при непрерывной работѣ, такъ что въ 1904 г. дѣятельность этого завода на Ніагарѣ прекратилась.

Почти одновременно съ этимъ въ Фрейбургѣ начали подобныя опыты Kowalski и Moscicki, затѣмъ норвежскимъ изслѣдователямъ, профессору Birkeland'у и инженеру Eyde удалось разрѣшить поставленную задачу въ формѣ нашедшей приложеніе въ грандіозныхъ размѣрахъ.

Въ 1903 г. Birkeland сдѣлалъ наблюденіе, что если электроды помѣстить между полюсами электромагнита, то при постоянномъ токъ вольтова дуга отклоняется въ одну сторону, давая полукругъ, въ тоже время получается рѣзкій звукъ, напоминающій свистокъ паровоза разной высоты, смотря по числу вибрацій; при переменномъ же токъ дуга вибрируя въ обѣ стороны даетъ пламя въ видѣ полного свѣтящагося диска. (См. рис. 5-й и 6-й).

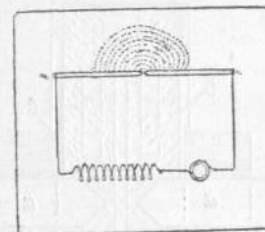


Рис. 5.

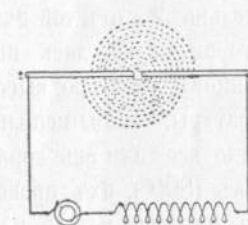


Рис. 6.

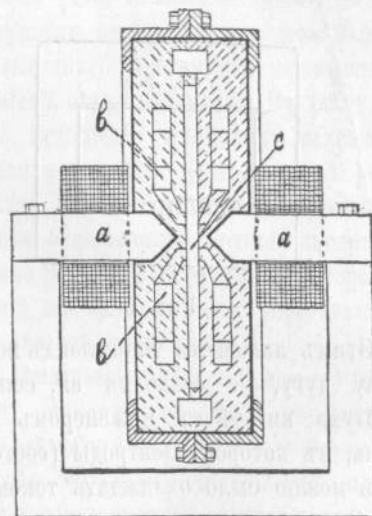
Этимъ явленіемъ Биркеландъ воспользовался, чтобы заставить вольтову дугу, не ослабляя ее, соприкасаться съ большимъ объемомъ воздуха; вмѣстѣ съ инженеромъ Eyde онъ построилъ электрическую печь, въ которой электроды (состоящіе изъ мѣдныхъ трубокъ, чтобы ихъ можно было охлаждать токомъ воды), отстоящіе другъ отъ друга на 8 мм. даютъ дискъ пламени въ 1,8 метра діаметромъ, располагающійся въ узкой полости печи (2 метра высотой и 8 сант. шириной), въ плоскости перпендикулярной къ линіи, соединяющей полюсы электромагнита; въ эту полость постоянно вдувается воздухъ подвергающійся нагрѣванію <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Печи (рис. 7-й, 8-й и 9-й) строятся изъ огнеупорнаго матеріала, работаютъ по долгу и требуютъ мало надзора; электроды работаютъ по 300 часовъ, затѣмъ ихъ приходится мѣнять. Заводъ въ Notbdden'ѣ располагалъ въ 1907 г. 30,000 лошадиныхъ силъ (водопады Swelgfos, Rjukanfos и др.); теперь же въ суммѣ на производство селитры въ Норвегіи расходуется до 200.000 лошадиныхъ силъ.

Температуру пламени въ своей печи Birkeland и Eyde опредѣляютъ приблизительно въ  $3000^{\circ}$ , выходящіе же газы имѣютъ температуру около  $600^{\circ}$ , слѣдовательно, только  $\frac{1}{3}$  вдуваемаго воздуха подвергается непосредственному дѣйствию вибрирующей дуги, а  $\frac{2}{3}$  служатъ для удаленія и быстрого охлажденія окиси азота, при медленномъ охлажденіи наклонной диссоциировать. Дѣло въ томъ, что при обыкновенной температурѣ окись азота (NO) если и образуется то въ ничтожномъ количествѣ (по теоретическому разсчету 1:10,000,000), при повышеніи  $t^{\circ}$  образованіе ея становится болѣе замѣтнымъ, достигая при  $3000^{\circ}$  до 5% отъ объема воздуха; если бы температура понижалась затѣмъ постепенно, то такъ же постепенно разложилась бы вся окись азота, при быстромъ же ея удаленіи изъ печи и охлажденіи удается предупредить разложеніе; въ этомъ смыслѣ вдуванія избытка воздуха въ печи Биркеланда. Выходящіе газы содержатъ 1,06% NO, что отвѣчаетъ приблизительно 5% отъ той ихъ части, которая подверглась непосредственному дѣйствию высокой температуры. Чтобы использовать тепло все-таки еще горячихъ газовъ ( $800^{\circ}$ ), ихъ проводятъ подъ паровые котлы или подъ резервуары, гдѣ долженъ выпариваться растворъ готовой селитры, послѣ чего газы охлаждаются до  $200^{\circ}$ , а послѣ прохожденія черезъ особый холодильникъ — до  $50^{\circ}$ ; затѣмъ они поступаютъ въ окислительныя башни со стѣнками изъ кислотоупорнаго матеріала, гдѣ постепенно происходитъ превращеніе окиси азота черезъ поглощеніе кислорода воздуха въ двуокись:  $\text{NO} + \frac{1}{2}\text{O} = \text{NO}_2$ ; внѣшне эта реакція проявляется образованіемъ бурыхъ паровъ. Далѣе газы поступаютъ въ поглотительныя башни, построенныя изъ гранита и наполненныя кусками кварцита, по которымъ навстрѣчу газамъ течетъ вода; подъ вліяніемъ воды двуокись азота даетъ азотную и азотистую кислоты:  $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$  <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Такъ идетъ реакція на холоду; при дѣйствіи же теплой воды получается только азотная к. и окись азота:  $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{NO}$ .

Рис. 7. Схематическій разрѣзъ печи.



а — электромагнитъ. б — электроды.  
с — полость печи.

Азотная кислота, будучи стойкой и хорошо растворимой въ водѣ, увлекается ею; азотистая же наклонна распадаться, давая опять окислы азота ( $2\text{HNO}_2 = \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ), которые при дальнѣйшемъ пути въ поглотительныхъ башняхъ, встрѣчая кислородъ и воду, опять дадутъ въ большей своей части азотную кислоту.

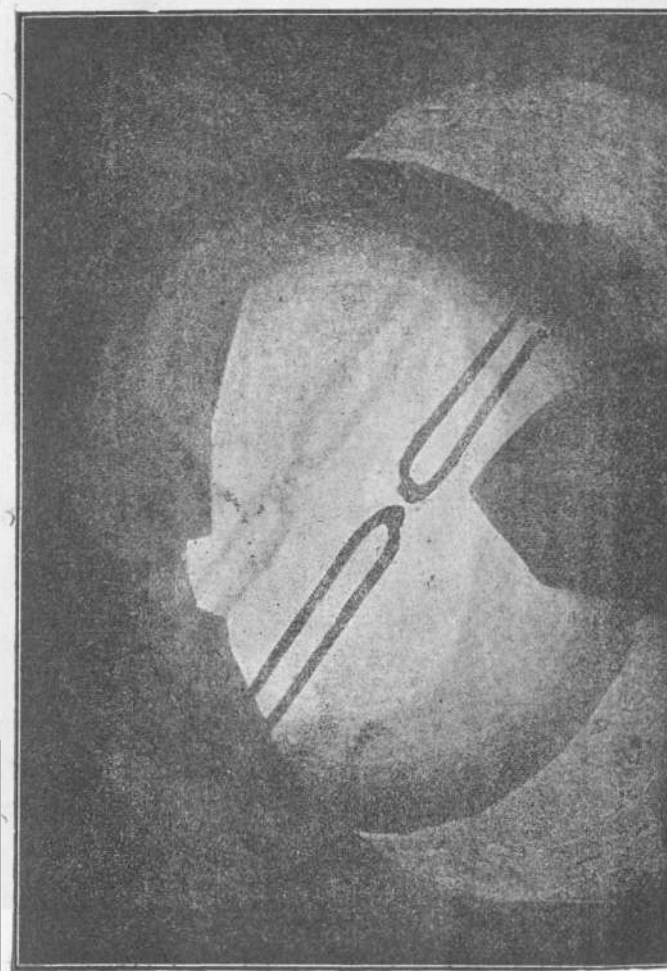


Рис. 8. Дугообразные электроды и дискъ пламени.

Воду, содержащую азотную кислоту, заставляютъ повторно циркулировать въ башняхъ поглощенія, пока растворъ азотной кислоты не достигнетъ концентраціи въ 40—50%; газы же прошедшіе черезъ  
Ученіе объ удобреніи.



рядъ поглотительныхъ башенъ съ циркулирующей водой, пускаютъ въ заключеніе въ башню, гдѣ циркулируетъ известковое молоко, чтобы не потерять остатка непоглощенныхъ окисловъ <sup>1)</sup>.

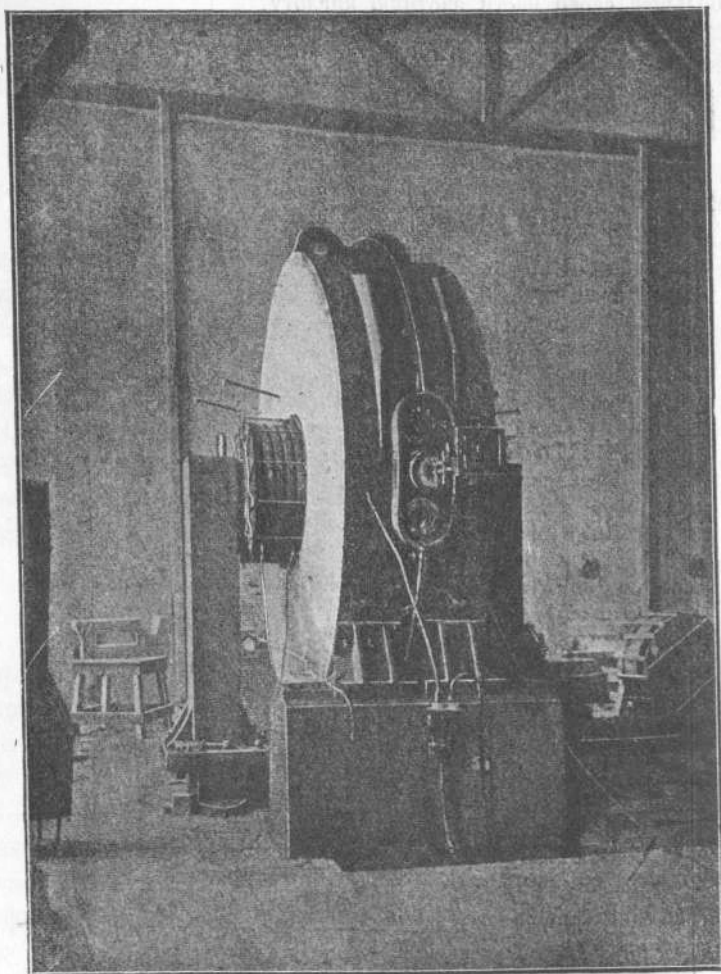


Рис. 9. Наружный видъ печи Биркеданда.

<sup>1)</sup> При этомъ имѣетъ мѣсто реакція:  $4\text{NO}_2 + 2\text{Ca(OH)}_2 = \text{Ca(NO}_3)_2 + \text{Ca(NO}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; чтобы использовать и эту смѣсь въ цѣляхъ полученія только азотной кислоты, дѣйствуютъ на нее готовой  $\text{HNO}_3$ , которая вытѣсняя азотистую даетъ газообразные продукты ея распада,  $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}$ ; ихъ опять проводятъ черезъ всю серію башенъ.

Наиболѣе дешевымъ матерьяломъ для нейтрализаціи азотной кислоты является  $\text{CaCO}_3$ , поэтому кислый растворъ проводятъ въ гранитные бассейны, содержащіе куски известняка, при чемъ методически регулируютъ циркуляцію раствора такъ, чтобы на свѣжій известнякъ поступалъ уже почти нейтрализованный растворъ, а свѣжій растворъ

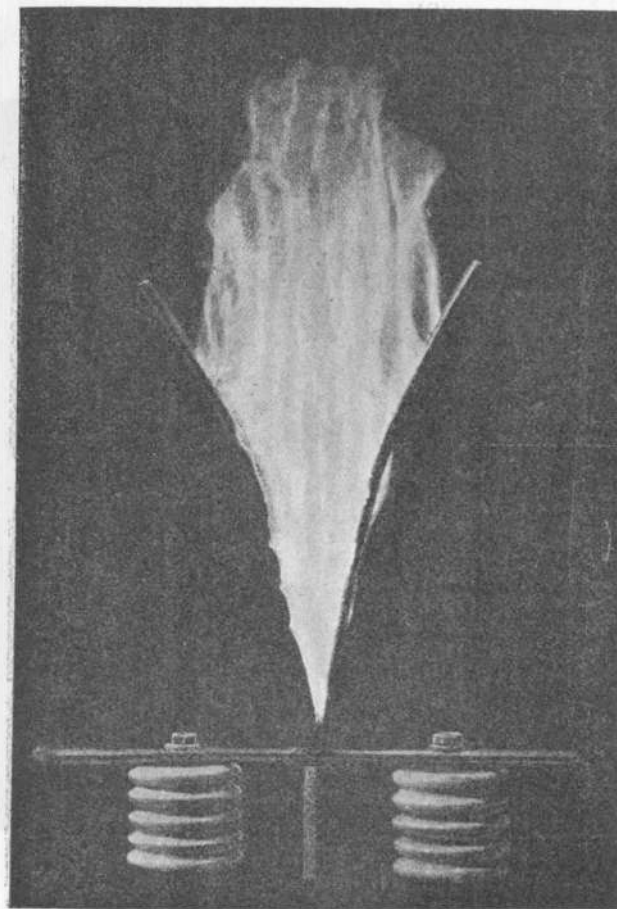


Рис. 10. Печь Паулинга.

попадалъ сначала на остатки известняка, нераствореннаго при предыдущемъ соприкосновеніи съ растворомъ; затѣмъ растворъ азотнокислаго кальція сгущается выпариваніемъ до тѣхъ поръ, пока точка кипѣнія не повысится до  $145^\circ$ , что отвѣчаетъ 75—80%  $\text{Ca(NO}_3)_2$ ; содержащая 13,2 — 13,5% N, эта масса выливается въ бочки, гдѣ

затвердѣваетъ при охлажденіи и въ такомъ видѣ поступаетъ въ продажу. Можно также доводить выпариваніе только до  $120^{\circ}$ , затѣмъ оставлять кристаллизоваться и центрифугированьемъ отдѣлять кристаллы отъ жидкости. Чтобы уменьшить гигроскопичность кальціевой селитры, готовятъ еще основную азотнокислую известь, путемъ прибавки къ горячему раствору извѣстнаго количества  $\text{CaO}$ ; такой продуктъ содержитъ около 9% азота.

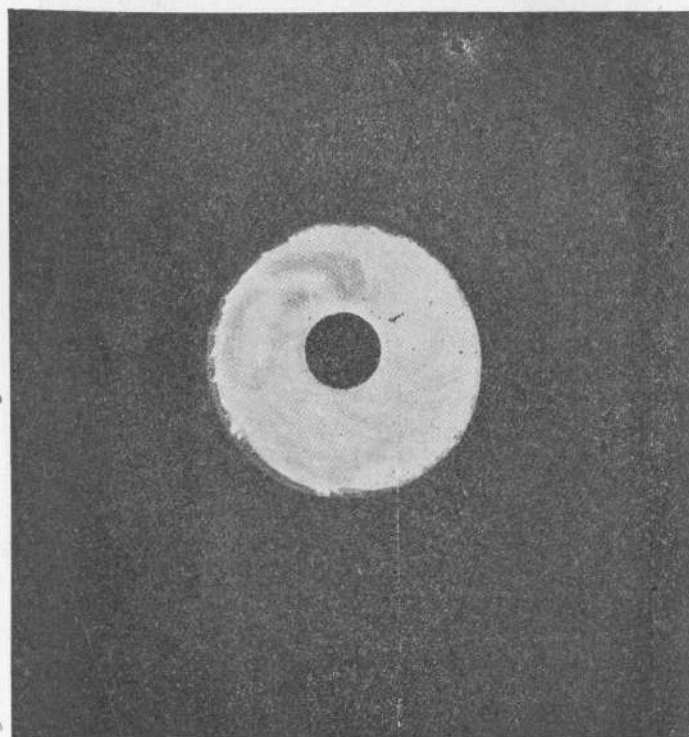
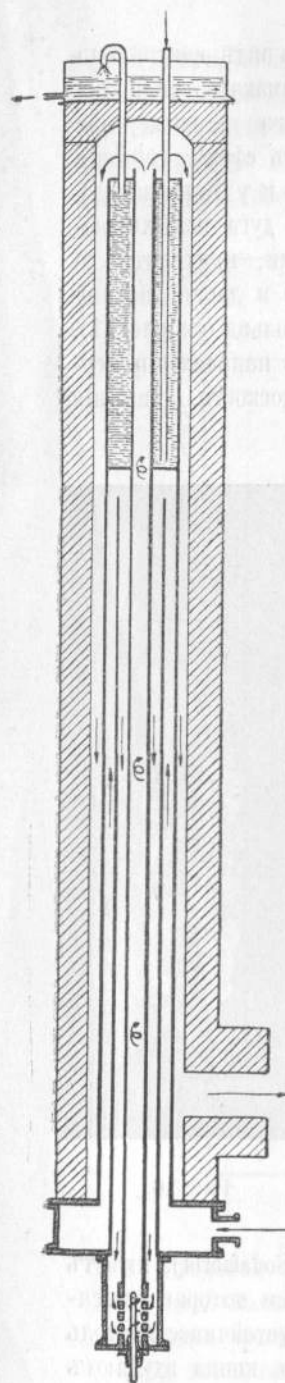


Рис. 11. Печь Мосицкаго.

Мы описали печь Биркеланда и Эйде, какъ первую нашедшую примѣненіе въ крупномъ заводскомъ производствѣ; но появился рядъ другихъ системъ (и конечно появятся и еще новыя изобрѣтенія), среди которыхъ имѣются сильные конкуренты печи Биркеланда.

Чтобы дать нѣкоторое понятіе о возможности разными путями достигнуть той же цѣли, упомянемъ здѣсь о четырехъ типахъ электрическихъ печей:



1) Печь Паулинга (рис. 10) имѣетъ электроды въ видѣ двухъ расходящихся изогнутыхъ стержней; дуга возникаетъ первоначально внизу между сближенными концами электродовъ, затѣмъ она передвигается кверху (снизу вдувается воздухъ) и удлиняется, пока не произойдетъ перерыва; тогда снизу возникаетъ новая дуга, и рядъ восходящихъ кверху и смѣняющихъ другъ друга дугъ даетъ впечатлѣніе непрерывнаго пламени, расположеннаго въ плоскости между электродами.

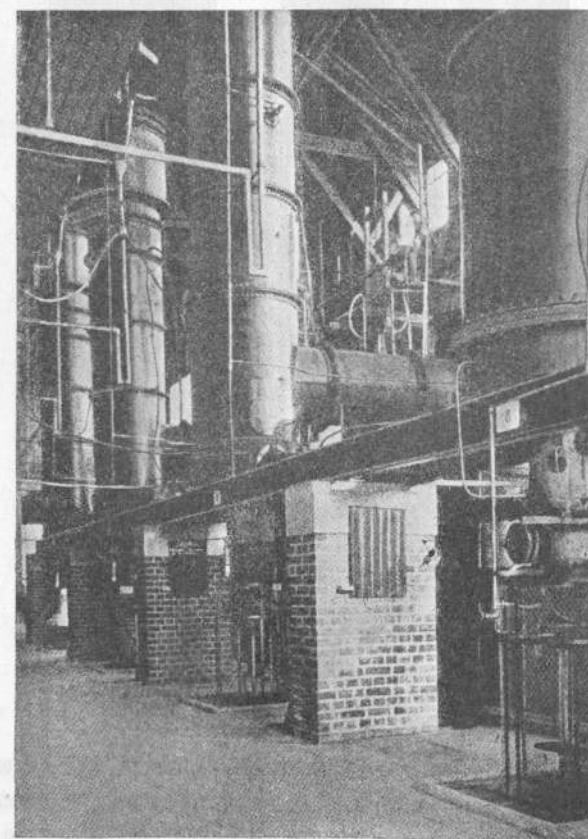


Рис. 12 и 13. Схематическій разрѣзъ и внѣшній видъ Баденской печи.



2) Печь Мосницкаго имѣетъ одинъ электродъ въ видѣ центрально-расположеннаго стержня, а другой—въ видѣ низкаго цилиндра (кольца), окружающаго первыя; оба электрода находятся въ сферѣ дѣйствія магнитнаго поля (какъ и у Биркеланда). При такихъ условіяхъ дуга вспыхивающая между электродами, приходитъ во вращательное движеніе и даетъ картину сплошнаго огненнаго кольца (см. рис. 11). Воздухъ вдувается въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости движенія дуги.



Рис. 14.

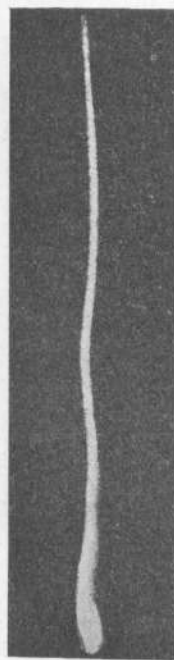


Рис. 15.

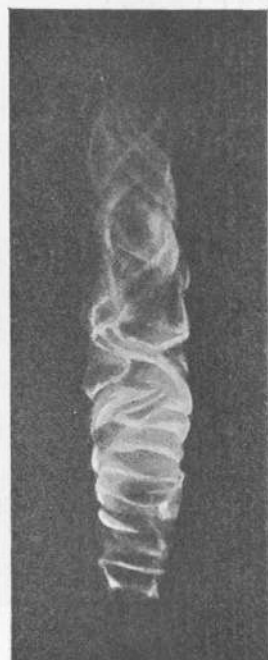


Рис. 16.

3) Баденская печь (печь Badische Anilin-und Sodafabrik), имѣетъ форму высокаго (до 8 метровъ) цилиндра, вдоль оси котораго вытягивается пламя вольтовой дуги; осуществленіе и устойчивость столь длинной дуги достигается тѣмъ, что съ нижняго конца вдувають воздухъ по направленію касательной, такъ что получается, восходя-

щій вихрь, увлекающій пламя отъ нижняго электрода до верхней крышки цилиндра, служащей вторымъ электродомъ. Рис. 12 изображаетъ схематическій разрѣзъ печи, изъ него видно, что воздухъ прежде чѣмъ поступитъ въ полость печи, подогревается теплотой отходящихъ газовъ; рис. 13 даетъ понятіе о внѣшнемъ видѣ печей

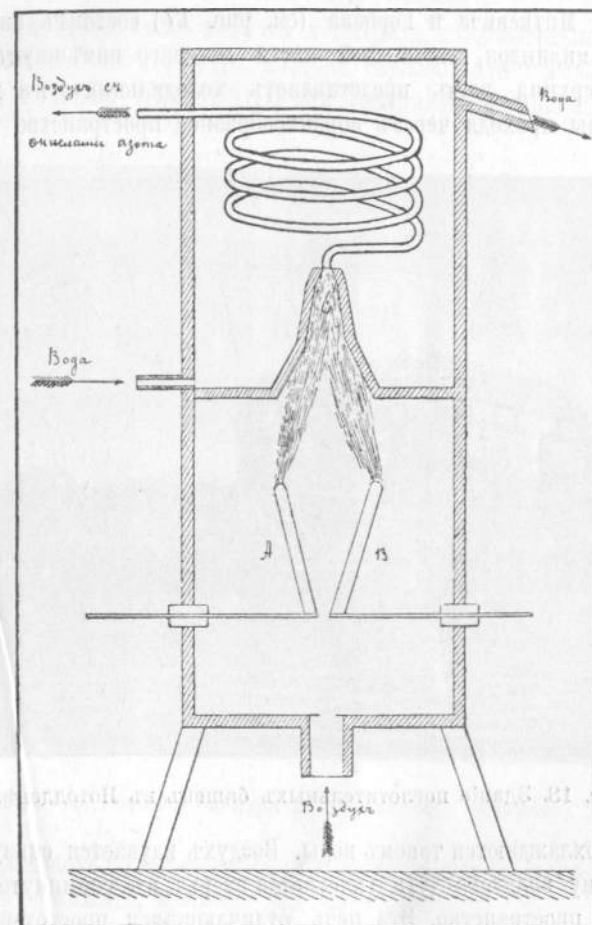


Рис. 17. Печь Миткевича и Горбова.

при заводской установкѣ. Благодаря вращательному движенію во внутренней полости печи и развитію центробѣжной силы наблюдается правильное расположеніе болѣе холодныхъ (тяжелыхъ) слоевъ воздуха у внѣшней стѣнки и болѣе горячихъ (легкихъ) внутри; этимъ объясняютъ, что желѣзная оболочка печи при заводской работѣ не

прогорает, а лабораторную модель печи можно устроить даже из стеклянной трубки. Рис. 14 и 15 дают общий вид дуги в этой печи, а на рис. 16 обнаруживает наличие вихревого движения в нижней части ее (моментальный снимок в другом масштабе). Баденская печь оказалась настолько продуктивной и устойчивой, что говорят уже о вытеснении ею печи Биркеланда.

4) Печь Миткевича и Горбова (см. рис. 17) состоит из металлического цилиндра, в нижней части которого помещаются электроды, а верхняя часть представляет холодильник, в котором горячие газы проходят через воронкообразное пространство и через

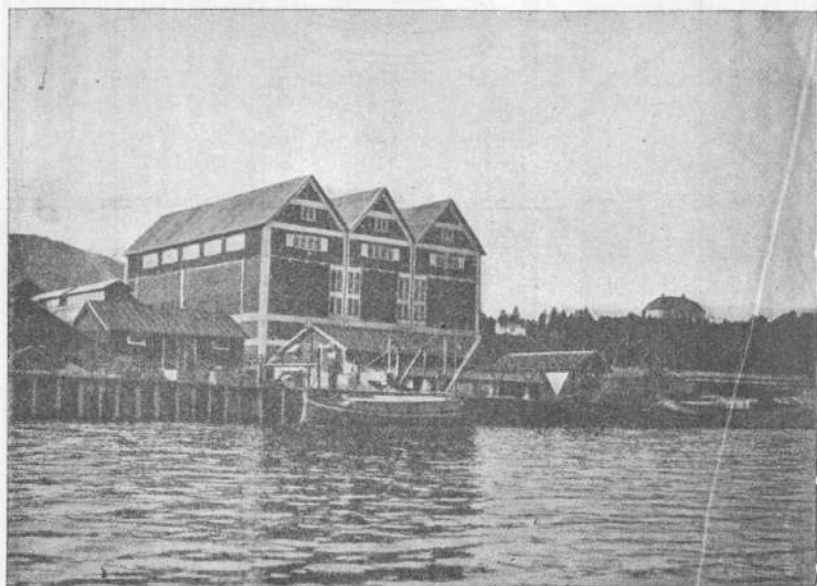
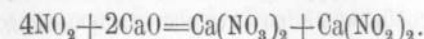


Рис. 18. Здание поглотительных башен в Нотоддене.

змѣвникъ охлаждаются токомъ воды. Воздухъ вдувается снизу и благодаря этому вольтова дуга увлекается вверхъ въ упомянутое воронкообразное пространство. Эта печь, отличающаяся простотой устройства, дала при опытахъ въ СПб. Политехнич. Институтѣ выходы азотной кислоты, не уступающіе выходамъ печи Биркеланда и Эйде. Опыты съ этой печью въ большомъ масштабѣ должны быть поставлены лѣтомъ 1911 года на Сестрорѣцкомъ заводѣ.

Точно также продолжается изученіе процессовъ поглощенія окисловъ азота и предлагаются новые методы для болѣе совершеннаго заводскаго осуществленія этой второй половины норвежскаго способа.

Такъ Шлезингъ предложилъ вмѣсто «кислаго» поглощенія «щелочное» (точнѣе, вмѣсто воднаго—сухое), именно послѣ окислительныхъ башенъ газовая смѣсь содержащая  $\text{NO}_2$  должна приходиться прямо въ соприкосновеніе съ известью въ видѣ сухой пористой массы и реагировать по схемѣ:



Получается сухая смѣсь нитрата и нитрита, слѣдовательно дѣлается излишнимъ испареніе той воды, которая служитъ для поглощенія кислоты при мокромъ способѣ (способѣ «кислаго» поглощенія). Но за

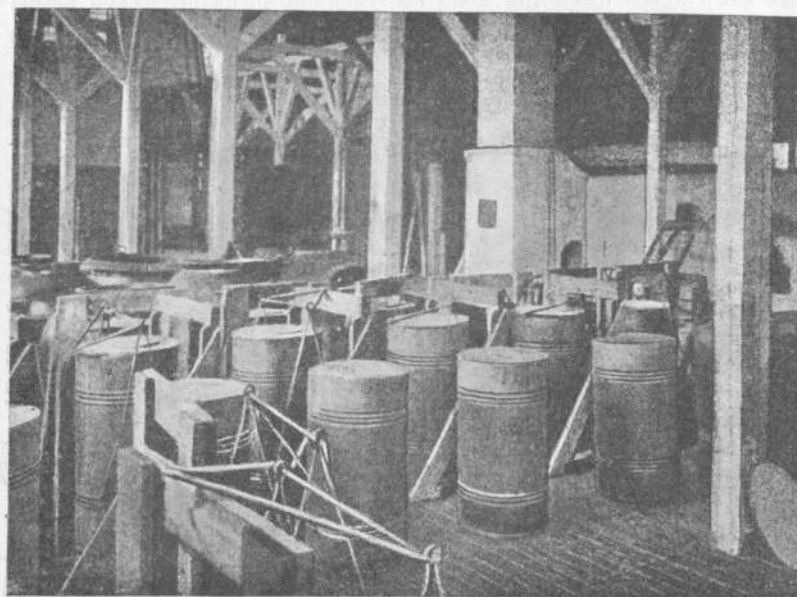


Рис. 19. Готовая селитра въ желѣзныхъ бочкахъ.

то здѣсь приходится считаться съ примѣсью нитрита, которую впрочемъ можно понижать, измѣняя условія реакціи.<sup>1)</sup>

Что касается стоимости производства «норвежской» селитры, то при началѣ функционированія завода въ Notodden'ѣ считали, что тонна обходится на мѣстѣ въ 72,3 кроны, а продается (сообразно содержанию N въ 13,2% и оцѣнкѣ этого азота по цѣнѣ N чилийской селитры)

<sup>1)</sup> См. подробнѣе о вліяніи температуры и рода основанія на выходѣ нитрата и нитрита въ книгѣ проф. Сапожникова, Азотная кислота и селитра изъ воздуха, СПб., 1911.



по 144,2 кроны, а затѣмъ надѣялись еще удешевить производство; отсюда ясно, что норвежская селитра будетъ конкурировать съ чилийской съ успѣхомъ, но отсюда еще далеко до пониженія цѣнъ на рынокъ—нужно чтобы производство кальціевой селитры достигло большихъ размѣровъ и конкуренція заводовъ заставила бы ихъ устанавливать цѣны сообразныя со стоимостью производства, а не руководиться цѣной азота въ чилийской селитрѣ.

Дѣйствіе чистаго  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на растенія конечно не должно уступать дѣйствію чилийской селитры, даже можно предполагать, что на почвахъ съ малой поглощательной способностью оно можетъ быть выше, такъ какъ здѣсь нѣтъ той ясно выраженной физиологической щелоч-

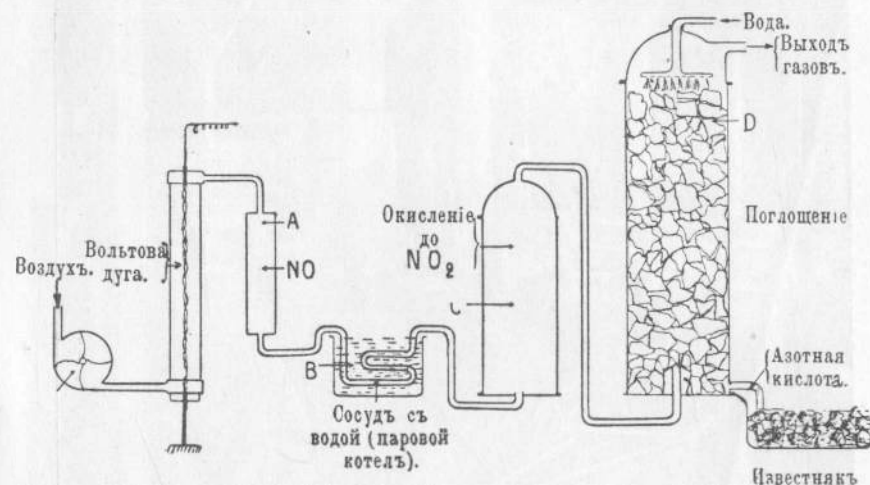


Рис. 20. Лабораторная модель завода норвежской селитры (схематическое изображение).

ности (вмѣсто  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  въ почвѣ останется  $\text{CaCO}_3$ ), да и наличность извести для почвъ бѣдныхъ цеолитной частью можетъ имѣть нѣкоторое положительное значеніе <sup>1)</sup>. Нѣкоторое сомнѣніе было высказано лишь по поводу того, что норвежская селитра кромѣ нитрата  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  можетъ содержать еще нитритъ  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ , а есть указанія, что азотистокислыя соли вредны для проростковъ. Однако, эти указанія сдѣланы на основаніи наблюденій въ водныхъ культурахъ, въ почвѣ же можно предполагать совсѣмъ иное, такъ какъ въ нормальной почвѣ изобилуютъ микроорганизмы, превращающіе нитриты въ нитраты

<sup>1)</sup> См. Sebelien, Düngungsversuche mit verschiedenen Salpetersorten (Landw. Versuchs. St. Bd. 55).

(Nitrobacter). Дѣйствительно, опыты произведенные Stutzer'омъ въ Германіи <sup>1)</sup> и Grandeau во Франціи показали, что не только примѣсъ нитрита, но даже чистый нитритъ не вредитъ растеніямъ, если онъ внесенъ въ почву до посѣва; мало того, при этихъ условіяхъ дѣйствіе нитритовъ на ростъ почти не отличается отъ дѣйствія нитратовъ; очевидно, превращеніе въ болѣе окисленную форму протекаетъ въ нормальной почвѣ очень быстро.



Рис. 21. Одинъ изъ водопадовъ, доставляющихъ энергію для полученія норвежской селитры. (Svangfos).

Затѣмъ нужно отмѣтить, что по мѣрѣ усовершенствованія техники добычанія селитры въ Нотоденѣ, она можетъ получаться въ болѣе чистомъ видѣ, чѣмъ сначала.

<sup>1)</sup> Stutzer, Die Wirkung von Nitrit auf Pflanzen (Journal für Landwirtschaft Bd. 54).

Азотъ воздуха можетъ быть использованъ не только для приготовления азотной кислоты, но также и продуктовъ неокисленныхъ, содержащихъ азотъ въ формѣ цианистыхъ, амидныхъ и амміачныхъ соединений.

Еще въ 40 годахъ истекшаго столѣтія Бунзенъ показалъ, что если пропускать азотъ черезъ раскаленную смѣсь угля и щелочей, то образуются цианистыя соединения; въ 1869 г. Бертелло получилъ цианистый водородъ, пропуская электрическую искру черезъ смѣсь ацетилена съ азотомъ, имѣются и другія указанія изъ разныхъ періодовъ на возможность связыванія азота съ углеродомъ и водородомъ, но только послѣ того какъ была найдена и усовершенствована динамо-машина (Сименсъ), послѣ того какъ работами Moissan'a (1894) указаны были пути для технического добыванія карбидовъ (съ помощью опять-таки электрической энергіи),—только тогда оказалось возможнымъ поставить опыты въ большихъ размѣрахъ съ использованиемъ азота атмосферы для получения цианистыхъ соединений.

Frank и Caro въ Берлинѣ начали такія работы въ 1895 г.; они показали, что расплавленный углеродистый барій даетъ цианистый барій, если черезъ него пропускать азотъ, совершенно согласно уравненію:  $BaC_2 + N_2 + Ba(CN)_2$ , но карбидъ кальція, болѣе доступный по цѣнѣ (его меньше требуется вслѣдствіе меньшаго атомнаго вѣса Ca по сравненію съ Ba) велъ себя не совсѣмъ согласно съ ожиданіями, именно, онъ давалъ не цианистый кальцій, а соединеніе, содержащее однимъ атомомъ угля менѣе, такъ называемый *цианамидъ кальція*:  $CaC_2 + N_2 = CaCN_2 + C$ .

Frank сдѣлалъ предположеніе, что продуктъ присоединенія азота къ карбиду будетъ имѣть непосредственное значеніе для сельскаго хозяйства въ качествѣ удобрения; подтвержденіе этого онъ увидѣлъ въ томъ фактѣ, что цианамидъ при нагреваніи съ водой подъ давленіемъ цѣликомъ переходитъ въ углекислый аммоній:  $C(NH)_2 + 3H_2O = (NH_4)_2CO_3$ ; или  $CN_2Ca + 3H_2O = 2NH_3 + CaCO_3$ . Опыты удобрения цианамидомъ вполне подтвердили предположеніе Frank'a о возможности примѣнять непосредственно сырой продуктъ, безъ всякой подготовки, лишь съ соблюденіемъ извѣстныхъ предосторожностей, о которыхъ будетъ рѣчь ниже.

Въ технику можно получить цианъ-амидъ двумя путями, именно или брать готовый карбидъ кальція, или брать тѣ матеріалы, изъ которыхъ онъ получается, т. е. негашеную известь и уголь; при помѣщеніи ихъ въ электрическую печь (см. рис. 22-й) и при пропусканіи азота получается сначала  $CaC_2(CaO + 3C = CaC_2 + CO)$ , а затѣмъ

присоединяется азотъ, давая съ выдѣленіемъ одного атома углерода  $CaCN_2$ ; получается такимъ образомъ смѣсь цианъ-амида кальція съ углемъ (еще могутъ быть примѣшаны непрореагировавшіе части взятыхъ матеріаловъ), содержащая чаще всего около 18—20% N, вмѣсто 35%, какъ долженъ бы содержать чистый  $CaCN_2$ . Болѣе удобнымъ оказался способъ, основанный на пропусканіи азота въ готовый кар-

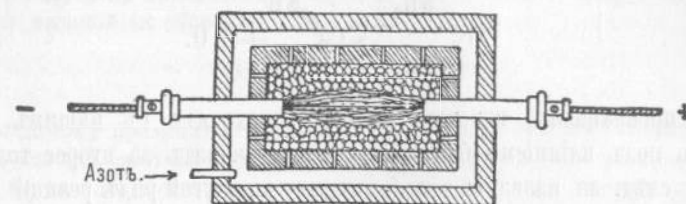


Рис. 22-й.

бидъ, предварительно расплавленный. Для выдѣленія азота воздухъ пропускается черезъ накалиныя мѣдныя стружки, поглощающія кислородъ (см. рис. 23-й) или же, что оказывается болѣе удобнымъ, азотъ получаютъ фракціонированной перегонкой жидкаго воздуха (азотъ перегоняется раньше кислорода) и только для окончательнаго удаленія слѣдовъ кислорода пропускаютъ азотъ черезъ мѣдныя стружки.

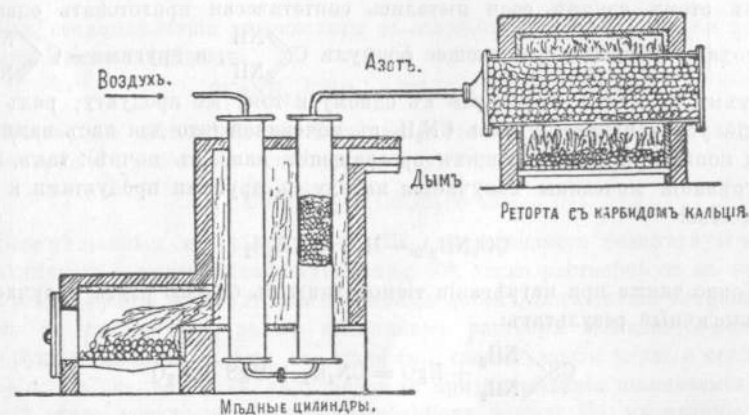
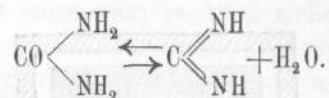


Рис. 23-й.

Замѣтимъ, что названіе *цианъ-амидъ* дано интересующему насъ продукту въ предположеніи, что суммарная формула  $CN_2H_2$  (или  $CN_2Ca$ ) скрываетъ за собой группировку  $N \equiv C - NH_2$  (или соотвѣтственно  $N \equiv C - N = Ca$ ); но той же элементарной формулѣ отвѣчаетъ также симметричное расположеніе  $NH = C = NH$ , съ соотвѣственнымъ про-



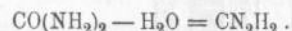
дуктомъ замѣщенія кальціемъ  $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{N} \\ \diagup \diagdown \\ \text{N} \end{smallmatrix} \text{Ca}$ ; отвѣчающее этой формулѣ вещество должно бы получить названіе *карбимида* (точнѣе карбодимида), при чемъ и названіе и формула указываютъ на ясное родство такого вещества съ карбамидомъ (мочевиной):



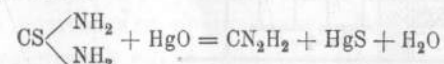
Тѣ превращенія, которыя легко происходятъ съ нашимъ веществомъ подѣ влияніемъ бактерий, скорѣе говорятъ за второе толкованіе, и слѣд. за названіе «карб-имидъ», но другой рядъ реакцій отвѣчаетъ названію «ціанъ-амидъ», и послѣднее является общепринятымъ<sup>1)</sup>.

1) Такъ какъ на самомъ дѣлѣ известно только одно вещество формулы  $\text{CN}_2\text{H}_2$ , а изомерія имѣетъ мѣсто лишь для его производныхъ, то приходится признать здѣсь случай такъ называемой *таутомеріи*, т. е. допустить (по крайней мѣрѣ согласно одной изъ предложенныхъ гипотезъ) подвижность атомовъ въ частицѣ, такъ что обѣ формулы съ одинаковой степенью приближенія отражаютъ въ себѣ дѣйствительныя свойства вещества (достаточно только попеременно перемѣщеніе одного атома водорода для перехода отъ карбимида къ ціанъамиду и обратно).

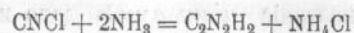
Въ этомъ случаѣ, если пытались синтетически приготовить одними методами вещество отвѣчающее формулѣ  $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{NH} \\ \diagup \diagdown \\ \text{NH} \end{smallmatrix}$ , а другими —  $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \diagup \diagdown \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$ , то тѣмъ не менѣе приходили къ одному и тому же продукту; рядъ реакцій устанавливаетъ связь  $\text{CN}_2\text{H}_2$  съ мочевиной (это для насъ важно и для пониманія послѣдующихъ превращеній, напр. въ почвѣ); такъ, при нагреваніи мочевины получается наряду съ другими продуктами и это вещество:



Точно также при нагреваніи тиомочевины съ окисью ртути получаемъ аналогичный результатъ:



Съ другой стороны хлористый и бромистый ціанъ даетъ подѣ влияніемъ амміака тотъ же самый продуктъ:

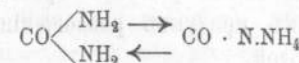


Этотъ путь является примѣромъ реакцій, говорящихъ за несимметричную формулу  $\text{CN.NH}_2$  (ціанъамидъ въ собственномъ смыслѣ слова).

Нужно замѣтить, что происхожденіе изъ мочевины не является доводомъ за симметричное строеніе продукта отнятія воды, такъ какъ выдѣ-

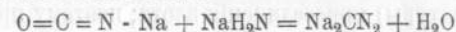
Кромѣ  $\text{CN}_2\text{Ca}$  и непрореагировавшихъ исходныхъ веществъ, въ продажномъ продуктѣ содержатся другія вещества, частью внесенныя съ

леніе воды изъ мочевины можно представить происходящимъ двумя путями: по одному водороду изъ каждой группы  $\text{NH}_2$  или оба водорода изъ одной группы; въ первомъ случаѣ получится карбо-ди-имидъ, во второмъ — ціанъ-амидъ. Кромѣ того, сама мочевины обнаруживаетъ наклонность къ переходу въ несимметричныя группировки, какъ напр. въ ціановокислый аммоній (и обратно):



Повидимому приходится признать, что въ то время какъ вышеупомянутый способъ синтеза съ хлористымъ ціаномъ даетъ опредѣленное указаніе на несимметричность ціанъ-амида, нельзя ему противопоставить столь-же опредѣленныхъ способовъ, говорящихъ за другую формулу; поэтому возможно, что симметричная форма неустойчива и переходитъ тотчасъ въ устойчивую несимметричную; при такомъ толкованіи названіе «ціанъ-амидъ» является единственнымъ правильнымъ, а «карбо-ди-амидъ» — относящимся къ несуществующему на дѣлѣ изомеру (по крайней мѣрѣ — въ незамѣщенномъ видѣ).

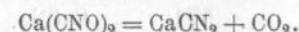
Кромѣ приведенныхъ случаевъ синтеза упомянемъ еще о слѣдующемъ: если дѣйствовать ціано-кислымъ натріемъ на амидъ натрія, то образуется натріево производное ціанъ-амида:



При взаимодействіи углекислоты съ нагрѣтымъ амидомъ натрія получается также ціанамидъ:

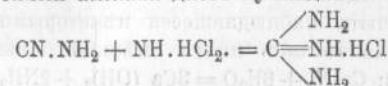


Кромѣ того, ціановокислые соли при нагреваніи распадаются на соответственное производное ціанъамида и углекислоту; напр.:



Незамѣщенный ціанъ-амидъ  $\text{CN.NH}_2$  представляетъ безцвѣтную кристаллическую массу, плавящуюся при  $40^\circ$ , легко растворимую въ водѣ, спиртѣ и эфирѣ; водородъ ціанъ-амида способенъ замѣщаться металлами; такъ съ солями серебра въ амміачномъ растворѣ выпадаетъ желтый аморфный осадокъ  $\text{CN}_2\text{Ag}_2$ ; съ мѣдными солями почти черный осадокъ  $\text{CN}_2\text{Cu}$  (тѣ же вещества получаются и при нагреваніи ціановокислыхъ солей этихъ металловъ согласно сказанному ранѣе). Но, въ отличіе отъ тяжелыхъ, щелочно-земельные металлы (напр. Са) склонны замѣщать въ водномъ растворѣ лишь половину водорода въ ціанъ-амидѣ (см. ниже объ отношеніи  $\text{CN}_2\text{Ca}$  къ водѣ).

При дѣйствіи разведенныхъ кислотъ ціанъ-амидъ легко воспринимаетъ воду и даетъ мочевины (соответственно съ сѣродородомъ тиомочевины); при нагреваніи съ солями амміака даетъ гуанидинъ:



сырыми матеріалами, частью (въ меньшей степени) полученныя вслѣд-  
ствие побочныхъ реакцій<sup>1)</sup>.

Такъ, можетъ находиться сѣра, происходящая отъ возста-  
новленія сульфатовъ, содержащихся во всякой извести, или сѣрнистыя соеди-  
ненія изъ нечистаго угля; тоже относится къ фосфору (а также же-  
лѣзу, глинозему, кремнію). Поэтому не трудно бываетъ показать вы-  
дѣленіе сѣроводорода, если подѣйствовать на продажный продуктъ со-  
ляной кислотой; точно также уже при простомъ смачиваньи выдѣ-  
ляется ацетиленъ, какъ продуктъ разложенія непрореагировавшаго  
карбида кальція съ водой.

Хотя количества выдѣляемаго при этомъ ацетелена, сѣроводорода  
и фосфористаго водорода сами по себѣ не велики (гораздо ниже чѣмъ  
для амміака), но въ виду чувствительности растений къ этимъ веще-  
ствамъ приходится съ ними считаться, чтобы различать вліянія са-  
мого цианъамида и продуктовъ его распада отъ вліяній сопутствую-  
щихъ примѣсей<sup>2)</sup>.

Далѣе, въ то время какъ цианъамидъ по первоначальнымъ указа-  
ніямъ Frank'a готовился безъ намѣреннаго введенія побочныхъ при-  
мѣсей, позднѣе въ видоизмѣненіи предложенномъ Polzenius'омъ стали  
вводить хлористый кальцій, для облегченія реакціи (нѣкотораго по-  
ниженія температуры) присоединенія азота; поэтому приходится разли-  
чать по крайней мѣрѣ два типа продажнаго цианъамида, безъ  $\text{CaCl}_2$   
и съ  $\text{CaCl}_2$ .

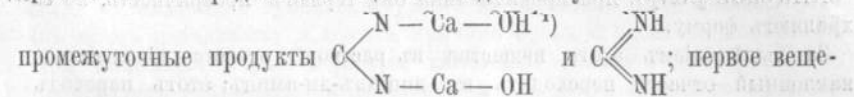
Вотъ примѣры анализовъ продуктовъ перваго рода (Piano d'Orta)  
и второго (Westeregeln):

|                           | Piano d'Orta. |                                         | Westeregeln. |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------------|--------------|
| $\text{CaCN}_2$ . . . . . | 57%           | $\text{CaCN}_2$ . . . . .               | 55,1%        |
| $\text{CaO}$ . . . . .    | 21 »          | Извести и угля въ<br>исходн. карбидѣ. { | 55,1 »       |
| Угля . . . . .            | 14 »          | $\text{CaC}_2$ . . . . .                | 2,4 »        |
| Кремнекислоты. . . . .    | 2 »           | Углерода (обр. при<br>реакціи). {       | 8,3 »        |
| Желѣза . . . . .          | 4 »           | $\text{CaCl}_2$ . . . . .               | 18,7 »       |

<sup>1)</sup> См. объ этомъ статью Haselhof'a (Vers. Stat., Bd. LXVIII, стр. 189), а  
также Pozzoli (Atti de VI Congresso Int. di chimica applicata).

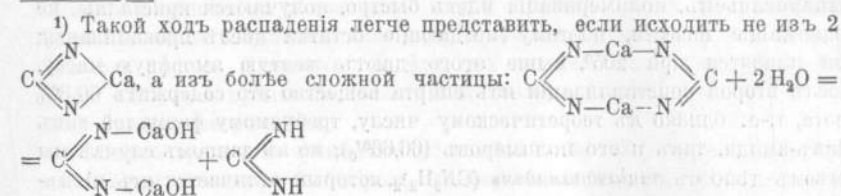
<sup>2)</sup> Сюда же относятся возможность образованія азотистаго калия,  $\text{Ca}_3\text{N}_2$ ,  
который также получается изъ  $\text{CaO}$  путемъ возстановленія въ присут-  
ствіи угля и присоединенія N; наличностью небольшихъ количествъ этого  
вещества объясняютъ наблюдавшееся нѣкоторыми авторами появленіе  
амміачнаго запаха тотчасъ послѣ смѣшенія цианъамида съ влажной  
почвой или водой:  $\text{Ca}_3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_3$ .

При дѣйствіи воды на продуктъ замѣщенія водорода кальціемъ, со-  
державшійся въ продажномъ «цианъ-амидѣ» получаютъ сначала какъ



ство даетъ красивые игольчатые кристаллы, второе остается въ раст-  
ворѣ; оба продукта способны распадаться при дальнѣйшемъ воспри-  
ятіи  $\text{H}_2\text{O}$ , какъ и мочевины съ образованіемъ въ концѣ концовъ  
амміака и углекислоты (или  $\text{NH}_3$  и  $\text{CaCO}_3$ ), отчасти же изъ проме-  
жуточного продукта  $\text{NH}=\text{C}=\text{NH}$  образуется его полимеръ, дицианъ-  
ди-амидъ  $(\text{CN}_2\text{H}_2)_2$ ; послѣднее обстоятельство является весьма суще-  
ственнымъ при разсмотрѣніи вопроса объ удобреніи цианъ-амидомъ,  
такъ какъ дицианъ-ди-амидъ вреденъ для растений.

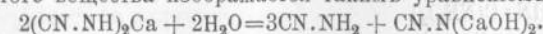
Если выщелачиванье производить теплой водой, то дицианъ-ди-амида  
образуется больше; утверждаютъ, что присутствіе большихъ количествъ  
углекислоты, а особенно—свободныхъ гумусовыхъ кислотъ способ-  
ствуетъ образованію этого нежелательнаго продукта (но есть наблю-  
деніе противоположнаго характера; нѣкоторые относятся вообще скеп-  
тически къ допущенію образованія дицианъ-ди-амида *изъ почвы*)<sup>2)</sup>.



<sup>2)</sup> Остановимся нѣсколько ближе на тѣхъ промежуточныхъ продуктахъ  
которые получаютъ подъ вліяніемъ воды при обыкновенной температурѣ.

Въ водной вытяжкѣ изъ продажнаго цианъамида отношеніе кальція  
къ азоту совершенно не отвѣчаетъ формулѣ  $\text{CaCN}_2$ , именно, кальція въ  
растворѣ гораздо меньше; повидимому, первымъ шагомъ распада яв-  
ляется образованіе однозамѣннаго кальціеваго производнаго формулы  
 $(\text{CN.NH})_2\text{Ca}$  согласно схемѣ:  $2\text{CaCN}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + (\text{CN.NH})_2\text{Ca}$ . При  
этомъ большая часть  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  остается въ нерастворенномъ остаткѣ.

Но соединеніе  $(\text{CN}_2\text{H}_2)_2\text{Ca}$  не отличается стойкостью (его можно получить  
въ твердомъ видѣ лишь осторожной концентраціей раствора на холоду,  
напр. надъ сѣрной кислотой); въ водномъ растворѣ оно наклонно рас-  
падается съ образованіемъ свободнаго цианъ-амида съ одной стороны, и  
соединенія, болѣе богатаго известью съ другой стороны; послѣднее обла-  
даетъ малой растворимостью и легко выпадаетъ въ видѣ длинныхъ  
(до сантиметра) призматическихъ прозрачныхъ кристалловъ. Схема об-  
разованія этого вещества изображается такимъ уравненіемъ:



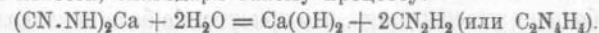
На самомъ дѣлѣ кристаллы этого вещества содержатъ еще воду:  
Ученіе объ удобреніи. 9



Въ нормальной почвѣ, при энергичной работѣ бактерій, преобла-  
 $\text{CN.N(CaOH)}_2.6\text{H}_2\text{O}$ ; при прокаливании они теряютъ прозрачность, но со-  
 храняютъ форму.

За выдѣленіемъ этого вещества въ растворѣ остается ціанъамидъ,  
 наклонный отчасти переходить въ диціанъ-ди-амидъ; этотъ переходъ  
 становится правиломъ, если растворъ подвергается концентраціи нагрѣ-  
 ваніемъ.

Если до выдѣленія вышеописанныхъ игольчатыхъ кристалловъ на-  
 званнаго богатаго кальціемъ производнаго ціанъ-амида приготовленную  
 на холоду вытяжку изъ продажнаго продукта нагрѣть на водяной банѣ  
 до  $40-50^\circ\text{C}$ , то наступаетъ помутніе первоначально прозрачнаго ра-  
 створа, затѣмъ выдѣляется хлопьевидный осадокъ, понемногу сажающийся  
 на дно въ видѣ тонкаго кристаллическаго порошка; осадокъ этотъ ока-  
 зывается кристаллическимъ  $\text{Ca(OH)}_2$ . См. Kappen, Landw. Vers. Stat., Bd.  
 LXVIII, 305. При продолженіи нагрѣванія изъ раствора удаляется боль-  
 шая часть извести, благодаря такому процессу:

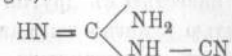


Образуется ли при этомъ отщепленіи  $\text{Ca(OH)}_2$  ціанъ-амидъ или происхо-  
 дитъ полимеризація и образуется диціанъ-ди-амидъ, зависитъ отъ условий  
 среды.

Именно, если вытяжку изъ продажнаго ціанъ-амида кальція пригото-  
 вить при нагрѣваніи не ниже  $75^\circ$  (Reis) и концентрировать послѣдующимъ  
 выпариваніемъ, полимеризація идетъ быстро, получаются кристаллы, не  
 содержащіе извести, поэтому не дающіе остатка послѣ прокаливанія;  
 они плавятся при  $205^\circ$ , выше этого даютъ желтую аморфную массу.  
 Послѣ второй кристаллизаціи изъ спирта вещество это содержитъ 66,3%  
 азота, т.-е. близко къ теоретическому числу, требуемому формулой какъ  
 ціанъ-амида, такъ и его полимеровъ (66,66%); но въ данномъ случаѣ мы  
 имѣемъ дѣло съ дициандиамидомъ  $(\text{CN}_2\text{H}_2)_2$ , который отличается отъ ціанъ-  
 амида (помимо внѣшняго вида и точки плавленія кристалловъ) еще и  
 своими реакціями, напр. способностью давать бѣлый осадокъ съ  $\text{AgNO}_3$   
 въ присутствіи азотной кислоты (и не давать желтаго осадка въ при-  
 сутствіи амміака). Способность ціанъ-амида замѣщать свой водородъ  
 металлами ослабѣваетъ при переходѣ въ диціанъ-ди-амидъ (подробнѣе о  
 реакціяхъ и количественномъ опредѣленіи обоихъ изомеровъ см. у Brioux,  
 Annales de la science agronomique, 1910, т. I).

При стояніи растворовъ ціанъ-амида на холоду полимеризація проис-  
 ходитъ медленно; тоже имѣетъ мѣсто при долгомъ храненіи ціанъамида  
 въ сыромъ помѣщеніи. Черезъ 8 мѣсяцевъ можетъ перейти въ диціанъ-  
 ди-амидъ отъ 10 до 80%, смотря по влажности воздуха (Brioux).

Наиболѣе вѣроятной формулой строенія для диціанъ-ди-амида счи-  
 тается слѣдующая (Bamberger).

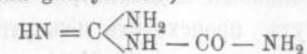


Согласно съ этимъ диціанъ-ди-амидъ носитъ еще названіе ціангуанидина  
 [гуанидинъ =  $\text{HN}:\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ].

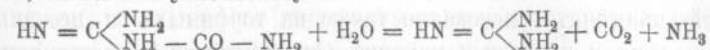
Это вещество по Pozzoli, не столь легко переходитъ въ мочевины и

даетъ распадъ до амміака и углекислоты; поэтому если вносить ціанъ-

далѣ въ амміакъ и углекислоту, какъ то способенъ дѣлать ціанъамидъ  
 (въ этомъ повидимому и лежитъ причина большей ядовитости полимера).  
 При кипяченіи съ разведенными кислотами (также и съ уксусной к.)  
 происходитъ гидратація съ образованіемъ вещества основнаго характера  
 (диціанъ-ди-амидинъ или guanyl-urea:)



Это соединеніе при кипяченіи съ водой способно распадаться на гуа-  
 нидинъ, амміакъ и углекислоту:



Гуанидинъ въ свою очередь при дѣйствіи кислотъ и щелочей въ вод-  
 номъ растворѣ даетъ мочевины и амміакъ, такимъ образомъ, дополняя  
 этотъ рядъ образованіемъ изъ мочевины углекислаго аммонія, мы полу-  
 чили бы рядъ переходовъ отъ диціанъ-ди-амида до амміака и углекис-  
 лоты. Но насколько полно эти схемы, составленные изъ отдѣльныхъ,  
 наблюденныхъ въ лабораторіи реакцій, изображаютъ ходъ превращеній  
 диціанъ-ди-амида въ почвѣ и какія стадіи распада являются болѣе су-  
 щественными для опредѣленія значенія этого соединенія, какъ источника  
 азота для растений, является еще далеко не выясненнымъ.

Извѣстно, что продажный ціанъ-амидъ кальція при непосредственномъ  
 внесеніи особенно на почвахъ съ малой поглотительной способностью и  
 бѣдныхъ бактеріальнымъ населеніемъ можетъ вредить растеніямъ; но  
 большей частью достаточно внести его за нѣсколько дней до посѣва,  
 чтобы избѣжать вредныхъ вліяній какъ самаго ціанъ-амида, такъ и про-  
 дуктовъ его превращенія.

Особенно вреднымъ считается (по крайней мѣрѣ Вагнеромъ и другими  
 нѣмецкими авторами) какъ разъ диціанъ-ди-амидъ, но Perotti пришелъ  
 къ другимъ выводамъ, онъ считаетъ, что полимеръ менѣе вреденъ, чѣмъ  
 самый ціанъ-амидъ, что 2%-ные растворы диамида вовсе не вредятъ  
 (Centralblatt für Bacteriologie, XXI, 7, 8) высшимъ растеніямъ, а болѣе  
 крѣпкіе — менѣе вредятъ, чѣмъ растворы ціанъ-амида; мало того, Perotti  
 утверждаетъ, что въ слабыхъ растворахъ ди-амидъ является хорошимъ  
 непосредственнымъ источникомъ азота для высшихъ растеній. Эти про-  
 тиворѣчія пытались объяснить тѣмъ, что итальянскіе авторы имѣли  
 дѣло съ изомеромъ диціанъ-ди-амида, ди-карбимидомъ.

Выясненіе этихъ вопросовъ требуетъ конечно цѣлаго ряда дальнѣй-  
 шихъ изслѣдованій, но мы можемъ къ сказанному добавить, что нѣко-  
 торыя данныя, полученные въ нашей лабораторіи, показываютъ, диціанъ-  
 ди-амидъ, полученный при концентраціи выпариваніемъ водныхъ вытя-  
 жекъ изъ продажнаго ціанъ-амида кальція, не отвѣчаетъ дикарбимиду,  
 но ведетъ себя какъ ціанъ-гуанидинъ Bamberger'a. Такъ по опредѣле-  
 ніямъ И. В. Якушкина подъ вліяніемъ азотистой кислоты на холоду вы-  
 дѣляется приблизительно лишь  $\frac{1}{4}$  всего азота диціанъ-ди-амида (27,5%),  
 а это указываетъ на наличность въ формулѣ группы  $\text{NH}_2$ ; однако при на-  
 грѣваніи (которое ведется въ кисломъ растворѣ) выдѣляется еще нѣко-

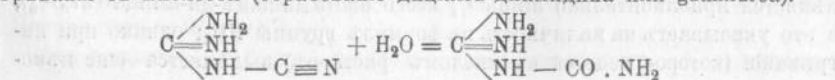
амидъ за 1—2 недѣли до посѣва, то онъ оказываетъ хорошее дѣйствіе на послѣдующій ростъ, не вредя всходамъ. Напротивъ, въ почвахъ торфяныхъ и песчаныхъ, бѣдныхъ бактеріями, больше шансовъ образованія вредныхъ продуктовъ, могущихъ отравлять всходы (или на этихъ почвахъ самый ціанъ-амидъ вредитъ растеніямъ, такъ какъ его распадѣніе идетъ слишкомъ медленно); точно также при поверхностномъ удобреніи могутъ происходить нежелательныя явленія; поэтому, *ціанъ-амидъ не является удобреніемъ столь универсальнымъ какъ селитра*, онъ скорѣе приближается къ сѣрнокислому амміаку, который примѣнять рискованно также на торфяныхъ и песчаныхъ почвахъ, хотя и по другой причинѣ (физиологической кислотности).

Еще не вполне установлено, какую долю участія въ распадѣ ціанъ-амида въ почвѣ принимаютъ микроорганизмы, и какую слѣдуетъ отнести на счетъ чисто химическихъ процессовъ. Повидимому нѣкоторыя составныя части почвы ускоряютъ распадъ ціанъ-амида; по крайней мѣрѣ Stutzer и Reis наблюдали, что гидратъ окиси желѣза и даже прокаленная окись желѣза ускоряли распадъ у ціанъ-амида въ водномъ растворѣ еще сильнѣе, чѣмъ почва; при этомъ не наблюдалось образованія ціанъ-амида, но была выдѣлена въ значительномъ количествѣ мочевины<sup>1)</sup>, поэтому названные авторы приписываютъ въ данномъ случаѣ большее значеніе чисто химическимъ процессамъ, чѣмъ біологическимъ.

Насколько вліяетъ срокъ посѣва, родъ почвы (а частью и родъ растенія) на большую или меньшую вѣроятность поврежденія всхожести отъ ціанамида видно между прочимъ изъ слѣдующаго опыта (Haselhofa; Landw. Jahrb. т. 34):

| Посѣвъ послѣ внесенія удобрения черезъ: | 0    | 8    | 14   | 21    | 28 дней |
|-----------------------------------------|------|------|------|-------|---------|
| Всхожесть для горчицы . . .             | 75%  | 97%  | 92%  | 95,5% | 96,0%   |
| Всхожесть для клевера . . .             | 93,0 | 89,5 | 90,0 | 95,5  | 92,0    |
| Тоже, но въ пескѣ . . .                 | 0    | 35   | 88   | 95    | 94,5    |

торое количество азота, въ суммѣ же это составляетъ половину всего азота взятой навѣски (49,50%); эти факты хорошо объясняются именно формулой Bamberger'a, такъ какъ въ ней есть одна готовая амидная группа, а другая образуется при омыленіи нитрила подъ вліяніемъ нагрѣванія съ кислотой (образованіе диціамъ-диамина или guanilurea):



<sup>1)</sup> Journal fur Landwirtschaft, Bd. 58.

Эти данныя получены при внесеніи ціанамида въ количествѣ 0,025% отъ вѣса почвы, что представляетъ въ сущности большую дозу, около 40 п. на десятину при смѣшеніи съ 4-хъ верхковымъ слоемъ почвы (или 20 п., при смѣшеніи съ 2-хъ верхковымъ слоемъ); даже при невѣроятныхъ въ практикѣ удвоенныхъ противъ этого дозахъ 8 дневный промежутокъ былъ достаточенъ для нормальной почвы (но не для песка).

У насъ въ опытахъ 1906 года съ нѣсколькими почвами не наблюдалось вреднаго вліянія ціанамида на всходы даже въ томъ случаѣ, если посѣвъ производится непосредственно послѣ внесенія удобрения; положительное дѣйствіе его на растеніе было весьма энергичнымъ, какъ видно изъ слѣдующихъ опытовъ съ гречихой.

|                 |               | Безъ удобрения. | Селитра. | Ціанъ-амидъ. |
|-----------------|---------------|-----------------|----------|--------------|
| 1. На суглинкѣ: | зерно . . . . | 3,2             | 18,8     | 18,4 гр.     |
|                 | весь урожай . | 8,5             | 44,8     | 42,6 »       |
| 2. На подзолѣ:  | зерно . . . . | 1,8             | 14,0     | 16,0 »       |
|                 | весь урожай . | 5,5             | 33,5     | 33,5 1)      |

При опытахъ 1907 года точно также въ большинствѣ случаевъ дѣйствіе было благопріятно, но на песчаной почвѣ, а особенно въ чистомъ пескѣ, сказалось вредное дѣйствіе ціанъ-амида; вотъ нѣкоторые примѣры:

|                                       | Безъ азота. | Селитра. | Ціанъ-амидъ. |
|---------------------------------------|-------------|----------|--------------|
| Урожай овса на суглинкѣ . . .         | 15,7        | 32,1     | 31,1 гр.     |
| » горчицы на песчаной почвѣ . . . . . | 3,6         | 6,5      | 0,05 »       |
| » ячмень въ чистомъ пескѣ . . . . .   | 1,0         | 1,60     | 0 »          |

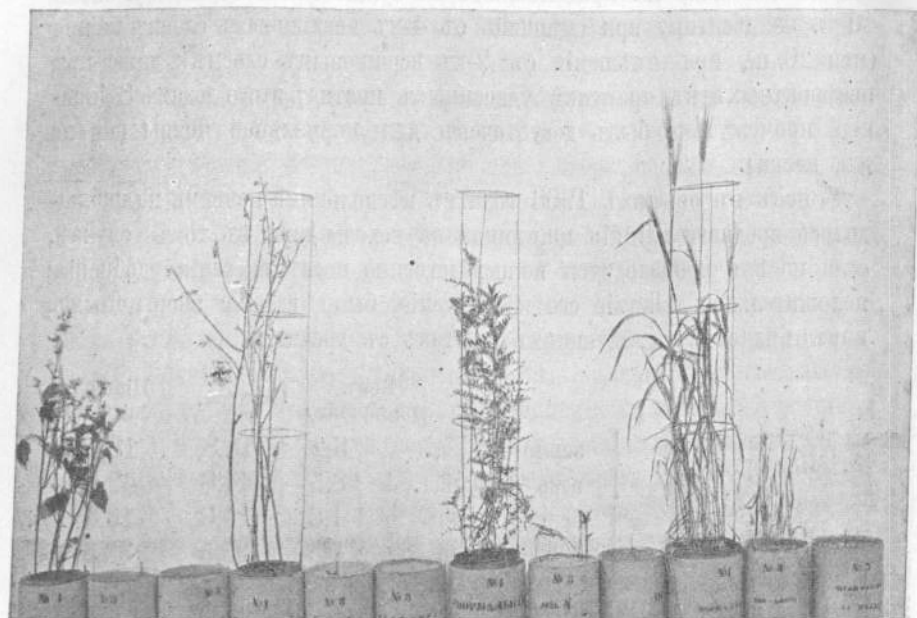
Опыты послѣдняго рода (въ песчаныхъ культурахъ) произведены были намѣренно, чтобы наблюдать отравленіе ціанъ-амидомъ; оно оказалось гибельно не только при первомъ, но и при второмъ посѣвѣ въ тѣ же сосуды новыхъ растеній черезъ большій промежутокъ времени (см. рис. 24-й).

Повидимому, горчица обнаруживаетъ при этомъ большую чувствительность, чѣмъ злаковые и гречиха; на той же песчаной почвѣ, на

1) Къ этому опыту относится рисунокъ, помѣщенный на стр. 92-й, подробнѣе см. въ „Результатахъ вегетационныхъ опытовъ“ за 1906 г. и 1907 г.

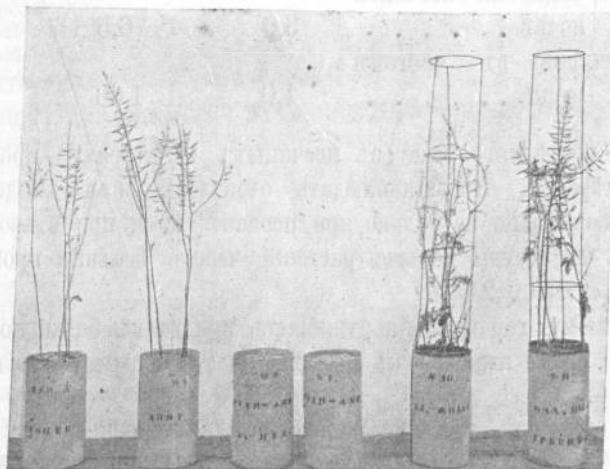


Рис. 24. Циантъ-амидъ въ песчаныхъ культурахъ.



Г р е ч и х а.      Г о р ч и ц а.      В и к а.      П ш е н и ц а.  
Норм. Безъ N Циантъ-амидъ. Норм. Безъ N Циантъ-амидъ. Норм. Безъ N Циантъ-амидъ. Норм. Безъ N Циантъ-амидъ.

Рис. 25. Циантъ-амидъ на песчаной почвѣ подъ горчицу.



Безъ N. Селитра. Циантъ-амидъ. Клещев. Махороч-  
За недѣлю. Передъ посѣвомъ. жмыхъ. ная пыль.

которой гречиха дала повышеніе урожая отъ циантъ-амида, горчица погибла (см. рис. 25-й).

Весьма обширный рядъ опытовъ по сравненію циантъ-амида съ другими источниками азота произвелъ Вагнеръ (Дармштадтъ); на основаніи всей совокупности опытовъ онъ приходитъ къ заключенію что если приростъ урожая отъ селитры принять за 100, то приростъ отъ равнаго количества азота въ циантъ-амидъ будетъ въ среднемъ равенъ 90; если же дѣйствіе азота въ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  принять за 100, то для циантъ-амида получимъ 95. Эти данныя относятся къ умѣреннымъ дозамъ удобрений; при высокихъ же дозахъ циантъ-амидъ будетъ уступать селитрѣ и сѣрноокислому амміаку еще въ большей мѣрѣ, какъ это видно изъ слѣдующаго примѣра:

|                                |             |          |          |              |
|--------------------------------|-------------|----------|----------|--------------|
| Урожай зерна при               | 1,5 gr.     | 2,52 gr. | 3,00 gr. | N на сосудъ. |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ : | 54,7        | » 66,4   | » 68,6   | »            |
| $\text{NaNO}_3$                | 54,7        | » 66,0   | » 72,0   | »            |
| $\text{CN}_2\text{Ca}$         | на суглин-  |          |          |              |
|                                | кѣ:         | 46,4     | » 51,5   | » 28,2       |
|                                | на песчаной |          |          |              |
|                                | почвѣ:      | 32,8     | » 0,9    | » 0 1) »     |

Кромѣ опытовъ удобрения Вагнеръ произвелъ еще рядъ лабораторныхъ изслѣдованій надъ циантъ-амидомъ; между прочимъ обнаружилось, что если оставить порошокъ циантъ-амида лежать тонкимъ слоемъ на воздухѣ, то наблюдается постепенная потеря азота, черезъ мѣсяца достигающая 70%, отъ первоначальнаго его количества; очевидно, влага воздуха даетъ возможность образованія амміака<sup>2)</sup>, который и улетучивается (тѣмъ болѣе, что продажный амидъ имѣетъ щелочную реакцію отъ избытка извести); эта часть опытовъ Вагнера стоитъ какъ бы въ противорѣчій съ наблюденіями Müntz'a, у котораго потери были незначительны (Annales de l'Institut agronomique, 1907).

При опытахъ произведенныхъ въ нашей лабораторіи П. В. Якушкинымъ обнаружилось, что размѣры потерь могутъ быть весьма различны въ зависимости какъ отъ влажности среды, такъ и отъ поверхности соприкосновенія; поэтому, напр. малые навѣски, распределенныя тонкимъ слоемъ на часовомъ стеклѣ даютъ потери совершенно несрав-

<sup>1)</sup> Урожай зерна безъ N (но съ K и P) для этихъ почвъ колебался отъ 2 до 4 гр.

<sup>2)</sup> Однако при улавливаніи выделяемаго амміака сѣрной кислотой обнаруживается несоотвѣтствіе между его количествомъ и размѣрами общей потери азота (см. данныя въ работѣ П. В. Якушкина).

нимыя съ наблюдаемыми при обычномъ храненіи значительныхъ количествъ, хотя бы и недостаточно защищенныхъ отъ соприкосновения съ влажной атмосферой (напр. въ мѣшкахъ въ подвальномъ помѣщеніи). Вотъ примѣръ взятый изъ названной работы:

Потери азота ціанъ-амидомъ во влажной атмосферѣ:

|                   |       |      |       |       |       |       |     |                           |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-----|---------------------------|
|                   | 14    | 28   | 45    | 75    | 100   | 200   | 245 | дней.                     |
| Навѣска въ 20 гр. | 2%    | 7,1% | 7,2%  | 7,2%  | —     | 10%   | 22% | отъ                       |
| » » 1 »           | 14,7% | 20%  | 24,4% | 52,4% | 54,4% | 61,2% | 66% | всего азота <sup>1)</sup> |

При этихъ опытахъ атмосфера поддерживалась насыщенною водяными парами. Въ сухомъ же помѣщеніи потери могутъ быть ничтожными. Такъ, въ опытахъ Brionx (l. c.) навѣска въ 100 гр. ціанъ-амида, помѣщенная въ сухомъ подвалѣ въ видѣ нетолстаго слоя, потеряла за 7 мѣсяцевъ хранения 0,27 гр. N или 1,58% отъ всего азота; при храненіи въ мѣшкѣ, подъ навѣсомъ за 1½ года утратилось 13,5% отъ всего азота. Кромѣ потери азота во влажной атмосферѣ происходитъ еще переходъ ціанъ-амида въ диціанъ-ди-амидъ (Brionx, Karpen).

Далѣе Вагнеръ нашелъ, что азотъ ціанъ-амида труднѣе переходитъ въ амміакъ, чѣмъ азотъ мочевины, а окончательное превращеніе въ азотъ нитратовъ происходитъ медленнѣе, чѣмъ въ случаѣ сѣрноокислаго аммонія; вѣроятно, побочные продукты распада, вредно дѣйствующіе на высшія растения, вредятъ и дѣятельности бактерий, если концентрація переходитъ за извѣстный предѣлъ.

Такъ какъ продажный ціанъ-амидъ представляетъ изъ себя тонкій, легко пылящій порошокъ, то его при разбрасываніи удобно смѣшивать съ небольшимъ количествомъ земли; Müntz смѣшивалъ также съ каинитомъ, не наблюдая потерь; но если смѣшивать съ суперфосфатомъ, то, по Вагнеру, происходитъ разогрѣваніе и потери азота въ количествѣ около 5% отъ исходнаго<sup>2)</sup>.

Изъ сказаннаго понятно, что при употребленіи ціанъ-амида требуется болѣе детальнаго знакомства со свойствами новаго удобрительнаго

<sup>1)</sup> Потери азота въ данномъ случаѣ удобно выражать именно въ %, отъ всего азота, такъ пониженіе въ % отъ навѣски не является еще доказательнымъ: ціанъ-амидъ притягиваетъ влагу и углекислоту воздуха, поэтому возможно увеличеніе вѣса по 20% и болѣе (также увеличеніе объема, иногда разрывающее мѣшки), связанное съ пониженіемъ % N даже тогда, когда на самомъ дѣлѣ азотъ не терялся.

<sup>2)</sup> Впрочемъ и здѣсь имѣются наблюденія иного характера; какъ Fascetti не наблюдалъ при такомъ смѣшеніи потерь азота, и рекомендуетъ эту мѣру, какъ устраняющую щелочность ціанъ-амида (Fascetti, „Sull'azione di alcuni concimi sulla calciosianamide“, Труды VI Конгресса по прикладной химіи). Но при этомъ происходитъ ретроградация фосфорной к-ты суперфосфата (Brionx).

вещества, болѣе осторожности, чѣмъ въ случаѣ «норвежской» селитры, къ которой почти цѣликомъ примѣнимъ весь многолѣтній прежній запасъ наблюдений, произведенныхъ надъ дѣйствіемъ чилийской селитры.

### 3. Сѣрноокислый амміакъ.

Хотя амміачныя соли встрѣчаются въ природѣ, но въ небольшихъ количествахъ; эти естественные источники амміачныхъ солей замѣтнаго практическаго значенія не имѣютъ; въ большихъ же количествахъ получается сѣрноокислый аммоній преимущественно какъ побочный продуктъ нѣкоторыхъ заводскихъ производствъ, или же добывается попутно изъ городскихъ нечистотъ при приготовленіи пудретовъ.

При прежнемъ способѣ приготовленія пудретовъ нечистоты отстаивались въ бассейнахъ; изъ осадка дѣлали пудретъ, а жидкость спускалась прочь. Но, въ виду высокаго содержанія амміака въ ней, стали отгонять амміакъ при дѣйствіи извести, улавливая его въ сѣрную кислоту. Одинъ кубическій метръ жидкости даетъ около 10 килограммовъ сѣрноамміачной соли (1%). При болѣе совершенной утилизаціи подвергаютъ отгонкѣ съ известью нечистоты, не прибѣгая къ продолжительному отстаиванію твердыхъ веществъ, связанному съ потерями амміака при разложеніи, а затѣмъ уже остатки отъ перегонки используютъ для приготовленія пудрета.

Другой и притомъ болѣе крупный источникъ сѣрноамміачной соли представляетъ газовое производство. Каменный уголь содержитъ отъ 1½% до 1½% азота. При сухой перегонкѣ его (въ ретортахъ) часть азота<sup>1)</sup> получается въ отгонѣ въ видѣ воднаго раствора амміака, преимущественно углекислаго, часть же амміака уносится газообразными продуктами; при промывкѣ свѣтительнаго газа водой въ ней собираются значительныя количества амміака, въ различныхъ соединеніяхъ, какъ это видно изъ слѣдующихъ анализовъ (граммы на литръ):

|                           | I     | II   | III  | IV    |
|---------------------------|-------|------|------|-------|
| Сѣрноокислаго аммонія     | 0,46  | 0,86 | 1,32 | 0,19  |
| Хлористаго . . . . .      | 30,49 | 7,12 | 3,74 | 14,23 |
| Углекислаго . . . . .     | 4,56  | 7,68 | 3,12 | 39,16 |
| Двууглекислаго . . . . .  | 1,05  | 1,47 | 2,45 | —     |
| Сѣрнистокислаго . . . . . | —     | 1,63 | 5,03 | 2,80  |
| Сѣрнистаго . . . . .      | 0,34  | 0,65 | 6,22 | 3,03  |
| Роданистаго . . . . .     | —     | —    | —    | 1,80  |

<sup>1)</sup> Около 1/7; около 1/2 азота остается въ коксѣ, 1/3 въ видѣ свободнаго азота переходитъ въ свѣтильный газъ (на ціанистыя соединенія приходится лишь около 1/70 части).



Иногда прямо употребляют газовые воды на удобрение (близь завода), или выпаривают их съ прибавкой сѣрной кислоты, но это связано съ слишкомъ большимъ расходомъ на топливо, поэтому лучше подвергать ихъ перегонкѣ съ известью и улавливать амміакъ сѣрной кислотой, тогда получается продуктъ болѣе чистый. Надо замѣтить, что очистка здѣсь нужна еще и потому, что при сухой перегонкѣ угля часть азота его превращается въ синеродистыя и роданистыя соединенія, обычно напр., въ этихъ случаяхъ получается роданистый аммоній, соль ядовитая для растений (10 килограммовъ роданистаго аммонія достаточно для того, чтобы отравить всю растительность на пространствѣ 1 гектара). Обыкновенно отъ роданистыхъ соединеній сѣрноамміачная соль бываетъ окрашена въ розовый цвѣтъ (отъ соприкосновенія съ стѣнками желѣзныхъ сосудовъ), что и служитъ уже отчасти указаніемъ на необходимость испытанія соли на чистоту.

Помимо каменнаго угля есть еще матерьялъ способный при нагреваніи въ извѣстныхъ условіяхъ отщеплять большую часть своего азота въ видѣ амміака, именно горфъ, для использованія котораго въ послѣднее время разработаны новые методы, основанные въ отличіе отъ простаго сжиганія торфа, на полученіи изъ торфа горячихъ газовъ и амміака.

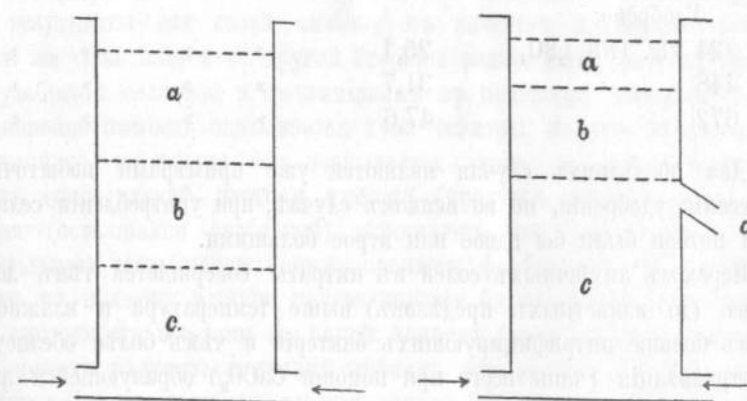
Наиболѣе разрабатывается и завоевываетъ себѣ мѣсто способъ Франка и Каро (которые въ сущности примѣнили къ торфу принципъ ранѣе извѣстной генераторной печи Монда, предназначенной для каменнаго угля). Сущность этого способа состоитъ въ томъ, что торфъ нагреваніемъ при недостаточномъ (для полнаго окисленія) доступѣ воздуха въ присутствіи водяного пара обращается въ горючіе газы, съ преобладаніемъ среди нихъ окиси углерода, водорода и углеводородовъ; при этомъ значительная часть (70—75%) азота торфа переходитъ въ амміакъ, можетъ быть уловлена сѣрной кислотой и по выпариваніи получена въ видѣ сѣрнокислаго аммонія. Этотъ способъ удобенъ тѣмъ, что при немъ не предъявляется высокихъ требованій къ качеству торфа: онъ можетъ содержать много золы, можетъ быть довольно сырымъ (40—50% воды); чѣмъ больше азота въ торфѣ, тѣмъ болѣе подходит онъ для переработки по этому способу, такъ какъ полученіе сѣрнокислаго аммонія является экономически-важной стороной въ немъ (другой стороной является использование генераторныхъ газовъ для нагреванія паровиковъ или чаще ими приводятся въ движеніе газовые двигатели, дающіе электрическую энергію).

По Франку 1000 kgr. торфа съ 1,05% N могутъ дать до 40 kgr. сѣрнокислаго амміака; 1000 kgr. съ 2,8% давали до 110 kgr. что

отвѣчаетъ 83% всего азота торфа. Такимъ образомъ азотъ торфа здѣсь используется гораздо полнѣе, чѣмъ азотъ угля при газовомъ производствѣ <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ради экономіи тепла при перегонкѣ торфа избѣгаютъ ретортъ; здѣсь имѣетъ мѣсто прямое соприкосновеніе топлива съ подлежащимъ перегонкѣ матерьяломъ, что осуществляется въ печи, имѣющей форму вертикально расположеннаго цилиндра, которая и является генераторомъ. Въ такомъ генераторѣ различаютъ три зоны; (см. рис.) внизу, вблизи отъ отверстій, впускающихъ воздухъ, происходитъ горѣніе кокса, образовавшагося изъ торфа съ образованіемъ какъ углекислоты такъ и окиси углерода (a); горячіе газы проходятъ въ слѣдующую зону (b), гдѣ отдаютъ часть тепла и вызываютъ перегонку торфа (выдѣленіе газовъ и образованіе кокса). Газообразные продукты сухой перегонки прежде чѣмъ попасть въ отводящія ихъ трубы проходятъ черезъ верхнюю часть печи (c), куда поступаетъ свѣжій торфъ; отдавая ему свое тепло, газы подогрѣваютъ и отчасти просушиваютъ торфъ, подготавливая его къ стадіи перегонки. По мѣрѣ уменьшенія объема въ нижнихъ частяхъ торфъ опускается отъ a къ b и отъ b къ c, послѣдовательно проходя описанныя стадіи превращенія.

Рис. 26. Схема газогенераторной печи (по Jabs'y, Torfkoks und Kraftgas).



a—зона сушки и предвар. нагреванія торфа.  
b—зона сухой перегонки.  
c—зона горѣнія.

Видоизмѣненіе той же печи, позволяющее извлекать часть торфяного кокса черезъ отверстіе d.

Кромѣ воздуха черезъ отверстіе внизу вдувается еще водяной паръ, почему смѣсь газовъ содержитъ большее или меньшее количество водорода ( $C + H_2O = CO + H_2$ ); вотъ одинъ изъ анализовъ генераторнаго газа:  $CH_4$ —20,6%,  $CO$ —11,9%,  $H_2$ —32,7%,  $CO_2$ —32,9% (второстепенныя составныя части не опредѣлены). На пути къ мѣсту сгоранія газы проходятъ черезъ колонну съ коксомъ, по которому течетъ разведенная сѣрная кислота, поглощающая амміакъ.

Чистая сѣрноамміачная соль содержитъ 21.21% азота; продажная соль содержитъ обычно около 20% азота. Иногда процентъ азота значительно ниже приведеннаго, въ особенности, если при приготовленіи былъ взятъ избытокъ сѣрной кислоты, такъ что образуется кислая сѣрноамміачная соль  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ . Примѣсь такой соли, помимо меньшаго содержанія азота, нежелательна еще и потому, что благодаря кислой реакціи она вредна сама по себѣ растеніямъ (также разъѣдаетъ мѣшки при храненіи).

При разсмотрѣніи поглотительной способности почвъ было указано, что амміакъ хорошо поглощается, вытѣсняя взамѣнъ себя другія основанія, а потому нѣтъ поводовъ опасаться вносить его съ осени; въ этихъ случаяхъ амміакъ постепенно будетъ переходить въ азотную кислоту и постепенно усвоится растеніями. Однакоже и при внесеніи амміака по мѣрѣ нитрифицированія азотъ отчасти все-таки переходитъ въ дренажныя воды, хотя конечно гораздо медленнѣе, чѣмъ въ случаѣ селитры.

Вотъ данныя одного анализа дренажныхъ водъ:

|                                          |                                       |   |   |   |   |
|------------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|
| 1. Безъ удобренія                        | 18,7 klg. N въ дренаж. водахъ за годъ |   |   |   |   |
| Удобрено:                                |                                       |   |   |   |   |
| 2. 224 klg. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 25,1                                  | » | » | » | » |
| 3. 448                                   | 31,7                                  | » | » | » | » |
| 4. 672                                   | 47,6                                  | » | » | » | » |

Два послѣднихъ случая являются уже примѣрами избыточнаго внесенія удобренія, но во всякомъ случаѣ, при употребленіи селитры эти потери были бы вдвое или втрое большими.

Переходъ амміачныхъ солей въ нитраты совершается тѣмъ легче, чѣмъ (до извѣстныхъ предѣловъ) выше температура и влажность, чѣмъ больше нитрифицирующихъ бактерій и чѣмъ болѣе обезпечена нейтрализація (чаще всего при помощи  $\text{CaCO}_3$ ) образующейся азотной и остающейся сѣрной кистоты (если мы внесли  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ).

Такъ, въ одномъ опытѣ Вагнера съ огородной почвой нитрификація введеннаго амміака заканчивалась въ зависимости отъ условій опыта въ такіе сроки:

|                                  | Съ прибавкой $\text{CaCO}_3$ . | Безъ $\text{CaCO}_3$ . |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Въ холодномъ помѣщеніи . . . . . | 60 дней                        | 72 дня.                |
| Въ тепломъ » . . . . .           | 12 »                           | 24 »                   |

Въ извѣстныхъ условіяхъ амміакъ можетъ быть непосредственно использованъ растеніями; такъ мы видимъ, что въ заболоченныхъ

почвахъ нѣтъ условій, благопріятствующихъ переходу амміака въ азотную кислоту, однако же растенія растутъ на нихъ и питаются азотомъ, очевидно, амміачнымъ.

Въ опытахъ Müntz'a при искусственномъ устраненіи возможности перехода амміака въ азотную кислоту <sup>1)</sup> растенія развивались хорошо въ почвѣ; въ песчаныхъ же культурахъ, въ присутствіи сѣрнокислаго амміака тоже самое болѣе рельефно наблюдалось въ опытахъ Коссовича <sup>2)</sup>. Необходимымъ условіемъ успѣха такого опыта является наличность основанія, которое связывало бы сѣрную кислоту, остающуюся въ избыткѣ послѣ использованія растеніемъ амміака: нужно имѣть въ виду, что растеніе требуетъ гораздо больше азота, чѣмъ сѣрной кислоты, поэтому сѣрнокислый аммоній есть соль *физиологически-кислая*. Въ опытахъ Mazé и Коссовича, при соблюденіи стерильности, амміакъ хорошо использовался (*не хуже селитры*) потому, что въ первомъ случаѣ вводился мѣлъ, а во второмъ — гидратъ окиси желѣза въ качествѣ нейтрализующаго вещества; при несоблюденіи этого условія накопляющаяся сѣрная кислота губитъ растеніе; простой пробой на лакмусъ не трудно убѣдиться, что получается очень кислая реакція среды. Этимъ очевидно и объясняются раньше наблюдавшіеся неблагопріятные результаты для солей аммонія въ качествѣ источника азота. Этимъ же объясняется съ другой стороны разнообразіе результатовъ отъ удобренія селитрой и съ амміакомъ въ полевыхъ опытахъ; что обыкновенно амміакъ оказывается хуже селитры, понятно изъ вышеизложеннаго, но иногда онъ оказывается лучше ея; можно думать, что въ этомъ случаѣ азотная кислота (продуктъ нитрификаціи) и сѣрная (оставшаяся свободной) дѣйствуютъ какъ растворители на минеральную часть почвы (между прочимъ фосфаты) и такимъ образомъ къ прямому вліянію присоединяется благопріятное косвенное; если кислотность все-таки въ концѣ концовъ будетъ нейтрализована, то и можетъ получиться лучшій эффектъ отъ амміака, нежели отъ селитры. Неблагопріятныя вліянія, кромѣ избыточной кислотности, могутъ иногда зависѣть отъ обратной причины: если мы вносимъ сѣрнокислый аммоній въ почву состоящую главнымъ образомъ изъ

<sup>1)</sup> Müntz достигалъ этого нагрѣваніемъ почвы до 90°C, при чемъ нитрифицирующіе ферменты гибнутъ, а образованіе амміака, вызываемое болѣе стойкими формами, и послѣ этого не прекращается.

<sup>2)</sup> См. Журналъ Опытной Агрономіи, 1901, стр. 625; въ томъ же томѣ рефератъ работы Mazé оригиналь въ Annales de l'Institut Pasteur, 1900. См. также работу Krüger'a въ Landw. Jahrbücher 1905. (Bd. 34), стр. 760 и Taf. XIII—XVI.



углекислой извести, то прежде чѣмъ наступитъ нитрификація возможно, при сухой погодѣ, образование углекислаго амміака, вызывающаго замѣтную щелочную реакцію, особенно при слабой поглотительной способности почвъ. Поэтому на сухихъ известковыхъ (мѣловыхъ) почвахъ не совѣтуютъ примѣнять соли амміака въ значительныхъ количествахъ.

Хотя переходъ азота изъ формы не окисленной въ окисленную и не является безусловно необходимымъ съ точки зрѣнія общепфизиологической, тѣмъ не менѣе этотъ переходъ считается очень желательнымъ, такъ какъ замедленіе его указываетъ на нежелательныя условія для бактеріальныхъ процессовъ въ почвѣ; кромѣ того при питаніи растеній амміачнымъ азотомъ больше риска отъ неблагопріятныхъ побочныхъ вліяній, чѣмъ при питаніи  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .

Было много попытокъ сравнить дѣйствіе солей амміака и азотной кислоты, какъ удобрительныхъ веществъ и найти цифровое выраженіе ихъ относительному достоинству. Сравниваются, конечно, не равныя количества той и другой соли, а равныя количества азота въ нихъ. По даннымъ Вагнера, если принять эффектъ отъ дѣйствія селитры за 100, то для азота амміака онъ будетъ по опытамъ съ пшеницей 97, въ случаѣ ячменя — 79, для картофеля 82, для моркови 90. У Будрина получилось для пшеницы и овса 90, ржи 80<sup>1)</sup>. Но данныя эти для разныхъ почвъ непостоянны; такъ тотъ же Вагнеръ при опытахъ болѣе позднихъ получилъ коэффициенты колеблющіеся преимущественно около 75%, Clausen же получилъ около 100%.

Кромѣ причины ранѣе названной, вызывающей большей частью эти колебанія (физиологической кислотности сѣрно-кислаго аммонія), разница дѣйствія солей амміака и азотной кислоты зависитъ отчасти отъ распредѣленія удобрительнаго матеріала. Селитру можно распредѣлять болѣе грубо, она распредѣлится далѣе сама вмѣстѣ съ почвенной влагой, амміакъ же, какъ вещество поглощаемое почвой, образуетъ въ ней при внесеніи островки большей концентрации, что обуславливаетъ неравномѣрность дѣйствія удобрения. Затѣмъ быть можетъ не лишено значенія, что амміакъ охотнѣе потребляется грибами и бактеріями почвы, нежели селитра, быть можетъ это иногда понижаетъ нѣсколько размѣръ дѣйствія амміачныхъ солей. Насколько относительное достоинство этого удобрения зависитъ отъ почвы, показываетъ слѣдующій примѣръ: на торфянистой почвѣ сѣрнокислый амміакъ далъ въ опытахъ Вагнера только 28% эффекта, сравни-

<sup>1)</sup> См. его книгу: „Искусственные удобрения“ etc., Варшава 1888 г.

тельно съ азотомъ селитры; явленіе это видимо зависѣло отъ того, что сѣрнокислый амміакъ есть соль физиологически кислая и по мѣрѣ усвоенія  $\text{NH}_4$  освобождающаяся кислота не связывается въ торфянистыхъ почвахъ основаніями (за ихъ отсутствіемъ) и тѣмъ увеличиваетъ кислотность торфянистыхъ почвъ, которая угнетающимъ образомъ дѣйствуетъ на растенія. Дѣйствительно, у Вагнера при внесеніи въ такую почву извести амміакъ далъ до 90% отъ дѣйствія N селитры.

Отсюда видно, что сѣрнокислый аммоній, будучи на почвахъ нормальныхъ удобреніемъ близкимъ по дѣйствію къ селитрѣ, на почвахъ песчаныхъ и торфяныхъ сильно ей уступаетъ, а даже иногда можетъ оказать отрицательное дѣйствіе.

На десятину употребляется при разбросномъ посѣвѣ 12 пуд. и болѣе сѣрнокислаго амміака, смотря по роду растенія, почвы и по соображеніямъ экономическимъ. Лучше амміачное удобреніе запахивать, такъ же какъ и селитру, для болѣе равномѣрнаго распредѣленія и болѣе вѣрнаго дѣйствія.

У насъ конечно представляли бы и извѣстный интересъ опыты рядового удобренія сѣрнокислымъ амміакомъ, въ меньшихъ дозахъ (быть можетъ въ комбинаціяхъ съ костью, фосфоритомъ), если бы благодаря существующей пошлинѣ (82 к. съ пуда) сѣрнокислый аммоній не былъ поставленъ въ условія еще худшія чѣмъ селитра и потому, можно сказать, пока совершенно исключенъ (для большинства случаевъ) изъ числа удобрительныхъ веществъ доступныхъ для нашего хозяйства.

#### 4. Отложенія и отбросы органическаго происхожденія.

*Гуано.* Гуано представляетъ удобреніе, содержащее вмѣстѣ съ азотомъ и фосфорную кислоту. Оно представляетъ скопленіе изверженій морскихъ птицъ, подобныя тѣмъ, какія образуются въ наше время, если изверженія птицъ защищены отъ дѣйствія дождя, напр., подъ крышами. Гуано образовалось въ южныхъ странахъ, на берегахъ и островахъ южной Америки, гдѣ дожди бываютъ очень рѣдки и гдѣ крыша поэтому была не нужна. Морскія птицы, изъ экскрементовъ которыхъ образовалось гуано, питаются преимущественно рыбой и, отличаясь прожорливостью, откладываютъ массу экскрементовъ. Считаютъ приблизительно, что населеніе въ 600.000 морскихъ птицъ могло за 5.000 лѣтъ отложить наблюдавшуюся въ Перу толщу гуано.

Пища этихъ птицъ богата азотомъ и фосфоромъ; еще въ большей мѣрѣ это относится и къ ихъ экскрементамъ, такъ какъ послѣ окисленія органическаго вещества переваримой части въ организмъ при

процессъ дыханія на воздухъ выделяются только  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  (но не N и P, цѣликомъ переходящіе въ выдѣленія); поэтому всегда экскременты относительно богаче азотомъ и золой, чѣмъ пища. Къ экскрементамъ птицъ отчасти примѣшиваются перья, кости, и другія постоянныя вещества.

Впервые гуано стало употребляться въ Европѣ только въ этомъ столѣтіи, но на мѣстахъ нахожденія примѣнялось туземцами издавна. Первые партіи его отличались большимъ содержаніемъ азота, чѣмъ послѣдующіе, такъ какъ эксплуатацію начали съ болѣе цѣнныхъ залежей (Перу), а по ихъ истощеніи перешли къ видамъ гуано менѣе богатымъ азотомъ. Перуанское гуано, очень рѣдко подвергалось дѣйствію дождей; другіе же виды, напр. Джервисъ, Бакеръ-гуано, подвергались значительному дѣйствію дождей, причемъ органическое вещество разлагалось, азотъ улетучивался въ видѣ  $\text{NH}_3$  и вымывался, а фосфорная кислота, связанная съ Са, оставалась на мѣстѣ, такъ что гуано, смачиваемое дождями, становится все болѣе и болѣе относительно богатымъ фосфорнокислой известью.

Азотъ въ экскрементахъ птицъ главнымъ образомъ находится въ формѣ мочевої кислоты. Мочевая кислота въ гуано болѣе или менѣе разложилась съ образованіемъ амміака и щавелевой кислоты, поэтому содержаніе въ гуано мочевої кислоты и щавелевой кислоты съ амміакомъ находится въ обратной зависимости. Вообще, содержаніе азота въ различныхъ сортахъ гуано колеблется въ значительныхъ предѣлахъ—отъ 4 до 20%. Примѣрный составъ гуано, неподвергавшагося выщелачиванію дождями (старого перуанскаго), таковъ:

Азота . . . . . 15.3%.  
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  . . . . . 25.0% (или около 12%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).  
 Органическаго вещества 50—60%.

Современное же гуано, изъ залежей подвергавшихся вліянію дождей, содержитъ:

Азота . . . . . 7—8% (или еще менѣе).  
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  . . . . . 20—40% (или 10—20  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и болѣе.

Благодаря тому, что гуано содержитъ азотъ въ формѣ легко и постепенно переходящей въ амміакъ и азотнокислыя соли, это удобреніе не повышаетъ концентраціи раствора, и въ этомъ смыслѣ имѣетъ нѣкоторыя преимущества передъ селитрой (не говоря о содержаніи  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

На рынкахъ З. Европы обращается еще такъ называемое *рыбное гуано*, которое представляетъ высушенные и измельченные остатки рыбъ. Иногда, какъ мѣстами въ Англіи (Суссексъ), специально для

этого ловятъ массами мелкую рыбу, сушатъ, толкутъ и употребляютъ для удобрения; тоже въ большихъ размѣрахъ издавна дѣлается въ Японіи. Чаше же пользуются отбросами рыбнаго промысла, напр., остатками отъ приготовленія сардинокъ (головки, внутренности); во Франціи существуютъ заводы, гдѣ на отбросы рыбнаго промысла дѣйствуютъ паромъ подъ давленіемъ, чтобы удалить жиръ; затѣмъ эти отбросы отжимаются и полученные лепешки размалываются и сушатся. Нерѣдко съ той же цѣлью употребляются отбросы китобойнаго промысла послѣ выварки изъ нихъ жира; а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Западной Европы на гуано употребляются даже ракообразныя.

Перечисленные виды гуано содержатъ кромѣ азота и фосфорную кислоту; въ среднемъ азота содержится отъ 7 до 8%, а количество фосфорной кислоты тѣмъ болѣе, чѣмъ больше было костей въ гуано.

Близко къ описываемой группѣ удобрений стоитъ *пометъ домашнихъ птицъ*. Еще древніе придавали большое значеніе голубиному помету и употребляли его на удобреніе. Пометъ этотъ содержитъ въ сухомъ веществѣ 5—6% азота и до 7—14% фосфорнокислой извести. Экскременты разныхъ домашнихъ птицъ не одинаковы по составу: гуси и утки, напр., даютъ продукты наиболѣе водянистые, содержаніе до 75% воды и отъ  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{3}{4}$ % азота.

Насколько составъ этого рода удобрений зависитъ отъ происхожденія и храненія (примѣси песку, земли, содержанія воды), показываютъ подробнѣе слѣдующіе анализы.

|                                  | Г о л у б и. |      |      | К у р ы. |      | Утки. | Гуси. |
|----------------------------------|--------------|------|------|----------|------|-------|-------|
|                                  | 1.           | 2.   | 3.   | 1.       | 2.   |       |       |
| Воды . . . . .                   | 22,4         | 45,7 | 58,0 | 61,0     | 60,9 | 46,6  | 77,0  |
| Песку . . . . .                  | 20,8         | 28,7 | 7,0  | 7,0      | 6,7  | 10,7  | 5,6   |
| N . . . . .                      | 5,0          | 1,4  | 2,0  | 0,7      | 0,6  | 0,7   | 0,5   |
| $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . . | 1,8          | 1,1  | 1,2  | 2,0      | 2,0  | 1,5   | 0,4   |
| Органич. вещ. .                  | 49,0         | 20,1 | 26,0 | 29,3     | 29,8 | 40,5  | 16,5  |

Кромѣ того, составъ изверженій зависитъ, конечно, отъ рода пищи, получаемой птицами.

Если эти матерьялы получаютъ въ небольшомъ количествѣ, то ихъ обыкновенно примѣшиваютъ къ компосту. При употребленіи въ отдѣльности, нужно заботиться о хорошемъ измельченіи матерьяла, для обезпеченія возможности равномернаго распредѣленія, иначе растенія на мѣстахъ переудобренныхъ могутъ выгорать. На десятину кладутъ отъ 40 до 100 и болѣе пудовъ (смотря по составу), имѣя въ виду значительную усвояемость N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  въ этихъ удобренияхъ.

Ученіе объ удобреніи.



Иногда считают возможным применять эти материалы и в качестве поверхностного удобрения; но этот способ связан с вероятностью потерь азота, с понижением коэффициента использования (особенно в связи с погодой, напр. с отсутствием дождей после распределения удобрения); поэтому предпочитают запахивать, при чем важно позаботиться о равномерном распределении.

Как азотистые удобрения употребляются различного рода отбросы животного происхождения, в особенно значительных количествах доставляемые бойнями больших городов в виде костей, крови, нерядко целых туш. Напр., в Париже по Мюнцу получается около 500,000 пуд. сырой крови, в Москве свыше 300,000 пуд.

Обыкновенно кровь перед употреблением сушится, редко (при получении в небольших количествах) употребляется в дело прямо; тогда ее разводят водой и поливают ею почву или же навозные и компостные кучи.

При сушке крови, в тех местах где имеются альбуминные заводы, альбумин выделяется из кровяной сыворотки, как таковой, сгусток же идет на приготовление кровяной муки. Если же получение альбумина не имеется в виду, то кровь целиком нагревается водяным паром, причем белки свертываясь оседают; жидкости (бедной азотом) дают стечь, остающаяся масса сушится, перемалывается и идет в продажу под названием *кровяной муки*. При небольших количествах крови ее можно сушить на воздухе, прибавляя по весу 2—3% CaO с целью создать щелочную среду и тем предохранить массу от гниения. С той же целью прибавляют и другие вещества, напр.  $Fe_2(SO_4)_3$  (обыкновенно берут смесь  $FeSO_4$  с  $H_2SO_4$  и  $NaNO_3$ ); образующиеся при этом сгустки отделяются лопатой и высушиваются без риска загнивания. Смотря по чистоте продукта, в кровяной муке получается около 12% азота и около 0,5—1% фосфорной кислоты. Выход сухой крови обычно близок к  $\frac{1}{4}$  от веса сырой.

Иногда для целей удобрения употребляется не только кровь, но и мясо, напр., полученное от животных больных или по другим причинам не идущих в пищу (мясо лошадей), обыкновенно такое мясо после выварки сушится и размалывается. В некоторых местностях (Южная Америка, Австралия), где скот дешев, в больших размерах было возможно приготовление мясной муки, частью непосредственно, частью в качестве побочного продукта при приготовлении либиховского бульона. Мясная мука, ввозимая в Европу, частью используется в целях кормления, частью (в слу-

чае порчи) в целях удобрения (иногда смесь таких мясных отбросов, костей, сухожилий обозначается именем гуано Fray-Bentos).

Вещества, образующие рога, копыта, также употребляются как азотистое удобрение. Для этой цели служат обычно остатки от производства различных изделий из рога (гребней, пуговиц). Чистый рог богат азотом: он содержит до 17—18% азота, но роговые отбросы сильно загрязняются землей, пылью, костями, вследствие чего содержание азота понижается до 12%. Рог трудно поддается изменению и разложению, поэтому для целей удобрения его иногда обрабатывают паром под давлением, при чем получается стекловидная легко размалываемая масса с значительной растворимостью; или же рог подогревают (поджаривают), причем он вспучивается, рыхлится и в таком состоянии легко размалывается. Если нагревать рог не выше той температуры, при которой идут указанные процессы, но не наступать еще обугливания, то потеря азота бывает незначительна; даже бывает заметно некоторое повышение % содержания азота, вследствие разрушения части органического вещества.

Обрзки кожи, будучи измельчены, под именем *кожаной муки* также поступают в продажу, как удобрение; но эти материалы трудно разлагаются, в особенности дубленая кожа; кроме того, в них содержится не так много азота (7—8%). Точно также шерстяные отбросы медленно разлагаются в необработанном состоянии. При нагревании с щелочами или при действии пара при 5 или 6 атмосферах давления получается из этих материалов масса довольно растворимая и гораздо легче разлагающаяся в почве.

Рога, копыта, шерсть, перья, благодаря тому, что они трудно перегнивают, в целях удобрения подвергаются иногда также химической переработке. Для этого пользуются или действием жидких щелочей, или серной кислоты, при этом серная кислота после переведения азотистых веществ в раствор обычно нейтрализуется костяной мукой или минеральными фосфатами. По предложению Э. Жирара для утилизации туш павших животных в целях удобрения при одновременной дезинфекции поступают таким образом. Туши кладут в деревянные обложенные свинцом ящики и обливаются крепкой серной кислотой в достаточном количестве. Через сутки приблизительно туша растворяется и тогда вводят новую. Кислота может переработать массу, равную  $\frac{3}{4}$  своего веса; дальнейшее действие ее будет не энергично, вследствие разжижения;





условіях — при большомъ количествѣ азотистыхъ веществъ — имѣть коэффициентъ использованія даже больше 100 по сравненію

— Пользуясь вышеприведенными коэффициентами использованія азота различныхъ удобительныхъ веществъ для азотистыхъ веществъ —

выхъ на зеленое удобрение мы и будемъ имѣть главнымъ образомъ въ виду, попутно лишь касаясь растений другихъ семействъ.

Кромѣ обогащенія почвы азотомъ на счетъ атмосферы можно отмѣтить слѣдующія послѣдствія этого приема:

1) Почва обогащается органическими веществами, столь важнымъ факторомъ въ дѣлѣ улучшенія физическихъ свойствъ ея (влагоемкость, прочность строенія).

2) При извѣстномъ выборѣ растений (напр. люпинъ) происходитъ переведеніе питательныхъ веществъ изъ соединений мало растворимыхъ въ формы болѣе доступныя для культурныхъ растений, не обладающихъ значительной усвояющей способностью корней (какъ напр. зерновые хлѣба); можетъ происходить затѣмъ перемѣщеніе питательныхъ веществъ изъ глубокихъ слоевъ въ верхній почвенный слой, корни запахиваемаго растения черпали пищу изъ подпочвы.

3) Для влажныхъ климатовъ можетъ быть не лишено значенія то обстоятельство, что занимающія паровое поле растения, улавливая нитраты, предохраняютъ ихъ отъ вымыванія обильными осадками.

4) Густо высѣваемая и скоро развивающаяся зеленая масса должна подавлять сорныя травы.

5) Но зеленое удобрение расходуетъ значительныя количества влаги (на 1 единицу сухаго вещества 300 и болѣе единицъ воды), что въ сухихъ климатахъ можетъ играть рѣшающую роль при оцѣнкѣ этого приема (по крайней мѣрѣ при удобреніи озимыхъ).

При выборѣ растений важно обратить вниманіе на ихъ соотвѣтствіе съ климатомъ данной мѣстности, способность мириться съ малоплодородной почвой, глубину распространенія корней, на количество и составъ доставляемой растительной массы (% бѣлковъ), ея способность легко разлагаться, а также на длину вегетаціоннаго періода (чѣмъ короче, тѣмъ лучше), наконецъ, на стоимость обѣмненія десятины<sup>1)</sup>.

Интересно, что практика прежняго времени отмѣтила въ качествѣ растений, подходящихъ для зеленого удобрения какъ разъ такіа, которыя по позднѣйшимъ опытамъ оказываются обладающими значительной растворяющей способностью корней, какъ люпинъ изъ бобовыхъ, гречиха, горчица, сурѣпка, шпегель изъ другихъ семействъ. Изъ бобовыхъ также часто прибѣгаютъ къ вику, какъ растенію скоро развивающемуся, инкарнатному клеверу, иногда даже красному кле-

<sup>1)</sup> Попытка сопоставленія растений въ этихъ отношеніяхъ сдѣлана въ „Настольной книгѣ для русскихъ сельскихъ хозяевъ“, сост. Стебутомъ, Фадѣевымъ, Людоговскимъ и Чернопатовымъ, стр. 559. (Москва 1875).

веру (напр., второй укосъ, если онъ не можетъ быть использованъ на кормъ); но люпины являются растеніемъ, предназначаемымъ для данной цѣли по преимуществу, какъ по особенностямъ сильно развитой корневой системы, позволяющей имъ расти на малоплодородныхъ песчаныхъ почвахъ, по количеству богатой бѣлками зеленой массы, такъ и по неудобствамъ скормливанія.

При посѣвѣ растений на зеленое удобрение сѣмена высѣваются густо, чтобы всходы посѣянныхъ растений глушили сорныя травы. Передъ цвѣтеніемъ или въ самомъ цвѣту растения или скашиваются и запахиваются, или передъ запахиваніемъ прикатываются катками по направленію движенія плуга. Считаютъ, что запашка растений должна производиться именно во время цвѣтенія, когда азотистыя вещества въ растеніяхъ находятся въ формѣ наиболѣе доступной для разложенія; но накопленіе азота продолжается до начала созрѣванія плодовъ, такъ-что если зеленое удобрение назначается подъ яровое, то лучше не очень сѣшить съ задѣлкой его. Вообще это правило о запашкѣ растений, предназначенныхъ на зеленое удобрение, въ періодъ цвѣтенія, слѣдовало бы подвергнуть болѣе тщательной экспериментальной провѣркѣ, такъ какъ отдѣльные случаи указываютъ на большія преимущества поздней запашки; напр. урожай ржи равнялся (центнеры по 6 пудовъ):

| Зеленое удобрение изъ: |          | желтаго | бѣлаго | сиваго<br>люпина. |
|------------------------|----------|---------|--------|-------------------|
| Время запашки          | 31 іюля  | 10,8    | 13,0   | 18,4 цент.        |
|                        | 28 сент. | 25,0    | 28,2   | 28,0 »            |

Конечно, этотъ опытъ относится къ условіямъ Германіи, гдѣ возможенъ поздній посѣвъ озимой ржи, затѣмъ онъ произведенъ былъ на легкой песчаной почвѣ при внесеніи калийнаго и фосфорнокислаго удобрения на всѣхъ участкахъ, такъ что азотъ былъ поставленъ въ рѣзко выраженное положеніе минимальнаго фактора<sup>1)</sup>.

Костычевъ высказалъ нѣкоторыя соображенія, почему важно растенія запахивать именно свѣжими, живыми. Живая растительная масса при запахиваніи разрушаетъ свои бѣлки, образуя амидосоединенія (какъ всегда растенія, лишенные свѣта); это обстоятельство съ точки зрѣнія Костычева является важнымъ, какъ облегчающее переходъ азота въ форму усвояемую для растений; при запахиваньи же мертвой растительной массы для полученія этихъ продуктовъ надо ждать еще дѣйствія микроорганизмовъ. Провѣрки этихъ предположе-

<sup>1)</sup> Biedermann's Centralblatt 1901, I.



ний путем опыта въ большихъ размѣрахъ не было сдѣлано, но нѣкоторые опыты, сдѣланные у насъ (въ сосудахъ), говорятъ за то, что значительной разницы между дѣйствіемъ высушенной и невысушенной зеленой массы, запаханной въ почву, не оказывается <sup>1)</sup>. Такъ, урожаи яровой ржи на черноземѣ послѣ внесенія люцерны были слѣдующіе:

|                                | Общая масса. | Зерно.        |
|--------------------------------|--------------|---------------|
| Удобрено свѣжей люцерной . . . | 23,8—24,2    | 10,5—10,9 гр. |
| » высушенной . . . . .         | 11,5—24,9    | 10,0—10,9 »   |
| » безъ азота . . . . .         | 3,4 гр.      | 1,5 гр.       |

Эффектъ зеленого удобрения складывается изъ вышеуказанныхъ вліяній его на почву. Въ черноземной полосѣ зеленое удобрение можетъ давать даже отрицательные результаты, какъ это имѣло мѣсто, напр., на Херсонскомъ опытномъ полѣ: если въ сухое лѣто послѣ скашивания и запахиванія растительной массы высѣвается хлѣбъ (озимый), то почва является изсушенной и растенія страдаютъ. Если послѣ заделки растительной массы выпадаетъ хорошій дождь, то, конечно, и здѣсь могутъ быть хорошіе результаты, но приходится разсчитывать на среднія метеорологическія условія данной мѣстности.

Но и помимо этого изсушенія почвы, есть еще одно обстоятельство, дѣлающее зеленое удобрение для черноземной Россіи пріемомъ сомнительнаго значенія, это тотъ все чаще констатируемый фактъ, что черноземныя почвы при нормальной обработкѣ обычно не нуждаются въ азотѣ (или потребность въ немъ стоитъ не на первомъ планѣ); въ этихъ условіяхъ отпадаетъ главная положительная сторона и проявляются лишь отрицательныя стороны зеленого удобрения (расходъ влаги, переходъ питательныхъ веществъ изъ формы легко доступной въ связанную съ органическимъ веществомъ), какъ это констатировано напр. въ опытахъ С. Л. Франкфурта <sup>2)</sup> съ зеленымъ удобрениемъ подъ свеклу:

|                             | 1903 г. | 1904 г. | 1905 г. |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Безъ удобрения . . . . .    | 1566 п. | 1334 п. | 1783 п. |
| Зеленое удобрение . . . . . | 1530 »  | 1260 »  | 1658 »  |
| Навозъ . . . . .            | 1689 »  | 1572 »  | 2111 »  |

<sup>1)</sup> См. Извѣстія „Сельск.-Хоз. Инст.“ за 1901 годъ, „О зеленомъ удобрении“, работа А. Л. Яковлева.

<sup>2)</sup> „Сѣтъ опытныхъ полей“, Краткіе результаты 1902—1905.

Близкіе результаты получены Б. Н. Рожевскимъ <sup>1)</sup>:

|                                  | Безъ удобрения. | Зеленое удобрение. |         |         |          |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|---------|---------|----------|
|                                  |                 | Бобы.              | Горохъ. | Люпинъ. | Горчица. |
| Урожай свеклы<br>(въ берковцахъ) | 179             | 166                | 168     | 182     | 168      |

Если для черноземной Россіи приходится считаться съ фактомъ изсушенія почвъ при зеленомъ удобрении, то это не является столь же необходимымъ для сѣверной и сѣверо-западной Россіи въ виду сравнительной влажности климата ихъ. Съ другой стороны и на югѣ, тамъ, гдѣ культура ведется при орошеніи и гдѣ климатъ благоприятствуетъ полученію двухъ жатвъ въ одинъ годъ (Закавказье, Туркестанъ), примѣненіе зеленого удобрения возможно въ широкихъ размѣрахъ.

Въ качествѣ примѣра успѣшнаго примѣненія зеленого удобрения въ нечерноземной полосѣ возьмемъ случай изъ опытовъ проф. Будрина въ Новой-Александріи <sup>2)</sup>:

|                          | Безъ удобренія. | Люпинъ            |      | Горчица. |
|--------------------------|-----------------|-------------------|------|----------|
|                          |                 | въ цвѣту, зрѣлый. |      |          |
| Урожай оз. пшеницы . . . | 43,6 п.         | 74,4              | 72,1 | 40,6 п.  |

Затѣмъ, потеря влаги изъ почвы при посѣвѣ по зеленому удобрению если и чувствительна для озимыхъ, то въ гораздо меньшей мѣрѣ тоже относится къ яровымъ, такъ какъ за зиму въ большинствѣ случаевъ почва успѣетъ запасти влагу. При удобрении подъ яровыя возможно примѣненіе зеленого удобрения и не въ паровомъ полѣ: такъ, возможно разводить растенія на зеленое удобрение, подставляя ихъ подъ главное растеніе, тогда развитіе падаетъ главнымъ образомъ на время послѣ уборки хлѣбовъ и заделка—на осень; иногда возможна пожнивная культура растеній на зеленое удобрение, т.-е. посѣвъ ихъ тотчасъ послѣ уборки хлѣбовъ и заделка опять осенью же, если конечно лѣто не слишкомъ сухо для посѣва и осень не коротка для развитія растенія. Если же условія не столь благоприятны, приходится зеленымъ удобрениемъ занимать поле, какъ главной культурой. Наиболѣе шансовъ на примѣненіе зеленого удобрения въ климатѣ болѣе суровомъ имѣется повидимому тогда, тогда яровому предшествуетъ паръ (какъ это напр. имѣетъ мѣсто во многихъ районахъ Сибири). Наконецъ, возможенъ посѣвъ озимой вики и инкар-

<sup>1)</sup> Труды Ивановской оп. станціи (им. Харитоненко), вып. 2-й.

<sup>2)</sup> См. его книгу *Частное земледѣліе*, стр. 262.

натного клевера (последнее только при мягких зимах) осенью и задѣлка—весной, до посѣва яровыхъ.

Что касается количествъ азота, каковыя вносятся въ почву съ зеленымъ удобреніемъ, то здѣсь возможны лишь приблизительные расчеты, такъ какъ бобовыя растенія, используя азотъ атмосферы, не отказываются пользоваться и азотомъ почвы. Въ опытахъ Вагнера люпины при удачной культурѣ давали въ надземныхъ органахъ 6—10 пуд. азота на десятина (при 2—3000 п. зеленой массы или 250—400 п. сухого вещ.). Дѣлая допущеніе (довольно, впрочемъ, произвольное), что изъ почвы взято не больше азота, чѣмъ его заключается въ корневой системѣ, приходимъ къ выводу, что зеленое удобреніе въ удачномъ случаѣ можетъ замѣнять по количеству азота 18 пуд. селитры и болѣе.

Въ вышеупомянутыхъ опытахъ А. Л. Яковлева въ органической массѣ съ одной десятины содержались такія количества азота:

|                                  |         |                   |        |
|----------------------------------|---------|-------------------|--------|
| Конскіе бобы. . . . .            | 16,4 п. | Гречиха . . . . . | 5,1 п. |
| Вика съ овсомъ. . . . .          | 12,6 »  | Рапсъ . . . . .   | 4,0 »  |
| Инкарнатный клеверъ . . . . .    | 10,3 »  | Шпегель . . . . . | 2,5 »  |
| Люпинъ (плохо развив.) . . . . . | 5,9 »   |                   |        |

Если въ этомъ опытѣ разницу между бобовыми и не бобовыми принять за приблизительное мѣрило накопленія азота первыми, то и эта величина окажется весьма значительной.

Насколько важно брать именно бобовыя (не рассчитывая, что не бобовыя будутъ все-таки полезны накопленіемъ органической массы), показываетъ слѣдующій опытъ Вагнера: сосуды, наполненные песчаной почвой, съ осени были засѣяны разными растеніями на зеленое удобреніе, весной же посѣянъ овесъ, причемъ во всѣхъ сосудахъ находилось достаточное количество кали и фосфорной кислоты, въ минимумѣ же находился азотъ; вотъ результаты:

|                          | Количество внесеннаго азота. | Урожай. |
|--------------------------|------------------------------|---------|
| Безъ удобренія . . . . . | 0                            | 89 гр.  |
| Гречиха . . . . .        | 0,270                        | 49,2    |
| Горчица . . . . .        | 0,123                        | 65,4    |
| Сераделла . . . . .      | 0,914                        | 142,5   |
| Люпинъ . . . . .         | 2,077                        | 276,0   |
| Горохъ . . . . .         | 3,087                        | 366,7   |
| Вика . . . . .           | 2,641                        | 343,6   |
| Селитра . . . . .        | 1,5 гр. N                    | 323,5   |

Такимъ образомъ бобовыя повысили урожай, давъ почвѣ больше азота, чѣмъ его было во внесенной селитрѣ; гречиха же и горчица понизили урожай противъ удобреннаго сосуда, очевидно потому, что азотъ нитратовъ перешелъ въ органическое вещество.

Часто указываютъ, что если посѣянные растенія использовать какъ кормъ для скота и полученный навозъ употребить на удобреніе, то азотъ для почвы не потеряется, а между тѣмъ будетъ достигнута двойная цѣль: удобреніе съ одной стороны и кормъ для животныхъ—съ другой.

Но все же это большей частью справедливое соображеніе вѣрно не для всѣхъ условій; а именно, возможно, что потребность въ удобреніи превышаетъ то количество навоза, которое доставляется скотомъ, а увеличить количество скота мѣшаютъ соображенія экономическія; затѣмъ, на участкахъ отдаленныхъ вывозка навоза можетъ быть невыгодной и приходится подумать о производствѣ удобренія на мѣстѣ (въ формѣ зеленого удобренія). Наконецъ, не всѣ растенія воздѣлываемыя на зеленое удобреніе являются хорошимъ кормомъ; не является таковымъ, напримѣръ, люпинъ, незамѣнимый на нѣкоторыхъ почвахъ по своей способности использовать мало-доступные источники минеральной пищи и накапливать значительныя количества азота органическаго вещества <sup>1)</sup>. Во всякомъ случаѣ вопросъ о примѣненіи зеленого удобренія рѣшается лишь въ тѣсной связи съ мѣстными условіями для каждаго отдѣльнаго случая.

Въ исторіи нѣкоторыхъ хозяйствъ зеленое удобреніе играло видную роль; напр. у Шульца въ Люпицѣ (Германія) на бѣдныхъ песчаныхъ почвахъ не удавалось вести хозяйства, пока не ввели зеленое удобреніе, въ качествѣ котораго употребляли люпины (внося лишь калийныя и фосфорнокислыя удобренія). Благодаря зеленому удобренію урожай въ имѣніи поднялся высоко и стало возможнымъ культивировать на песчаныхъ почвахъ отчасти даже пшеницу, о чемъ ранѣе нельзя было и думать; преобладающими же растеніями въ этихъ условіяхъ являются рожь и картофель.

Нужно думать, что коэффициентъ использованія азота зеленого удобренія, при прочихъ равныхъ условіяхъ, зависитъ еще и отъ рода

<sup>1)</sup> Объ отношеніи люпина къ трудно доступнымъ источникамъ фосфорной кислоты будетъ рѣчь ниже, въ главѣ о фосфорнокислыхъ удобреніяхъ; о культурѣ люпина вообще говорится подробнѣе въ курсѣ частнаго земледѣлія.



растения. Вотъ данныя одного опыта (во всѣхъ случаяхъ количества азота равны и принята усвояемость азота селитры за 100).

|                            |    |                           |    |
|----------------------------|----|---------------------------|----|
| Lathyrus Wagneri . . . . . | 87 | Горохъ . . . . .          | 56 |
| Эспарцетъ . . . . .        | 80 | Красный клеверъ . . . . . | 31 |
| Синій люпинъ . . . . .     | 87 | Бѣлый » . . . . .         | 29 |
| Желтый » . . . . .         | 49 | Люцерна . . . . .         | 27 |

Эти коэффициенты не являются постоянными и измѣняются отъ различныхъ факторовъ; у тѣхъ же авторовъ при повтореніи опыта на другой годъ растения размѣстились уже въ иномъ порядкѣ. Во всякомъ случаѣ эти цифры показываютъ, какія колебанія возможны въ этомъ отношеніи. Вообще же говоря, азотъ зеленого удобрения используется довольно хорошо: не разъ наблюдалось (въ нашихъ культурахъ), что при внесеніи двойного количества азота въ формѣ зеленого удобрения по сравненію съ селитрянымъ эффектъ получался болѣе, чѣмъ при удобреніи селитрой, значитъ, коэффициентъ использования былъ выше 50%; можно принять его равнымъ 70% для очень многихъ случаевъ.

Совмѣстно съ ранѣе описанными специальными азотистыми удобрениями могутъ быть рассмотрѣны удобрения *бактеріальныя* (хотя ихъ можно разсматривать и какъ косвеннодѣйствующія). Исторія этихъ удобреній такова. Было замѣчено, что на почвахъ впервые поступающихъ подъ культуру, каковы осушенные торфяники, бобовыя растения развиваются плохо и клубеньки у нихъ отсутствуютъ; это зависитъ отъ отсутствія въ такихъ почвахъ соответственныхъ бактерій. Бактеріи эти (помимо свойствъ самой среды) отсутствуютъ потому, что на кислыхъ почвахъ не встрѣчаются обыкновенно и дикорастущія бобовыя. Послѣ измѣненія свойствъ среды (осушкой и другими мѣрами) бобовыя рости уже могутъ, но за отсутствіемъ бактерій не пользуются атмосфернымъ азотомъ.

Во избѣжаніе этого Saalfeld предложилъ заражать такія почвы, внося въ нихъ нѣкоторое количество почвы, завѣдомо содержащей клубеньковыя бактеріи. Результаты такого зараженія нерѣдко были положительными.

Исслѣдованія Nobbe и Hiltner'a показали, что въ клубенькахъ разныхъ бобовыхъ развиваются и разныя бактеріи. При зараженіи одного и того же растения бактеріями, живущими на разныхъ видахъ растений, эффектъ получался разный: чѣмъ ближе стоятъ растения въ ботанической системѣ другъ къ другу, тѣмъ и бактеріи ихъ болѣе

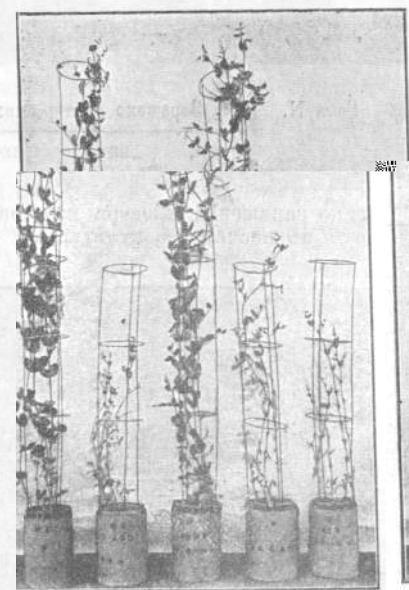
сходны по дѣйствію. Вотъ опытъ съ *Robinia Pseudoacacia*: при зараженіи подъ нее почвы бактеріями:

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Гороха урожай былъ . . . . . | 1,56 gr. |
| Люпиновъ » . . . . .         | 1,63 »   |
| Гледичи » . . . . .          | 3,45 »   |
| Robini'i » . . . . .         | 3,70 »   |
| Cytisus'a » . . . . .        | 2,76 »   |

Хотя мы не въ состояніи утверждать что это—разные виды бактерій (у разныхъ растений), такъ какъ не констатировано морфологическихъ различій между ними, но несомнѣнно, что существуютъ нѣсколько разновидностей или быть можетъ расъ этихъ бактерій <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Въ одной изъ позднѣйшихъ работъ Hiltner предлагаетъ различать двѣ группы бактерій, раздѣленныхъ между собой болѣе рѣзко, но внутри этихъ группъ способныхъ до извѣстной степени вырабатывать формы

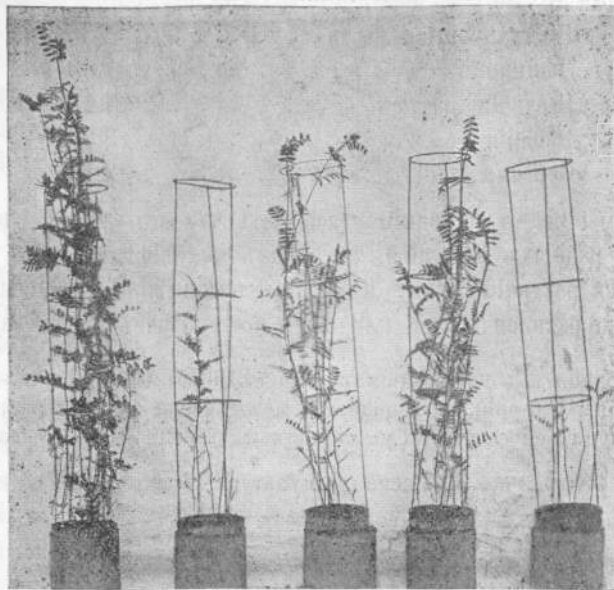
Рис. 26. Песчаная культура гороха 1907.



Селитра. Безъ N. Заражено бактеріями гороха. люпина.

приспособленныя не только къ одному хозяину; къ одной группѣ относятся бактеріи: *Pisum*, *Vicia*, *Lathyrus*, *Trifolium*, *Medicago*, *Anthyllis*, *Onobrychis*, *Robinia*, къ другой же: *Lupinus*, *Ornithopus*, *Soja* (*Genista*, *Sarothamnus*?). Прилагаемые снимки (рис. 26, 27 и 28) относятся къ нашимъ культурамъ 1907 года, давшимъ ту же картину, что и въ опытахъ Ноббе.

Рис. 27-й. Опыты съ зараженіемъ вики.



Нормаль-  
ная. Безъ N.

Заражено бактеріями:  
почвы, воды, воздуха



Послѣ этихъ работъ предложено было, для полученія опредѣлен-  
ныхъ результатовъ, заражать почву чистыми культурами именно тѣхъ  
бактерій, какія обитаютъ въ клубенькахъ подлежащаго воздѣлыванью  
бобового. Эти болѣе или менѣе чистыя культуры бактерій на желатинѣ  
нашли примѣненіе въ практикѣ подѣ именемъ „нитрагина“. Результаты  
примѣненія его часто были очень удовлетворительны. Дитрихъ, на-  
примѣръ, наблюдалъ однажды, что если люпинъ безъ нитрагина далъ  
урожая = 100, то урожай при удобреніи нитрагиномъ былъ равенъ 165.

Но были и неудачи при употребленіи нитрагина въ полѣ — ника-  
кого эффекта отъ него не получалось. Явленіе это объясняется тѣмъ,  
что замѣтное дѣйствіе нитрагинъ можетъ обнаружить лишь тогда,  
когда въ заражаемой почвѣ нѣтъ или очень мало такихъ бактерій,  
какія содержатся въ примѣняемомъ нитрагинѣ и нужны для даннаго  
бобового. Такъ внесеніе нитрагина подѣ клеверъ часто не произво-  
дило замѣтнаго эффекта, такъ какъ очевидно вносимый факторъ не  
находится въ минимумѣ, если на данной почвѣ и раньше росъ  
клеверъ.

На почвахъ заболоченныхъ (вообще, лишенныхъ клубеньковыхъ  
бактерій) отъ внесенія нитрагина нужно чаще ожидать замѣтнаго  
эффекта, если, конечно избытокъ влаги удаленъ и кислоты почвы



многіе изъ опытовъ по примѣненію нитрагина легко могли оказаться безрезультатными. Въ Россіи опыты съ нитрагиномъ Ноббе и Гильтнера произведены были проф. Коссовичемъ <sup>1)</sup> въ Лѣсномъ Институтѣ; результатъ оказался какъ и слѣдовало ожидать для разныхъ почвъ весьма различенъ, напр. для гороха:

|                                |                                 | Безъ нитрагина. | съ нитрагиномъ. |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| Подзолъ }<br>Смоленск. г. }    | урожай . . . . .                | 36,9            | 57,1 гр.        |
|                                | количество клубеньковъ. . . . . | нѣтъ            | много           |
| Черноземъ }<br>Саратовск. г. } | урожай . . . . .                | 81,8            | 80,1            |
|                                | колич. клубеньковъ. . . . .     | много           | много           |

Кромѣ подзола благоприятное вліяніе получило на песчаной почвѣ при зараженіи люцерны, на одной изъ торфяныхъ почвъ при зараженіи вики.

Позднѣ Hiltner <sup>2)</sup> нашелъ, что зараженіе *сѣмянъ* не всегда бываетъ успѣшно; по его мнѣнію, вещества, извлекаемые водой изъ сѣмянъ при ихъ набуханіи, вредятъ успѣху зараженія; если же зараженіе намоченныя сѣмена смѣшивать съ нитрагиномъ, то дѣйствіе нитрагина является болѣе вѣрнымъ; этимъ объясняется по Hiltner'у иногда наблюдавшіеся случаи болѣе удачнаго зараженія почвы чѣмъ посѣвнаго матерьяла. Кромѣ того, Hiltner находитъ, что зараженіе чистыми культурами можетъ вызывать положительный эффектъ даже на почвахъ, содержащихъ соответственныхъ бактерій, при условіи *большей вирулентности* прививаемой культуры по сравненію съ бактеріями почвы.

Въ то время какъ Hiltner стремился усилить дѣйствіе бактерій, питая ихъ пептономъ и сахаромъ, американскій изслѣдователь Moog <sup>3)</sup> видитъ какъ разъ въ употребленіи азотистыхъ веществъ причину ослабляющую вирулентность и понижающую способность клубеньковыхъ бактерій связывать азотъ воздуха; поэтому Moog культивируетъ ихъ на безазотистомъ субстратѣ (мальтоза +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  +  $\text{Mg SO}_4$ ), затѣмъ смачиваетъ этой жидкостью стерильную вату, высушиваетъ и въ такомъ видѣ разсылаетъ свои культуры <sup>4)</sup>.

<sup>1)</sup> Отчетъ с. х. химич. лабораторіи М. З. за 1898 г. (годъ II-й).

<sup>2)</sup> Arbeiten der Biologischen Abtheilung etc., III, 150 (1903). См. также статью Будина въ Вѣстникъ Бактеріолого-агроном. Станціи имени Феррейна, № 13-й.

<sup>3)</sup> Soil inoculation for legumes, by George Moog (U. S. Departement of Agriculture, Bureau of Plant Industry, Bulletin. № 71).

<sup>4)</sup> Подобно „нитрокультурамъ“ Мура также и „нитробактеріи“ Боттомлея разсылаются въ сухомъ видѣ (на твердомъ субстратѣ), но пита-

Во всякомъ случаѣ, нитрагинъ въ основѣ имѣетъ за собой нѣчто положительное, чего нельзя сказать о другихъ бактеріальныхъ удобреніяхъ, имѣвшихъ задачей снабдить почву бактеріями, способными обогащать ее азотомъ независимо отъ бобовыхъ; одни изъ предлагавшихся для этого культуръ были пущены въ ходъ по совершенному недоразумѣнію, какъ *алинитъ* <sup>1)</sup>, другія же несомнѣнно обладаютъ

тѣльная смѣсь въ этомъ случаѣ прилагается въ отдѣльныхъ пакетахъ. (Нельзя не признать чрезвычайно неудачнымъ примѣненіе такихъ терминовъ, какъ нитробактеринъ, къ культурамъ клубеньковыхъ бактерій, ибо это вызываетъ у начинающихъ представленіе о какой-то связи съ нитрификаціей (Nitrobacter!), между тѣмъ какъ на самомъ дѣлѣ нѣтъ ничего общаго.

<sup>1)</sup> Исторія алинита вкратцѣ такова. Нѣкто Каронъ (владѣлецъ имѣнья Эленбахъ близъ Касселя) зная, что въ почвахъ встрѣчаются бактеріи, усвояющія азотъ воздуха помимо бактерій клубеньковыхъ, сталъ изучать бактеріальное населеніе своей почвы и обратилъ вниманіе на обильное размноженіе въ ней одного бацилла; выдѣливъ этотъ организмъ въ чистой культурѣ, Каронъ пробовалъ вводить такіа культуры въ почву и, при опытахъ въ сосудахъ, наблюдать, по его мнѣнію, благоприятные результаты; повторяя опытъ въ поляхъ, онъ пришелъ къ тому же выводу относительно благоприятнаго вліянія этой бактеріи на урожай хлѣбовъ. Тогда Каронъ рѣшилъ, что благоприятное дѣйствіе этой бактеріи зависитъ отъ обогащенія почвы азотомъ; онъ назвалъ ее *Bacillus ellenbachensis* и сталъ рекомендовать культивировать эти бактеріи и вносить въ почву для обогащенія ея азотомъ. Одна фабрика купила право на пользование открытіемъ и стала выпускать алинитъ въ продажу при соответствующей рекламѣ.

При опытахъ примѣненія алинита результаты оказались нулевыми или во всякомъ случаѣ сомнительными. Нужно сказать, что алинитъ былъ пущенъ въ продажу ранѣе, чѣмъ изучена была его бактерія: не было опредѣлено, что такое *Bac. ellenbachensis*, и были ли культуры Карона дѣйствительно чистыми; никакихъ доказательствъ относительно связыванья азота (кромѣ сомнительныхъ опытовъ Карона) не было приведено.

При изученіи алинита другими изслѣдователями результаты были довольно разнорѣчивы. Такъ Stoclasa пришелъ къ выводу, что бациллъ Карона есть ничто иное, какъ *Bacillus megatherium*, ранѣе описанный de-Вару; что онъ является отчасти денитрификаторомъ, что онъ способенъ малорастворимыя азотистыя вещества (напр., въ торфѣ) переводить въ растворимое состояніе. Штуцеръ и Гартлебъ также отмѣчаютъ, что этотъ бациллъ энергично образуетъ амміакъ насчетъ бѣлковъ; усвоенія азота атмосферы они констатировать не могли. Лаухъ утверждаетъ что *B. ellenbachensis* ничто иное какъ обыкновеннѣйшій *Bac. subtilis* (сѣнной бациллъ) и алинитъ представляетъ высушенную культуру этого бацилла на картофелѣ. Мичинскій находитъ, что культура Карона состоитъ изъ нѣсколькихъ организмовъ, въ томъ числѣ и *Bac. subtilis*.

Итакъ, составъ алинита неопредѣленный и ожидать эффекта отъ его

этой особенностью, но условия их размножения не всегда осуществляются въ нормальной почвѣ и иногда не легко согласуемы съ другими требованіями, предъявляемыми къ такой почвѣ <sup>1)</sup>.

примѣненія, вообще говоря, оснований нѣтъ; исключенія, впрочемъ, возможны. Приведемъ результаты опытовъ П. С. Коссовича. (См. „Хозяинъ“ 1899 г., №№ 30 и 31, а также „Отчетъ с.-х. лабораторіи Мин. Земл.“, г. П.) произведенныхъ въ лабораторіи министерства земледѣлія на разныхъ почвахъ.

#### У р о ж а й.

|                                                              | Съ алинитомъ. | Безъ алинита. |           |
|--------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Песокъ. . . . .                                              | 2,6           | 3,0           | } (овесъ) |
| Песчаная почва. . . . .                                      | 12,6          | 11,3          |           |
| Подзолъ. . . . .                                             | 32,2          | 33,3          | (гречиха) |
| Торф. почва (кислоты нейтрализованы $\text{CaCO}_3$ ). . . . | 31,5          | 25,6          | (овесъ).  |

На большинствѣ почвъ алинить не дѣйствовалъ, исключеніе представляетъ лишь торфъ. Но специфическаго дѣйствія алинита въ этомъ случаѣ все-таки видѣть нельзя, такъ какъ на почвѣ, лишенной микроорганизмовъ (какъ торфъ), почти всякая бактерія будетъ полезна, способствуя большому разложенію органическаго вещества и полученію удобоусвояемаго N.

<sup>1)</sup> Такъ Косчъ наблюдалъ, что введеніе растворимыхъ углеводовъ въ почву повышаетъ связываніе свободнаго азота бактеріями (*Azotobacter* и др.); приблизительно на 1 граммъ сахара связывается 8—10 миллиграммовъ N. Но приходится считаться съ вліяніемъ углеводовъ на ходъ нитрификации и денитрификации (или вообще убыли нитратовъ), со степенью усвояемости накапливаемаго азота и пр., не говоря уже объ экономической сторонѣ подобныхъ приемовъ (см. *Koch u. a., Die Stickstoffanreicherung des Bodens durch freilebende Bacterien, Journal für Landwirtschaft Bd. 55* и 57).

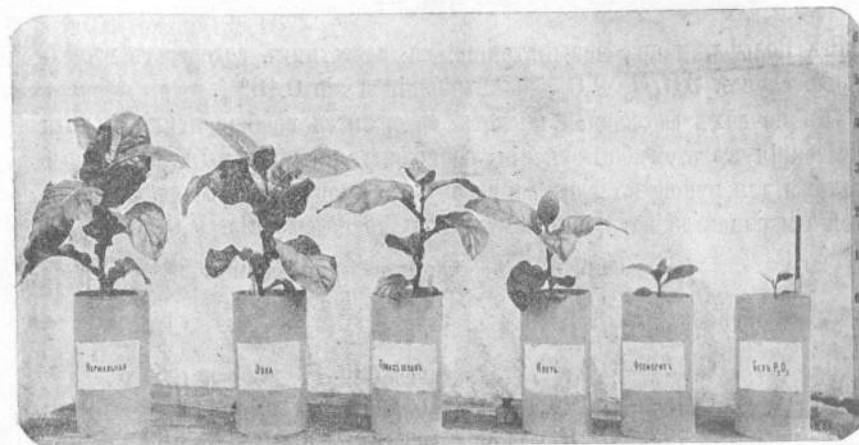


Рис. 29.  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ . Фосфатъ золы. Томасовъ шл. Кость. Фосфоритъ. Безъ фосфорн. к.

### В. Удобренія фосфорнокислыя.

#### Фосфорная кислота въ почву и въ растеніяхъ.

Въ предыдущемъ отдѣлѣ мы имѣли дѣло съ элементомъ, для котораго существуетъ извѣстный круговоротъ, который приходитъ въ почву изъ атмосферы и обратно возвращается въ нее при озоленіи, при разложеніи. Теперь переходимъ къ фосфорной кислотѣ, которая съ урожаемъ берется изъ почвы окончательно и естественнымъ путемъ въ нее не возвращается. Возможно только относительное обогащеніе почвы усвояемой фосфорной кислотой на счетъ вывѣтриванія остатковъ неразрушившихся еще минераловъ, содержащихъ  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Значеніе фосфорной кислоты для жизни растенія достаточно извѣстно изъ физиологіи растеній; въ песчаныхъ или водныхъ культурахъ легко обнаружить пропорціональность урожаевъ количеству внесенной  $\text{P}_2\text{O}_5$  (или ея усвояемости, см. рис. 29-й), если поставить ее въ положеніе фактора, находящагося въ minimum'ѣ.

Фосфорная кислота значительно распространена въ природѣ, хотя бы въ небольшихъ количествахъ. Большинство кристаллическихъ горныхъ породъ пронизано игольчатыми кристаллами апатита и содержатъ 0,1—1,0%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; даже въ пескахъ Сахары находятъ фосфорную кислоту въ количествѣ 0,01%.

При вывѣтриваніи горной породы фосфорная кислота въ значительной степени предохраняется отъ вымыванія благодаря образованію мало растворимыхъ соединенийъ съ Ca, Fe; бываютъ случаи, что содержащаяся въ горной породѣ фосфорная кислота, послѣ вывѣтриванія, не вымывается, а остается въ почвѣ въ видѣ фосфоритовъ.



замъ Вольфа, напр., невыветрившійся известнякъ содержалъ въ одномъ случаѣ 0,07%  $P_2O_5$ , выветрившійся же 0,16%.

Въ почвахъ фосфорной кислоты еодержится вообще немного, хотя колебанія въ этомъ отношеніи возможны значительныя. Нѣкоторые авторы для руководства въ вопросахъ объ удобреніи фосфорной кислотой пытались дать группировку почвъ по содержанію  $P_2O_5$ , напр.

| Содержаніе $P_2O_5$ | Характеристика почвы: |
|---------------------|-----------------------|
| $> 0,2\%$           | очень богатая.        |
| 0,1 — 0,2%          | богатая.              |
| 0,05 — 0,1%         | средняя.              |
| 0,01 — 0,05%        | бѣдная.               |
| $< 0,01$            | очень бѣдная.         |

Иногда считаютъ возможнымъ судить по этимъ цифрамъ о потребности почвы въ фосфорнокисломъ удобреніи, но Мюнцъ справедливо отмѣчаетъ, что приведенная таблица можетъ служить показателемъ лишь при крайнихъ случаяхъ, что же касается среднихъ цифръ, то онѣ не могутъ указать на потребность растений въ  $P_2O_5$ , такъ какъ трудно указать, въ какой формѣ находится Р въ почвѣ. Такъ, напр., въ горныхъ породахъ нерѣдко встрѣчается апатитъ; очень вѣроятно присутствіе небольшихъ количествъ его и въ почвѣ, почему было бы небезынтересно опредѣлить принадлежащую ему  $P_2O_5$  (косвеннымъ указаніемъ на присутствіе апатита въ почвѣ считаютъ нахождение фтора въ костяхъ животныхъ); но большее значеніе имѣетъ  $P_2O_5$ , находящаяся въ поглощенномъ состояніи, т. е. ранѣ бывшая въ растворѣ и затѣмъ осажденная. Этотъ запасъ также неравноцѣненъ, смотря по основанію (Са, Fe, Al), съ какимъ соединяется  $P_2O_5$ . Есть попытки различать другъ отъ друга эти соединенія путемъ примѣненія различныхъ растворителей. Такъ, при дѣйствіи 1% уксусной кислоты фосфорнокислая соль Са растворяется, соль Fe почти не растворяется, соль Al растворяется съ трудомъ <sup>1)</sup> (наблюденія эти произведены надъ химическими чистыми солями). Но выяснитъ вопросъ о распредѣленіи  $P_2O_5$  въ почвѣ между основаніями трудно, вотъ по какой причинѣ: при обработкѣ почвы напр. уксусной кислоты или водой содержащей углекислоту получаютъ результаты непостоянные, смотря потому, сразу ли послѣ обработки почвы уксусной кислотой производится фильтрованіе или нѣтъ: переводя въ растворъ фосфорную кислоту известковыхъ солей, мы производимъ ее въ соприкосновеніи съ соединеніями Al, Fe (если почва богата таковыми), причемъ, по вышесказанному,

<sup>1)</sup> См. ст. Emmerling'a Landw. Versuchsstationen, LII, стр. 60.

фосфорная кислота вновь осаждается <sup>1)</sup>; чѣмъ дальше оставляетъ растворъ нефилътрованнымъ, тѣмъ больше осаждается растворенной фосфорной кислоты; такъ, въ одномъ изъ опытовъ Вагнера слабая уксусная кислота извлекла изъ 1 килограмма почвы:

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| Черезъ 1½ часа | — 0,524 гр. $P_2O_5$ |
| » 24 »         | — 0,443 » »          |
| » 4 дня        | — 0,361 » »          |
| » 21 день      | — 0,340 » »          |

Въ этомъ явленіи «ретроградаци», т. е. обратнаго перехода растворенной фосфорной кислоты въ осадокъ лежитъ крупное препятствіе къ употребленію очень слабыхъ растворителей, не разлагающихъ фосфатовъ желѣза и глинозема, каковы вода съ углекислотой и слабая уксусная кислота, отсюда — трудность отдѣлить фосфорную кислоту известкового фосфата въ почвѣ отъ фосфатовъ желѣза и глинозема.

Описанными реакціями объясняется отчасти превращеніе солей фосфорной кислоты въ почвѣ: вода, содержащая  $CO_2$  также растворяетъ фосфорнокислую известь, а растворенная фосфорная кислота осаждается затѣмъ въ формѣ менѣе растворимой, встрѣчая соединенія  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$ . Явленіе это ставятъ въ параллель съ тѣмъ фактомъ, что при внесеніи въ почву суперфосфата значительная часть его не используется растениями въ первый годъ и остается въ почвѣ, тѣмъ не менѣе въ последующіе годы достаточнаго эффекта не получается вслѣдствіе постепеннаго уменьшенія растворимости  $P_2O_5$ .

Какъ растворитель, извлекающій всю поглощенную фосфорную кислоту почвы, предлагаютъ обыкновенно 1—2% лимонную кислоту; хотя есть опыты, доказывающіе, что фосфорная к. поглощенная почвою, постепенно, черезъ нѣсколько мѣсяцевъ, переходитъ отчасти въ форму неизвлекаемую 1% лимонной кислотой.

Вѣроятно это зависитъ отъ превращенія фосфата желѣза; дѣло въ томъ, что свѣжеосажденное фосфорнокислосое желѣзо отличается значительной усвояемостью и растворимостью въ лимонной кислотѣ (тоже

<sup>1)</sup> Landw. Versuchsstationen Bd. 46, 217 Gerlach Костычевъ, «Нерастворимыя фосфорнокислыя соединенія почвъ», 1881. Изъ послѣдующихъ работъ о фосфоритахъ желѣза и глинозема назовемъ: Cameron and Bell реф. въ журналѣ Оп. Агрономіи, 1909, стр. 368, далѣе статьи Гедермана въ Трудахъ Спб. с.-х. Лабораторіи и нѣкоторыя статьи въ нашихъ отчетахъ о вегетац. опытахъ. Упомянемъ также о предложеніи Whitson и Stoddart отдѣлять фосфорную кислоту фосфоритовъ желѣза и глинозема отъ фосф. к-ты связанной дѣйствіемъ % раствора NaOH (Bied. Centr. 1910, 288).

и глиноземъ); но если мы удалимъ воду (прокаливаньемъ), то и усвояемость и растворимость такого фосфата чрезвычайно понижаются; также понижаются они отчасти, если къ средней соли прибавить избытокъ основанія. Поэтому и въ почвѣ постепенный переходъ поглощенной фосфорной кислоты въ трудно растворимую форму можетъ быть связанъ съ образованіемъ безводной средней соли желѣза или основныхъ солей (а быть можетъ и нѣкоторыхъ двойныхъ соединений).

Поэтому, примѣняя 1—2% лимонную кислоту, мы не можемъ строго отдѣлить именно «поглощенную» фосфорную кислоту; часто въ показаніяхъ этого реактива ищутъ средства судить о количествѣ усвояемой фосфорной кислоты въ почвѣ; но если сравнивать съ усвояющей способностью злаковъ, то лимонная кислота извлекаетъ изъ почвы значительно больше, чѣмъ берутъ растенія, тогда какъ для усвояемой кислоты показанія получаются нѣсколько ниже; чѣмъ показанія растеній, нужно замѣтить притомъ, что разницы во второмъ случаѣ гораздо меньше, т. е. усвояемая кислота даетъ показанія болѣе приближающіяся къ содержанію фосфорной кислоты въ урожаѣ, чѣмъ лимонная кислота (см. работу К. К. Гедройца, Журн. Оп. Агр. 1903).

Органическій фосфоръ, какъ мы видѣли выше, также содержится въ почвѣ и освобождается въ видѣ фосфорной кислоты при распаденіи сложныхъ частицъ органическаго вещества.

Посмотримъ, какъ великъ расходъ  $P_2O_5$  въ почвѣ. Анализъ показываетъ, что при медленномъ выщелачиваніи почвы вымывается только около 1 мгг.  $P_2O_5$  на литръ пропущенной жидкости. Дренажными водами вымывается съ десятины около 1 килограмма — количество ничтожное сравнительно съ содержаніемъ  $P_2O_5$  въ почвѣ. Приведемъ учеты, показывающіе относительныя количества фосфорной кислоты, отчуждаемыя отъ почвы разными растеніями.

|                        |          |                    |          |
|------------------------|----------|--------------------|----------|
| Бобов. содер. въ зерн. | 0,9—1,5% | $P_2O_5$ въ соломѣ | 0,4%     |
| Масличныя » »          | 1—1,5    | » » »              | 0,2—0,4% |
| Хлѣбн. злаки » »       | 0,5—0,8  | » » »              | 0,2—0,4% |
| Корнеплоды » »         | 0,1      | » въ листьяхъ      | 0,2—0,4% |

Абсолютно же урожай хлѣба (въ 75 п.) беретъ съ десятины 16—20 килгр. (1—1¼ п.),  $P_2O_5$  бобовыхъ 20—30 к.; масличныя 20—40 к., корнеплоды 40—50 к., травы 20—40 п. (по Muntz'y).

Если считать въ почвѣ 0,1%  $P_2O_5$ , то десятина ея въ 8 вершковомъ слоѣ (вѣсомъ около 340.000 пуд.) содержитъ 340 п.  $P_2O_5$ . Такимъ образомъ, запасъ  $P_2O_5$  въ почвахъ не является безконечно большимъ. Если бы урожай хлѣбовъ отнимали каждый годъ по 1 пуду,

то безъ искусственнаго внесенія извнѣ  $P_2O_5$  запасъ изсякъ бы черезъ какія нибудь 300—350 лѣтъ; но непрерывной культуры безъ удобренія вести невозможно, урожай начинаютъ падать (а значить и истощеніе замедляется); является необходимость чередованія культуры съ годами залежи и пара, а позднѣе—возвращенія части взятаго съ навозомъ; на дѣлѣ истощеніе растягивается на значительно большой періодъ, тѣмъ не менѣе относительное обѣдненіе почвы  $P_2O_5$  можетъ быть подмѣчено и за нѣсколько десятилѣтій, такъ какъ изъ общаго запаса фосфорной кислоты дѣйствительной является лишь очень небольшая часть ея, находящаяся въ усвояемой формѣ; если расходованіе этой части не пополняется въ достаточной мѣрѣ процессами выветриванія (въ широкомъ смыслѣ) съ одной стороны, внесеніемъ должнаго количества удобренія—съ другой, то урожай будутъ падать.

Указанное хорошо иллюстрируется слѣдующими примѣрами, относящимися къ западно-европейской практикѣ. Абзвѣство Пруссіа (въ Германіи) не покупало фосфорно-кислыхъ удобреній съ стороны, примѣняя исключительно навозное удобреніе ( $P_2O_5$  отчуждалась лишь въ молокѣ, мясѣ, зернѣ и другихъ продажныхъ продуктахъ). Расчетъ сдѣланъ былъ съ 20 по 60 годъ истекшаго столѣтія, причемъ въ хозяйствѣ велись точныя записи урожая зерна и соломы, вносимаго навоза и отчуждаемыхъ продуктовъ.

|                   | Урожай.     | Умолотъ зерна. |
|-------------------|-------------|----------------|
| Съ 1825—1830 годъ | 4250 копенъ | 166 шеффелей.  |
| » 1830—1835 »     | 5379 »      | 170 »          |
| » 1835—1840 »     | 5363 »      | 154 »          |
| » 1840—1845 »     | 6857 »      | 140 »          |
| » 1845—1850 »     | 8417 »      | 157 »          |
| » 1850—1855 »     | 7082 »      | 121 »          |
| » 1855—1860 »     | 7881 »      | 125 »          |

По среднему составу продуктовъ было учтено количество отчуждаемой и вносимой  $P_2O_5$ ; оказавъ, что за послѣднія 15 лѣтъ взято съ полей 985 цент.  $P_2O_5$ , внесено 408 цент., слѣдовательно, около половины  $P$  находящагося въ оборотѣ за эти 15 лѣтъ вышло изъ хозяйства. Какъ видно изъ таблицы, общая масса урожая со временемъ росла, но урожай зерна падалъ, что является слѣдствіемъ недостатка  $P_2O_5$  въ почвѣ.

Существуютъ и другія указанія на то, что  $P_2O_5$  при такомъ веденіи хозяйства оказывается въ положеніи минимальнаго фактора и что урожай зерна при недостаткѣ  $P_2O_5$  падаетъ. Для возмѣщенія убыли  $P_2O_5$  приходится пользоваться разными способами. Не говоря



о прямомъ возвратѣ по Либиху (употребленіе городскихъ нечистотъ), мы имѣемъ такого рода матеріалъ для обогащенія почвъ  $P_2O_5$  и возстановленія нарушеннаго равновѣсія между питательнымъ веществами почвы: 1) ископаемые фосфаты (фосфориты) 2) отбросы металлургической промышленности (томасовъ шлакъ) 3) кости и нѣкоторые виды гуано съ преобладаніемъ  $P_2O_5$ .

### Фосфориты.

Происхожденіе фосфоритовъ въ большинствѣ случаевъ связано съ органической жизнью, отчасти уже видно по тѣмъ названіямъ, которыя носятъ отдѣльныя ихъ разновидности, какъ-то: остеолиты, копролиты и т. п. Названія эти впрочемъ употребляются не всегда въ буквальномъ смыслѣ, и не всегда фосфоръ организмовъ отлагается въ фосфатахъ, имѣющихъ что-либо общее съ тѣмъ или инымъ органическимъ образованіемъ. Но встрѣчаются фосфориты и чисто минеральнаго происхожденія; они представляютъ въ такихъ случаяхъ или отложенія изъ воды горячихъ источниковъ, выделяющихъ фосфатъ извести изъ раствора вслѣдствіе потери углекислоты, или же мы имѣемъ случаи, когда растворъ, содержащій фосфорную кислоту, опускаясь встрѣчается на извѣстной глубинѣ известковую породу и на мѣстѣ соприкосновенія постепенно даетъ начало образованію фосфоритной «жилы»; или наоборотъ, при иныхъ условіяхъ благодаря относительному обогащенію фосфорной кислотой при вывѣтриваніи (выщелачиваніе  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$  и пр.) остатокъ отъ разрушенія горной породы постепенно приближается по составу къ фосфориту <sup>1)</sup>.

Фосфориты встрѣчаются въ природѣ или въ видѣ сплошныхъ массъ, залегающихъ на кристаллическихъ сланцахъ, какъ, напр., нѣкоторые американскіе; въ видѣ сплошныхъ плитъ или слоевъ фосфоритныхъ песчаниковъ и песковъ, чаще же въ видѣ мѣстныхъ скопленій: шаровъ, желваковъ, «рогулекъ» и т. п. <sup>1)</sup>. Существуютъ по-

<sup>1)</sup> См. Вернадскій, Труды Вольно-Эк. О-ва 1888, III, стр. 271.

<sup>1)</sup> Для выясненія происхожденія фосфоритовъ весьма важны случаи, въ которыхъ констатированъ ростъ такихъ образований въ настоящее время; такъ при изслѣдованіи жизни морскихъ глубинъ экспедиція „Challenger“, къ югу отъ мыса Доброй Надежды обнаружила на поверхности (или въ среднемъ слое) морского ила округлыхъ конкрецій отъ 1 и до 3-хъ (и болѣе) сант. діаметромъ въ которыхъ зерна глауконита и другихъ чисто минеральныхъ веществъ вмѣстѣ съ остатками фораминиферъ склеены фосфатомъ кальція въ одно цѣлое, при чемъ фосфатъ этотъ проникаетъ въ полости отдѣльныхъ образований, образуетъ псевдоморфозы по  $CaCO_3$ . Очевидно эти конкреціи захвачены въ періодъ ихъ

пытки классифицировать фосфориты по ихъ сложенію и возрасту, стоящимъ, какъ оказывается, во взаимной связи: чѣмъ старше геологическій возрастъ фосфорита, тѣмъ больше приближается онъ къ кристаллическимъ фосфатамъ (апатиту) и наоборотъ.

Такъ, Густавсонъ дѣлитъ фосфориты на три группы, предлагая относить къ 1-й группѣ кристаллическую фосфорнокислую известъ — апатитъ, состоящій изъ 92—95% фосфорнокислой извести, остальное — фтористый или хлористый кальцій. Эта группа <sup>2)</sup> имѣетъ ясно выраженную кристаллическую форму (гексагональная призма), а не одно только внутреннее строеніе вещества.

Вторая же группа фосфоритовъ имѣетъ только кристаллическое сложеніе, но не внѣшнюю форму; сюда принадлежатъ наши подольскіе кругляки, пассаускіе (ланскіе) фосфориты въ Германіи, логрозанскіе (Эстремадура) — въ Испаніи и пр.: въ нихъ до 55%—80% фосфорнокислой извести, и остальное — главнымъ образомъ углекислая известъ (но  $CaF_2$  также встрѣчается, въ количествѣ иногда доходящемъ до 6%).

Къ третьей группѣ по этому дѣленію принадлежатъ аморфные фосфориты. Они встрѣчаются залежами въ Испаніи, Германіи, Америкѣ, Франціи и въ громадномъ количествѣ въ Россіи. Въ нихъ отъ 20 до 60% фосфорнокислой извести, остальное кварцъ, углекислая известъ, глина и пр. Они всегда сравнительно бѣднѣе фосфорной кислотой. Чѣмъ фосфориты двухъ предыдущихъ группъ, но она легче (хотя все же очень слабо) поддается дѣйствію такихъ растворителей, какъ вода съ углекислотой. Нужно однако замѣтить, что въ этихъ «аморфныхъ» образованіяхъ въ извѣстныхъ случаяхъ обнаружены кристаллическія свойства того цемента (фосфата), который склеиваетъ частицы песку, глины и пр. въ одно цѣлое, называемое фосфоритомъ; также и содержаніе фтора имъ нечуждо.

незаконченнаго еще роста, при чемъ нужно предположить окружающій растворъ обогащеннымъ фосфорной кислотой и известью; въ данномъ случаѣ это осуществлено благодаря встрѣчѣ теплаго морскаго теченія съ холоднымъ, вызывающей отмираніе многихъ формъ; опускаясь на дно они образуютъ тамъ скопленіе разлагающагося органическаго вещества — отсюда P и Ca. Въ другихъ случаяхъ вмѣсто смѣшенія теплаго и холоднаго теченія можетъ имѣть мѣсто смѣшеніе соленой и прѣсной воды и пр. (Lehder, Die Phosphoritknollen, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1906 XXII Beilageband, стр. 105).

<sup>2)</sup> Апатитъ имѣетъ формулу  $Ca X_2 \cdot 3 Ca_3 (PO_4)_2$ , гдѣ X можетъ быть представленъ Cl или F или въ извѣстной степени тѣмъ и другимъ (изоморфная смѣсь).





соединений желѣза и глинозема) подольскій фосфоритъ является цѣннымъ матерьяломъ для приготовления простаго суперфосфата (см. ниже).

Позднѣе подольскихъ залежей фосфоритовъ начали эксплуатировать другіе залежи, хотя изучены онѣ были одновременно, а частью и раньше подольскихъ.

Въ 1866 году проф. с.-петербургскаго земледѣльческаго института А. Н. Ангельгардтъ командированъ былъ министерствомъ государственныхъ имуществъ для изслѣдованія залежей фосфоритовъ въ Россіи (губ. Орловская, Курская, Воронежская). Статьи А. Н. Ангельгардта и сопутствовавшего ему студента А. С. Ермолова возбудили всеобщій интересъ къ этому вопросу; фосфоритъ начали искать въ различныхъ мѣстахъ и нашли его въ громадныхъ количествахъ. Къ тому времени относятся и первыя попытки примѣненія фосфорита; начали открываться заводы для переработки его. Первымъ былъ заводъ около Курска, одновременно возникъ въ Ригѣ заводъ Шмидта, и др.

Но практическихъ послѣдствій ни опыты примѣненія фосфоритовъ, ни статьи Ангельгардта и Ермолова тогда не принесли и почти всѣ заводы должны были прекратить свою дѣятельность за недостаткомъ покупателей. (Рижскій заводъ перешелъ на приготовленіе суперфосфата изъ другихъ фосфоритовъ). Почти двадцать лѣтъ спустя Ангельгардтъ, уже будучи хозяиномъ Батищева, снова обратилъ вниманіе на фосфориты; экскурсуя по *рославльскому уѣзду*<sup>1)</sup> онъ открылъ залежи на землѣ принадлежащей Мясоѣдову; въ 1885 году Мясоѣдовъ прислалъ Ангельгардту первые 100 пудовъ размолотаго фосфорита; полевые опыты дали рельефные результаты и Ангельгардту удалось выяснитъ положительное значеніе фосфоритовъ для сѣверныхъ подзолистыхъ почвъ и возбудить къ нимъ уже болѣе прочный интересъ; это сказалось замѣтнымъ ростомъ спроса на фосфориты въ Россіи и размѣровъ ихъ добычанія.

*Курскій „самородъ“* (или „плита“) представляетъ изъ себя „песчаникъ“, состоящій изъ кварцеваго песку, связаннаго цементомъ, имѣющимъ составъ окаменѣлыхъ костей (рыбъ и ящеровъ), находящихся въ той же формациі<sup>2)</sup>. Встрѣчается онъ въ Курской губ. въ

1) Подробнѣе о смоленскихъ фосфоритахъ см. въ статьѣ В. П. Вернадскаго, Труды Вольно-Экон. О-ва, 1888, III, 263. Смоленскіе фосфориты низкопроцентны, что не мѣшаетъ прямому ихъ примѣненію на подзолистыхъ почвахъ, но не позволяетъ готовить изъ нихъ простой суперфосфатъ.

2) А. Ангельгардтъ „Изъ химическ. лаб. Спб. землед. инстит.“ Сельск. хоз. и лѣсов. 1867.

значительныхъ количествахъ и употребляется жителями для топки шесте, улицъ и для бута. Самородъ представляетъ изъ себя настоящую горную породу, которая встрѣчается повсемѣстно на сѣверной границѣ мѣлового бассейна<sup>1)</sup>; кромѣ „плиты“ встрѣчаются желваки разнаго цвѣта и размѣровъ. Помимо Курской, залежи эти находятся въ Тамбовской, Воронежской, Орловской, Смоленской, Калужской губ. Многочисленные анализы курскаго саморода показываютъ, что онъ содержитъ меньше фосфорной кислоты, нежели фосфориты подольскіе—отъ 14 до 17 и 20%; остальное составляютъ кварцевый песокъ, углекислый кальцій и др.; для приготовления простаго суперфосфата эти фосфориты не идутъ.

Вскорѣ затѣмъ были открыты залежи фосфоритовъ въ *Рязанской губ.* Они извѣстны были тамъ еще съ 60-хъ годовъ, но ихъ стали разрабатывать лишь въ восьмидесятыхъ годахъ послѣ того, какъ онѣ были изслѣдованы по порученію Рязанскаго земства въ лабораторіи Петровской Академіи Григорьевымъ. Григорьевъ показалъ, что въ составъ рязанскаго фосфорита входитъ еще глауконитъ—минераль содержащій до 8%  $K_2O$  (въ фосфоритахъ отъ 1 до 4%  $K_2O$ ; но помимо малаго содержанія и усвояемость кали въ глауконитѣ не выяснена точнѣе). Залегаютъ глауконитовые фосфориты главнымъ образомъ надъ юрскими слоями въ зеленыхъ пескахъ и песчаникахъ, иногда переполненныхъ остатками раковинъ („ауцелловый слой“, отъ *Aucella mosquensis*). Фосфоритъ этотъ представляетъ изъ себя песчаникъ, зерна кварца и глауконита въ которомъ сцементированы углекислой и фосфорнокислой известью, а также окисью желѣза, глиноземомъ и т. п. Кварцеваго песка содержится, по анализамъ Григорьева, отъ 10.5 до 19.1%, другая же часть песчаника есть глауконитъ<sup>2)</sup>. (Не всѣ рязанскіе фосфориты относятся къ этому типу). При обработкѣ ихъ выбранный матеріалъ приходится сушить и затѣмъ размалывается, рѣже примѣняется при предварительной обработкѣ и обжиганіи<sup>3)</sup>. Среднее содержаніе фосфорной кислоты въ нихъ около 17%—21% въ верхнемъ слоѣ („сухарь“), но въ подстилающемъ верхній слой глау-

1) Ibid. стр. 42.

2) П. Морозовъ „О фосфорнокислыхъ удобреніяхъ“ см. Труды Вольно-Эконом. Общ. 1883, т. 3, стр. 282. см. также работу Ключарева, „Матеріалы по изслѣдованію русскихъ почвъ“ изд. Докучаевымъ и Совѣтовымъ, VII.

3) Въ настоящее время добычаніе тамъ кончилось, что связано съ сокращеніемъ спроса на сырой фосфоритъ и съ недостаточнымъ богатствомъ этихъ фосфоритовъ фосфорной кислотой для того, чтобы на нихъ былъ спросъ на суперфосфатные заводы, готовящіе обычный (простой) суперфосфатъ.

конитовомъ пескѣ оно падаетъ до 13%. Въ последнее время рязанскія залежи подробно изслѣдованы сотрудниками проф. Самойлова<sup>1)</sup>.

Выше перечисленныхъ фосфоритовъ кромѣ подольскихъ слѣдуетъ поставить *Костромскіе* фосфориты, встрѣчающіеся въ юрскихъ слояхъ. Они наиболѣе богаты фосфорной кислотой изъ всѣхъ средне-русскихъ фосфоритовъ (26—28%  $P_2O_5$ ); встрѣчаются обычно въ плотныхъ массахъ, въ видѣ неправильныхъ стяженій темнаго цвѣта, извѣстны въ продажѣ въ размолотомъ видѣ подъ именемъ «Куломзинскихъ», такъ какъ эта фирма съ восьмидесятыхъ годовъ начала разрабатывать залежи близъ Кинешмы.

Эти залежи были также изслѣдованы въ последнее время экспедиціей проф. Самойлова; они оказались имѣющими значительное протяженіе по берегамъ р.р. Волги и Меры (съ 25—28%  $P_2O_5$ ), Желвати (28,8—25,8% и Ней (21%). Интересъ къ этимъ залежамъ повышается тѣмъ обстоятельствомъ, что въ болѣе высокопроцентныхъ частяхъ ихъ они даютъ матерьялъ пригодный для приготовления простого суперфосфата (хотя и уступающій по качеству подольскимъ фосфоритамъ).

*Вятскіе* (слободскіе) фосфориты также залегаютъ въ верхнихъ слояхъ юрской системы; они содержатъ 28% (и болѣе) фосфорной кислоты и представляютъ песчано-глинистую породу (съ участіемъ глауконита), спементированную фосфатомъ извести (а также и  $CaCO_3$ ). Изслѣдованы были эти залежи въ 1888 году, а въ 1891 г. земство начало ихъ разрабатывать. По малой растворимости вятскій фосфоритъ приближается къ подольскому, но высокое содержаніе фосфорной кислоты также дѣлаетъ ихъ интересными съ точки зрѣнія суперфосфатнаго производства.

Кромѣ того залежи фосфоритовъ имѣются во многихъ губерніяхъ, — какъ напр., Ярославской, Казанской, Симбирской, Саратовской, Воронежской, въ Области Войска Донского и пр.; большія залежи (но лишь съ 15%  $P_2O_5$ ) обнаружены на берегахъ Каспійскаго моря (Мангышлакскій полуостровъ)<sup>2)</sup>.

Приведемъ данныя сдѣланныхъ въ нашей лабораторіи анализовъ для Костромскаго, Вятскаго и Смоленскаго фосфоритовъ добавивши къ нимъ ради сравненія заимствованный изъ книги Schuch't'a—анализъ алжирскаго фосфорита:

<sup>1)</sup> См. *Самойловъ*, Отчетъ по геол. изсл. фосфор. залежей, т. III.

<sup>2)</sup> См. подробнѣе въ III отчетѣ по геологич. изслѣд. подъ ред. проф. Самойлова (Москва, 1911 года).

|                     | Костром-<br>ской. | Вятскій. | Смоленскій. | Алжир-<br>скій <sup>1)</sup> . |
|---------------------|-------------------|----------|-------------|--------------------------------|
| $P_2O_5$ . . . . .  | 27,19             | 26,47    | 16,28       | 27,23                          |
| $CO_2$ . . . . .    | 5,97              | 4,25     | 3,08        | 5,26                           |
| $CaO$ . . . . .     | 42,82             | 39,6     | 22,46       | 45,12                          |
| $Fe_2O_3$ . . . . . | 3,75              | } 4,55   | 2,57        | } 1,68                         |
| $Al_2O_3$ . . . . . | 0,46              |          | 10,07       |                                |
| $MgO$ . . . . .     | 0,76              | —        | 0,74        | —                              |
| $MnO$ . . . . .     | 2,14              | —        | —           | —                              |
| $Fl$ . . . . .      | 2,60              | —        | —           | —                              |
| Нераств. остатокъ.  | 5,75              | 10,99    | 43,73       | 7,40                           |

Наиболѣе использовались до сихъ поръ залежи подольскихъ фосфоритовъ; въ благопріятные годы ихъ вырабатывалось до 1,415,000 пудовъ (но временами наблюдалось паденіе добычи на половину и даже еще ниже). Изъ сѣверныхъ залежей относительно больше разрабатывались костромскія; начиная съ восьмидесятыхъ годовъ спросъ на эти фосфориты возрасталъ въ значительной мѣрѣ, какъ показываютъ слѣдующія цифры:

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| 1886 году потреблено фосфорита | 38.000 пуд. |
| 1890 » » »                     | 160.000 »   |
| 1892 » » »                     | 425.000 »   |

Но ростъ этотъ далѣе не былъ непрерывнымъ (особенное паденіе замѣчалось къ 1900 г.).

*Подготовка фосфоритовъ.* Прежде чѣмъ внести въ почву фосфоритъ, онъ долженъ быть подготовленъ, причемъ подготовка можетъ быть или только механическая или еще и химическая. Неизмѣненные химически фосфориты находятъ лишь ограниченное примѣненіе (на кислыхъ почвахъ). Въ этихъ случаяхъ, благодаря трудной растворимости фосфорной кислоты фосфоритовъ, громадную роль играетъ степень тонкости размола. Съ увеличеніемъ частицъ муки уменьшается поверхность соприкосновенія фосфорита съ частицами земли и уменьшается его усвояемость. Растворимость въ водѣ фосфорной кислоты

<sup>1)</sup> Въ настоящее время главными поставщиками фосфоритовъ въ Европу являются Сѣв. Америка (Флорида) и Сѣв. Африка (Алжиръ и Тунисъ); въ гавани эти фосфориты доставляются моремъ дешевле, чѣмъ фосфориты Россіи, перевозимые по желѣзнымъ дорогамъ. Поэтому въ Ригѣ готовятъ суперфосфатъ изъ привезенныхъ изъ-за границы фосфоритовъ, и только внутри Россіи, особенно вблизи отъ мѣстъ залеганія, наши фосфориты могутъ обходиться значительно дешевле иностранныхъ.



фосфоритовъ близка къ нулю, нѣсколько выше растворимость въ водѣ насыщенной углекислотой. Оказывается, что растворимость въ слабыхъ растворителяхъ значительно возрастаетъ по мѣрѣ уменьшенія диаметра частицъ фосфорита. Мюнцъ взялъ арденнскій фосфоритъ и измельчивши раздѣлилъ при помощи сита на части различной крупности; испытывая потомъ растворимость отдѣльныхъ пробъ онъ нашелъ:

Частицы . . . . . 3 мм. 2 мм. 1 мм. < 1 мм.  
При дѣйствіи воды съ  
CO<sub>2</sub> растворилось . . . . . 4 » 11 » 48 » 81 миллигр.

При опытахъ растворенія фосфорной кислоты фосфоритовъ въ лимоннокисломъ амміакѣ замѣчается также послѣдовательность въ увеличеніи растворимости по мѣрѣ уменьшенія частицъ. Это же замѣчается и въ полевыхъ опытахъ съ фосфоритами. Въ Германіи одинъ опытъ примѣненія малорастворимаго фосфата на кислой болотной почвѣ далъ слѣдующіе результаты:

Крупность частицъ 1/2—1 мм. урожай 27 гр.  
1/4—1/2 » » 39 »  
0.1—0.2 » » 51 »

т. е. урожай при томъ же составѣ матеріала тѣмъ выше, чѣмъ тоньше помолъ.

Такимъ образомъ, при оцѣнкѣ фосфоритовъ необходимо обратить вниманіе и на ихъ механическій составъ. Заводы обычно доставляютъ матеріалъ извѣстной мелкости размолъ, пропуская для этого фосфоритъ черезъ металлическія или шелковыя сита съ извѣстными размѣрами промежутковъ. Напр., сито № 100-й (№ сита соответствуетъ числу нитей или проволокъ на 1 дюймъ) при шелковыхъ нитяхъ имѣетъ промежутки, равные 0,17 мм. Во Франціи считаютъ нормальнымъ размоль тогда, когда около 80% продукта проходитъ черезъ это сито.

При размалываніи иногда сортируютъ матеріалъ при помощи отсѣванія такимъ образомъ, что получаютъ продукты болѣе богатые фосфорной кислотой или съ меньшимъ содержаніемъ ея; если напр., фосфоритъ состоитъ изъ смѣси фосфата съ кварцевымъ пескомъ, то при размолѣ первый измельчится ранѣе, нежели второй и отсѣваніемъ можно получить продуктъ болѣе богатый P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; обратное наблюдается въ фосфоритахъ глинистыхъ. Во Франціи примѣняютъ иногда для той же цѣли отмучиваніе, какъ средство, при помощи котораго можно обогатить матеріалъ фосфорной кислотой. Употребляются иногда и

обжиганіе фосфоритовъ, при чемъ углекислая известь переходитъ въ СаО, что повышаетъ % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и облегчаетъ размельченіе.

Если извѣстенъ химическій и механическій составъ фосфоритовъ, то полезно для болѣе яснаго о немъ представленія знать и происхожденіе его, такъ какъ фосфориты могутъ различно дѣйствовать на урожаи, смотря по формѣ фосфорной кислоты ихъ, которая можетъ быть или въ кристаллическомъ или въ аморфномъ видѣ. Въ лабораторныхъ опытахъ съ раствореніемъ фосфорной кислоты различныхъ фосфоритовъ наблюдается значительная разница въ растворимости ихъ въ зависимости отъ происхожденія.

Такъ, въ опытахъ г. Яновчика въ лабораторіи проф. Богданова получились слѣдующія цифры:

|                                                                                      | Подольскій | Курскій | Рязанскій | Смоленскій |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-----------|------------|
| Содержаніе P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .                                   | 31.6       | 15.7    | 18.4      | 19.7%      |
| Колич. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> растворенной въ<br>лимоннокисл. амміакѣ . . . . | 9.5        | 10.3    | 13.3      | 14.6       |
| Въ % отъ всего колич. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . .                              | 30%        | 65%     | 72%       | 74%        |

Цифры эти показываютъ только *относительный* характеръ взятыхъ образцовъ, постоянными ихъ считать нельзя, такъ какъ здѣсь много значить подробности самаго метода: сколько брать фосфорита и растворителя, примѣнить обработку болѣе или менѣе продолжительную, повторную или однократную.

Въ химическ. лабораторіи Моск. С.-Х. Института Н. К. Недокучаевымъ примѣнялась *повторная* обработка фосфоритовъ 2% лимонной кислотой, въ нѣсколько пріемовъ:

|                                                    | Подольск. | Костром. | Рязан. | Смол. | фосфоритъ. |
|----------------------------------------------------|-----------|----------|--------|-------|------------|
| Извлечено въ суммѣ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : | 51%       | 79%      | 66%    | 80%   |            |

Не утверждая, что существуетъ пропорціональность между показаніями этого растворителя и усвояемостью фосфорной кислоты, можно ожидать что послѣдовательность въ использованіи фосфоритовъ различными растеніями будетъ такая же; по крайней мѣрѣ, подольскій фосфоритъ дѣйствительно отличается меньшей усвояемостью (которая у фосфоритовъ и вообще очень мала).

Для того, чтобы фосфорная кислота фосфоритовъ могла быть использована растеніями, необходимо, чтобы трехкальціевый фосфатъ (точнѣе-апатитъ) подъ вліяніемъ угольной и другихъ кислотъ перешелъ въ двухкальціевый и однокальціевый. Въ перегнойныхъ почвахъ эту роль могутъ исполнять перегнойныя кислоты, давая гуминово-кальціевыя соли. Въ особенности этотъ переходъ трехкальціевой соли въ

однокальцевую замѣтенъ тогда, когда въ почвѣ присутствуютъ соли минеральныхъ кислотъ ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); въ этихъ случаяхъ кислоты солей могутъ помогать перегнойнымъ кислотамъ переводить въ растворъ фосфорную кислоту. Но вообще отношеніе между количествомъ фосфата и гуминовыхъ веществъ должно быть очень широкимъ. Напр., 100 гр. гуминовой кислоты могли разложить 1.13 гр. фосфорита; 1 часть трехкальцеваго фосфата требовала (у Эйхгорна) для растворенія 8.8 частей гуминовой кислоты или 36 частей торфа (а сѣрной кислоты всего 0,6 ч.).

По Флейшеру, въ пахотномъ слое торфяной почвы содержится столько кислотъ, что на десятину онѣ могли бы дать 25 и болѣе пудовъ растворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ , если внести должное количество фосфорита.

Fleischer и Kissling <sup>1)</sup> брали 20 гр. торфа и смѣшивали его съ фосфоритомъ (3 гр.). Чистый торфъ переводилъ въ растворъ 13,6%; торфъ съ  $\text{KCl}$ —19,4; съ каинитомъ 17,9; съ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ —1,1; съ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ —25,0% отъ всей  $\text{P}_2\text{O}_5$  <sup>2)</sup>.

Параллельно съ этими показаніями есть опыты, доказывающіе возможность примѣненія фосфоритовъ на почвахъ кислыхъ; такъ, Бременская станція для изученія культуры торфяниковъ въ послѣднее время съ успѣхомъ пользуется алжирскимъ фосфоритомъ (и это послѣ того, какъ въ Германіи употребленіе необработанныхъ кислотами фосфоритовъ было почти совершенно отвергнуто); въ такихъ случаяхъ возможно, что фосфоритъ мало растворимый можетъ дать эффектъ даже болѣе чѣмъ растворимый (кислый) фосфатъ.

|                                            |          |
|--------------------------------------------|----------|
| Почва безъ фосфорной кислоты; урожай . . . | 34 грам. |
| » растворимая фосфорная кислота . . .      | 135 »    |
| » Ланскій фосфоритъ . . . . .              | 115 »    |
| » двойное колич. того же фосфорита . . .   | 147 »    |

Однако, подобные результаты могутъ дать лишь меньшинство почвъ (о преобладающей роли фактора «почва» среди условій опредѣляющихъ успѣхъ или неуспѣхъ примѣненія фосфоритовъ см. ниже, въ главѣ о сравнительномъ достоинствѣ фосфатовъ).

Если при одновременномъ внесеніи съ фосфоритомъ каинита на кислыхъ почвахъ можно рассчитывать поднять растворимость фос-

<sup>1)</sup> Landw. Jahrbücher, Bd. XII.

<sup>2)</sup> Отмѣтимъ, впрочемъ, что Бѣлецкій, констатировавъ значительное раствореніе фосфорной кислоты фосфорита подъ вліяніемъ торфа, не наблюдалъ того благоприятнаго дѣйствія солей, какое отмѣчается цитируемыми авторами (Извѣстія Петровской Академіи 1880 г.).

форной кислоты, то при внесеніи веществъ, способныхъ нейтрализовать освобождающіяся кислоты, растворимость фосфорной кислоты значительно понижается. Подтверженіе этому находимъ въ опытахъ французскихъ хозяевъ, пользующихся фосфоритомъ при раздѣлкѣ ландъ и торфяниковъ; особенно удачнымъ оказалось примѣненіе фосфоритовъ при обращеніи въ культуру подобныхъ земель въ Бретани; большая заслуга въ этомъ дѣлѣ принадлежала Rieffel'ю, какъ у насъ А. Н. Энгельгардту; если при этомъ желаютъ известковать почву и удобрять ее фосфоритомъ, то необходимо известкованіе дѣлать послѣ внесенія фосфорно-кислаго удобрения; въ противномъ же случаѣ известъ, нейтрализуя кислоты, сильно понижаетъ растворимость и использование фосфорной кислоты фосфоритовъ.

Если фосфорная кислота фосфоритовъ при наличности извѣстныхъ свойствъ почвы (торфянистой, подзолистой) способна переходить въ растворимую форму, то въ другихъ случаяхъ этотъ переходъ долженъ быть осуществленъ искусственнымъ путемъ, при чемъ или пользуются приемами кустарными, домашними, или прибѣгаютъ къ помощи фабричныхъ производствъ.

Въ первомъ случаѣ, напр., компостируютъ фосфориты, смѣшивая ихъ съ отбросами органическаго происхожденія, содержащими или образующими кислоты, напр., выжимками отъ винограда или яблокъ, съ торфомъ и даже навозомъ.

У нѣкоторыхъ авторовъ имѣются указанія на значительный переходъ  $\text{P}_2\text{O}_5$  въ растворимую форму въ этихъ случаяхъ. Въ опытахъ Грандо получены такіе результаты:

| Урожай.                              | $\text{P}_2\text{O}_5$ перешло въ растворъ. |
|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| Фосфоритъ неподготовленный . . . . . | 430 0,3 гр.                                 |
| » смѣшанный съ торфомъ . . . . .     | 800 1 » на килогр.                          |

Подобные же результаты получены въ опытахъ Книрима (Рига). Условія благоприятнаго дѣйствія торфа были затронуты выше, по поводу опытовъ Эйхгорна. Есть впрочемъ опыты и съ иными результатами, что, вѣроятно, зависитъ отъ употребленія тарфа различныхъ свойствъ.

Отъ навоза, конечно, можно ожидать гораздо меньшаго растворяющаго дѣйствія, чѣмъ отъ торфа. Навозъ представляетъ среду, въ которой перегнойныя кислоты нейтрализованы щелочами, преимущественно амміакомъ, при чемъ обычно есть избытокъ амміака въ формѣ углекислаго (или дву-углекислаго). Растворяющимъ факторомъ является углекислота, поэтому, энергичнаго химическаго воздѣйствія



навоза на фосфоритъ ожидать нельзя. И дѣйствительно, наблюдаемый эффектъ дѣйствія навоза на фосфоритъ не великъ или равенъ нулю.

Вотъ результаты опытовъ Müntz'a:

|                                    | Общее со-<br>держ. $P_2O_5$ | Вытяжка содер-<br>жала $P_2O_5$ |                    |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                    |                             | лимонно-<br>кисл.               | щавелево-<br>кисл. |
| Навозъ смѣшан. съ фосфоритомъ. . . | 0,65                        | 0,18                            | 0,21               |
| Навозъ безъ фосфорита . . . . .    | 0,27                        | 0,13                            | 0,15               |

Въ другомъ опытѣ черезъ полгода перешло въ растворъ лимонно-кислаго амміака (по Вагнеру) изъ фосфорита заключаваго 141 gr.  $P_2O_5$ , только 3,8 gr. фосфорной кислоты; въ растворимое состояніе не перешло и даже слѣдовъ фосфорной кислоты (см. работу Pfeiffer'a въ Landw. Vers. Stat., Bd. 47). Встрѣчаются въ литературѣ указанія на большую, якобы, растворимость фосфоритовъ при внесеніи ихъ съ навозомъ, чѣмъ безъ послѣдняго. Очень возможно, что наблюдаемый эффектъ зависитъ не отъ лучшаго растворенія  $P_2O_5$  фосфоритовъ, а отъ одновременнаго внесенія съ навозомъ еще и азота, который часто также находится въ недостаточномъ количествѣ въ почвахъ, реагирующихъ на фосфоритъ.

Гораздо быстрее и полнѣе, чѣмъ органическія, дѣйствуютъ на фосфориты минеральныя кислоты употребляемыя при фабричной ихъ переработкѣ.

#### Приготовление суперфосфата.

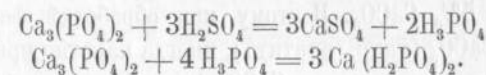
Первымъ толчкомъ въ такой обработкѣ фосфоритовъ послужило предложеніе Либиха обрабатывать кости сѣрной кислотой, чтобы возвратитъ почвѣ взятую изъ нея фосфорную кислоту въ растворимой формѣ; а затѣмъ эту реакцію стали примѣнять и къ фосфоритамъ; первый заводъ открытъ былъ въ Англіи въ 1843 году.

Основная реакція выражается въ простѣйшей формѣ слѣдующимъ управленіемъ:



[Реакція образованія одноосновной соли не идетъ сразу такъ гладко, какъ это выражено вышеприведеннымъ управленіемъ; если смѣшать трехкальцевый фосфатъ съ сѣрной кислотой и тотчасъ же обработать водой и профильтровать, то въ фильтратѣ можно обнаружить свободную фосфорную кислоту, а послѣдняя уже при дальнѣйшемъ теченіи реакціи въ процессѣ приготовленія суперфосфата связывается каль-

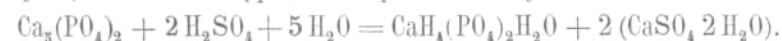
ціемъ неразложеннаго фосфата съ образованіемъ того же однокальцевого фосфата.



Если переѣшиванье массы бываетъ недостаточное, то отчасти реакція остановится на первой фазѣ, а въ другихъ мѣстахъ останется неразложенный фосфоритъ].

Продуктомъ реакціи является, между прочимъ, гипсъ, почему необходимо брать  $H_2SO_4$  съ такимъ количествомъ воды, чтобы послѣдней хватило на образованіе  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  и остался еще нѣкоторый излишекъ; при недостаткѣ воды гипсъ беретъ ее всю изъ смѣси, вслѣдствие чего образуется плотная, твердѣющая масса, мѣшающая полученію однороднаго продукта.

Если принять во вниманіе кристаллизационную воду гипса и кислаго фосфата, то основное уравненіе приметъ слѣдующій видъ:



Въ то время какъ въ исходномъ продуктѣ  $Ca_3(PO_4)_2$  приходится на  $P_2O_5$  45,8%, въ конечномъ продуктѣ по этому уравненію содержится лишь 23,8%  $P_2O_5$ ; это и есть верхній предѣлъ, до котораго въ обыкновенномъ суперфосфатѣ содержаніе  $P_2O_5$ , не можетъ достигать, такъ какъ исходятъ не изъ чистаго  $Ca_3(PO_4)_2$ , а изъ фосфорита. Но для насъ важно было отмѣтить, что при переведеніи фосфорной кислоты въ растворимую форму дѣйствіемъ сѣрной кислоты, мы существенно понижаемъ ея общее содержаніе; приблизительно можно считать, что суперфосфатъ содержитъ процентно вдвое менѣе фосфорной кислоты, чѣмъ тотъ фосфоритъ, изъ котораго онъ приготовленъ.

Но только не по одной приведенной реакціи въ технику приготовленія суперфосфатовъ вычисляютъ потребное для разложенія фосфорита количество сѣрной кислоты; такъ какъ фосфоритъ часто содержитъ  $CaCO_3$ , легко разлагаемую дѣйствіемъ кислоты, притомъ скорѣе и энергичнѣе чѣмъ  $Ca_3(PO_4)_2$ , то нуженъ бѣльшій или меньшій избытокъ кислоты противъ количества ея, вычисляемаго по выше приведенному управленію, для разложенія углекислыхъ и др. солей (смотря по составу фосфорита).

Хотя присутствіе большихъ количествъ  $CaCO_3$  въ фосфоритѣ нежелательно (вслѣдствіе излишняго расхода  $H_2SO_4$  и пониженія процентнаго содержанія  $P_2O_5$  въ продуктѣ), но въ малыхъ количествахъ углекислая известь считается даже полезной, такъ какъ ею вызывается повышеніе

температуры, ускоряющей ходъ реакции, обуславливается большая порозность массы и облегчается сушка послѣдней; желательно присутствіе не болѣе 5%  $\text{CaCO}_3$ . Поэтому при обработкѣ фосфоритовъ, не содержащихъ  $\text{CaCO}_3$  (напр., апатита), иногда нарочно примѣшивают<sup>1)</sup> съ указанной цѣлью немного  $\text{CaCO}_3$  (или берутъ здѣсь апатита съ фосфоритомъ богатымъ  $\text{CaCO}_3$ ), но этимъ достигаются менѣе удовлетворительные результаты (смѣшеніе не бываетъ столь совершеннымъ), чѣмъ въ томъ случаѣ, когда углекальціевая соль содержится въ необходимомъ (умѣренномъ) количествѣ какъ природная составная часть фосфорита. Для достиженія большей скорости и полноты реакции при переработкѣ апатитовъ можно пользоваться другимъ средствомъ, именно примѣнять нагрѣтую предварительную кислоту.

Кромѣ углекислаго кальція сѣрная кислота разлагаетъ и отчасти кремнекислые соли, выделяя студенистую  $\text{SiO}_2$ .

Содержащійся въ фосфоритахъ (апатитахъ)  $\text{CaF}_2$  сѣрной кислотой также болѣе или менѣе разлагается (благодаря разогрѣванію массы), образуя  $\text{HF}$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . Такимъ образомъ главная реакція образованія монокальціеваго фосфата сопровождается и усложняется этими побочными, и въ концѣ концовъ получается смѣсь сложнаго химическаго состава.

Не вдаваясь въ подробности разсчета кислоты, необходимой для разложенія фосфата въ зависимости отъ его состава<sup>2)</sup>, при-

<sup>1)</sup> „Mischungen von karbonatfreien Phosphaten mit Säure bleiben (meistens „tobt und kalt“, schliessen sich deshalb nur langsam auf und trocknen schwer“. Schucht, I. с. 61.

<sup>2)</sup> Разсчетъ возможенъ лишь съ извѣстнымъ приближеніемъ, такъ какъ основная реакція не идетъ вполне гладко по обычной схемѣ до образованія однокальціеваго фосфата, но на самомъ дѣлѣ устанавливается извѣстное равновѣсіе, при которомъ есть на лицо и свободная  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и кислый фосфатъ, отчасти и неразложенный (или не вполне разложенный) фосфатъ, нерастворимый въ водѣ; количество свободной фосфорной кислоты можетъ доходить до 5—7% отъ вѣса продукта, и оно должно быть тѣмъ большимъ, чѣмъ богаче исходный матеріалъ окислами желѣза и глинозема. Далѣе количество потребной кислоты мѣняется въ зависимости отъ температуры, такъ какъ есть соединения, разлагаемые лишь при нагрѣваніи (фтористыя соединения; силикаты также въ разныхъ фосфоритахъ ведутъ себя неодинаково).

Можно сказать, что въ то время, какъ уравненія пишутся въ предположеніи, что имѣется въ виду приготовленіе однокальціеваго фосфата, на дѣлѣ рѣшается нѣсколько другой вопросъ, а именно: сколько нужно ввести сѣрной кислоты, чтобы получить максимумъ воднорастворимой фосфорной к. (хотя бы цѣной накопленія свободной  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), но не перейти

ведемъ приблизительныя количества кислоты для нѣкоторыхъ случаевъ:

|                    | 100 ч. фосфата съ содержаніемъ: |                                                 |                 | Берется по вѣсу.        |                   |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
|                    | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$    | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{CaCO}_3$ | $\text{H}_2\text{SO}_4$ | Градусы Боме.     |
| Костяная зола. . . | 82,1                            | 0,3                                             | 4,4             | 95                      | 52°               |
| Подольскій ф-тъ. . | 74,7                            | 5,0                                             | 4,7             | 120                     | 50°               |
| Алжирскій » . .    | 65,0                            | 0,6                                             | 16,0            | 100                     | 52°               |
| Каролинскій » . .  | 56,6                            | 2,8                                             | 12,0            | 100                     | 50° <sup>1)</sup> |
| Костромской » . .  | 65,3                            | 4,2                                             | 13,5            | 108                     | 52° <sup>2)</sup> |
| Вятскій » . .      | 57,8                            | 4,5                                             | 9,6             | (100)                   | 52° <sup>3)</sup> |

той границей, при которой возможно получение сухого (не мажущагося) продукта? Окончательно эта задача рѣшается на заводахъ эмпирически, тѣмъ болѣе, что ея рѣшеніе зависитъ не только отъ данныхъ химическаго состава, но и отъ структуры фосфорита и отъ физическихъ свойствъ можетъ быть даже тѣхъ его составныхъ частей, которыя сами не примутъ участія въ главной химической реакціи.

Для предварительнаго разсчета рекомендуются различныя приемы приблизительнаго вычисленія; такъ, чаще всего рекомендуютъ принимать во вниманіе три категоріи веществъ, потребляющихъ кислоту, именно, трехкальціевый фосфатъ, углекислый кальцій и сумму полуторныхъ окисловъ (желѣза и глинозема), при чемъ количество перваго множится на 1,1, втораго на 1,6 и третья величина на 4; сумма даетъ вѣсовое количество сѣрной кислоты (камерной, 50° Боме), потребное для разложенія (см. Grüber, Die Superphosphatfabrication). Если примѣнить этотъ разсчетъ къ костромскому фосфориту, то получимъ слѣдующее:

|                                                          |                            |        |                                    |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|--------|------------------------------------|
| На 95,38% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                   | требуется ввести . . . . . | 65,32  | части                              |
| На 13,56% $\text{CaCO}_3$                                | » . . . . .                | 21,69  | »                                  |
| На 4,21% $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ | » . . . . .                | 16,84  | »                                  |
| Всего на 100 ч. фосфорита . . . . .                      |                            | 103,85 | частей сѣрной кислоты въ 50° Боме. |

Или 99,1 вѣсовая часть кислоты въ 52,1° Боме (уд. в. 1,565), что отвѣчаетъ объему въ 63,4 куб. с.

Такой разсчетъ, конечно, очень грубъ, но къ большей точности стремиться не стоитъ по причинамъ вышеуказаннымъ; далѣе же остается произвести рядъ пробъ съ возрастающими количествами кислоты, взявши высчитанное количество лишь за нѣкоторый опорный пунктъ.

<sup>1)</sup> См. Schucht, Fabrikation des Superphosphats, Braunschweig, 1909, стр. 92.

<sup>2)</sup> По даннымъ полученнымъ В. П. Кочетковымъ при опытахъ на Кинешевскимъ заводѣ г. Бурнаева.

<sup>3)</sup> Цифра для Вятскаго фосфорита не окончательная, такъ какъ пока не было заводскихъ опытовъ съ нимъ.



Въ технику при правильно организованномъ производствѣ расчетъ кислоты основывается на близкомъ знакомствѣ съ составомъ и свойствами того фосфата, съ которымъ приходится имѣть дѣло; всякая неточность въ этомъ отношеніи отзывается дурно на свойствахъ продукта, который при избыткѣ кислоты не просыхаетъ, образуетъ мажущуюся массу, а при ея недостаткѣ содержитъ неразложенный фосфатъ, неоплачиваемый при продажѣ и способный вызывать ретроградацию при храненіи.



Рис. 30.

Фосфориты до химической обработки предварительно измельчаются, для чего пользуются толчеями, бѣгунами, жерновами; въ последнее время съ этой цѣлью употребляются «шаровыя» мельницы (непрерывнаго дѣйствія), представляющія вращающійся барабанъ (см. рис. 30) со стѣнками изъ стальныхъ пластинъ, съ отверстиями между ними; внутрь вводятъ куски фосфорита вмѣстѣ съ стальными или чугунными шарами; при вращеніи фосфоритъ размалывается отъ ударовъ и тренія, и мелкія части проваливаются черезъ отверстія въ стѣнкахъ и далѣе поступаютъ на сита<sup>1)</sup>.  
Послѣ измельченія смѣшиваютъ фосфоритъ съ сѣрной кислотой, при чемъ на благоустроенныхъ заводахъ заботятся объ отводѣ выдѣляющихся ядовитыхъ (HF) газовъ и даже о поглощеніи ихъ водой или известковымъ молокомъ; кромѣ того рабочіе для защиты отъ дѣйствія газовъ и брызгъ  $H_2SO_4$  снабжаются очками и масками-респираторами. Тщательное и быстрое смѣшеніе является весьма важной операцией отъ которой зависитъ полнота реакціи и однородность продукта.

<sup>1)</sup> Кромѣ шаровыхъ мельницъ упомянемъ еще мельницу Кента, которая построена по принципу „бѣгуновъ“, но съ той разницей, что вращаются не только самые бѣгуны, а и тотъ стальной барабанъ, внутри котораго они вращаются, причемъ оси бѣгуновъ (вальцовъ) не фиксированы прочно, но съ помощью крѣпкихъ пружинъ удерживаются въ такомъ положеніи, чтобы дробился фосфоритъ, попадающіе между поверхностью вальцовъ и внутренней поверхностью стального барабана.

Если смѣшиваніе ведется ручнымъ способомъ въ открытыхъ резервуарахъ (рис. 31), то приходится вести работу съ перерывами, необходимыми для выгрузки готоваго суперфосфата. болѣе совершенны

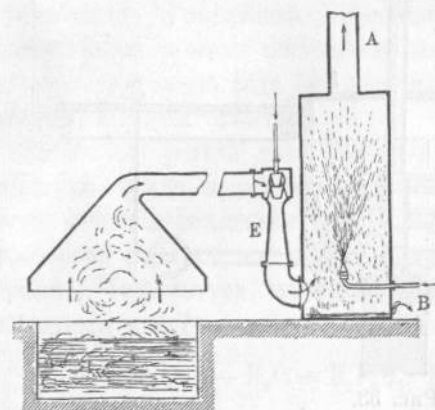


Рис. 31.

по устройству закрытые приборы съ механическимъ смѣшиваніемъ; они состоятъ изъ неподвижнаго цилиндрическаго резервуара, съ одного конца котораго вводится сырой матеріалъ (кислота и фосфоритъ), а съ другого выходитъ готовый продуктъ—суперфосфатъ, при чемъ перемѣшиваніе и передвиженіе достигается ножами, по спирали расположенными на вращающейся оси цилиндра (см. рис. 32); или же ось прибора располагается вертикально, при чемъ самъ онъ имѣетъ форму тигля, черезъ крышку котораго всыпается фосфатъ и вливается кислота, а послѣ перемѣшиванья вся масса па-

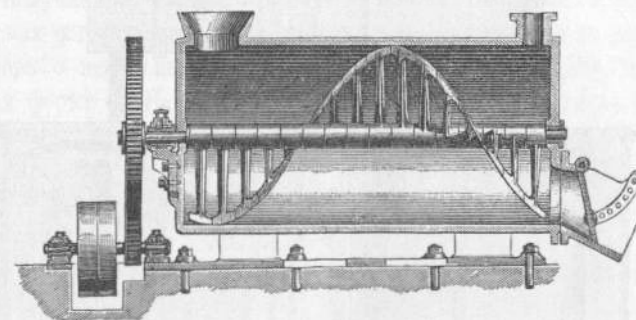


Рис. 32.

даетъ внизъ при открытіи люка (или нѣсколькихъ люковъ) въ нижней части прибора (см. рис. 33).

Въ последнемъ случаѣ часто пользуются расположеніемъ изображенномъ на рис. 34-мъ: изъ прибора для смѣшиванья гдѣ масса энергично перерабатывается мѣшалками въ теченіе менѣе чѣмъ одной минуты, въ еще полужидкомъ состояніи горячая смѣсь быстрымъ движеніемъ клапановъ выбрасывается въ помещеніе f, гдѣ собственно и заканчивается реакція, а въ приборъ вводится тотчасъ же новая

смѣсь. При этомъ используется теплота, развивающаяся при реакціи какъ для болѣе полного разложенія нѣкоторыхъ болѣе стойкихъ со-

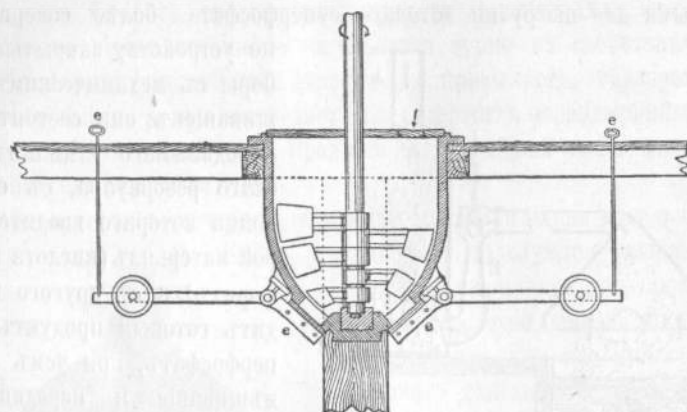


Рис. 33.

ставныхъ частей фосфорита, такъ и для удаленія возможно большого количества воды.

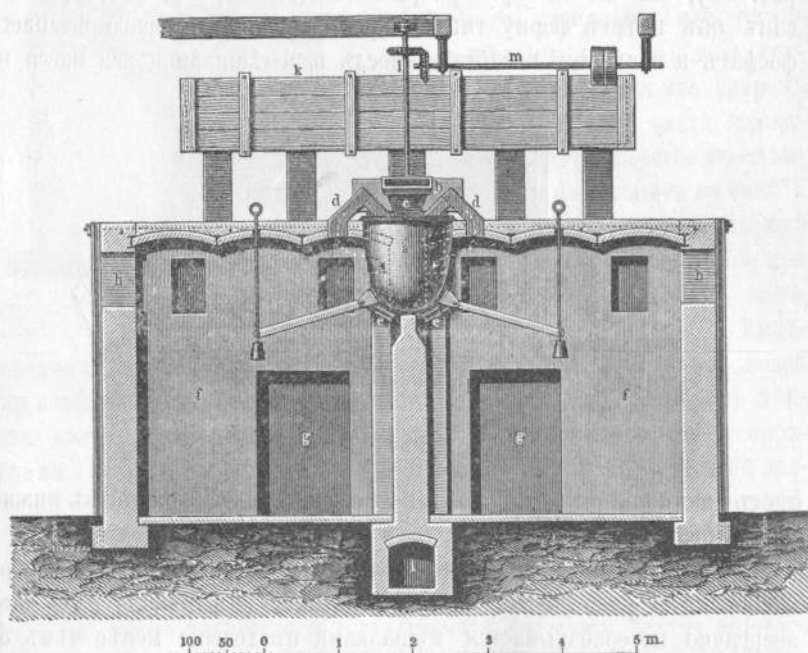
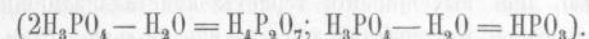


Рис. 34. *a*—резервуаръ для смѣшиванья, *e*—воронка для всыпанія фосфорита, *k*—резервуаръ съ сѣрной кислотой, *e*—клапаны съ противовѣсами, *f*—подвальное помѣщеніе, куда спускается горячая смѣсь для окончанія реакціи, *g*—отверстія для выгрузки готового суперфосфата.

Полученная масса послѣ ея затвердѣванія и остыванія выгружается изъ камеры далѣе подвергается (если нужно) сушкѣ въ особыхъ сушильняхъ; обыкновенно вагонетки, нагружены суперфосфатомъ, подвигаются въ нихъ постепенно навстрѣчу току теплаго воздуха, отдавая излишнюю воду (но кристаллизационная вода при обычныхъ условіяхъ сушки остается).

Важно для успѣха дѣла производить сушку не при высокой температурѣ, иначе кромѣ высушиванія и потерь кристаллизационной воды начнется разложеніе (съ выдѣленіемъ воды) кислой соли ортофосфорной кислоты, съ образованіемъ солей пиро-и метафосфорной кислоты. Температура сушки не должна быть выше 100°, при 120° образуется пирофосфатъ, при 200 — метафосфатъ <sup>1)</sup>.



Въ послѣднее время вмѣстѣ сушки суперфосфатовъ, содержащихъ избытокъ фосфорной кислоты, примѣниваютъ къ нимъ небольшое количество костяной муки (обезклеенной); частички порозной кости впитываютъ жидкость и нейтрализуютъ ее, при чемъ достигается высушиванье безъ потерь въ количествѣ растворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$  <sup>2)</sup>.

Въ получаемой сложной смѣси, носящей названіе суперфосфата, фосфорная кислота находится главнымъ въ растворимой въ водѣ формѣ; не говоря о небольшихъ количествахъ свободной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и преобладающей формѣ  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , она содержится отчасти въ видѣ кислыхъ солей  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$ .  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  есть также соль растворимая,

<sup>1)</sup> Образованіе этихъ продуктовъ связано съ пониженіемъ достоинства суперфосфата; такъ въ одномъ опытѣ при внесеніи въ качествѣ удобрения пиро-и метафосфата Gregoire получилъ слѣдующіе результаты:

|         | Безъ фосфора. | Пирофосфатъ. | Метафосфатъ. | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . |
|---------|---------------|--------------|--------------|----------------------------------------|
| Урожай: | 13,9          | 15,1         | 17,3         | 40,4.                                  |

(См. рефератъ въ Bied. Centralblatt, 1905, 577).

<sup>2)</sup> Кромѣ того, въ послѣднее время употребляются различные аппараты для автоматической разгрузки камеръ, позволяющіе не дожидаться полного охлажденія суперфосфата; эти аппараты (крошительныя или скобильныя машины) позволяютъ использовать теплоту суперфосфата съ одновременнымъ сильнымъ провѣтриваньемъ для его просушки, именно съ помощью скребокъ или ножей машины эти отрѣзаютъ отъ массы затвердѣвшаго суперфосфата тонкіе ломтики, при паденіи легко разсыпавшіеся въ тонкій порошокъ, отдающій встрѣчному воздуху значительную часть влаги (подробности см. напр. у Бричке. Производство суперфосфата, Рига, 1910).



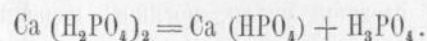
какъ и соответствующая соль Al, но не стойкая, являющаяся одной изъ причинъ вторичныхъ реакцій въ суперфосфатахъ<sup>1)</sup>.

Нерастворимыми въ водѣ солями  $P_2O_5$  въ суперфосфатѣ являются двукальціевый фосфатъ  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ , полуторнокислые соли Fe и Al (напр.,  $FeH_3(PO_4)_2$ ,  $FePO_4$  и соответствующія соли Al).

Далѣе, въ составъ суперфосфатовъ входятъ  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (гипсъ), сѣрниокислые Fe и Al, свободная кремневая кислота, отчасти силикаты Fe, Ca, Al, песокъ, глина, иногда немного  $CaF_2$ . Соли угольной кислоты встрѣчаются лишь при очень плохомъ перемѣшиваніи смѣси фосфорита съ сѣрной кислотой.

Реземотримъ ближе свойства  $Ca(H_2PO_4)_2$ : соль эта можетъ быть получена въ кристаллическомъ видѣ  $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O]$ , отличается нестойкостью, при высушиваніи теряетъ кристаллизационную воду, при болѣе высокой температурѣ теряетъ еще больше воды, переходя въ соль широкофосфорной кислоты.

По Stoklasa одноосновный фосфатъ растворяется въ водѣ лишь въ томъ случаѣ, если на 1 ч. соли приходится 200 ч. воды; при другихъ отношеніяхъ (напр. 1:50) происходитъ разложение соли съ выдѣленіемъ свободной  $P_2O_5$ :



При этомъ двухкальціевый фосфатъ получается въ осадкѣ.

При кипяченіи, даже въ томъ случаѣ, если на 1 ч. соли приходится 200 ч.  $H_2O$ , также происходитъ разложение монокальціевой соли съ выдѣленіемъ свободной  $P_2O_5$ .

Разсматриваемое обстоятельство имѣтъ въ виду при приготовленіи вытяжки изъ суперфосфата, такъ какъ благодаря ему безъ всякихъ другихъ причинъ количество растворимой  $P_2O_5$  суперфосфата можетъ уменьшиться (въслѣдствіе образованія нерастворимаго въ водѣ двукальціеваго фосфата).

#### *Двойной суперфосфатъ и преципитатъ.*

Какъ мы видѣли, суперфосфатъ неизбежно представляетъ смѣсь болѣе бѣдную фосфорной кислотой сравнительно съ фосфоритомъ, такъ какъ мы прибавляемъ къ фосфориту сѣрную кислоту и воду; первая даетъ гипсъ — постоянную составную часть обыкновеннаго суперфос-

<sup>1)</sup> См. Stoklasa, Chemische und physiologische Studien über die Superphosphate. Объ опредѣленіи свободной  $P_2O_5$  см. Herzfelder, Landw. Vers-Stat., Bd. 58, стр. 471 (составленіе различныхъ методовъ).

фата; вторая также въ значительной степени входитъ въ составъ конечнаго продукта въ видѣ кристаллизационной воды. Недостаточно высокое содержаніе  $P_2O_5$  при потребленіи на мѣстѣ производства не представляетъ неудобства, такъ какъ оцѣнка производится по %  $P_2O_5$  и можно употреблять двойное количество напр. 10% продукта вмѣсто простого количества 20%-наго. Не то при перевозкѣ на дальнія разстоянія: чѣмъ больше балласта приходится перевозить, тѣмъ дороже обойдется 1%  $P_2O_5$  въ пудѣ суперфосфата; по этому чѣмъ дальше отъ мѣста фабрикаціи, тѣмъ выгоднѣ брать высокопроцентные продукты. Кромѣ того приходится считаться съ привычками рынка; такъ обычно принято требовать, чтобы суперфосфатъ содержалъ не меньше 12% воднорастворимой фосфорной кислоты (хотя оснований для этого кромѣ дороговизны дальней перевозки, не имѣется); а такъ какъ 12% суперфосфатъ можно получать изъ фосфоритовъ, содержащихъ не менѣе 24%  $P_2O_5$ , то цѣлый рядъ фосфоритовъ не можетъ перерабатываться по типу простого суперфосфата; такъ у насъ не идутъ для этой переработки смоленскіе, рязанскіе, курскіе и др. фосфориты; годятся же лишь болѣе высокопроцентные, какъ подольскіе, костромскіе, вятскіе. Но есть способы, неизбежно болѣе сложные, связанные съ обогащеніемъ конечнаго продукта путемъ отдѣленія отъ примѣсей, позволяющие перерабатывать и низкопроцентные фосфориты, если экономическія условія это позволяютъ. Сюда относится приготовленіе вмѣсто простого *двойного суперфосфата*. Для реакціи въ этомъ случаѣ употребляютъ не сѣрную, а фосфорную кислоту, приготовляемую тутъ же на мѣстѣ изъ фосфорита (по возможности не содержащаго  $CaCO_3$ ), послѣ разложенія (полнаго) сѣрной кислотой, въ этомъ случаѣ берутъ столько сѣрной кислоты, чтобы разложить не только до однокальціеваго фосфата, но до свободной  $H_3PO_4$ , слѣд., не 2, а 3 части  $H_2SO_4$  на частицу  $Ca_3(PO_4)_2$ . Фосфорную кислоту извлекаютъ водой, при чемъ она отдѣляется отъ осѣвшихъ примѣсей (образовавшихся гипса, бывшихъ въ фосфоритѣ песчаныхъ и глинистыхъ частицъ), затѣмъ водный растворъ, извлеченной  $H_3PO_4$  сгущаютъ, дѣйствуютъ имъ на новую порцію фосфорита и получаютъ продуктъ, содержащій также  $Ca(H_2PO_4)_2$ , но *безъ гипса*, съ болѣе высокимъ содержаніемъ  $P_2O_5$  сравнительно съ суперфосфатомъ, полученнымъ прямымъ дѣйствіемъ  $H_2SO_4$ : обыкновенный суперфосфатъ содержитъ 15—20%  $P_2O_5$ , здѣсь же содержаніе  $P_2O_5$  доходитъ до 30% и выше.

Съ той же цѣлью при обработкѣ фосфоритовъ (и костей) употребляютъ кромѣ сѣрной и соляную кислоту, причемъ переходитъ въ растворъ  $H_3PO_4$ , равно какъ и  $CaCl_2$ , въ осадкѣ находятся примѣси,

какъ глина и песокъ, отъ которыхъ здѣсь легко избавиться (въ простомъ суперфосфатѣ же онѣ остаются); для этого, растворъ декантируютъ, кислоту нейтрализуютъ известковымъ молокомъ; въ осадкѣ получается вся фосфорная кислота въ видѣ смѣси 2-хъ (и отчасти 3-хъ) основной фосфорнокислой извести; его промываютъ (для удаленія  $\text{CaCl}_2$ ) и сушатъ. Полученный продуктъ называется «осажденнымъ фосфатомъ» или «преципитатомъ».

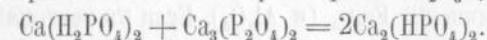
Онъ содержитъ фосфорную кислоту въ состояніи растворимомъ въ лимоннокисломъ амміакѣ (про томъ условіи, что сушка массы производилась осторожно), и усвояемомъ для растенія, такъ какъ не только двукальціевый, но и трехкальціевый фосфатъ въ свѣжеосажденномъ состояніи, содержащій кристаллизационную воду, отличается значительно по свойствамъ отъ фосфата безводнаго и апатита (который находится въ фосфоритахъ). Обычно продажный продуктъ содержитъ 30—35% фосфорной кислоты, слѣдов., значительно больше, чѣмъ обыкновенный суперфосфатъ; кромѣ того, здѣсь также отсутствуетъ гипсъ, въ отличіе отъ простого суперфосфата <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Въ настоящее время преципитатъ готовится почти исключительно изъ костей и является побочнымъ продуктомъ при приготовленіи изъ нихъ желатинъ; при этомъ готовятъ изъ обезжиренной кости такую же солянокислую вытяжку, какъ изъ фосфорита, но въ остаткѣ будетъ не

песокъ, а дѣйствующее вещество (или осевинъ), а солянокислая вытяжка даетъ осажденный фосфатъ, какъ и въ случаѣ фосфорита; всѣ главныя составныя части кости при этомъ наилучше оплачиваются рынкомъ. Что же касается фосфоритовъ, то остановимся на двухъ особыхъ случаяхъ, когда мыслимо приготовленіе преципитата изъ нихъ:

1) Если располагаютъ водной силой, то возможно приготовленіе преципитата безъ постоянной затраты какой бы то ни было кислоты; при этомъ пользуются электролитическимъ способомъ Paimar'a, именно подвергаютъ электролизаци растворъ хлорноватокислаго натра ( $\text{NaClO}_2$ ) въ особомъ аппаратѣ, при чемъ въ анодномъ отдѣленіи получается кислота ( $\text{HClO}_2$ ), а въ катодномъ растворъ дѣлается щелочнымъ (образованіе  $\text{NaOH}$ ); кислая жидкость изъ аноднаго отдѣленія проводится черезъ батарею деревянныхъ ящиковъ, наполненныхъ фосфоритомъ, подлежащимъ выщелачиванію (система противотока). Насыщенный фосфорной кислотой [содержащій кромѣ того  $\text{Ca}(\text{ClO}_2)_2$ ] растворъ направляется навстрѣчу катодной (щелочной) жидкости, количество которой регулируется такъ, чтобы при смѣшеніи получилась лишь слабо щелочная реакція; тогда выпадаетъ въ осадокъ вся фосфорная кислота въ видѣ бѣлаго мелко кристаллическаго осадка двукальціеваго фосфата (преципитата); осадокъ отдѣляется, промывается и сушится, растворъ же, содержащій  $\frac{1}{2}$  кальція взятаго фосфата въ видѣ  $\text{Ca}(\text{ClO}_2)_2$ , смѣшивается съ остаткомъ катодной жидкости, при чемъ выпадаетъ большая часть извести въ видѣ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Будучи въ преципитатѣ главной составной частью, въ суперфосфатѣ 2-хъ основной фосфатъ является примѣсью, какъ результатъ неполнаго разложенія или же какъ продуктъ вторичнаго процесса, *ретроградаци*; при этомъ или однокальціева соль распадается на 2-хъ кальціевую и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , или находящійся въ суперфосфатѣ неразложенный трехосновной фосфатъ (что бываетъ при плохомъ мѣшаніи массы во время реакціи и недостаткѣ кислоты) дѣйствуетъ на кислый фосфатъ, причемъ количество растворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$  уменьшается:



Дѣйствительно, если въ растворъ однокальціевой соли ввести 3-хъ кальціевую, то не трудно обнаружить ретроградацию—количество растворимой въ водѣ  $\text{P}_2\text{O}_5$  постепенно будетъ уменьшаться. Реакцію эту не трудно обнаружить, если смѣшивать одноизвестковый фосфатъ съ трехъизвестковымъ и періодически извлекать водой разныя порціи смѣси; Stoclasa получилъ при этомъ такія данныя: взято на 2,5 гр. однокальціевой соли 3,5 гр. трехкальціевой; перешли въ растворъ слѣд. количества  $\text{P}_2\text{O}_5$ , въ зависимости отъ протекшаго времени:

0    5    14    30 дней 6 мѣс. 12 мѣс.  
56% 55% 46% 37%    6%    0,53% (отъ исходнаго количества).

(оставшаяся часть удаляется введеніемъ  $\text{CO}_2$ ), а въ растворѣ регенерируется  $\text{NaClO}_2$ , и онъ возвращается опять въ аппаратъ. Такимъ образомъ

въ этомъ случаѣ можно было бы пользоваться известными фактами, указывающими на то, чтобы отнять одинъ атомъ  $\text{Ca}$  отъ  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , замѣнить его водородомъ воды и превратить въ  $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2$ , а отнятый  $\text{Ca}$  оставить въ соединеніи съ двумя гидроксидными.

2) Другой случай, когда производство осажденного фосфата, по нашему мнѣнію, было бы умѣстно и осуществимо безъ особыхъ расходовъ на кислоту—это использование азота воздуха для приготовленія «норвежской» селитры [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ]. Известно, что полученная при этомъ  $\text{HNO}_3$  нейтрализуется  $\text{CaCO}_3$  и растворъ сгущается до кристаллизаци  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; такимъ образомъ напрасно тратится энергія, которую можно было бы использовать слѣдующимъ образомъ: растворъ азотной кислоты идетъ на разложеніе фосфорита, вытяжка, содержащая фосфорную кислоту и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , по отдѣленіи отъ нераствореннаго остатка осаждается известковымъ молокомъ. Осажденный фосфатъ отдѣляется отъ раствора  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , тогда послѣдній сгущается и даетъ поступающій въ продажу продуктъ—норвежскую селитру. Конечно, при этихъ условіяхъ селитра можетъ заключать въ себѣ некоторую примѣсь азотно-кислаго желѣза и другихъ оснований, кромѣ кальція, но для дѣлей удобренія это несущественно. Замѣтимъ, что изложенный здѣсь способъ представляется намъ а priori рациональнымъ, но его еще предстоитъ испытать на дѣлѣ.

3) Мыслимо возникновеніе такого производства при использовании кислотныхъ отходовъ пороховыхъ заводовъ (см. VII-й отчетъ о вегетац. оп., М. 1912 г.).

Ученіе объ удобреніи.



Этот искусственный примѣръ, конечно, очень рѣзокъ сравнительно съ тѣмъ, что имѣетъ мѣсто въ суперфосфатахъ, но все же онъ хорошо иллюстрируетъ вліяніе одного изъ фактовъ ретроградаци.

Если въ суперфосфатѣ находится  $\text{CaCO}_3$ , то и онъ способствуетъ переходу однокальціевой соли въ нерастворимую 2-хъ и даже 3-хъ кальціевую. Силикаты также способны отнимать отъ монокальціеваго фосфата часть  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Болѣе важной причиной ретроградаци является въ суперфосфатахъ наличие соединений  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Если въ немъ находится, напр.  $(\text{Fe}_2\text{SO}_4)_3$ , то при реакціи этой соли съ  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  образуется гипсъ и кислая фосфорнокислая соль желѣза:  $3\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 2(\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_3\text{PO}_4) + 3\text{CaSO}_4$ .

Но кислая соль желѣза непрочна, она легко распадается на  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; послѣдняя же соль далѣе можетъ отдавать кристаллизационную воду  $\text{CaSO}_4$ :



Получающееся при этомъ безводное фосфорнокислое желѣзо является не только не растворимымъ въ водѣ, но плохо растворимымъ въ лимонной кислотѣ и малоусвояемымъ. При большомъ содержаніи въ суперфосфатѣ Fe такой переходъ является интенсивнымъ; само собой разумѣется, что если желѣзо будетъ находиться не въ формѣ сѣрно-кислыхъ солей, но въ видѣ окиси (напр. въ почвѣ), то ретроградация пойдетъ еще энергичнѣе. Милло смѣшивалъ съ порошковатой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  чистую монокальціевую соль въ одномъ случаѣ (1) и суперфосфатъ въ другомъ (2), содержащіе всю  $\text{P}_2\text{O}_5$  въ растворимой формѣ; черезъ 6 мѣсяцевъ оказалось:

- |                                               |      |                     |       |
|-----------------------------------------------|------|---------------------|-------|
| (1). Растворимой $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . | 3,9% | нерастворимой . . . | 14,1% |
| (2). " " . . .                                | 4,5% | " " . . .           | 17,0% |

Joulié нашелъ, что при этомъ, кромѣ образованія фосфата желѣза, реакція можетъ доходить до образованія  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; какъ правило же получается  $\text{CaHPO}_4$ .

По изложеннымъ соображеніямъ фосфаты, содержащіе много Fe <sup>1)</sup>, рѣдко перерабатываются на суперфосфаты; считаются допустимыми

<sup>1)</sup> Желѣзо встрѣчается въ фосфоритахъ чаще всего въ видѣ фосфорнокислаго, или въ видѣ колчедана  $\text{FeS}_2$ ; первая форма легко разлагается сѣрной кислотой, вторая противостоитъ ей дѣйствию, если только сѣрная кислота не содержитъ окисловъ азота. Рѣже въ фосфоритахъ встрѣчается свободная окись  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и кремнекислое желѣзо.

2%, въ крайнемъ случаѣ 3—4%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (см. Schuch, Fabrikation des Superphosphats).

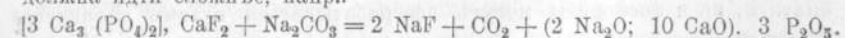
Соединенія глинозема отчасти также способствуютъ явленіямъ ретроградаци, но въ гораздо меньшей мѣрѣ, чѣмъ желѣзо.

Мы разсмотрѣли отношеніе одно, двухъ и трехкальціева фосфатовъ другъ къ другу, къ другимъ составнымъ частямъ суперфосфата и къ растворенію въ водѣ. Эти отношенія играютъ нѣкоторую роль при оцѣнкѣ сравнительнаго достоинства фосфатовъ, а прежде эту роль считали еще болѣею.

Дѣло въ томъ, что суперфосфаты обычно оцѣниваются по количеству растворимой въ водѣ  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; но Грандо и Петерманнъ показали, что и нерастворимый въ водѣ двухкальціевый фосфатъ усвоится растениями, поэтому ретроградация въ суперфосфатѣ не представляетъ уже такой потери фосфорной кислоты, по скольку дѣло идетъ объ образованіи  $\text{CaHPO}_4$  (иначе преципитатъ не имѣлъ бы того значенія, какое ему теперь придается въ ряду фосфорнокислыхъ удобреній).

На основаніи этого предложено было оцѣнивать фосфаты не по показаніямъ водной вытяжки, а по показаніямъ вытяжки изъ лимоннокислаго амміака, растворяющей одно и двухъ-основный фосфатъ (полурастворимая  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); такой способъ оцѣнки принятъ во Франціи и Бельгіи, въ Германіи же цѣнятъ лишь воднорастворимую фосфорную к-ту въ суперфосфатахъ.

<sup>1)</sup> Кромѣ обработки кислотами существуютъ еще способы превращенія фосфоритовъ въ болѣе усвояемые фосфаты; такъ, путемъ сплавленія  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  съ содой получается  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{CaCO}_3$ ; съ апатитомъ реакція должна идти сложнѣе, напр.:



Такой фосфатъ, названный по имени предложившаго этотъ способъ *Wiborghphosphat*, нерастворимъ въ водѣ, но хорошо растворимъ въ лимонной кислотѣ и лимоннокисломъ амміакѣ, даже лучше, чѣмъ фосфатъ томасова шлака (см. ниже), съ которымъ общей чертой является здѣсь избытокъ основанія (тетрафосфатъ). Съ другой стороны *Wolters* предложилъ сплавлять фосфориты съ бисульфатомъ (кислымъ сѣрно-кислымъ натромъ): беретъ 100 частей фосфорита, 70 ч.  $\text{NaHSO}_4$ , 20 ч.  $\text{CaCO}_3$ , 22 ч. песку и 6 ч. угля (?); по опытамъ Вагнера усвояемость фосфата Волтерса выше, чѣмъ для томасова шлака. Далѣе, *Ystgaard* сплавляетъ апатитъ съ карналлитомъ и кизеритомъ при 650°, при чемъ получается хрупкая, легко размельчаемая масса, содержащая фосфатъ магнія, по дѣйствию также близкій къ томасову шлаку или даже его превосходящій (см. Bied. Centralblatt 1904, 01 и 419 стр., 1905, 362 и 1906, 67). Очевидно однако, что производство подобныхъ фосфатовъ возможно лишь тамъ, гдѣ дешево топливо, и то въ томъ случаѣ, если томасовъ шлакъ вслѣдствіе значительныхъ издержекъ на перевозку или другихъ причинъ не будетъ вытѣснять ихъ.

Томасовъ шлакъ.

Это фосфорнокислосое удобрение получается въ качествѣ отброса при переработкѣ чугуна на желѣзо и сталь; при этомъ образуется шлакъ, довольно богатый фосфоромъ, отъ котораго стараются освободить сталь и желѣзо, какъ отъ вредной примѣси.

Для процесса бессемерованія до 80-хъ годовъ употреблялся чугунъ, содержащій не больше 0,1% P<sup>1)</sup> и 0,05% S; но въ 1879 году Томасъ и Гилькристъ сдѣлали возможной переработку чугуна, содержащаго большое количество P, введя въ употребленіе «основной процессъ» («томасированіе») въ отличіе отъ прежняго «кислаго» (въ смыслѣ избытка SiO<sub>2</sub>) бессемерованья.

Попутно этотъ процессъ доставилъ сельскому хозяйству крупный и хорошо используемый источникъ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Въ этомъ измѣненномъ процессѣ бессемерованія реторта («конвертеръ»), въ которой производится плавленіе чугуна, имѣетъ внутреннюю обкладку изъ доломитоваго известняка, сверхъ того прибавляется къ сплавляемому металлу известь (CaO), для связыванія образующейся при окисленіи фосфора P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Процессъ окисленія совершается при вдуваніи воздуха: Сперва окисляется Si, потомъ Mn, C, а при 1800°—2000° P сгораетъ въ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, которая въ CaO образуетъ известковую соль, всплывающую наверхъ въ видѣ шлака вмѣстѣ съ кремнекислымъ Са, и другими примѣсями; при наклоненіи конвертера шлакъ стекаетъ и охлаждаясь

Опыты произведенные въ нашей лабораторіи показали, что не только апатитъ, но и фосфориты могутъ перерабатываться путемъ сплавленія съ содой.

Вотъ примѣръ изъ опытовъ съ костромскимъ фосфоритомъ:

|                              | I. Всей P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . | II. Лимонно-раствор. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . | III въ % отъ I.  |
|------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|
| Отношеніе фосфорита къ содѣ. | { 1 : 1/2    21,82<br>1 : 1/4    25,75  | { 21,57<br>19,10                                     | { 98,85<br>74,17 |

Такимъ образомъ получасовое сплавленіе съ половиннымъ количествомъ соды превращаетъ фосфоритъ въ удобрение, стоящее выше томасова шлака по растворимости въ лимонно-кисломъ амміакѣ, а сплавленіе съ 1/4 соды—въ удобрение подобное томасову шлаку (см. VI отчетъ по лабораторіи, М. 1911 г.).

1) Желѣзные руды обыкновенно содержатъ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, которая при выплавкѣ чугуна восстанавливается въ P; присутствіе послѣдняго въ большихъ количествахъ дѣлаетъ невозможнымъ полученіе стали и желѣза должнаго качества.

даетъ черную кристаллическую пористую массу. О результатахъ процесса можно судить по слѣдующимъ цифрамъ:

|                                              | C.  | Si.   | Mn.  | P.   | S.   |
|----------------------------------------------|-----|-------|------|------|------|
| Чугунъ содержалъ до плавленія . . . . .      | 3%  | 1,3%  | 1,5% | 2,5% | 0,2% |
| Сталь изъ того же чугуна содержала . . . . . | 0,4 | Слѣды | 0,76 | 0,02 | 0,03 |

Полученный въ данномъ случаѣ шлакъ содержалъ:

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| SiO <sub>2</sub> . . . . .              | 12%  |
| Окисловъ Fe и Mn . . . . .              | 11 » |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 16 » |
| CaO (и MgO) . . . . .                   | 54 » |

Составъ шлака измѣняется въ зависимости отъ состава чугуна, отъ количества извести (и MgO) и нѣкоторыхъ другихъ обстоятельствъ. Колебанія возможны въ такихъ предѣлахъ (по Grandeau, Scories de déphosphoration, въ Annales de la science agronomique 1896 и 97):

|                                         |         |
|-----------------------------------------|---------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 8—24%   |
| CaO . . . . .                           | 34—55 » |
| MgO . . . . .                           | —20 »   |
| Fe (закись и окись) . . . . .           | 12—22 » |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .              | 7—15 »  |

Въ томасовомъ шлакѣ, сверхъ ожиданія, фосфорная кислота оказалась легко усвояемой; говоримъ «сверхъ ожиданія» потому, что удобрение это получается при очень высокой температурѣ и при наличности избытка извести, слѣдовательно, можно было ожидать образованія трехкальціева фосфата, который въ прокаленномъ состояніи отличается плохой усвояемостью.

Аналитическія данныя показываютъ, что въ шлакѣ находится особое соединеніе — тетракальціево-фосфорнокислая соль 4 CaO. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (=Ca<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>9</sub>), соединеніе менѣе устойчивое, чѣмъ трехосновный фосфатъ<sup>1)</sup>; можно думать, что въ почвѣ оно распадается подъ влияніемъ влаги, образуя ѣдкую известь и свяжеосажденный трехкальціевый фосфатъ. Растворимость P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> томасова шлака въ лимоннокисломъ амміакѣ, въ водѣ съ углекислотой и въ уксусной кислотѣ довольно

1) Это соединеніе рассматривается какъ известковая соль восьмисосновой дифосфорной кислоты, строеніе которой таково: 
$$\begin{array}{c} \text{P}(\text{OH})_4 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{P}(\text{OH})_4 \end{array}$$



велика; такъ, слабая уксусная кислота за 72 часа растворила изъ 100 ч.  $P_2O_5$ :

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| Въ томасовомъ шлакѣ а) . . . . . | 58%                  |
| b) . . . . .                     | 51 »                 |
| c) . . . . .                     | 36 »                 |
| Въ ланскомъ фосфоритѣ . . . . .  | 5,6 »                |
| Въ копролитахъ . . . . .         | 10,9 » <sup>1)</sup> |

Первые опыты примѣненіе томасова шлака принадлежатъ Флейшеру (въ 1884—85 г.) въ Германіи. Оказалось, что это удобрение на торфянистыхъ почвахъ вполне замѣняетъ суперфосфатъ и преципитатъ; на другихъ почвахъ для равнаго эффекта съ суперфосфатомъ шлака нужно было вносить раза въ  $1\frac{1}{2}$ —2 больше.

При опытахъ на бѣдной песчаной почвѣ подъ Парижемъ Грандо получилъ такіе результаты:

|                                       |           | У р о ж а й: |          |
|---------------------------------------|-----------|--------------|----------|
|                                       |           | Картофеля.   | Пшеницы. |
| Почва удобрен. въ дост. кол-в. N и K, |           |              |          |
| но безъ $P_2O_5$ . . . . .            | 8830 kilo | 24 hectol.   |          |
| » » N, K и суперфосфатъ . . . . .     | 26,210 »  | — »          |          |
| » » преципитатомъ . . . . .           | 23,260 »  | 43 »         |          |
| » » томасовымъ шлакомъ                |           |              |          |
| (французск.) . . . . .                | 27,885 »  | 43 »         |          |
| » » томасовымъ шлакомъ                |           |              |          |
| (англійск.) . . . . .                 | 20,230 »  | 40 »         |          |

Большій эффектъ шлака сравнительно съ суперфосфатомъ на песчаной почвѣ объясняется тѣмъ, что такая почва не имѣетъ достаточно извести для нейтрализаціи кислой фосфорнокислой соли, поэтому послѣдняя не можетъ перейти въ полурастворимую форму и вымывается, или же благодаря кислой реакціи неблагопріятно дѣйствуетъ на корни и тѣмъ понижаетъ эффектъ удобрения. Томасовъ же шлакъ кислой реакціи не имѣетъ и почвенной водой напрасно не уносится.

Въ среднемъ же принимаютъ, что дѣйствіе Томасова шлака равно 50—60% дѣйствія суперфосфата (при равномъ содержаніи  $P_2O_5$ ). Слѣдовательно, примѣняя двойное количество шлака, можно достигнуть при извѣстномъ соотношеніи цѣнъ болѣе дешевымъ путемъ того же эффекта, какъ при болѣе дорогомъ суперфосфатѣ.

При оцѣнкѣ томасова шлака обращаютъ вниманіе на 1) содержаніе  $P_2O_5$ , 2) степень размола (чѣмъ мельче, тѣмъ лучше); большая

часть частицъ шлака должна проходить черезъ сито № 100, диаметръ отверстій котораго приблизительно  $=0,2^m$ .), 3) растворимость шлака въ лимонно-кисломъ амміакѣ (реактивъ Вагнера) или лимонной кислотѣ; эта растворимость колеблется у разныхъ шлаковъ въ широкихъ предѣлахъ, отъ 8 до 22%  $P_2O_5$  въ % отъ навѣски или отъ 39%—93% % отъ всей  $P_2O_5$  и иногда даже далѣе.

Вообще, томасовъ шлакъ разнаго происхожденія не представляетъ однообразнаго по растворимости и эффекту дѣйствія удобрения.

Нѣкоторые изслѣдователи, напр., Вагнеръ, считаютъ степень растворимости шлака въ водномъ растворѣ лимонно-кислаго амміака хорошимъ показателемъ степени усвояемости  $P_2O_5$  удобрения растеніями. Въ опытахъ Вагнера это подтверждается слѣдующей серіей цифръ.

| Раствори-<br>мость.    | Удобрит.<br>дѣйствіе. |
|------------------------|-----------------------|
| (Относительныя числа). |                       |
| 100                    | 100                   |
| 85                     | 80                    |
| 81                     | 72                    |
| 72                     | 72                    |
| 73                     | 66                    |
| 76                     | 63                    |
| 39                     | 40                    |
| 48                     | 38                    |
| 42                     | 38                    |
| 45                     | 31                    |
| 38                     | 30                    |

Подобныя же цифры приводитъ и Меркеръ.

На основаніи своихъ опытовъ Меркеръ и Вагнеръ считаютъ возможнымъ оцѣнивать шлаки разнаго происхожденія по показаніямъ вытяжки лимоннокислымъ амміакомъ.

Но не всѣ изслѣдователи совершенно согласны съ такимъ методомъ оцѣнки; такъ, Грандо и Петерманнъ полагаютъ, что лишь при рѣзкихъ разницахъ въ растворимости фосфатовъ наблюдаются соотвѣтственныя разницы и въ урожаяхъ, полного же параллелизма не наблюдается; вотъ цифры для одного опыта Грандо:

|                                  |     |    |    |    |
|----------------------------------|-----|----|----|----|
| Растворимость шлака. . . . .     | 90  | 66 | 56 | 37 |
| Приростъ урожая фасоли . . . . . | 100 | 63 | 65 | 67 |
| » » картофеля. . . . .           | 100 | 82 | 75 | 64 |

<sup>1)</sup> См. Sachsse, Lehrbuch der Agriculturchemie, 528.

Замѣтимъ, что при оцѣнкѣ томасова шлака, опредѣляя растворимость  $P_2O_5$  его и степень размола, необходимо принимать во вниманіе особенности растенія и вліяніе почвы. Очевидно, что напр.; градація по растворимости  $P_2O_5$  разныхъ шлаковъ, совпадающая (допустимъ) съ усвояемостью для хлѣбовъ, не обнаружитъ этого совпаденія для люпина, гречихи и проч.

На торфянистыхъ почвахъ, по Флейшеру, растворимость шлака болѣе чѣмъ въ реактивѣ Вагнера; весьма возможно что если бы эти условія были приняты во вниманіе, то нѣкоторые случаи несовпаденія нашли бы свое объясненіе. Во всякомъ случаѣ опредѣленіе растворимости  $P_2O_5$  шлака имѣетъ нѣкоторое практическое значеніе, какъ указатель на степень чистоты шлака; опредѣленіемъ которой пренебрегать нельзя вслѣдствіе встрѣчающейся въ торговлѣ фальсификаціи томасова шлака примѣшиваніемъ къ нему фосфорита,  $P_2O_5$  котораго въ лимоннокисломъ амміакѣ менѣе растворима; при чемъ съ цѣлью придать фальсифицированному матеріалу черный цвѣтъ шлака смѣшиваютъ его съ углемъ (или съ шлаками, не имѣющими цѣнности).

Отношеніе  $P_2O_5$  томасова шлака къ растворителямъ находится въ связи съ ближайшимъ составомъ шлака; въ этомъ отношеніи нѣкоторые указанія получены выдѣленіемъ механическимъ путемъ минераловъ входящихъ въ составъ шлака.

При медленномъ остываніи шлака въ немъ замѣчается выдѣленіе кристалловъ; слѣдующія кристаллическія вещества являются характерными.

1) Кристаллы напоминающіе апатитъ, гексагональной системы, содержащіе 36—37%  $P_2O_5$ .

2) Минералъ синяго цвѣта, представляющій по составу двойную фосфорно-кремнекислокальціевую соль формулы  $4Ca_3(PO_4)_2 \cdot 3Ca_3SiO_3$ , содержащій 31%  $P_2O_5$  (моноклинической системы).

3) Минералъ ромбической системы, желтаго цвѣта, по химическому составу представляющій тетракальціевую соль  $Ca_4P_2O_9$ .

Соотношеніемъ этихъ трехъ минераловъ обуславливаются видимому свойства томасова шлака (кромѣ нихъ находятся, конечно, и другія соединенія Ca и Fe).

Вагнеръ (Northheim)<sup>1)</sup> выдѣлилъ ихъ (съ помощью тяжелыхъ растворовъ) и испыталъ растворимость въ лимоннокисломъ амміакѣ. Для тетракальціевой соли растворимость оказалась около 88%. Двойная соль съ кремнекислымъ Ca дала растворимость  $P_2O_5$  около 85%.

<sup>1)</sup> Landw. Vers. Stat Bd. 49.

Для перваго же минерала (подобнаго апатиту) растворимость оказалась значительно ниже, около 60% (къ сожалѣнію, Вагнеръ не выдѣлилъ его въ совершенно чистомъ видѣ; весьма вѣроятно, что дѣйствительная растворимость этого минерала еще ниже).

Такимъ образомъ, тетрафосфатъ и двойная соль съ кремнекислымъ Ca являются болѣе цѣнными формами  $P_2O_5$  въ шлакахъ. Связь между растворимостью  $P_2O_5$  и содержаніемъ  $SiO_2$  была еще раньше подмѣчена; поэтому предлагали прибавлять  $SiO_2$  (кварцевый песокъ) въ расплавленный шлакъ съ цѣлью повысить растворимость  $P_2O_5$ .

Въ Россіи томасовъ шлакъ до послѣдняго времени получался изъ за границы и потреблялся главнымъ образомъ въ Остзейскомъ краѣ, но теперь имѣется на рынкѣ томасовъ шлакъ нашихъ южныхъ заводовъ, именно въ Таганрогѣ и близъ Мариуполя (ст. Сартаны); но пока эти заводы не находятъ достаточнаго сбыта своимъ шлакамъ въ Россіи и большая часть ихъ вывозится моремъ за границу (такъ было по крайней мѣрѣ въ 1906 году).

Кромѣ томасова шлака есть еще нѣкоторые виды шлаковъ, могущіе служить фосфорнокислымъ удобреніемъ, хотя и не столь богатымъ фосфоромъ; таковы *мартеновскіе* шлаки (если они получены при введеніи извести, вообще избытка оснований). «Мартенованіе» отличается отъ «томасированія» (и бессемерованія) тѣмъ, что при немъ получаютъ сталь изъ чугуна (т. е. понижаютъ % углерода) не столько путемъ окисленія, сколько сплавленіемъ чугуна съ желѣзомъ. Шлакъ при этомъ получается вообще говоря, низкопроцентный, но можно нѣкоторыми приемами сконцентрировать фосфоръ въ одной части шлака и эту часть продавать на удобреніе; именно рекомендуется «производить работу въ двухъ мартеновскихъ печахъ съ основнымъ подомъ, при чемъ въ 1-ю вносить немного извести, не добиваясь полной дефосфорации, а во 2-ой печи заканчивать дефосфорацию при избыткѣ извести; тогда въ 1-ой печи будетъ получаться шлакъ съ значительнымъ содержаніемъ фосфора». (Любавинъ, Техническая химія, т. III, стр. 778). Такіе приемы употребляются на заводахъ Домбровскаго района, нужно ждать ихъ распространенія и на заводахъ сѣверо-западнаго Урала. Усвояемость  $P_2O_5$  въ образцахъ мартеновскихъ шлаковъ съ Урала, полученныхъ черезъ посредство проф. В. П. Ижевскаго по нашимъ предварительнымъ опытамъ является довольно хорошою<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> См. наши отчеты о вегетаціонныхъ опытахъ за 1907—1910 годы. Подробности о полученіи и составѣ шлаковъ томасовскихъ и мартеновскихъ см. въ статьѣ *Отрыганьева* въ Журналѣ Опытной Агрономіи 1910 г.



*Костяная мука.*

Кости представляют также крупный источник фосфорной кислоты для сельского хозяйства; размолотая кость была одним из первых (если не самым первым) продажным концентрированным удобрением; хотя лишь в 1769 году Scheele и Gahn открыли фосфор в костях, но китайцы еще за несколько столетий до этого пользовались костью, как удобрением. В Европу в 1775 году James Hunter (Линкольншир) рекомендовал удобрять костями; первые фабрики для переработки кости на удобрение возникли в Шотландии, затем в Англии, при чем Англия увеличивая спрос на кости стали вывозить их со всей Европы. В 30-х годах появилась первая мельница в Силезии; после Либиха Германия постепенно перестала вывозить кость в Англию, мало того, спрос на кость превысил ее наличность и Германия начала ввозить кость из России.

Кости состоят из органических и минеральных веществ, преимущественно из  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Вот средний состав костей:

|                                        |         |
|----------------------------------------|---------|
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . . . . . | 58—62%  |
| $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . . . . . | 1—2 »   |
| $\text{CaCO}_3$ . . . . .              | 6—7 »   |
| $\text{CaF}_2$ . . . . .               | — 2 »   |
| Органич. вещ. . . . .                  | 26—30 » |
| N в немъ . . . . .                     | 4—5 »   |

Органическая часть состоит главным образом из жира и оссеина.

масса костяной золы (Ла-Плата). Промежуточным продуктом обжигания является костяной уголь, употребляемый на сахарных заводах для фильтрования и отчасти идущий и на удобрение. Оказывается, однако, что операция обжигания не является безразличной для качества удобрения: усвояемость  $\text{P}_2\text{O}_5$  костяной золы значительно меньше чем у необожженной кости; в лимоннокислом аммиаке, напр., растворялось <sup>1)</sup>:

|    | Въ костяной мукѣ.            | Въ костяной золѣ (изъ той же муки). |
|----|------------------------------|-------------------------------------|
| 1) | 17,7% $\text{P}_2\text{O}_5$ | 7,2% $\text{P}_2\text{O}_5$         |
| 2) | 18,1 »                       | 8,0 »                               |
| 3) | 17,8 »                       | 6,2 »                               |

Из 100 частей  $\text{P}_2\text{O}_5$  растворялось (при хорошем измельчении) в случае костяной муки 74—93%, после же озоления 32—43% <sup>2)</sup>. Конечно, в костяном угле растворимость не столь низка, как в костяной золе, но все же она ниже, чем необожженной кости.

При других способах обработки кости стараются одновременно утилизировать содержащиеся в ней азотистые вещества и жиры, для чего кости обрабатывают кипящей водой, паром под давлением экстрагируют соответствующими растворителями (бензин, эфир), обрабатывают кислотами.

Смотря по способу обработки, получается «сырая размолотая кость», «пареная», «обезжиренная» костяная мука и пр.

Остановимся несколько на этих подготовительных процессах, чтобы оставить понятие о самых продуктах.

Лишь при обработкѣ паромъ подѣ давленіемъ оссеинъ сполна переходитъ въ клей; но только часть этого клея извлекается конденсирующей на костяхъ водой; если кости послѣ парки прямо измельчаются, то и получается *пареная* костяная мука; если же клей извлекается горячей водой (повторная обработка по принципу противотока, на подобіе диффузоровъ въ свекло-сахарн. производствѣ), то получится *обезклеенная* мука, содержащая уже мало азота, потому часто ниже разцѣниваемая. (Помимо прямого значенія азотистыхъ веществъ ихъ считаютъ желательной составной частью еще и потому, что разлагаясь въ почвѣ они способствуютъ лучшему растворенію фосфорной кислоты кости). Однако нужно замѣтить, что чѣмъ болѣе удалены клей и жиръ, тѣмъ костяная мука будетъ относительно богаче фосфорной кислотой.

Теперь часто употребляется для полученія жира экстракціонный способъ, при которомъ жиръ извлекается бензиномъ, послѣдній отгоняется и вновь употребляется на экстракцію; обезжиренная кость пропаривается для удаленія бензина, послѣ чего получается продуктъ, подобный пареной кости, но съ болѣе полнымъ удаленіемъ жира, который препятствуетъ разложенію костей въ почвѣ, мѣшая смачиванію частицъ водой; будучи же выдѣленъ, жиръ является продуктомъ болѣе цѣннымъ, чѣмъ сама костяная мука. При возможно полномъ использованіи всѣхъ составныхъ частей кости, является возможность организовать производство костяной муки дешевле, нежели когда она является единственнымъ поступающимъ въ продажу продуктомъ.

Для обработки костей употребляютъ также и химическіе агенты — кислоты и щелочи.

Чаще всего на кости, лишенныя предыдущими обработками части органическаго вещества, дѣйствуютъ сѣрной кислотой для полученія суперфосфата; или кости послѣ предварительной подготовки (извлеченія бензиномъ) обрабатываютъ водой съ  $\text{HCl}$ , извлекающей зольныя вещества; мягкій остовъ кости будетъ состоять изъ оссеина, который при нагреваніи съ водой даетъ лучшіе сорта клея (желатину). Солянокислый экстрактъ нейтрализуютъ  $\text{Ca(OH)}_2$  и получаютъ преципитатъ.

Составъ костяной муки зависитъ отъ ея происхожденія и способа приготавленія.

Содержаніе главныхъ составныхъ частей кости при разной обработкѣ измѣняется въ слѣдующихъ предѣлахъ:

|                                             | N         | Жиръ.  | $\text{P}_2\text{O}_5$ . |
|---------------------------------------------|-----------|--------|--------------------------|
| Сырая кость содержитъ . . .                 | 4,5—4,75% | 10—15% | 15—20%                   |
| Кость вареная (не подѣ давленіемъ). . . . . | 3,3—4,3 » | 6—8 »  | 18—22 »                  |
| Пареная мука . . . . .                      | 4 »       | 4 »    | 20—24 »                  |
| Обезклеенная мука. . . .                    | 0,7—2 »   | — »    | 22—27 »                  |

Энгельгардтъ и Ильенковъ <sup>1)</sup> предложили хозяйственный способъ обработки костей щелочами. При обработкѣ костей ( $\text{KNO}$ ) вслѣдствіе растворенія клеевоста вещества структура кости нарушается и она распадается, причемъ трехъкальцевый фосфатъ получается въ состояніи легко размельчающейся въ порошокъ рыхлой массы. Но тѣкія щелочи вещества дорогія и не совсѣмъ удобныя для домашняго употребленія, почему рекомендуется такой способъ: въ непроницаемый для воды резервуаръ (кадку или яму выложенную досками или кирпичемъ) накладываются грубо измельченныя кости и пересыпаются гашеной известью; смѣсь поливается растворомъ поташа, реагируя съ которымъ  $\text{Ca(OH)}_2$  освобождаетъ  $\text{KOH}$ . Смѣсь по временамъ смачивается водой и недѣли черезъ 2—3 перекладывается такъ, чтобы лежащая вверху кости легли внизъ; еще черезъ 2—3 недѣли получается мягкая творогообразная масса. На 12 пуд. костей берутъ 2 пуда  $\text{Ca(OH)}_2$  и 1 пудъ поташу раствореннаго въ 20 ведрахъ воды (Энгельгардтъ, 1. с.).

Рекомендуютъ вмѣсто поташа брать золу растений съ соответствующимъ содержаніемъ углекислыхъ щелочей. Считаютъ, что березовой золы нужно брать количества приблизительно равныя по вѣсу массѣ костей, а гречишной 75% отъ послѣдней. Извести берутъ въ томъ же отношеніи какъ сказано выше. Если зола бѣдна поташемъ (зола хвойныхъ), то разложенія не происходитъ. Можно значительно ускорить разложеніе, если подвергнуть смѣсь изъ костей, поташа и извести варкѣ въ котлѣ въ теченіе трехъ четырехъ часовъ.

Наконецъ, примѣняется подготовка костей компостированіемъ, при которомъ кости грубо размолотыя или разбитыя на куски переслаиваются съ землей и поливаются навозной жижей.

Въ послѣднее время рядъ опытовъ съ разложеніемъ костей по Ильенкову и Энгельгардту произведенъ былъ г. Философовымъ <sup>2)</sup>; главные выводы изъ этихъ опытовъ слѣдующіе: количество извести можетъ быть значительно уменьшено (приблизиться къ требуемому

<sup>1)</sup> Изъ химической лабораторіи Земледѣльческаго Института, 1867 г.

<sup>2)</sup> Вѣстникъ С. Х. 1906 г. №№ 28 и 29.



формулой  $K_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2 KOH + CaCO_3$ ; известь слѣдуетъ брать гашеную (около  $\frac{1}{15}$  части отъ вѣса костей), сначала нагрѣть въ котлѣ смѣсь извести и поташа съ водой, затѣмъ порціями всыпать кость, которая должна быть возможно хорошо измельчена; (не крупнѣе «гречневой крупы», съ возможно большимъ процентомъ тонкой муки). Вмѣсто поташа можно брать болѣе дешевую соду, или брать продажный ѣдкій натръ, который хотя и дороже соды, но его нужно меньше и при немъ не нужна известь. При соблюденіи этихъ условій варка оканчивается въ 2—3 часа.

Замѣтимъ однако, что если далеко идти въ сторону размельченія кости, то можетъ явиться вопросъ: не выгоднѣе ли размельчить до конца (до муки) и обойтись безъ обработки щелочью? Вѣдь послѣдняя въ сущности и предложена, какъ средство замѣнить механическое измельченіе, такъ какъ химически фосфатъ отъ растворенія клея щелочью неизмѣняется.

По вопросу объ удобрительномъ значеніи костяной муки существуютъ весьма различныя мнѣнія. Меркеръ и Вагнеръ являются сторонниками низкой оцѣнки этого удобрения. Для примѣра приведемъ нѣкоторыя данныя полученныя Вагнеромъ.

Въ одномъ изъ опытовъ усвоено растеніями:

|                                             | Въ 1-й годъ.   | За 6 лѣтъ.  |
|---------------------------------------------|----------------|-------------|
| Изъ 100 ч. $P_2O_5$ въ формѣ суперфосфата . | 64 ч. $P_2O_5$ | 72 $P_2O_5$ |
| » 100 ч. костяной муки (грубого размола).   | 2 »            | 13 »        |
| » 100 ч. тонко размолотой костяной муки.    | 3 »            | 15 »        |

Изъ этихъ опытовъ Вагнеръ заключаетъ, что костяная мука должна находить примѣненіе лишь при исключительныхъ обстоятельствахъ «подобно фосфоритамъ», а не при среднихъ хозяйственныхъ условіяхъ (Bied. Centr. 1897 г. стр. 20).

Точно также Меркеръ пришелъ къ отрицательному выводу въ опытахъ съ костяной мукой, какъ видно изъ слѣдующихъ его словъ: «Фосфорная кислота костяной муки (безразлично, пареной, обезклеенной или нѣтъ, въ первый ли, второй или третій годъ по внесеніи) вообще не представляетъ собой дѣйствующей формы фосфорной кислоты, и мы думаемъ, что давно уже пора необработанную (кислотами) костяную муку не считать фосфорнокислымъ тукомъ. Подобно тому какъ сырые фосфориты уже давно примѣняются только при исключительныхъ условіяхъ, такъ въ будущемъ и сырую, и пареную костяную муку не слѣдуетъ примѣнять въ обыкновенныхъ условіяхъ. Несомнѣнно, оно дѣйствуетъ своимъ азотомъ; но этого недостаточно,

чтобы это удобреніе окупалось, такъ какъ въ настоящее время фосфорная кислота костяной муки стоитъ сравнительно дорого, а между тѣмъ на самомъ дѣлѣ она дѣйствуетъ не лучше, чѣмъ фосфорная кислота фосфорита».

Съ другой стороны указывалась, что выводамъ Меркера и Вагнера было придано болѣе общее значеніе, чѣмъ слѣдовало; дѣло въ томъ, что эти авторы или вводили въ своихъ опытахъ углекислую известь, или же имѣли дѣло съ почвами отъ природы богатыми известью; а позднѣе Kelner обнаружилъ, что углекислая известь понижаетъ дѣйствіе костяной муки, представляющей повидимому въ этомъ отношеніи особенную чувствительность по сравненію съ суперфосфатомъ и томасовымъ шлакомъ.

Кюнъ и Гольдефлейссъ <sup>1)</sup> цѣнятъ фосфорную кислоту костяной муки гораздо выше фосфоритовъ, считая ее относительно хорошо усвояемой иногда приближающейся по дѣйствию къ томасову шлаку. Довольно давній опытъ удобрения этимъ матеріаломъ для нѣкоторыхъ условій какъ бы подтверждаетъ скорѣе послѣднее мнѣніе: въ Англіи костяную муку употребляли еще до появленія минеральной теоріи.

Въ пользу костяной муки говоритъ также хорошая растворимость ея въ растворѣ лимонноамміачной соли.

Но если въ опытахъ Вагнера и Меркера дѣйствіе костяной муки было благодаря побочнымъ причинамъ ниже нормального, то въ нѣкоторыхъ опытахъ противоположнаго лагеря также имѣются свои причины для отклоненія въ другую сторону.

Вотъ примѣръ изъ опытовъ Кюна (Jahresbericht für Agriculturchemie 1896).

|                                                  | Урожай.        |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Безъ удобрения . . . . .                         | 100 ч. зерна.) |
| 100 kgr. $P_2O_5$ въ видѣ суперфосфата . . . . . | 145 »          |
| 100 kgr. томасова шлака . . . . .                | 161 »          |
| 100 » костяной муки (обезклеенной) . . . . .     | 164 »          |
| 100 kgr. пареной к. муки . . . . .               | 158 »          |

Опытъ произведенъ былъ съ озимой рожью на песчаной почвѣ. Противъ этого опыта возможно прежде всего то возраженіе, что дозы  $P_2O_5$  были слишкомъ высоки, что всегда ведетъ къ нивелированью показаній для разныхъ фосфатовъ, кромѣ того, на песчаныхъ почвахъ суперфосфатъ часто не проявляетъ полного дѣйствія благодаря побочному отрицательному вліянію своей кислой реакціи, поэтому его

<sup>1)</sup> Holdefleiss: Das Knochenmehl, Berlin 1890.

дѣйствіе могло уступать дѣйствию шлака и кости (вопреки обычнымъ соотношеніямъ).

Эти обстоятельства можно было учесть и въ то время, когда Кюна ставилъ свой опытъ; но позднѣе обнаружилась и еще одна причина повышенныхъ результатовъ для кости въ этомъ опытѣ—это то обстоятельство, что въ качествѣ источника азота Кюна ввелъ сѣрно-кислый аммоній, а эта соль, какъ физиологически-кислая, является въ песчаной почвѣ сильнымъ растворителемъ и повышаетъ дѣйствіе труднорастворимыхъ фосфатовъ (наоборотъ, при суперфосфатѣ долженъ получаться пониженный результатъ); въ опытахъ по сравненію фосфатовъ между собой не должны употребляться такіе источники азота, какъ соли аммонія <sup>1)</sup>.

Во всякомъ случаѣ, расхожденіе въ результатахъ опытовъ Вагнера Меркера, Кюна и др. заставляло желать новыхъ опытовъ съ костяной мукой, причемъ въ нихъ должна быть учтена въ отдѣльности роль какъ почвъ, такъ и растений.

У насъ въ *песчаныхъ культурахъ* со злаковыми оказалось, что костяная мука нерѣдко даетъ эффектъ равный 40—60% отъ дѣйствія суперфосфата, но въ зависимости отъ условій внесенія и даже условій метеорологическихъ наблюдаются иногда значительныя отступленія въ смыслѣ пониженія ея дѣйствія и приближенія къ выводамъ Меркера и Вагнера.

Такъ, въ опытахъ 1899—1902 гг. костяная мука въ случаѣ ржи, пшеницы, ячменя, гороха оказала значительное болѣе эффектное дѣйствіе, чѣмъ фосфоритъ, но меньшее—чѣмъ растворимыя и полурасстворимыя соли  $P_2O_5$ . Въ случаѣ же гречихи урожай на костяной мукѣ (при двойной дозѣ  $P_2O_5$  иногда приближается къ урожаю на растворимыхъ фосфатахъ, очевидно благодаря большей энергіи усвоенія у гречихи).

Вотъ урожайныя данныя нѣкоторыхъ опытовъ 1899—1902 гг.

|                                                       | Растворимая<br>ф. к. | Костяная<br>мука. | Фосфо-<br>ритъ. | Безъ фосфор-<br>ной кислоты. |
|-------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|
| Пшеница . . . .                                       | 21,1 гр.             | 15,0              | 3,8             | —                            |
| Рожь . . . . .                                        | 22,4 >               | 12,5              | 1,8             | —                            |
| Свекла <sup>2)</sup> . . . .                          | 95,2 >               | 50,4              | —               | 0,2                          |
| Табакъ . . . . .                                      | 38,2 >               | 25,9              | 5,1             | 0,67                         |
| Гречиха . . . . .                                     | 20,0 >               | 15,8              | 9,0             | 1,4                          |
| То же, при двойной<br>дозѣ $P_2O_5$ <sup>2)</sup> . . | 49,9 >               | 46,2              | 31,0            | 3,6                          |

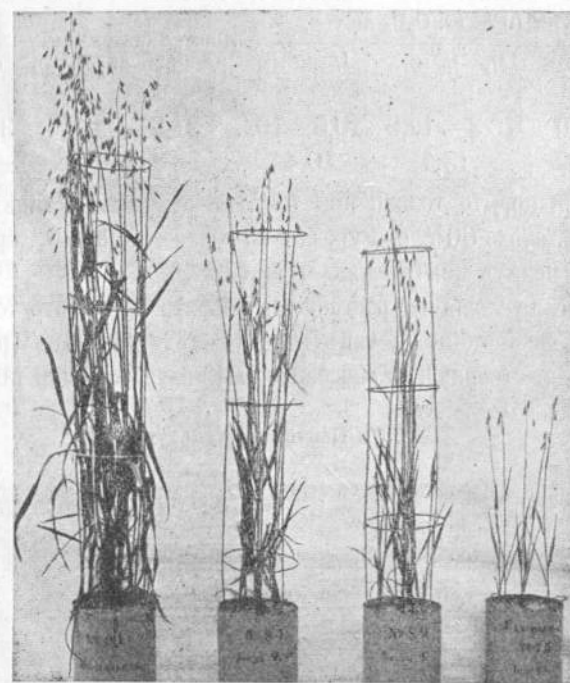
<sup>1)</sup> См. *Pränischnikow*, Zur Frage über den relativen Werth verschiedener Phosphate, Landw. Vers. Stat., Band LXV, стр. 50, (а также см. ниже главу о сравнительной оцѣнкѣ фосфатовъ).

<sup>2)</sup> Эти цифры относятся къ сырой массѣ, остальные—къ воздушносухой.

Такимъ образомъ, приведенные результаты песчаныхъ культуръ 1899—1902 гг. являются гораздо болѣе благоприятными для костяной муки, нежели опыты съ почвами у Меркера и Вагнера; обычно урожай на костяной мукѣ былъ выше 50% отъ урожая нормальной культуры.

Но такіе результаты не были постоянными; въ нѣкоторые годы результаты для кости дѣйствительно мало отличались отъ полученныхъ для фосфорита; вотъ примѣры изъ опытовъ 1908 г.

Рис. 30. Песчаная культура.



|                 | $KH_2PO_4$ | Костяная мука. | Безъ $P_2O_5$ . |
|-----------------|------------|----------------|-----------------|
|                 | $KH_2PO_4$ | Костяная мука. | Безъ $P_2O_5$   |
| Просо . . . . . | 24,05      | 1,30—5,05      | 0,57            |
| Ленъ . . . . .  | 12,74      | 0,86—1,31      | 0,60            |
| Клеверъ . . . . | 13,52      | 0,33—1,82      | —               |
| Яровая рожь . . | 11,62      | 0,85—2,42      | 0,22            |
| Овесъ . . . . . | 11,0       | 3,68—4,19      | 1,77            |

При изслѣдованіи причинъ неустойчивости показаній для костяной муки въ песчаныхъ культурахъ удалось отмѣтить слѣдующія 1) вліяніе тонкости размолу, 2) присутствіе  $CaCO_3$ , 3) характеръ азоти-

Ученіе объ удобреніи.



стаго питанія, 4) вліяніе способа поливки сосудовъ, 5) вліяніе объема сосуда, 6) вліяніе времени посѣва метеорологическихъ условій даннаго года.

То обстоятельство, что костяная мука столь легко поддается вліянію какъ факторовъ повышающихъ ея растворимость, такъ и дѣйствующихъ обратно, можетъ объяснять разнорѣчивые результаты, получаемые въ различныхъ мѣстностяхъ при полевыхъ опытахъ съ этимъ удобрительнымъ матеріаломъ <sup>1)</sup>.

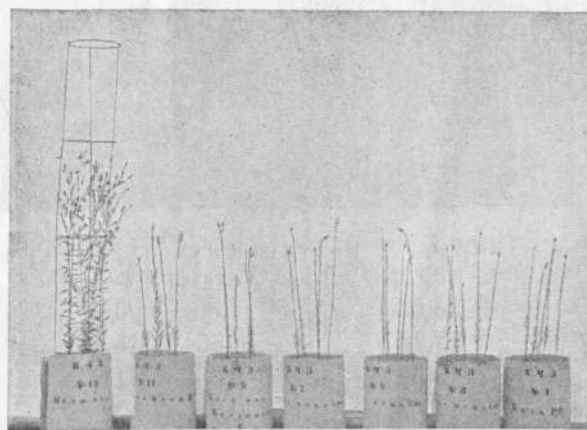
Степень измельченія кости можетъ играть существенную роль, если остальные условія благоприятны; такъ, въ 1903 году у насъ для ячменя въ песчаныхъ культурахъ результаты были такіе:

| Костяная мука (0,25 gr. $O_2P_5$ на сосудъ). |                                   |                      |                                           |                  |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|------------------|
| Размолъ $\frac{1}{4}$ мм.                    | $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ мм. | $\frac{1}{2}$ —1 мм. | Нормальная культура (0,25 gr. $P_2O_5$ ). | Безъ фосф. к-ты. |
| Урожай:                                      |                                   |                      |                                           |                  |
| 19,7—18,0                                    | 13,3—12,9                         | 10,6—10,3            | 31,3—32,1                                 | 3,5—3,5 гр.      |
| Средн. 18,9                                  | 13,1                              | 10,4                 | 31,7                                      | 3,4              |

Отсюда видно, что только при тонкомъ размолѣ костяная мука давала урожай около 60% отъ урожая на растворимой  $P_2O_5$ , при грубомъ же урожай падалъ значительно ниже (33%).

Однако если условія для растворенія фосфата костей отсутствуютъ, то измельченіе не помогаетъ; такъ въ 1908 году для льна (растенія съ очень слабой растворяющей способностью) получены были такіе результаты см. рис. 31:

Рис. 31. Песчаная культура.

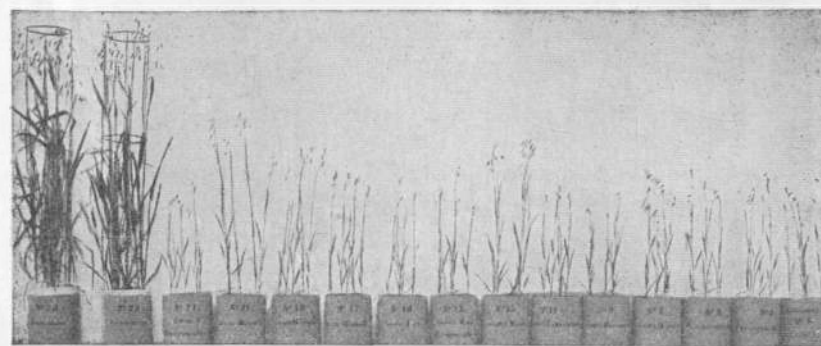


| $KN_2PO_4$ . | Костяная мука. |    |               |               |       | Безъ $P_2O_5$ .  |
|--------------|----------------|----|---------------|---------------|-------|------------------|
|              | А.             | В. | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 мм. |                  |
| 12,7         | —              | —  | 0,86          | 0,88          | 0,69  | 0,60 гр. урожай. |

<sup>1)</sup> Подробнѣе см. въ VI отчетѣ о вегетаціонныхъ опытахъ.

Тоже наблюдалось для овса въ 1909 году (песчаная культура):

Рис. 32.



| $KN_2PO_4$ . | Томас. шлакъ. | Костяная мука разл. подготовки. |  |  |  | Безъ $P_2O_5$ . |
|--------------|---------------|---------------------------------|--|--|--|-----------------|
|              |               |                                 |  |  |  |                 |

Какъ было упомянуто, низкіе результаты опытовъ Вагнера Kellner объяснилъ тѣмъ, что въ его опытахъ прибавлялся углекислый кальцій или брались почвы съ высокимъ содержаніемъ  $CaCO_3$ ; а это вещество, по Kellner'у, понижаетъ дѣйствіе кости довольно значительно (Biedermann's Centralblatt 1901, 1902). Наши опыты въ песчаныхъ культурахъ дали неоднократно полное подтвержденіе наблюденій Kellner'a: такъ въ 1903 г. получилось для овса.

| Нормальная к. | Костяная мука. |      |      |             | Безъ $P_2O_5$ |
|---------------|----------------|------|------|-------------|---------------|
|               | Безъ $CaCO_3$  | 0,1% | 0,3% | 1% $CaCO_3$ |               |
| 19,2          | 8,3            | 3,7  | 3,9  | 1,7         | 0,9 гр.       |

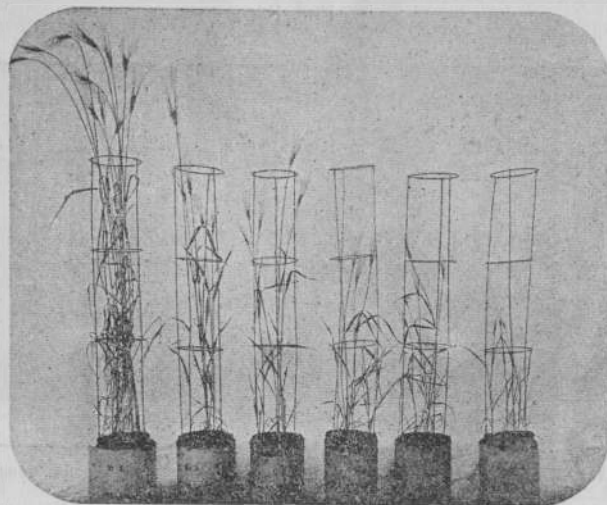
Подобнымъ же образомъ дѣйствуютъ очевидно вообще основанія, такъ при возрастающихъ количествахъ  $Fe(OH)_3$  получило такое же понижающее дѣйствіе (см. рис. 33 и 34):

|      |                    |      |      |     |         |
|------|--------------------|------|------|-----|---------|
| 34,7 | 34,8 <sup>1)</sup> | 31,9 | 12,8 | 8,8 | 1,7 гр. |
|------|--------------------|------|------|-----|---------|

По этой чувствительности къ присутствію избытка оснований кости существенно отличается отъ томасова шлака и суперфосфата, которые выносятъ значительное внесеніе  $CaCO_3$  безъ пониженія эффекта (см. подробнѣе объ этомъ ниже, въ главѣ о сравнительной оцѣнкѣ фосфатовъ).

<sup>1)</sup> Высокій урожай на костяной мукѣ (равный нормальн. к.) объясняется увеличенной дозой фосфорной кислоты въ этомъ рядѣ опытовъ (0,42 gr.  $P_2O_5$  на сосудъ).

Рис. 33. Песчаная культура.



|                          |                |                              |
|--------------------------|----------------|------------------------------|
| $\text{KH}_2\text{PO}_4$ | Костяная мука. | Без $\text{P}_2\text{O}_5$ . |
| $\text{CaCO}_3$ : 0      | 0 1/4% 1/2% 1% | 0                            |

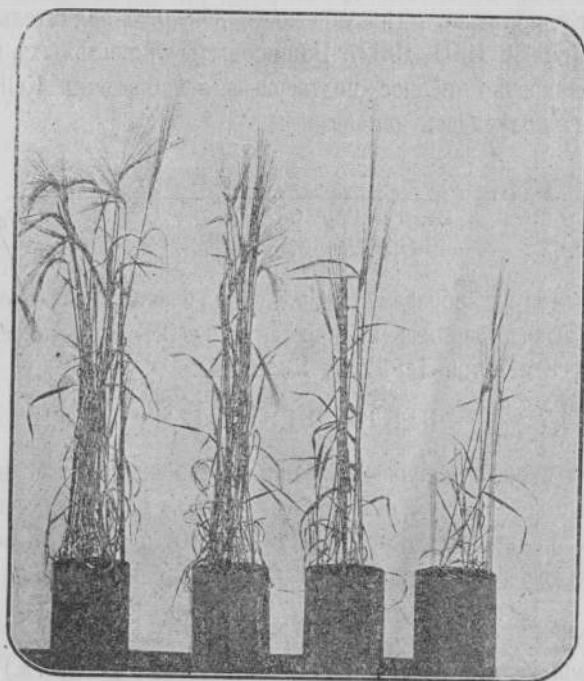


Рис. 34. Костяная мука с добавлением:

|   |      |      |                                   |
|---|------|------|-----------------------------------|
| 0 | 0,1% | 0,3% | 0,5% $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ . |
|---|------|------|-----------------------------------|

Различное отношение къ извести костяной муки съ одной стороны и одно-и двукальцеваго фосфата, съ другой—нашло себя подтверждение также въ опытахъ Söderbaum'a (Bied. Centr. 1903, 737) и Schulze (тамъ же, 1904, 653); эти опыты подтверждаютъ также сравнительно хорошее использование кости на почвахъ бѣдныхъ известью <sup>1)</sup>.

Кромѣ того, Söderbaum повторилъ примѣнительно къ костяной муке наши опыты относительно вліянія солей аммонія на усвояемость фосфатовъ, и показалъ, что не только въ песчаныхъ культурахъ, но и просто въ песчаной почвѣ замѣна селитры сѣрникоислымъ аммоніемъ сильно повышаетъ усвояемость фосфатовъ; наоборотъ селитра какъ соль физиологически щелочная не можетъ способствовать усвояемости фосфата кости (быть можетъ даже нѣсколько ее подавляетъ; см. Söderbaum, Vers. Stat. Bd. и наши замѣчания на его работу въ томъ же журналѣ, Bd. 65). Примѣръ вліянія азотистаго питанія на дѣйствіе кости, заимствованный изъ нашихъ опытовъ, представленъ на рис. 35.

Итакъ, съ одной стороны, имѣется рядъ опытовъ, произведенныхъ разными лицами, въ которыхъ костяная мука обнаруживаетъ дѣйствіе, отвѣчающее 50—60% эффекта отъ растворимой фосфорной кислоты; съ другой стороны, это дѣйствіе можетъ быть понижено присутствіемъ избытка оснований или же повышено подъ вліяніемъ кислотности «физиологической» (нѣкоторыя соли) или кислотности непосредственной (нѣкоторыя почвы).

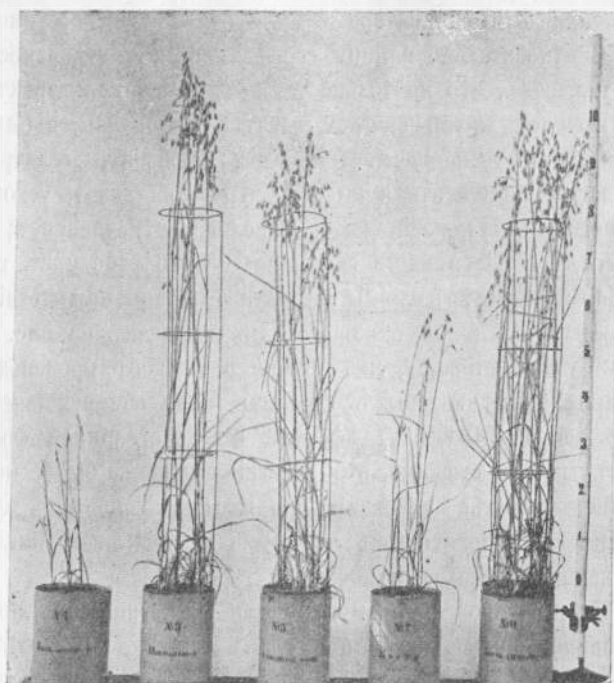
Далѣе дѣйствіе костяной муки, если она внесена лишь при посѣвѣ, повидимому, зависитъ отъ общей быстроты развитія растений въ тотъ или иной годъ, именно при быстромъ ростѣ получаютъ болѣе низкіе коэффициенты, чѣмъ при ростѣ замедленномъ; такъ у насъ въ 1906 году послѣ того какъ втеченіе 7 лѣтъ въ песчаныхъ культурахъ костяная мука давала коэффициенты въ 50—60%, вдругъ получились урожаи лишь около 25% отъ урожая нормальной культуры (и даже ниже); мы пока не имѣемъ другого объясненія для этого факта, кромѣ того, что въ этомъ году была очень ранняя и теплая весна, и при быстромъ ростѣ костяная мука не могла съ соотвѣтственной быстротой удовлетворять потребность растений въ фосфорѣ. Аналогичное наблюденіе сдѣлалъ и Söderbaum: у него вмѣсто 80% въ годъ съ ранней весной костяная мука дала лишь 50%; что эти величины выше нашихъ, объясняется тѣмъ,

<sup>1)</sup> Söderbaum кромѣ данныхъ своихъ опытовъ сообщаетъ еще фактъ, что въ округѣ Smaaland (въ Швеціи), съ почвами бѣдными известью, костяная мука находитъ хороший сбытъ, а въ округѣ Schonen, съ почвами образовавшимися на известковыхъ породахъ, спросъ на нее малъ (Bied. Centr. 1903, 745).



что Söderbaum работалъ съ почвами, а не съ песчаными культурами; въ почвахъ же можно ожидать присутствіе растворителей, дѣйствіе которыхъ присоединяется къ растворяющему дѣйствию корней. Такъ

Рис. 35. Песчаная культура.



| Безъ $P_2O_5$ . | Костяная мука. |              |            | Растворимая  |              |
|-----------------|----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                 | $Ca(NO_3)_2$   | $Ca(NO_3)_2$ | $NH_4NO_3$ | $Ca(NO_3)_2$ | $NH_4NO_3$   |
| Источн. N:      | $Ca(NO_3)_2$   | $Ca(NO_3)_2$ | $NH_4NO_3$ | $Ca(NO_3)_2$ | $NH_4NO_3$   |
| Урожай:         | 1,67           | 36,0         | 23,6       | 3,3          | 36,2 грамма. |

у насъ въ томъ же 1906 году, столь мало благоприятномъ для кости въ песчаныхъ культурахъ, въ опытахъ почвами результаты были очень хорошіе; именно, песчаная почва изъ лѣсной дачи дала слѣдующіе урожаи въ зависимости отъ удобренья.

| Безъ $P_2O_5$ | Костяная мука. |            | Растворимая  |
|---------------|----------------|------------|--------------|
|               | $Ca(NO_3)_2$   | $NH_4NO_3$ | $Ca(NO_3)_2$ |

почвами, въ которыхъ относительно больше извести, чѣмъ въ сѣверныхъ выщелоченныхъ почвахъ и относительно которыхъ возможно предположеніе, что дѣйствіе кости будетъ слабымъ. Хотя въ этомъ отношеніи пока нѣтъ достаточно широкихъ опытовъ, но для Тульской губернской работы Шатиловской станціи установили возможность примѣненія костяной муки съ весьма благоприятнымъ результатомъ; такъ въ 1905 г. при введеніи 3-хъ пудовъ  $P_2O_5$  въ видѣ кости и шлака (безъ внесенія другихъ удобрень) на крестьянскихъ земляхъ получены были такіе урожаи:

|    | Безъ удобрень. | Костяная мука. | Томасовъ шлакъ. |
|----|----------------|----------------|-----------------|
| 1) | 27,4 п.        | 50,4 п.        | 60,4 пуда.      |
| 2) | 23,2 »         | 42,7 »         | 47,8 »          |

Въ другихъ опытахъ, на почвахъ менѣе выпавшихъ костяная мука давала урожай 122%, шлакъ въ 129% и суперфосфатъ въ 136% отъ урожая съ неудобренныхъ дѣлянокъ (100) <sup>1)</sup>.

Приведемъ еще данныя изъ опытовъ произведенныхъ въ Петербургской сел.-хвз. лабораторіи К. К. Гедройцемъ для песчанистаго чернозема Воронежской губерніи (опыты въ сосудахъ, въ присутствіи азотистаго и калийнаго удобренья; относительныя цифры):

|                 | Фосфоритъ. | Кость. | Шлакъ. | Растворимая $P_2O_5$ . |
|-----------------|------------|--------|--------|------------------------|
| Оз. рожь . . .  | 30         | 45—64  | 82     | 90                     |
| Оз. пшеница . . | 34         | 43—62  | 86     | 89                     |

Изъ совокупности приведенныхъ данныхъ видно, что коэффициентъ усвояемости  $P_2O_5$  для костяной муки вообще говоря лежитъ между соотвѣстными величинами для фосфорита и томасова шлака, но, смотря по условіямъ примѣненія, дѣйствіе кости то приближается къ верхнему предѣлу (томасовъ шлакъ), то къ нижнему (фосфоритъ); дѣть какую-либо обобщающую характеристику этого удобренья чрезвычайно трудно, но для мѣстныхъ условій (данной почвы, даннаго растенія, даннаго климата) соотвѣтствующій коэффициентъ долженъ быть установленъ мѣстнымъ опытомъ.

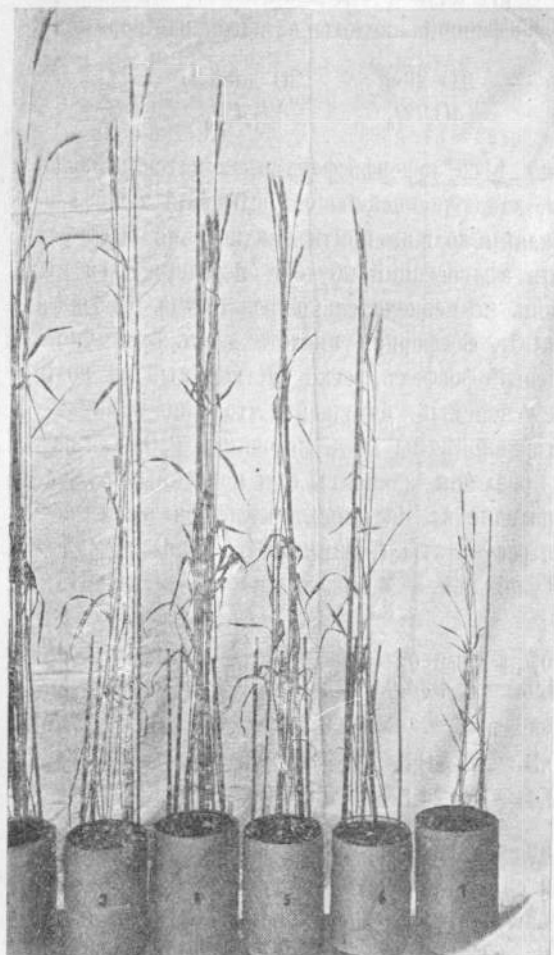
1) Сравнительная усвояемость фосфоритовъ.





водами напр. для наших черноземных почв, так как некоторые опыты (им. Харитоненко, Харьковской губ.) обнаружили более слабое действие на свеклу полурастворимых фосфатов по сравнению с

Рис. 36.



$\text{CaHPO}_4$ .  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Кость. Фосфорит.  
+ 2  $\text{H}_2\text{O}$ . + 2  $\text{H}_2\text{O}$ . +  $\text{H}_2\text{O}$ .

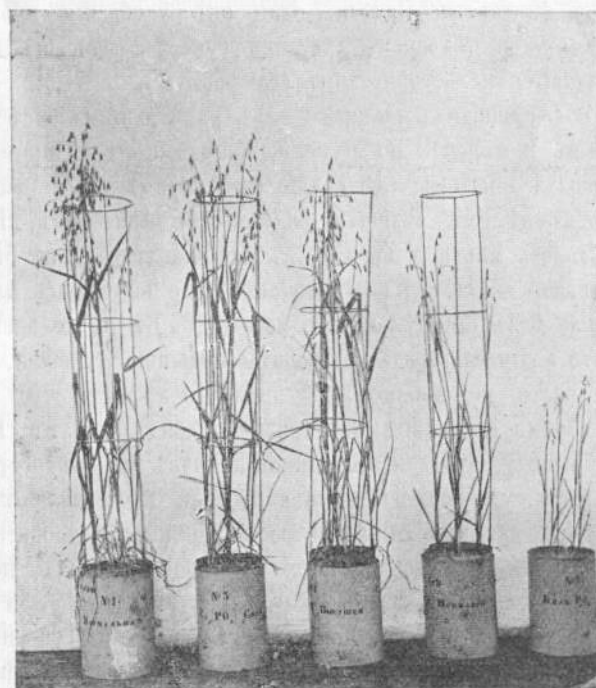
растворимыми; вообще разного типа почвы могут оказывать то понижающее, то повышающее действие на коэффициент использования фосфатов по сравнению с песчаными культурами (о чем еще будем говорить ниже, применительно к вопросу о фосфоритах), и вопрос об осажденном фосфате (и ему подобных удобрениях) требует местных опытов для более правильного решения, опять таки и здесь можно было бы высказать предположение, что не черноземные почвы, как менее богатые углекислой известью (не говоря уже о почвах «кислых») будут более благоприятны для двукальцевого фосфата нежели почвы черноземной полосы; но тот факт, что не только с шлаком, но и с костью

получены были благоприятные результаты в нескольких пунктах черноземной полосы, заставляет воздержаться от подобных преждевременных обобщений.

Что касается 3-х кальцевого фосфата, то действие его весьма зависит от той формы, в какой он вносится для удобрения.

Свежеосажденная соль  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  хорошо растворяется в лимоннокислом аммиаке и отлично усваивается растениями, как видно из приведенных выше данных (см. также рис. 37-й); прокаленная же соль или взятая в виде фосфорита в лимонноаммиачной соли растворяется слабо, и до последнего времени было спорным вопросом, является ли такая форма  $\text{P}_2\text{O}_5$  доступной непосредственно растениям.

Рис. 37. Песчаная культура.



Трехкальцевый фосфат.  
 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Свежеосажд. Высуш. Прокален. Без  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Поэтому лучше не говорить о трехкальцевом фосфате вообще, а о тех отдельных материалах, в которых встречается та или иная его модификация.

Самой трудно доступной формой является фосфорная кислота в фосфоритах, где правильно принимать наличность не трехкальцевого фосфата, а апатита; в костях заключается трехкальцевый фосфат в форме менее доступной, чем в свежеосажденных препаратах трехкальцевого фосфата, но более усвояемой и растворимой, чем в фосфоритах. Еще выше стоит томасовый шлак, в ко-

торомъ заключаются кромѣ трехъ-кальціеваго еще тетракальціевый фосфатъ (и двойныя соли съ кремнекислымъ кальціемъ). Если расположить фосфаты въ порядкѣ убывающей растворимости и усвояемости, то получимъ такой рядъ: *суперфосфатъ*, *преципитатъ*, *томасовъ шлакъ*, *фосфатъ костей*, *фосфоритъ*.

Однако нельзя установить разъ навсегда, для всѣхъ условій постоянные коэффициенты дѣйствія разныхъ фосфатовъ, такъ какъ это дѣйствіе зависитъ кромѣ свойства самаго фосфата еще отъ цѣлаго ряда другихъ факторовъ. Правда, одни изъ удобренія проявляютъ больше постоянства въ своемъ дѣйствіи (суперфосфатъ, шлакъ), другіе же отличаются непостоянствомъ (фосфориты).

Вопросъ о фосфоритахъ является какъ разъ однимъ изъ такихъ вопросовъ, въ которомъ не легко было разобраться при помощи только полевыхъ опытовъ, гдѣ важно было примѣнить и вегетаціонный методъ въ цѣляхъ лучшаго разчлененія факторовъ. Полевыхъ опытовъ дѣлалось много и прежде, въ 1895 году сдѣлана была еще попытка сдѣлать сводъ ихъ результатовъ <sup>1)</sup>, но получилась масса сырого матеріала безъ опредѣленныхъ выводовъ. Въ то же время было извѣстно, что у Энгельгардта фосфориты повышали урожай, на черноземѣ же часто не наблюдалось никакого эффекта, что Франція пользуется своими фосфоритами (улучшеніе ландъ), а въ Германіи пришли къ выводу, что для большинства почвъ «пора перестать считать фосфориты удобреніемъ, такъ какъ они представляютъ лишь сырой матеріалъ для приготовления фосфорнокислыхъ удобреній».

Не говоря о массѣ неудовлетворительно поставленныхъ полевыхъ опытовъ, разногласіе касалось самаго толкованія тѣхъ или иныхъ результатовъ; если напр. фосфоритъ въ Смоленской губерніи дѣйствуетъ, а въ Воронежской—не дѣйствуетъ, то въ чемъ здѣсь причина, въ почвѣ или климатѣ? или оподзоленные почвы способны разлагать фосфоритъ, а черноземъ не способенъ, или недостаточное увлажненіе само по себѣ могло понизить дѣйствіе трудно растворимыхъ фосфатовъ на черноземѣ? На эти вопросы удобнѣе и быстрѣе всего могъ отвѣтить вегетаціонный методъ, позволяющій провести опытъ съ разными почвами при одинаковыхъ условіяхъ температуры и влажности, позволяющій далѣе замѣнить почву инертной средой—чистымъ кварцевымъ пескомъ, ради учета роли почвы путемъ ея исключенія.

Для того, чтобы лучше разобраться въ этомъ вопросѣ, слѣдовало

<sup>1)</sup> Труды комиссіи по отдѣлу искусственныхъ удобреній И. М. О. С. X. 1895 г., редакция Яновскаго.

разчленить его на отдѣльныя части, а именно: 1) какъ относятся растенія сами по себѣ къ фосфоритамъ, 2) какова роль почвы, какъ посредника между удобреніемъ и растеніемъ въ данномъ случаѣ.

Физиологическія данныя по вопросу объ отношеніи корней растенія къ малорастворимымъ источникамъ минеральной пищи вообще (и  $P_2O_5$  въ частности) довольно скудны. Не касаясь опытовъ Сакса <sup>1)</sup> укажемъ, что еще въ 60-хъ годахъ Дитрихъ выращивалъ разные растенія въ обломкахъ горныхъ породъ (базальта и песчаника). Оказалось, что бобовыя развивались лучше злаковыхъ и усвоили больше минеральныхъ веществъ; отсюда Дитрихъ заключилъ, что бобовыя обладаютъ большей способностью переводить необходимыя для нихъ минеральныя вещества въ растворимую форму. Но нельзя считать опытъ Дитриха доказательнымъ, такъ какъ ему неизвѣстна была способность бобовыхъ использовать (при наличности клубеньковъ) азотъ атмосферы, поэтому злаки и бобовыя могли находиться въ неравныхъ условіяхъ. Другая интересная для насъ работа принадлежитъ Дайеру. Титруя вытяжку изъ корней бобовыхъ и злаковыхъ, Dyer нашелъ, что бобовыя имѣютъ болѣе кислый „сокъ“, чѣмъ злаки <sup>2)</sup>.

Но все-таки опредѣленія Дайера относятся къ водной вытяжкѣ изъ всей массы корня, а не къ корневымъ выдѣленіямъ собственно вопросъ о наличности органическихъ кислотъ въ послѣднихъ является до сихъ поръ спорнымъ.

Въ 1896 г. появилась работа Чапека, который склоняется къ выводу, что коррозионныя явленія зависятъ отъ углекислоты, выдѣляемой корнями при дыханіи, органическихъ же кислотъ корни не выдѣляютъ <sup>3)</sup>. Къ этому Чапекъ приходитъ главнымъ образомъ на основаніи слѣдующаго опыта: если изъ смѣси гипса и фосфорнокислаго глинозема сформировать пластинку съ гладкой поверхностью и помѣстить ее на пути распространенія корней, то коррозионныхъ слѣ-

<sup>1)</sup> Опыты эти обнаружили, что если на пути распространенія корней положить полированную мраморную пластинку, то въ мѣстахъ соприкосновенія корни разѣдаютъ поверхность мрамора и она становится матовой по линіямъ прикосновенія, давая отпечатокъ корневой сѣти (чтобы сдѣлать замѣтной эту сѣть издали въ цѣляхъ демонстративныхъ, достаточно слегка натереть мраморную пластинку порошкомъ графита). Это разѣданіе (коррозионныя явленія) обыкновенно приводятся какъ доказательство существованія корневыхъ выдѣленій.

<sup>2)</sup> Biedermann's Centralblatt. 1894. 799.

<sup>3)</sup> Но все же и у Чапека есть указанія, что напр., у люпина корневые выдѣленія имѣютъ болѣе кислую реакцію, чѣмъ у злаковъ.

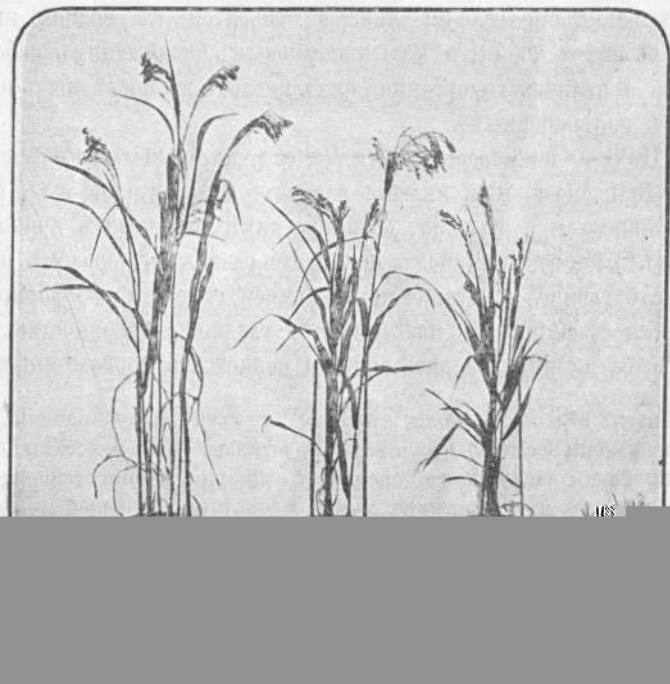


довъ не получается; такъ какъ фосфорнокислый глиноземъ растворимъ въ цѣломъ рядѣ органическихъ кислотъ, но не растворяется въ присутствіи одной угольной кислоты, то Чапекъ и заключаетъ, что корни растений не выделяютъ органическихъ кислотъ. Но опытъ этотъ не точенъ, потому что гипсъ нѣсколько растворимъ въ водѣ (около 2 : 1000), поэтому гипсовые пластинки подвергались размывающему дѣйствию воды и не могли обнаружить измѣненій рельефа подъ вліяніемъ корней; а фосфорнокислый глиноземъ по опытамъ въ песчаныхъ культурахъ отлично используется растениями (о чемъ Чапекъ могъ бы заключить уже по аналогіи съ фосфорнокислымъ желѣзомъ, которое вводится при водныхъ культурахъ); вотъ полученные нами результаты (песчаная культура):

| Источникъ фосфорной кислоты. | СаНРО <sub>4</sub> | Высуш. при 100°   |                   | При 150°          |                   | Прокаленные.      |                   |
|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                              |                    | AlPO <sub>4</sub> | FePO <sub>4</sub> | AlPO <sub>4</sub> | FePO <sub>4</sub> | AlPO <sub>4</sub> | FePO <sub>4</sub> |
| Урожай овса.                 | 30,2               | 24,0              | 23,0              | 21,3              | 19,5              | 17,5              | 3,0 гр.           |

Тоже видно на прилагаемыхъ снимкахъ песчаныхъ культуръ съ просомъ (рис. 38 и 39).

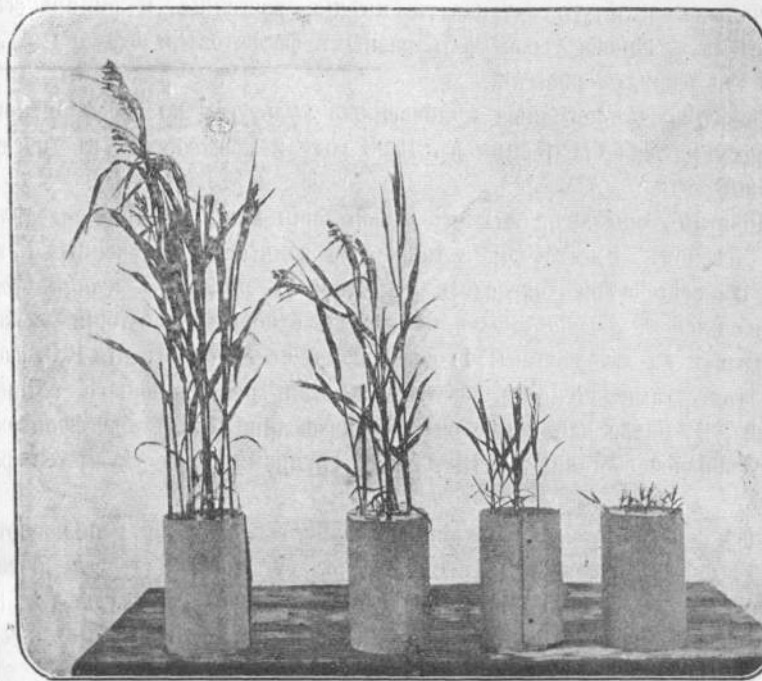
Рис. 38.



AlPO<sub>4</sub>: Свежеосажден. Высушенный. Прокаленный. Безъ Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Такимъ образомъ даже прокаливанье не дѣлаетъ фосфорно-кислаго глинозема недоступнымъ корнямъ, какъ это имѣетъ мѣсто для желѣза, а Чапекъ бралъ непрокаленные фосфаты <sup>1)</sup>.

Рис. 39. Песчаная культура.



FePO<sub>4</sub>: Свежеосажден. Высушенный. Прокаленный. Безъ Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

<sup>1)</sup> См. Jahrbücher für wissenschaft. Botanik 1896. Кромѣ того оказывается, что фосфаты желѣза и глинозема вовсе не такъ стойки, какъ это полагалъ Чапекъ, они поддаются дѣйствию воды и уголекислоты, поэтому не могутъ служить пробнымъ камнемъ для рѣшенія вопроса о присутствіи кислотъ въ корневыхъ выделенияхъ (см. докладъ автора о корневыхъ выделенияхъ на I Менделѣевскомъ съѣздѣ, а также V и VI отчетъ о вегетационныхъ опытахъ). Въ 1906 году появилась еще одна работа о корневыхъ выделенияхъ, именно Kunze (Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 1906 г.), но въ ней также есть экспериментальныя погрѣшности; такъ, въ качествѣ источника азота авторъ вводилъ соли аммонія, слѣдовательно у него не была отдѣлена кислотность корневыхъ выделеній отъ „физиологической кислотности“ и даже отъ кислотности вызываемой нитрификаціей, такъ какъ культуры не были стерильны. Въ 1909 году появилась работа Stoclase (тотъ же журналъ), который пришелъ къ выводу, что при достаточномъ доступѣ воздуха корни выделяютъ только СО<sub>2</sub>, если же кислорода не хватаетъ, то какъ продукты неполнаго окисленія (или распада углеводовъ) появляются органическія кислоты.

Итакъ. послѣ работы Чапека, какъ и до нея вопросъ о природѣ корневыхъ выдѣлений остается нерѣшеннымъ.

Однако, какъ бы ни былъ рѣшенъ вопросъ о корневыхъ выдѣленіяхъ въ окончательной формѣ, мы и теперь можемъ съ помощью песчаныхъ культуръ «узнавать мнѣніе растений» и эмпирически опредѣлять, какова усвояемость разныхъ фосфатовъ и одинакова ли она для разныхъ растений.

Такого рода песчаная и почвенная культуры по фосфоритному вопросу начаты были нами въ 1896 году и продолжены въ послѣдующіе годы.

По этимъ опытамъ, опытамъ Лабораторіи Министерства Земледѣлія (въ Лѣсномъ Институтѣ), а также по даннымъ, полученнымъ въ Бельгій Schreiber'омъ оказалось, что *разныя растения неодинаково относятся къ фосфоритамъ*. Въ этомъ отношеніи растения можно раздѣлить на двѣ группы: 1) совершенно не использующія  $P_2O_5$  фосфоритовъ сами по себѣ, безъ содѣйствія растворяющаго вліянія почвы, 2) болѣе или менѣе сильно переводящія  $P_2O_5$  фосфоритовъ въ усвояемое состояніе; между этими группами существуютъ переходы.

Такъ оказывается, что хлѣбные злаки совсѣмъ не используютъ  $P_2O_5$  изъ фосфоритовъ или проявляютъ эту способность въ очень слабой степени. Вотъ, напр., результаты *песчаныхъ культуръ* за 1896-ой г., полученные въ нашей лабораторіи Н. К. Недокучаевымъ <sup>1)</sup>:

| Источник $P_2O_5$   | $KH_2PO_4$ | Смоленскій | Костромской | Рязанскій | Подольскій фосфоритъ. |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------------------|
| Урожай ячменя . . . | 38,12 гр.  | 5,52       | 5,03        | 4,47      | 4,47                  |

Такіе же результаты для фосфорита получились и во многихъ другихъ культурахъ того года; растения выглядѣли какъ совершенно подавленные въ ростѣ, „предѣльные“; это проявилось настолько рѣзко и было настолько неожиданно для участниковъ опытовъ, что была склонность не довѣрять полученнымъ результатамъ <sup>2)</sup> и искать какихъ либо погрѣшностей (излишняя поливка, нечистота нѣкоторыхъ „сосѣдей“ и т. п.); но культуры 1897 г. дали тѣже результаты и показали, что дѣло не въ случайныхъ погрѣшностяхъ, а дѣйствительно въ неусвояемости фосфорной кислоты фосфоритовъ для цѣлага

<sup>1)</sup> „Доступна ли культурнымъ растениямъ фосфорная кислота фосфоритовъ?“ Д. Н. Прянишникова. 1899-й. См. также „Хозяинъ“ 1897 г.

<sup>2)</sup> См. „Результаты студенческихъ работъ за 1896 годъ“ въ Извѣстіяхъ Института 1897.

ряда растений; вотъ нѣкоторые примѣры изъ данныхъ второго года опытовъ:

|                       | Удобр. раств. $P_2O_5$ . | Уд. фосфоритомъ. | Урожай на фосфоритѣ въ % отъ урожая на растворимой $P_2O_5$ . |
|-----------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------|
| Урожай овса . . . . . | 15,60                    | 1,75—3,35        | 11—20%                                                        |
| » проса . . . . .     | 29,07                    | 0,57             | 2%                                                            |
| » пшеницы . . . . .   | 12,20                    | 1,15             | 9,4%                                                          |



Рис. 40. Морковь. Кукруза.  
 $KH_2PO_4$  Фосфоритъ. Безъ  $P_2O_5$   $KH_2PO_4$  Фосфоритъ. Безъ  $P_2O_5$

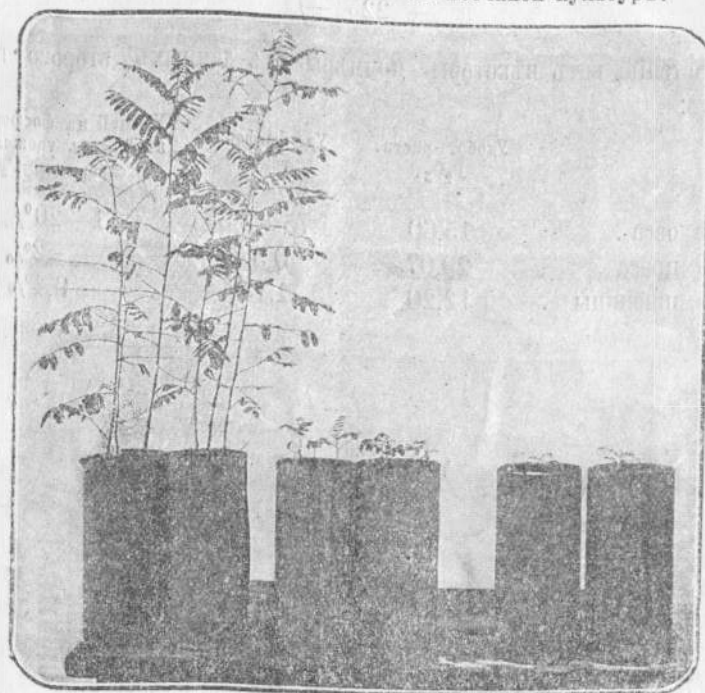
Во вносимыхъ дозахъ фосфорита содержалось  $P_2O_5$  при этихъ опытахъ больше въ 2—5 разъ сравнительно съ нормальной. Кромѣ злаковъ такую же неспособность использовать фосфоритъ обнаружилъ цѣлый рядъ другихъ растений, какъ и называются не морковь, изъ древесныхъ породъ—акація (см. рис., отъ которой Насколько мало значеніе большихъ количествъ фосфориты замѣтно изъ такого позднѣе произведеннаго у насъ опыта (второго года опыта):

Ученіе объ удобреніи.

» кн. IV.

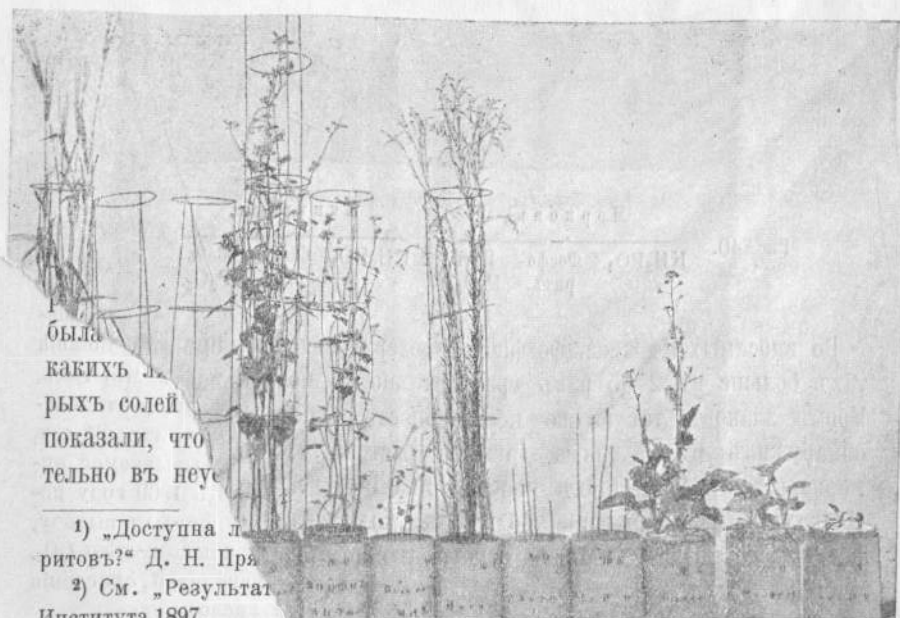


Рис. 41. *Robinia pseudoacacia* въ песчаной культурѣ.



$\text{KN}_2\text{PO}_4$ . Фосфоритъ. Безъ  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Рис. 42.



была  
какихъ  
рыхъ солей  
показали, что  
тельно въ неус

1) „Доступна ли  
ристовъ?“ Д. Н. Пря

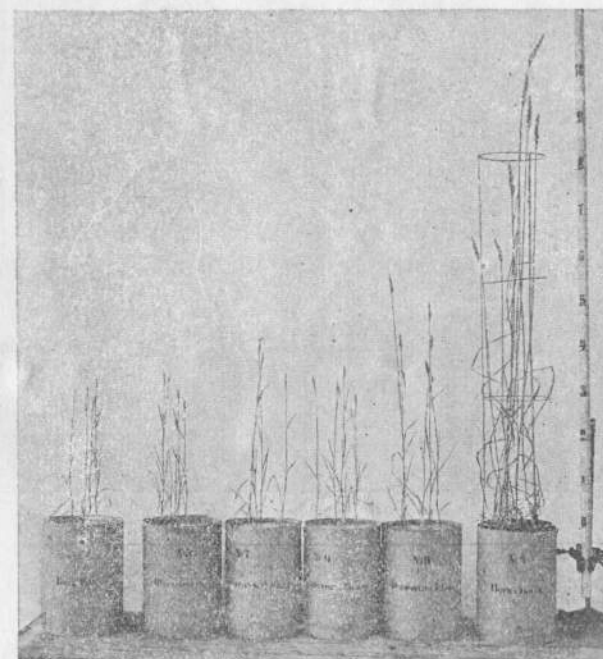
2) См. „Результатъ  
Института 1897.

— Фосфо- Безъ  $\text{KN}_2$ —Фосфо- Безъ  $\text{KN}_2$ —Фосфо- Безъ  
ритъ.  $\text{P}_2\text{O}_5$ .  $\text{PO}_4$ . ритъ.  $\text{P}_2\text{O}_5$ .  $\text{PO}_4$ . ритъ.  $\text{P}_2\text{O}_5$ .  
речиха. Ленъ. Рапсъ.

(Фосфоритъ (смоленскій)).

| Урожай:      | Безъ фосфорной кислоты. | Въ двойн. количествѣ. | Четверномъ. | Шестерн. | Восьмерн. | Десятерн. колич. | $\text{CaHPO}_4$ |
|--------------|-------------------------|-----------------------|-------------|----------|-----------|------------------|------------------|
| пшеницы . .  | 1,20                    | 2,50                  | 2,65        | 2,00     | 3,15      | 3,75             | 14,7             |
| овса . . . . | 1,40                    | —                     | 3,50        | 3,90     | 6,05      | 5,33             | 20,9             |
| ячменя. . .  | 1,43                    | —                     | 4,00        | 3,70     | 5,00      | 5,20             | 24,9             |

Рис. 43. Пшеница въ песчаной культурѣ.



|                                               | Безъ $\text{P}_2\text{O}_5$ . | Фосфоритъ. |   |   |    |   | Нормальная к. |
|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------|---|---|----|---|---------------|
| Отношеніе количества $\text{P}_2\text{O}_5$ : | 0                             | 2          | 4 | 8 | 10 | 1 |               |

Количествомъ фосфорита такимъ образомъ нельзя возмѣ (см. ниже) малой растворимости; даже десятерная доза (по сравненію) не помогаетъ, разъ нѣтъ на лицо достаточно активныхъ показателей (см. рис. 43-й).

Другое отношеніе къ фосфориту люпина, гречихи, отъной кислоты Въ нашихъ опытахъ 1897 г. при культурѣ на фосфориты замѣтно

|                            |       |                 |              |
|----------------------------|-------|-----------------|--------------|
| просо образовало . . . . . | 0, 58 | гг. сухого вѣс. | смоленскому, |
| горчица же около . . . . . | 6     | »               | »            |
| люпинъ . . . . .           | 9     | »               | »            |
| горохъ . . . . .           | 12    | »               | »            |

кн. IV.





ную зависимость урожая от целого ряда факторов, иного трудно было бы и ожидать.

Въ упомянутыхъ опытахъ проф. Коссовича (въ лабораторіи М. З. и Г. П.) надъ овсомъ и горохомъ получены такія данныя <sup>1)</sup> (песчаная культура):

|                   | Удобр. раств. $P_2O_5$ . | Удобр. фосфорит. | Урожай на фосфоритъ въ % урожая на раств. $P_2O_5$ . |
|-------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------------------------|
| Урожай овса . . . | 42,0 gr.                 | 4,0—10,1 gr.     | 9,5—24,0%                                            |
| » гороха . .      | 57,0 »                   | 29,7—30,0 »      | 52,1—52,0 »                                          |

Рис. 47. Горчица (бѣлая) въ песчаной культурѣ.



Въ 1-й опытѣ для злаковъ (овса) была использована почва, богатая фосфоромъ. Показали, что овесъ лучше развивался на фосфоритѣ, тѣмъ болѣе, когда въ почву добавляли фосфоритъ. По дѣйствительному опредѣленію усвоенной фосфорной кислоты не удалось установить, что овесъ лучше развивался на фосфоритѣ, тѣмъ болѣе, когда въ почву добавляли фосфоритъ.

<sup>1)</sup> Досыла несо-  
рительныхъ во вним.

<sup>2)</sup> См. № 50, II-й Отчетъ СПБ. Лабораторіи М. З. и Жур-  
Института Manns'Centr. 1900, 1901 и 1902 гг.

растеніемъ  $P_2O_5$ ; въ статьѣ П. С. Коссовича находимъ такія дан-  
ныя:

|         |                            | Урожай на сосудѣ. | Количество $P_2O_5$ въ урожай на сосудѣ. |
|---------|----------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| Овесь:  | Удобр. фосфоритомъ . . .   | 10,1 gr.          | 0,014 gr.                                |
|         | » растворимой $P_2O_5$ . . | 42,0 »            | 0,136 »                                  |
| Горохъ: | » фосфоритомъ . . .        | 30,0 »            | 0,047 »                                  |
|         | » растворимой $P_2O_5$ . . | 57,0 »            | 0,147 »                                  |

При нашихъ опытахъ 1899 г. обнаружилось, что гречиха на фосфоритѣ усвоила около 60 mgr.  $P_2O_5$  на сосудѣ, въ то время, какъ хлѣба содержали 4—12 mgr.; въ люпинѣ же найдено 97 mgr.

Итакъ, зависитъ ли это отъ разницъ качественныхъ (различія въ выделяемыхъ кислотахъ) или количественныхъ (разныя количества выделяемой  $CO_2$ ), но несомнѣнно, что корни разныхъ растеній обла-  
даютъ различной растворяющей способностью.

Отмѣтимъ, что нельзя судить о способности растенія усвоить  $P_2O_5$  фосфоритовъ по одной принадлежности его къ извѣстному семейству, напр., бобовыхъ или злаковыхъ. Такъ, изъ бобовыхъ клеверъ плохо развивался на пескѣ при удобреніи фосфоритомъ (данныя Петерб. лабораторіи), а изъ злаковыхъ—могаръ—относительно лучше (по-  
казаніе Schreiber'a).

Всѣ приведенныя цифры относились къ яровымъ хлѣбамъ; для озимыхъ также имѣются опыты въ песчаныхъ культурахъ и данныя этихъ опытовъ не обнаружили замѣтныхъ различій на сравненіи съ яровыми; такъ въ опытѣ Р. Р. Шредера озимая рожь дала такіе урожаи (рис. 48) <sup>1)</sup>:

| Безъ $P_2O_5$ . | Фосфоритъ. | $KH_2PO_4$ . |
|-----------------|------------|--------------|
| 3,5             | 5,9        | 97 гр.       |

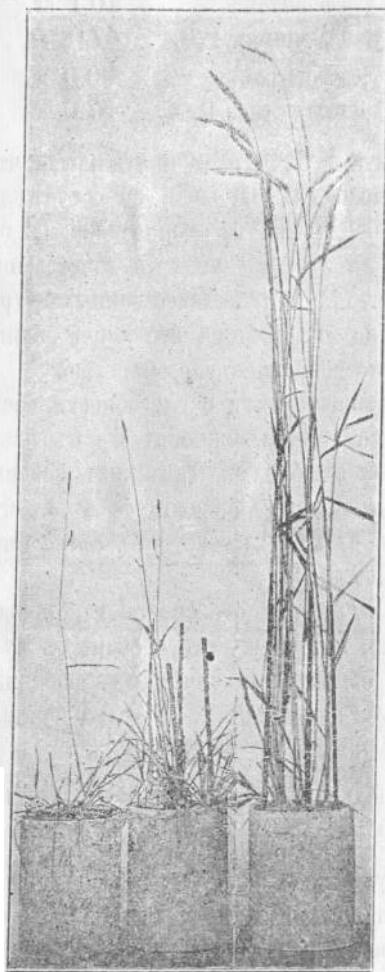
Отсюда не слѣдуетъ заключать, что шансы на успѣхъ фосфорит-  
наго удобренія одинаковы для озимыхъ и яровыхъ, такъ какъ время соприкосновенія фосфорита съ почвой здѣсь неодинаково (см. ниже о вліяніи почвы).

Какъ слѣдовало ожидать на основаніи ранѣе приведенныхъ пока-  
заній лимонно-кислой вытяжки, разные фосфориты оказываются не  
совсѣмъ одинаковыми по доступности источниковъ фосфорной кислоты  
для растенія, а именно подольскій и вятскій фосфориты замѣтно  
уступаютъ въ этомъ отношеніи фосфориту рязанскому, смоленскому,

<sup>1)</sup> См. „Извѣстія Моск. Сельско-Хозяйств. Института“. 1899, кн. IV.

курскому и костромскому; это видно изъ слѣд. цифръ, полученныхъ методомъ песчаныхъ культуръ.

Рис. 48. Озимая рожь въ песчаныхъ культурахъ.



Безъ  $P_2O_5$ . Фосфоритъ.  $KH_2PO_4$ .

|                          | Раствори-<br>мая $P_2O_5$ . | Относительная высота урожаевъ: |       |        |        |           |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|-----------|
|                          |                             | Рязан.                         | Смол. | Костр. | Вятск. | Подольск. |
| Овесъ (наши культуры).   | 100                         | 21,5                           | 17,1  | 13,0   | —      | 12,2%     |
| Овесъ (лабор. мин. зем). | 100                         | 28,6                           | 25,2  | 24,0   | 14,0   | 9,5 »     |
| Горохъ (тамъ же)         | 100                         | 64,4                           | 62,5  | 52,6   | 41,6   | 52,1 »    |
| Гречиха (наши культуры). | 100                         | 45,0                           | 62,0  | —      | —      | 29,3 »    |

Но практически какъ разъ для главныхъ культуръ съ этими различіями мало приходится считаться, такъ какъ всѣ фосфориты чрезвычайно плохо используются хлѣбами, если нѣтъ на лицо какого-либо растворяющаго агента.

Вышеприведенныя данныя по дѣйствию фосфоритовъ на растенія относились къ песчанымъ культурамъ и находятъ аналогію лишь въ тѣхъ полевыхъ опытахъ, которые были произведены съ почвами, не обладающими кислыми свойствами.

Несравненно сильнѣе дѣйствіе фосфоритовъ на подзолистыхъ и торфянистыхъ почвахъ, какъ это показано опытами А. Н. Энгельгардта въ Россіи, Bieffel'a и др. во Франціи и другихъ странахъ.

Вегетационные опыты (при которыхъ поливъ исключается дѣйствіе переменныхъ факторовъ, въ частности погоды) подтверждаютъ это. Приведемъ данныя полученные у насъ при первыхъ же опытахъ въ 1896 году относительно яровой ржи (культуры Б. А. Скалова).

| П о ч в ы:          | Урожай зерна.      |                      | Общій вѣсъ надземн. орган. |                      | Повышеніе<br>урожае въ % |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|
|                     | Безъ<br>удобренья. | Съ фосфо-<br>ритомъ. | Безъ<br>удобренья.         | Съ фосфо-<br>ритомъ. |                          |
| Черноземъ . . . . . | 1,95               | 2,30                 | 5,65                       | 5,80                 | + 3%                     |
| Супесь . . . . .    | 1,25               | 1,50                 | 3,55                       | 4,40                 | + 24 »                   |
| Подзолъ № 1-й . .   | 0,40               | 4,75                 | 3,30                       | 10,75                | + 226 »                  |
| Подзолъ № 2-й . .   | 1,40               | 3,30                 | 2,35                       | 11,10                | + 272 »                  |

Такимъ образомъ фосфоритъ далъ сильное повышеніе на подзолистыхъ, не культурныхъ почвахъ; черноземъ же совершенно не реагировалъ на это удобрение. Такъ какъ яровая рожь не могла сама по себѣ пользоваться фосфорной кислотой фосфорита (на основаніи ранѣе изложеннаго), то очевидно подзолистыя почвы подготавливали фосфоритъ, дѣйствовали на него растворяющимъ образомъ, а черноземъ этого дѣйствія не проявилъ, хотя всѣ почвы снабжались влагой въ одинаковой мѣрѣ; такимъ образомъ, это показаніе даетъ поводъ думать, что опыты съ фосфоритами въ черноземной полосѣ были менѣе успѣшны по сравненію съ нечерноземными не вслѣдствіе климатическихъ причинъ, а вслѣдствіе иныхъ свойствъ почвы. Выводъ этотъ подтверждается и послѣдующими опытами (1897 и 1898 гг.).

Въ 1897 году провѣрено было дѣйствіе фосфоритнаго удобрения на подзолъ № 1-й; результаты были таковы (для яровой ржи):

| У д о б р е н і е                            | Безъ $P_2O_5$<br>1 gr. $KNO_3$ . | 1 gr. $KNO_3$ и 0,54 gr. $P_2O_5$ въ видѣ:<br>Рязанск. Буломзинск. Рославльск. Подольск. |      |      |      |
|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                                              |                                  | ф о с ф о р и т а.                                                                       |      |      |      |
| Урожай надземныхъ ча-<br>стей въ % . . . . . | 100%                             | 300%                                                                                     | 235% | 234% | 163% |



Въ другомъ опытѣ съ той же почвой сравнивались различные фосфаты:

| Удобрение.           | 1 gr. $\text{KNO}_3 + 0,27$ gr. $\text{P}_2\text{O}_5$ въ видѣ: |            |            |             |                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|---------------------------|
|                      | Безъ $\text{P}_2\text{O}_5$<br>1 gr. $\text{KNO}_3$ .           | Суперфосф. | Фосфорита. | Кост. муки. | $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ |
| Урожай въ % отъ не-  |                                                                 |            |            |             |                           |
| удобр. . . . .       | 100%                                                            | 153%       | 141%       | 154%        | 175%                      |
| Тоже для зерна . . . | 100 »                                                           | 178 »      | 168 »      | 190 »       | 202 »                     |

Слѣдовательно, *дѣйствіе почвы можетъ измѣнить существенно свойства фосфорита* и приблизить результаты его примѣненія къ результатамъ, полученныхъ отъ болѣе цѣнныхъ фосфатовъ. Отмѣтимъ, что даже подольскій фосфоритъ поддавался активному воздѣйствію со стороны почвы и далъ замѣтный приростъ, хотя и меньше противъ другихъ фосфоритовъ. (Это даетъ поводъ думать, что причина неуспѣха подольскаго фосфорита лежитъ не только въ особенностяхъ самаго удобрения, но и въ томъ, что онъ испытывался на южныхъ, а не сѣверныхъ, подзолистыхъ почвахъ).

Результаты, подобные дѣйствію подзола на фосфоритъ, получены и для болотно-суглинистой почвы XII поля фермы М. С. И.

|                                                     | Безъ<br>удобр. | Фосфо-<br>ритъ. | Фосфоритъ<br>и селитра. | Суперфосфатъ<br>и селитра. |
|-----------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|
| Урожай надземныхъ орга-<br>новъ (въ % отъ неудоб.). | 100            | 153             | 250                     | 271                        |

Но и изъ сѣверныхъ (даже подзолистыхъ) почвъ, повидимому не всѣ реагируютъ на фосфоритъ; можно предполагать, что и эти почвы по мѣрѣ улучшения подъ влияніемъ обработки и навознаго удобрения мало по малу теряютъ способность воздѣйствовать на фосфоритъ растворяющимъ образомъ.

Замѣтимъ, что, если для фосфорита почва, по своему природному составу, не содержитъ свободныхъ кислотъ, то для фосфорита почва, по своему природному составу, не содержитъ свободныхъ кислотъ (такъ какъ въ большинствѣ случаевъ достаточно привести въ соприкосновеніе фосфоритъ съ торфомъ даже на непродолжительное время, чтобы обнаружить въ растворѣ фосфорную кислоту), то для почвъ подзолистыхъ причина эта является болѣе сложной и пока не изслѣдованной въ достаточной мѣрѣ.

На основаніи только что приведенной разницы въ дѣйствіи разныхъ почвъ на фосфориты нельзя еще утверждать, что индифферентныя въ этомъ отношеніи почвы никогда не должно удобрять фосфоритами. Возможно, что для люпина, гречихи и подобныхъ растений фосфоритное удобрение будетъ полезно и на такихъ почвахъ; но

при условіи, что мы имѣемъ дѣло не только съ малымъ «плодородіемъ», но и съ малымъ «богатствомъ» почвы по фосфорной кислотѣ <sup>1)</sup>,

1) Здѣсь является вопросомъ, будетъ ли гречиха благодаря усвояющей способности чаще реагировать на фосфоритъ чѣмъ хлѣба при полевой культурѣ или именно большая усвояющая способность корней позволить ей черпать  $\text{P}_2\text{O}_5$  изъ такихъ соединений почвы, которыя хлѣбомъ недоступны и сдѣлаетъ ее нечувствительной къ внесенію фосфорной кислоты въ любой формѣ? Очевидно это зависитъ отъ того какъ фосфорная кислота той или иной почвы распредѣлится по разнымъ категориямъ соединений: эти соединения могутъ быть или 1) одинаково недоступны ни гречихѣ, ни хлѣбамъ (органической Р?) 2) доступны гречихѣ, но недоступны хлѣбамъ (апатитъ и подобные ему фосфаты), 3) доступны всѣмъ растениямъ (растворимые и «полурасстворимые» фосфаты). Если почва (лишенная кислыхъ свойствъ) содержитъ соединения преимущественно первой категоріи или вообще бѣдна фосфорной кислотой, то будетъ реакція на фосфоритъ для гречихи, но ея не будетъ — для хлѣбныхъ; если же фосфорная кислота находится въ соединенияхъ главнымъ образомъ второго рода, то и гречиха не будетъ реагировать на фосфоритъ, да и другіе фосфаты не будутъ обнаруживать на нее достаточнаго дѣйствія, хотя хлѣба будутъ на нихъ отзываться; наконецъ, въ третьемъ случаѣ, конечно, и хлѣба не будутъ нуждаться во внесеніи фосфорнокислыхъ удобрений вообще.

Такимъ образомъ возможны соотношенія очень различныя, въ особенности если принять во вниманіе, что въ большинствѣ случаевъ мы будемъ имѣть условія не рѣзко выраженнаго типичнаго, а смѣшаннаго переходнаго характера. Въ нашихъ опытахъ 1899 года имѣлъ мѣсто случай близкій къ случаю второму вышеприведенной схемы, именно:

На одной почвѣ (изъ Карловки Полт. губ.), пшеница и горохъ чрезвычайно сильно реагировали на фосфорную кислоту, гречиха же почти совершенно въ ней не нуждалась и дала почти равные урожаи какъ безъ фосфорной кислоты (18,7 гр.), такъ и при растворимомъ фосфатѣ (20 гр.); понятно, что фосфоритъ въ этихъ условіяхъ также не дѣйствовалъ; но если бы, при боѣ съ этой почвой, гречиха реагировала на фосфоритъ, то нужно ожидать, что и фосфоритъ былъ бы пригодной формой. Къ тому же, если горохъ далъ такіе урожаи:

| Безъ фосфорита. | Фосфоритъ. | Растворимая ф. к. |
|-----------------|------------|-------------------|
| 9,9 гр.         | 18,9 гр.   | 45,0 гр.          |

Слѣдовательно, на одной и той же почвѣ разные растения показываютъ различное отношеніе къ фосфатамъ (азотистой пищей были обеспечены въ этомъ опытѣ всѣ растенія).

Нужно еще замѣтить, что способность растений пользоваться съ одной стороны фосфорной кислотой фосфоритовъ, а съ другой стороны труднодоступными соединениями почвы не всегда совпадаетъ; такъ, горчица, хорошо справляющаяся съ фосфоритомъ, по отношенію къ почвѣ является мало-энергичной (см. И. С. Коссовичъ, Растеніе, почва и фосфориты, Журн. Оп. Агрономіи, 1910).

иначе эти растения будут черпать из трудно растворимаго запаса («богатства» почвы) и не будут реагировать на фосфаты, такъ въ опытахъ П. С. Коссовича и К. К. Гедройца замѣчены были такіа различія въ количествѣ фосфорной кислоты, усвоенной на *одной и той же почвѣ* разными растениями:

|                   |          |                      |         |
|-------------------|----------|----------------------|---------|
| Люпинъ . . . . .  | 114 mgr. | Тимофеевка . . . . . | 31 mgr. |
| Горохъ . . . . .  | 87 »     | Оз. рожь . . . . .   | 32 »    |
| Гречиха . . . . . | 65 »     | Люцерна . . . . .    | 38 »    |

(См. IV выпускъ «Трудовъ с. х. лабораторіи», СПб. 1905).

Въ сельскохозяйственной литературѣ неоднократно встрѣчаются попытки установить коэффициенты для использования фосфорной кислоты того или иного фосфата; изъ вышеизложеннаго ясно, что такіе коэффициенты не могутъ быть постоянными, они мѣняются въ зависимости отъ рода почвы и рода растения; нельзя, напр., вообще утверждать, что фосфорная кислота такого-то фосфорита используется въ 4 раза хуже, чѣмъ  $P_2O_5$  суперфосфата (или коэфф. использования равенъ 25%); можно устанавливать эти нормы лишь оговоривши напередъ, какія почвы и какія группы растений имѣются въ виду. Можно, напр., выделить растения съ слабой усвояющей способностью корней и почвы, лишенные кислыхъ свойствъ, или наоборотъ; въ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ возможно получить уже довольно постоянные коэффициенты.

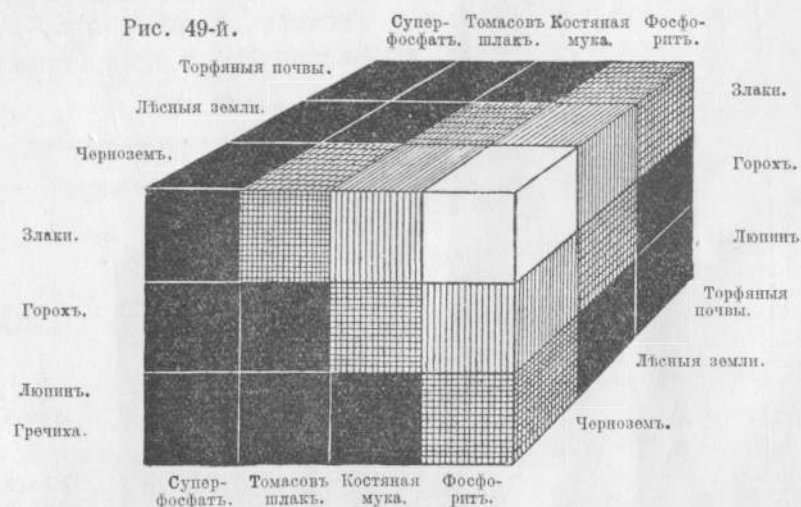
Поэтому показанія песчаныхъ культуръ даютъ болѣе устойчивый матеріалъ для сравнительной оцѣнки продажныхъ фосфатовъ; но вообще говоря эти фосфаты не могутъ быть характеризованы какимъ-либо постояннымъ коэффициентомъ, въ виду того, что использование зависитъ какъ отъ рода растения, такъ и отъ рода почвы; если имѣть въ виду пока только растение и при графическомъ изображеніи расположить на горизонтальной линіи различныя фосфаты въ убывающемъ порядкѣ по растворимости, а за ординаты взять относительныя величины урожаевъ, то получимъ для разныхъ растений различныя кривыя; для злаковъ такая кривая будетъ рѣзко понижаться въ сторону фосфорита, для люпина она быть можетъ приблизиться къ совершенно горизонтальной линіи; кривая для другихъ растений должна расположиться между ними. Для болѣе точнаго опредѣленія величины ординатъ въ разныхъ случаяхъ нужны еще дальнѣйшіе опыты; примѣрными могутъ служить слѣдующія величины для относительныхъ урожаевъ:

|               | Безъ $P_2O_5$ . | Фосфоритъ.     |             | Костяная мука. | Томасовъ шлакъ. | Супер-фосфатъ. |
|---------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|
|               |                 | Подольск.      | Смоленскій. |                |                 |                |
|               |                 | Въ процентахъ. |             |                |                 |                |
| Хлѣба . . .   | 5% {            | 5—10           | 5—20        | 40             | 60—70           | 100            |
| Горохъ . . .  |                 | —              | 40          | 60             | 80              | 100            |
| Гречиха . . . |                 | 30             | 60          | 90             | 100             | 100            |

Эта схема будетъ вѣрна для песчаныхъ культуръ и для тѣхъ почвъ, которыя являются болѣе или менѣе инертной средой, не дѣйствующей замѣтно на вносимое удобрѣніе, но въ очень многихъ случаяхъ приведенныя величины будутъ измѣняться подъ влияніемъ почвъ, а на почвахъ кислыхъ часто вся картина можетъ быть затупевана, благодаря выравниванью въ дѣйствіи всѣхъ фосфатовъ. Если бы мы пожелали сразу, на одной схемѣ, выразить отношенія между фосфатами, почвами и растениями, то пришлось бы прибѣгнуть къ изображенію въ пространствѣ и тремъ осямъ координатъ; на го-

### Поправка къ стр. 237.

На рис. 49 подписи съ правой и лѣвой стороны размѣщены неправильно (въ обратномъ порядкѣ); слѣдуетъ исправить согласно слѣдующему:





иначе эти растенія будутъ черпать изъ трудно растворимаго запаса («богатства» почвы) и не будутъ реагировать на фосфаты, такъ въ опытахъ П. С. Коссовича и К. К. Гедройца замѣчены были такіа различія въ количествѣ фосфорной кислоты, усвоенной на одной и той же почвѣ разными растеніями:

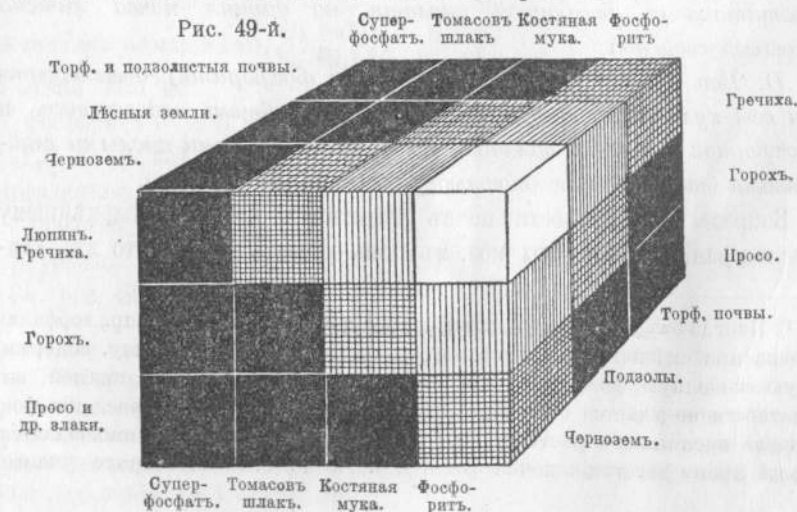
|                   |          |                      |         |
|-------------------|----------|----------------------|---------|
| Люпинъ . . . . .  | 114 mgr. | Тимофеевка . . . . . | 31 mgr. |
| Горохъ . . . . .  | 87 »     | Оз. рожь . . . . .   | 32 »    |
| Гречиха . . . . . | 65 »     | Люцерна . . . . .    | 38 »    |

(См. IV выпускъ «Трудовъ с. х. лабораторіи», СПБ. 1905).

Въ сельскохозяйственной литературѣ неоднократно встрѣчаются попытки установить коэффициенты для использования фосфорной кислоты того или иного фосфата; изъ вышесказаннаго ясно, что такіе коэффициенты не могутъ быть постоянными, они мѣняются въ зависимости отъ рода почвы и рода растенія; нельзя, напр., вообще утверждать, что фосфорная кислота такого-то фосфата въ 4 раза хуже

|               | Безъ $P_2O_5$ . | Фосфоритъ.            |      | Костяная<br>мука. | Томасовъ<br>шлакъ. | Супер-<br>фосфатъ. |
|---------------|-----------------|-----------------------|------|-------------------|--------------------|--------------------|
|               |                 | Подольск. Смоленскій. |      |                   |                    |                    |
|               |                 | Въ процентахъ.        |      |                   |                    |                    |
| Хлѣба . . .   | 5%              | 5—10                  | 5—20 | 40                | 60—70              | 100                |
| Горохъ . . .  |                 | —                     | 40   | 60                | 80                 | 100                |
| Гречиха . . . |                 | 30                    | 60   | 90                | 100                | 100                |

Эта схема будетъ вѣрна для песчаныхъ культуръ и для тѣхъ почвъ, которыя являются болѣе или менѣе инертной средой, не дѣйствующей замѣтно на вносимое удобрение, но въ очень многихъ случаяхъ приведенныя величины будутъ измѣняться подъ влияніемъ почвъ, а на почвахъ кислыхъ часто вся картина можетъ быть затуманена, благодаря выравниванію въ дѣйствіи всѣхъ фосфатовъ. Если бы мы пожелали сразу, на одной схемѣ, выразить отношенія между фосфатами, почвами и растеніями, то пришлось бы прибѣгнуть къ изображенію въ пространствѣ и тремъ осямъ координатъ; на горизонтальной оси, напр., расположить фосфаты въ порядкѣ ихъ усвояемости, на вертикальной — растенія, въ порядкѣ по энергіи усвоенія ими  $P_2O_5$  изъ малорастворимыхъ источниковъ, на третьей, перпендикулярной къ плоскости двухъ первыхъ — почвы, тоже въ извѣстной послѣдовательности, по способности растворяющимъ образомъ дѣйствовать на фосфаты; если такимъ образомъ построить модель, сложенную изъ кубиковъ и придать имъ окраску по интенсивности отвѣчающую дѣйствію фосфата (въ зависимости отъ совокупности его свойствъ, свойствъ почвы и свойствъ растенія), то получимъ рядъ оттѣнковъ, дающихъ понятіе о сложности отношеній имѣющихъ мѣсто въ дѣйствительности (см. рис. 49-й.)



Но и такая схема не охватывает еще затрагиваемых явлений сполна; именно эта схема построена въ предположеніи, что почвы, разсматриваемыя нами, нуждаются въ фосфорнокисломъ удобрении потому, что они бѣдны фосфорной кислотой вообще; между тѣмъ почвы могутъ содержать разныя формы фосфорнокислыхъ соединений, изъ которыхъ одни растенія могутъ использовать большія, другія меньшія количества; поэтому одна и таже почва можетъ то реагировать на фосфорнокислосе удобрение, то относиться къ нему совершенно безразлично, смотря по тому, какое растеніе мы возьмемъ для опыта; основными, на нашъ взглядъ, являются слѣдующіе четыре случая:

*А. Никакія фосфорнокислыя удобрения не дѣйствуютъ ни на какія культуры; очевидно, это имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда почва богата фосфорной кислотой въ удобоусвояемой формѣ.*

*В. Растворимая фосфорная кислота удобрений дѣйствуетъ на хлѣба, но не дѣйствуетъ на гречиху и люпинъ; это значитъ, что въ почву мало легко усвояемой фосфорной кислоты, но ея много въ элементахъ «богатства почвы». Фосфоритъ въ этомъ случаѣ не дѣйствуетъ вовсе (не дѣйствуетъ на хлѣба, потому что онъ имъ недоступенъ, а на гречиху и люпинъ потому, что эти растенія и въ почву находятъ готовый запасъ аналогичныхъ малорастворимыхъ соединений, и не нуждаются въ удобрении).*

*С. Растворимая фосфорная кислота удобрений дѣйствуетъ на всѣ растенія, а фосфоритъ только на гречиху, люпинъ и подобныя культуры; это указываетъ, что въ почвѣ есть общій недостатокъ въ фосфорной кислотѣ, но данная почва лишена кислыхъ свойствъ.*

*Д. Всѣ фосфаты (въ томъ числѣ и фосфоритъ) дѣйствуютъ на всѣ культуры; очевидно, почва, при общемъ недостаткѣ въ фосфорной кислотѣ, обладаетъ ясно выраженными кислыми свойствами (върнѣе—способностью разлаять фосфоритъ).*

Вопросъ о кислотности почвъ надлежитъ конечно дальнѣйшему изслѣдованію<sup>1)</sup>; пока мы можемъ лишь указать на то, что эта «ки-

<sup>1)</sup> Иногда эта кислотность сказывается непосредственно, напр., торфяная почва при смѣшеніи съ фосфоритомъ даетъ водную вытяжку, содержащую свободную фосфорную кислоту; въ другихъ случаяхъ прямой кислотности не удается обнаружить и непосредственного переведенія фосфорной кислоты въ растворъ при лабораторномъ опытѣ не наблюдается, но за время вегетаціи почва (быть можетъ не безъ косвеннаго участія

слотность» видимо можетъ быть иногда повышена внесеніемъ другихъ (сопутствующимъ фосфатамъ) удобрений въ формѣ физиологически-кислыхъ солей; по крайней мѣрѣ наши опыты 1900 года для песчаныхъ культуръ съ ясностью показали, что введеніе солей амміака въ качествѣ источника азота существенно измѣняетъ условія использования фосфатовъ, дѣлая даже фосфориты матерьяломъ доступнымъ для хлѣбныхъ злаковъ. Можно думать, что и въ почвѣ соли амміака должны способствовать растворенію фосфатовъ той избыточной кислотой, которая остается послѣ ихъ использования растеніемъ, будетъ или это использование непосредственнымъ или оно будетъ сопровождаться предварительной нитрификаціей (во второмъ случаѣ количество дѣйствующей кислоты удваивается); но конечно въ почвѣ это растворяющее дѣйствіе не будетъ направлено только на фосфаты, какъ это достигается въ песчаныхъ культурахъ, оно можетъ быть ослаблено наличностью другихъ соединений, нейтрализующихъ кислоты (чаще всего  $\text{CaCO}_3$ ).

Насколько рѣзко дѣйствіе солей аммонія въ качествѣ растворителя, видно изъ слѣдующаго опыта; если, взявши въ качествѣ источника  $\text{P}_2\text{O}_5$  фосфоритъ постепенно во взятомъ рядѣ сосудовъ измѣнять источникъ азота, переходя отъ селитры (или  $\text{CaNO}_3$ ) и смѣси селитры и амміака и къ числу сѣрно-кислосому амміаку, то вмѣстѣ съ введеніемъ солей аммонія (по мѣрѣ развитія растеній) повышается кислотность среды отъ причинъ физиологическихъ (накопленіе избыточной сѣрной кислоты) и фосфоритъ подвергается растворенію, какъ бы на мѣстѣ потребленія превращаясь въ суперфосфатъ; вотъ относящіеся къ этому опыту цифры (культуры Н. М. Тулайкова и М. А. Лушникова).

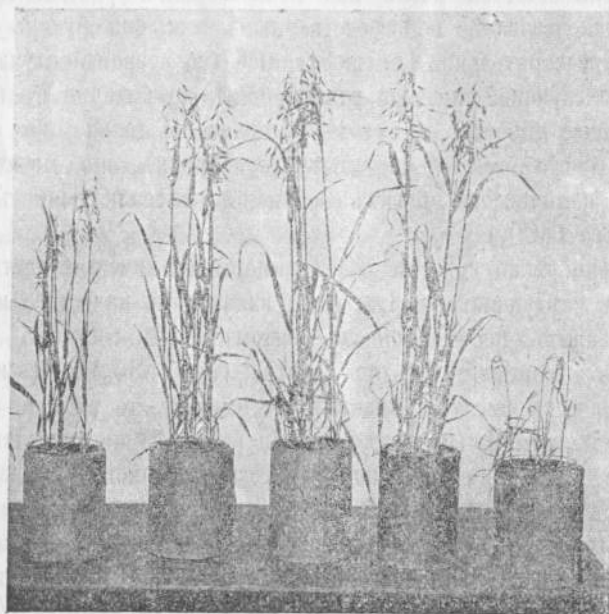
| Источникъ азота:                             | $\frac{3}{4} \text{NaNO}_3$             | $\frac{1}{2} \text{NaNO}_3$             | $\frac{1}{4} \text{NaNO}_3$             | $\frac{1}{4} \text{NaNO}_3$ | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                              | $\frac{1}{4}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | $\frac{1}{2}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | $\frac{3}{4}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ |                             |                              |
| Урожай овса на                               |                                         |                                         |                                         |                             |                              |
| фосфоритѣ . .                                | 6,2                                     | 22,0                                    | 20,5                                    | 19,9                        | 1,6 грам.                    |
| % $\text{P}_2\text{O}_5$ въ урожаѣ.          | 0,09%                                   | 0,30%                                   | 0,57%                                   | 0,92%                       | 1,46%                        |
| Абсолютное количество $\text{P}_2\text{O}_5$ |                                         |                                         |                                         |                             |                              |
| въ урожаѣ . .                                | 6,5 mgr.                                | 66,0                                    | 116,8                                   | 176,6                       | 24,1 mgr.                    |
| (См. рис. 50-й).                             |                                         |                                         |                                         |                             |                              |

растенія) способна развить растворяющее дѣйствіе на фосфоритъ (подзолы). Въ послѣднее время предлагается терминъ «ненасыщенныя основанія почвы»—для тѣхъ случаевъ, когда на лакмусъ кислотности не обнаруживается, но способность отнимать основанія изъ солей проявляется (см. *Гедройи*. На какихъ почвахъ дѣйствуетъ фосфоритъ. Журналъ Опытной Агрономіи, 1911 г., стр. 529).



Какъ видимъ, растенія голодавшія отъ недостатка фосфорной кислоты при селитрѣ, по мѣрѣ введенія аммонія обильно ее воспринимали; что касается послѣдняго случая, когда введенъ былъ одинъ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , то здѣсь растенія пострадали отъ слишкомъ кислой реакціи и дали малые урожаи несмотря на избытокъ (относительный) воспринятой фосфорной кислоты (подробности см. въ нашемъ отчетѣ о вегетаціонныхъ опытахъ за 1900 годъ).

Рис. 50-я.



Источник  $\text{P}_2\text{O}_5$ : **Ф О С Ф О Р И Т Ы:**  
 Источник N:  $\text{NaNO}_3$   $\frac{3}{4}\text{NaNO}_3$   $\frac{1}{2}\text{NaNO}_3$   $\frac{1}{4}\text{NaNO}_3$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   $\frac{3}{4}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   $\frac{1}{2}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   $\frac{1}{4}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Насколько возможно этой растворяющей способностью солей аммонія, столь ясной въ песчаныхъ культурахъ, воспользоваться на практикѣ, объ этомъ пока трудно судить безъ дальнѣйшихъ опытовъ; во всякомъ случаѣ, при сравнительныхъ опытахъ и въ почвѣ нельзя считать замѣну селитры сѣрнокислымъ амміакомъ—безразличной. Замѣтимъ, что и азотнокислый аммоній также обладает растворяющей способностью, хотя и смягченной по сравненіи съ сѣрнокислымъ; причина этого отчасти лежитъ въ возможности нитрификаціи, а отчасти, повидимому, и въ этого обстоятельства <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Относительно причинъ растворяющаго дѣйствія  $\text{NH}_4\text{NP}_3$  на фосфаты нами были высказаны и разобраны слѣдующія возможныя объясне-

Такимъ образомъ, кромѣ свойствъ самаго фосфата, свойствъ почвы

Рис 51. Вліяніе  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на доступность фосфорита.



|         | Нормаль-<br>ная<br>съ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | Нормаль-<br>ная<br>съ $\text{NH}_4\text{NO}_3$ | Фосфо-<br>ритъ съ<br>$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | Фосфо-<br>ритъ съ<br>$\text{NH}_4\text{NO}_3$ | Безъ $\text{P}_2\text{O}_5$ |
|---------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Урожай: | 22,3                                             | 2,55                                           | 3,8                                             | 18,5                                          | 2,3                         |

ція: 1) не зависить ли это отъ нитрификаціи, превращающей основаніе этой соли (аммоній) въ кислоту (азотную)? но такое предположеніе опровергается повтореніемъ опытовъ въ условіяхъ стерильныхъ, гдѣ растворяющее дѣйствіе также наблюдается (П. С. Коссовичъ, Mazé, И. С. Шуловъ); 2) не дѣйствуетъ ли  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на фосфатъ чисто химически, переводя въ растворъ часть фосфорной кислоты безъ участія растенія? Но однако соотвѣтственный опытъ произведенный съ нашей лабораторіи И. С. Шуловымъ показалъ, что при взбалтываніи раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  съ фосфоритомъ переходятъ въ растворъ лишь небольшія количества  $\text{P}_2\text{O}_5$ , совершенно несравнимыя съ тѣми, какія усваиваетъ растеніе при содѣйствіи  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 3) не состоитъ ли различіе  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  отъ  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  въ томъ, что послѣдній, будучи фізіологически-основной солью, нейтрализуетъ кислыя выдѣленія корней и мѣшаетъ имъ дѣйствовать на фосфоритъ, а  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  какъ

Ученіе объ удобреніи.

и растенія, мы имѣемъ еще одинъ факторъ, способный значительно физиологически-нейтральная соль не препятствуетъ растворенію фосфорита предполагаемыми корневыми выдѣленіями? Если бы это было вѣрно, то простое изолированіе фосфата отъ соприкосновенія съ  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  повысило бы его усвояемость; а изолированіе фосфата отъ дѣйствія  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  не понижало бы его усвояемости; на дѣлѣ это не подтверждается какъ показалъ слѣдующій опытъ, произведенный въ нашей лабораторіи И. С. Шуловымъ: въ обычный сосудъ для песчаныхъ культуръ вводится другой, меньшаго размѣра, тоже наполняемый пескомъ; если мы введемъ

Рис. 52. Вліяніе изолированного питанія амміачными солями на использование фосфорита.



вліять на усвоеніе фосфорной кислоты, именно *сопутствующія удобрения*; если одни изъ нихъ (соли аммонія) повышаютъ эффектъ фосфорнокислыхъ удобрень, то другіе способны его понижать; такъ во многихъ случаяхъ дѣйствуетъ углекислая известь, что мы уже отмѣчали въ случаѣ кости.

Но это дѣйствіе не является общимъ для всѣхъ фосфатовъ; въ опытахъ 1905 г., когда мы получили, согласно съ Kellner'омъ, рѣзкое пониженіе отъ прибавки  $\text{CaCO}_3$  для костяной муки, не наблюдалось пониженія для растворимаго фосфата ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ):

|                   | Безъ $\text{CaCO}_3$ | 0.1% | 0.3% | 0.5% | 1% $\text{CaCO}_3$ |
|-------------------|----------------------|------|------|------|--------------------|
| Урожай овса . . . | 44,1                 | 43,9 | 42,8 | 43,0 | 40,4 gr            |

Только очень высокая доза  $\text{CaCO}_3$  (1% отъ вѣса песка) даетъ намекъ на пониженіе.

Въ 1903 году (Bied Centralblatt, Heft 11) появилось сообщеніе о работѣ Söderbaum'a, который наблюдалъ также значительныя различія въ отношеніи фосфатовъ и извести, именно однокальціевый и двукальціевый фосфатъ были къ ней гораздо менѣ чувствительны, чѣмъ трехкальціевый фосфатъ и кость. Опыты на эту тему были продолжены у насъ въ 1904—7 гг. и привели къ слѣдующему результату:

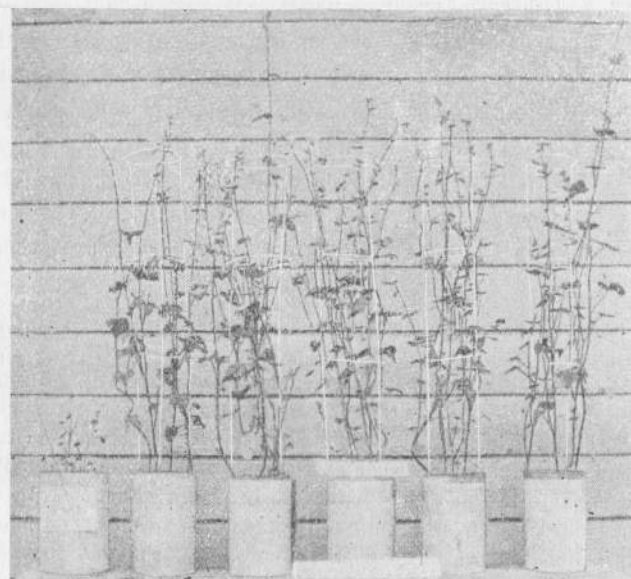


ствительны къ присутствію избытка извести трех-кальціевый фосфатъ, кость и фосфориты.

|                                                            | 0      | 1/4% | 1/2% | 3/4% | 1%   | CaCO <sub>3</sub> |
|------------------------------------------------------------|--------|------|------|------|------|-------------------|
| Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (1905 г.) | 20,7   | 19,5 | 25,7 | 25,7 | 23,2 | гр. (гречиха)     |
| СаНРО <sub>4</sub> {                                       | 1904 » | 18,4 | 16,3 | 18,5 | 18,2 | 22,5 » (ячень)    |
|                                                            | 1906 » | 21,8 | —    | 25,7 | 24,9 | 21,2 » (пшеница)  |
| Са <sub>3</sub> РО <sub>4</sub> (1907) »                   | 18,9   | —    | 15,4 | 8,3  | 8,0  | » (овесъ)         |
| Кость (1907) »                                             | 9,7    | —    | 5,7  | 4,2  | 3,4  | » (пшеница)       |
| Фосфо- ритъ {                                              | 1905 » | 13,0 | 4,3  | 1,0  | 0,9  | 0,5 » (гречиха)   |
|                                                            | 1906 » | 16,9 | —    | 2,5  | 1,2  | 1,2 » (гречиха)   |
| Томасовъ шлакъ {                                           | 1904 » | 22,7 | 21,4 | 25,1 | 23,1 | 25,5 » (ячень)    |
|                                                            | 1905 » | 23,6 | 23,7 | 25,3 | 22,2 | 18,4 » (гречиха)  |

(см. также рисунки 53-й, 54-й и 55-й).

Рис. 53. Гречиха въ песчаныхъ культурахъ.

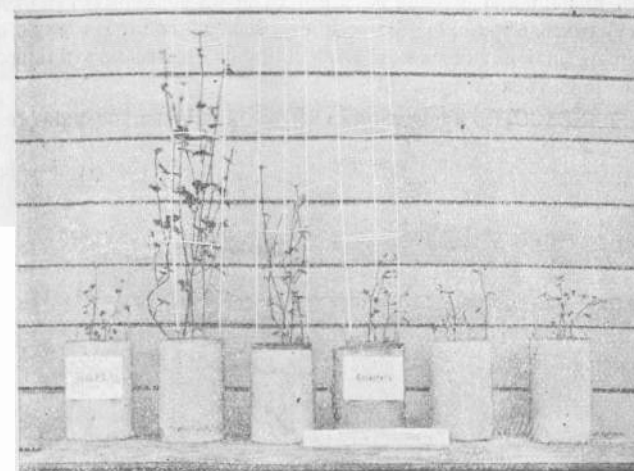


Безъ Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Растворимый (кислый) фосфатъ:  
СаСО<sub>3</sub>: 0 0 0,1% 0,3% 0,5% 1%.

На основаніи этихъ опытовъ нужно бы ожидать, что для почвъ богатыхъ известью, болѣе пригодными удобрениями будутъ супер-фосфатъ, преципитатъ и томасовъ шлакъ; это предположеніе конечно требуетъ ближайшей провѣрки напр. для томасова шлака, такъ какъ наши опыты велись лишь въ предѣлахъ до 1% СаСО<sub>3</sub>; возможно, что предѣлъ вреднаго дѣйствія извести на эти фосфаты хотя и лежитъ гораздо выше, чѣмъ для кости и фосфорита, но все же можетъ быть пе-

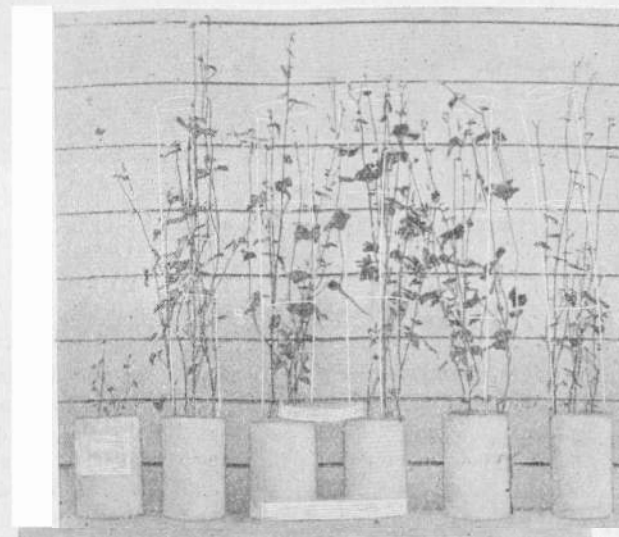
рейдентъ, если не при внесеніи извести какъ удобрения, то въ случаѣ присутствія избытка извести въ самой почвѣ (мѣловыя, известковыя почвы).

Рис. 54. Дѣйствіе СаСО<sub>3</sub> на отношеніе гречихи къ фосфориту (опыты И. С. Шулова).



Безъ Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Фосфоритъ  
СаСО<sub>3</sub>: 0 0 0,1% 0,3% 0,5% 1%.

Рис. 55. Отношеніе томасова шлака къ СаСО<sub>3</sub> (опыты И. С. Шулова).

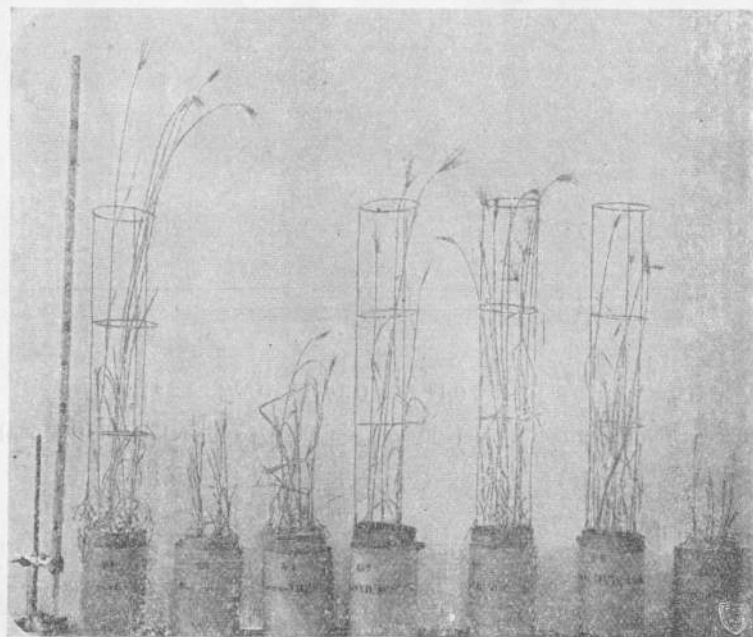


Безъ Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Томасовъ шлакъ.  
СаСО<sub>3</sub>: 0 0 0,1% 0,3% 0,5% 1%.

Само собой разумеется, что подобные опыты производятся не съ такими растениями, которые сами по себѣ чувствительны къ избытку извести, независимо отъ рода фосфата (люпинъ, ленъ) <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Отметимъ какъ особый случай, что углекислый кальцій можетъ способствовать повышенію урожая растенія даже на фосфоритѣ, если имѣется на лицо избытокъ сѣрнокислаго аммонія, вызывающаго кислую реакцію по причинамъ физиологическимъ; вотъ данныя одного изъ нашихъ опытовъ въ песчаныхъ культурахъ:

Рис. 56. Вліяніе  $\text{CaCO}_3$  въ присутствіи  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  на использование фосфорита.



|                                        |                            |                            |                            |                            |                    |                     |                               |
|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| $\text{P}_2\text{O}_5$ :               | $\text{KH}_2\text{PO}_4$   | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | Ф о с ф о р и т ъ. | Сѣрнокислый аммоній | Безъ $\text{P}_2\text{O}_5$ : |
| N:                                     | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 0                  | $\frac{1}{4}$       | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$    |
| $\text{CaCO}_3$ :                      | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | $\frac{1}{2}$      | 1 экв.              | 0                             |
| Урожай . . . . .                       | 21,4                       | 2,4                        | 5,7                        | 13,5                       | 20,0               | 6,8                 | 1,3                           |
| % $\text{P}_2\text{O}_5$ въ урожаѣ . . | 0,35%                      | —                          | 1,04%                      | —                          | 0,25%              | 0,12%               | —                             |
| Всего $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . . | 76,9 mgr.                  | —                          | 59,9 mgr.                  | —                          | 49,6 mgr.          | 8,1 mgr.            | —                             |

Какъ видимъ растенія получившія  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  безъ прибавки  $\text{CaCO}_3$  пересыщены фосфорной кислотой, но несмотря на это, урожай малъ (кислотность велика); введеніе  $\text{CaCO}_3$  въ размѣрѣ  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  отъ эквив.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  повышаетъ урожай, очевидно благодаря устраненію избыточной кислотности; но если доза  $\text{CaCO}_3$  повышается до полного эквивалента  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , то она уже настолько совершенно устраняетъ возможность накопленія кислоты и разложенія фосфорита, что послѣдній перестаетъ быть доступнымъ, что сказывается пониженіемъ какъ урожая, такъ и %  $\text{P}_2\text{O}_5$  въ немъ (подробнѣе см. V отчетъ по вегетаціоннымъ опытамъ).

Изъ вышеизложеннаго видно, что въ рядѣ фосфатовъ мы имѣемъ матерьялы разной растворимости, увеличивающейся въ такой послѣдовательности; фосфоритъ, кость, томасовъ шлакъ, преципитатъ, суперфосфатъ; но различія между ступенями этой скалы могутъ иногда сглаживаться, именно подъ вліяніемъ свойствъ нѣкоторыхъ почвъ (торфъ, подзолъ), особенностей корневой системы нѣкоторыхъ растеній (гречиха, люпинъ и проч.), а отчасти и подъ вліяніемъ нѣкоторыхъ сопутствующихъ удобрений (физиологически-кислыя соли), иногда же, наоборотъ, различія эти для нѣкоторыхъ фосфатовъ будутъ подчеркиваться подъ вліяніемъ другихъ сопутствующихъ удобрений, прежде всего — углекислой извести.

#### Дѣйствіе фосфатовъ на растенія. Условія ихъ примѣненія.

Фосфорнокислыя удобрения являются для насъ наиболѣе важными какъ по общимъ причинамъ, вытекающимъ изъ условій всякаго зернового хозяйства, такъ и потому, что залежи этихъ удобрений мы имѣемъ въ Россіи; умѣя использовать фосфаты, накопляя усвояемый азотъ другими путями (клеверъ въ нечерноземной полосѣ, правильная обработка пара на черноземѣ), мы можемъ обезпечить растеніямъ два главнѣйшихъ вещества, чаще всего оказывающіяся въ положеніи *minimum*'а.

Если тѣмъ или инымъ путемъ обезпечено азотистое питаніе, то можно ожидать благопріятнаго дѣйствія фосфатовъ какъ по количеству урожая, такъ и на соотношеніе въ развитіи органовъ культурнаго растенія, а часто и на химическій составъ получаемыхъ продуктовъ.

Что касается до вліянія фосфорнокислыхъ удобрений на хлѣба, то можно сказать, суммируя многочисленныя опыты,  $\text{P}_2\text{O}_5$  часто *повышаетъ въ урожаѣ отношеніе всѣхъ зерна къ солому*.

Вагнеръ настаиваетъ, что этотъ результатъ обуславливается не специфическимъ дѣйствіемъ фосфорно-кислаго удобрения, а соотношеніемъ питательныхъ веществъ въ почвѣ, именно, обыкновенно въ почвахъ  $\text{P}_2\text{O}_5$  находится въ *minimum*'ѣ, развитіе зерна при такомъ ненормальномъ условіи подавляется; внесеніе въ почву  $\text{P}_2\text{O}_5$  восстанавливаетъ (увеличиваетъ) нормальное отношеніе зерна къ солому.

Такъ какъ въ почвахъ старой культуры  $\text{P}_2\text{O}_5$  обыкновенно находится въ относительномъ *minimum*'ѣ то вышеприведенная законность остается въ силѣ и при такомъ толкованіи ея причинъ.

Большей частью опытъ обнаруживаетъ, что и наши почвы нуж-



даются въ  $P_2O_5$ , при томъ не только сѣверныя, но и черноземныя; таковы, напримѣръ, данныя полученные Я. М. Жуковымъ для многихъ почвъ Харьковской губерніи при многочисленныхъ полевыхъ опытахъ, данныя С. Л. Франкфурта и Б. Н. Рождественскаго для юго-западныхъ губерній, В. В. Винера для Тульской губ. Въ качествѣ примѣра рѣзкаго повышенія можетъ служить опытъ А. И. Стебута съ озимой рожью, въ которомъ суперфосфатъ далъ урожай въ 237 п. при среднемъ урожаѣ безъ удобренія въ 100 п. (Вѣстникъ С. Х. 1904 г.). Такіе эффекты конечно возможны лишь при благоприятныхъ условіяхъ погоды, когда питаніе азотомъ на черноземѣ обезпечено съ избыткомъ. Тоже наблюдается большей частью при опытахъ вегетационныхъ; такъ, у насъ черноземъ Полтавской губерніи (изъ Карловки) сильно реагировалъ на  $P_2O_5$  при нашихъ опытахъ (въ сосудахъ), и пока фосфаты не внесены, удобреніе N и K не дѣйствуетъ, слѣд.,  $P_2O_5$  находится въ рѣзко выраженномъ минимумѣ; это показываютъ слѣдующія цифры:

|                         | Урожай на<br>сосудъ. |
|-------------------------|----------------------|
| Безъ удобренія. . . . . | 11,8 gr.             |
| Удобрено N . . . . .    | 9,5 >                |
| » K+N . . . . .         | 9,9 >                |
| » K . . . . .           | 10,1 >               |
| » $P_2O_5$ . . . . .    | 28,5 >               |
| » N+ $P_2O_5$ . . . . . | 39,5 >               |

Зерновые бобовыя также сильно реагируютъ на фосфорно-кислыя удобрения въ подобныхъ условіяхъ; они содержатъ въ урожаѣ болѣе  $P_2O_5$  чѣмъ злаки. Впрочемъ, не нужно забывать, что отзывчивость къ удобрению стоитъ въ связи не только съ содержаніемъ  $P_2O_5$  въ урожаѣ, но еще и съ усвояющей способностью корневой системы; поэтому, быть можетъ мыслимо, что напр., люпинъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ не реагировать на внесеніе фосфата, когда хлѣба на него реагируютъ, потому что люпинъ способенъ взять  $P_2O_5$  изъ такихъ соединений въ почвѣ, которыя хлѣбамъ недоступны; по той же, вѣроятно, причинѣ при нашихъ опытахъ съ почвой изъ Карловки (см. выше) гречиха не реагировала на  $P_2O_5$  при совершенно тѣхъ же условіяхъ, при которыхъ пшеница проявила очень рѣзкую реакцію.

Что касается *корнеплодовъ* и *клубнеплодовъ*, то можно сказать о фосфатахъ въ общемъ, что обычно они, увеличивая урожай, не склонны понижать качество продукта (въ отличіе отъ азотистыхъ

удобрений); чаще наблюдается обратное: %-ное содержаніе сахара въ свеклѣ и крахмала въ картофелѣ повышается подъ влияніемъ фосфатовъ.

Одновременно съ этимъ у свеклы замѣчается пониженіе отношенія всѣа листьевъ къ всѣу корня, что является однимъ изъ признаковъ созрѣванія; вообще можно сказать, что фосфаты если не ускоряютъ развитіе растений противъ нормы, то уменьшаютъ *рискъ запозданія въ созрѣваніи*, вызываемый преобладаніемъ азотистаго питанія; часто можно видѣть, проходя осенью мимо участковъ свекловицы, получившихъ разное удобреніе, чередованіе желтѣющихъ участковъ съ зелеными: желтѣютъ раньше другихъ (указывая этимъ на окончаніе вегетационнаго періода и передвиженіе сахара въ ткани корня) именно участки, получившіе фосфорнокислосое удобреніе.

Поэтому фосфаты охотно вносятъ сомѣстно съ азотистыми удобрениями, чтобы парализовать понижающее влияніе послѣднихъ на качество свеклы; вотъ примѣръ изъ одного опыта сдѣланнаго во Франціи:

|                        | Сахаристость | Доброкачествен. |
|------------------------|--------------|-----------------|
| Безъ удобренія . . . . | 15,23%       | 84,8            |
| Селитра . . . . .      | 14,83 >      | 82,2            |
| Селитра и суперфосф. . | 16,17 >      | 85,8            |

Подобный примѣръ для Воронежской губ. (Боринская экономія):

|                        | Урожай<br>(берг.). | Сахаристость. | Доброкач. |
|------------------------|--------------------|---------------|-----------|
| Безъ удобренія . . . . | 56,2               | 12,46%        | 76,7      |
| Селитра . . . . .      | 64,8               | 12,67 >       | 76,8      |
| Селитра+суперфосфатъ . | 103,2              | 14,34 >       | 80,1      |

(См. отчетъ автора въ Извѣстіяхъ Петровской Академіи за 1889 г., стр. 239).

Подобное же дѣйствіе суперфосфата на свеклу обнаружилось въ цѣломъ рядѣ опытовъ Я. М. Жукова и другихъ лицъ за нѣсколько лѣтъ въ имѣніяхъ Харитоненко, такъ же на опытныхъ поляхъ «Общества сахарозаводчиковъ», организованныхъ С. Л. Франкфуртомъ; при этомъ въ Россіи сталъ прививаться иной способъ распредѣленія удобренія, нежели обычный въ Зап. Европѣ, именно — *мѣстное внесеніе*, съ помощью особыхъ (комбинированныхъ) сѣялокъ, которые имѣютъ два ящика и два ряда сошниковъ: передніе, идущіе глубже, для высѣва удобренія, задніе — для высѣва сѣмянъ въ тѣже рядки, на нѣсколько меньшую глубину; это позволяетъ значительно удеше-

вить применение суперфосфата, такъ какъ здѣсь требуются для достиженія того же эффекта меньшія количества удобренья, чѣмъ при сплошномъ внесеніи; такъ, 10 пудовъ суперфосфата позволяетъ обычно достигнуть полнаго эффекта, тогда какъ при разбросномъ внесеніи удобрения потребовалось бы не менѣе 20 пудовъ; даже 5 пудовъ (20% суперфосфата) оказываютъ весьма значительное дѣйствіе при рядовомъ внесеніи (въ сухой годъ эта доза можетъ даже оказаться и наиболѣе рентабельной).

Что касается причинъ этого преимущества рядового внесенія суперфосфата, то наиболѣе вѣроятнымъ является слѣдующее объясненіе: при рядовомъ способѣ суперфосфатъ не смѣшивается со всей массой почвы, слѣдовательно не соприкасается съ большими количествами соединений извести, желѣза и глинозема, вызывающихъ ретроградію фосфорной кислоты, переходъ ея въ менѣе растворимое, а постепенно и въ менѣе усвояемое состояніе; оставаясь долѣе легко усвояемой, фосфорная кислота суперфосфата въ этихъ условіяхъ полнѣе используется. Быть можетъ, и самая форма распредѣленія не безразлична для растений, т. е. имѣетъ значеніе нахожденіе запаса растворимой  $P_2O_5$  на пути распространенія корешковъ въ самую первую стадію развитія растенія <sup>1)</sup>.

Дѣйствіе фосфатовъ на картофель подобно дѣйствію на свеклу т. е.

<sup>1)</sup> Интересно отмѣтить, что мѣстное внесеніе удобренья оказалось выгоднымъ для суперфосфата, который понижаетъ свою растворимость при смѣшеніи съ почвой; для труднорастворимыхъ удобренья, какъ фосфоритъ, которыхъ усвояемость повышается отъ воздѣйствія почвы, нужно наоборотъ ожидать болѣе благоприятнаго дѣйствія при сплошномъ внесеніи (см. IV отчетъ С.П.Б. лабораторіи, стр. 162). Быть можетъ въ связи съ вышеизложеннымъ соображеніемъ относительно ретроградіи стоитъ прежнее наблюденіе Вагнера, что для суперфосфата выгодна лишь извѣстная степень измельченія, полное же измельченіе и смѣшаніе съ почвой даетъ уже нѣкоторое пониженіе эффекта. Есть правда другая попытка объясненія этого явленія, а именно: при очень грубомъ распредѣленіи (комочками) не всѣ корни будутъ снабжены пищей (хотя каждый комочекъ будетъ соприкасаться частью съ корнями), при очень тонкомъ — не всѣ частицы удобренья будутъ соприкасаться съ корнями, хотя каждый корешокъ найдетъ нѣкоторые изъ частицъ удобренья; лишь при нѣкоторомъ среднемъ смѣшеніи каждое зернышко удобренья будетъ имѣть достаточный шансъ быть использованнымъ и въ тоже время каждый корешокъ — достаточно вѣроятности встрѣтить частицу удобренья. Но это объясненіе предполагаетъ почву пассивной и лишь корни активными, и не предполагаетъ разнаго требованія къ распредѣленію для разныхъ удобренья.

повышеніе урожая достигается безъ пониженія качества, часто съ его повышеніемъ; также рядовой способъ внесенія заслуживаетъ широкаго испытанія при культурѣ картофеля и другихъ пропашныхъ растений (см. примѣчаніе на стр. 104).

При удобреніи луговъ фосфорная кислота вліяетъ на соотношеніе растений разныхъ семействъ въ травяныхъ смѣсяхъ: опыты показываютъ, что при удобреніи фосфатами процентъ бобовыхъ часто увеличивается на счетъ злаковыхъ.

Такое измѣненіе соотношенія бобовыхъ и злаковыхъ понятно: злаковыя способны отзываться на вносимую  $P_2O_5$  лишь до предѣла, опредѣляемаго содержаніемъ усвояемаго N въ почвѣ, бобовыя же этого предѣла не имѣютъ, такъ что шансовъ въ борьбѣ за существованіе у нихъ становится больше по сравненію со злаками, чѣмъ было до внесенія фосфатовъ. Вотъ примѣръ рѣзкаго дѣйствія  $P_2O_5$  въ указанномъ направленіи изъ опытовъ Шретера и Штеблера въ Швейцаріи:

|                      | Безъ удобренія. | Фосфорн.-кисл. | Азотъ. | Кали. |
|----------------------|-----------------|----------------|--------|-------|
| Содержаніе бобовыхъ: | 2,8%            | 45,2%          | 1,8%   | 9,2%  |

Ботаническій анализъ смѣси въ этомъ опытѣ произведенъ былъ черезъ годъ послѣ внесенія удобренья.

Характеръ и размѣры дѣйствія на ботаническій составъ смѣси, конечно, сильно зависятъ отъ рода почвы; такъ, подобнаго дѣйствія на бобовыя фосфорная кислота не имѣла при опытахъ въ Ротамстедѣ, при нашемъ опытѣ на Жабенскомъ луку (въ этихъ случаяхъ бобовыя сильнѣе реагировали на калийное удобреніе).

Говоря о фосфорнокислыхъ удобреньяхъ, слѣдуетъ отмѣтить, что они въ разной степени способны проявлять «послѣдствіе», т. е., давать извѣстный эффектъ не только въ годъ внесенія въ почву, но и въ послѣдующіе года.

Послѣдствіе для суперфосфата относительно невелико, такъ какъ съ опредѣленнымъ количествомъ его вносится меньше  $P_2O_5$ , чѣмъ при другихъ фосфорнокислыхъ удобреньяхъ; кромѣ того, въ суперфосфатѣ  $P_2O_5$  содержится въ формѣ наиболѣе легко усвояемой, такъ что на слѣдующій годъ въ почвѣ  $P_2O_5$  остается меньше, чѣмъ при менѣе растворимыхъ удобреньяхъ, а форма оставшейся отъ суперфосфата  $P_2O_5$  является уже измѣненной, не столь усвояемой. Дѣйствіе томасова шлака, и костяной муки можетъ быть менѣе эффектно на первый годъ, за то болѣе длительно, въ виду большихъ количествъ (обычно) вносимой  $P_2O_5$  и постепеннаго ея использования. Извѣстенъ рядъ случаевъ, когда дѣйствіе фосфатовъ было за-



мѣтно на трехъ послѣдующихъ растеніяхъ; иногда оно растягивается на еще болѣе большой срокъ (при внесеніи значительныхъ количествъ).

Такъ намъ пришлось наблюдать на черноземѣ Воронежской губ. (Боринская экономія) дѣйствіе удобрения костянымъ углемъ внесеннымъ въ 1889 году, на сахарную свеклу (третье растеніе по тому же удобрению) въ 1891 году; вотъ нѣкоторые примѣры:

|                | Безъ удобр. Съ удобр. |        | Безъ удобр. Съ удобр. |        | Безъ удобр. Съ удобр. |        |
|----------------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| Урожай .       | 734 п.                | 996 п. | 616                   | 701    | 650                   | 852 п. |
| Сахаристость . | 15,0%                 | 16,04% | 15,86%                | 16,47% | 15,38%                | 16,21% |

Здѣсь ясное вліяніе не только на урожай, но и на сахаристость въ цѣломъ рядѣ случаевъ; правда, въ этомъ случаѣ костяного угля дано было въ 1889 г. много: 50 пудовъ на десятину <sup>1)</sup>).

Вагнеръ приводитъ случай многолѣтняго дѣйствія на луговую растительность томова шлака, внесеннаго одинъ разъ (осенью 1889 г.) въ количествѣ 48 пудовъ (при повторномъ внесеніи каинита на всѣхъ участкахъ); укосы были таковы (D. Z.):

|                 | 1890 | 1891 | 1892 | 1893 | 1894 | 1895 | 1896 | 1897 | 1898 г. | Всего.              |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------------------|
| Безъ $P_2O_5$ : | 17,5 | 17,4 | 16,8 | 14,0 | 35,1 | 28,8 | 25,5 | 26,7 | 25,9    | 207,7               |
| Томасовъ шлакъ: | 25,0 | 40,4 | 42,8 | 28,4 | 64,4 | 41,9 | 36,1 | 35,9 | 31,6    | 346,5 <sup>2)</sup> |

Чтобы закончить разсмотрѣніе фосфорнокислыхъ удобрений, нѣсколько остановимся на условіяхъ примѣненія ихъ. Выборъ матеріала обуславливается не только техническими, но и экономическими условіями. Можетъ оказаться, напримѣръ, для однихъ условій, что 15% суперфосфатъ при цѣнѣ 60 коп. пудъ будетъ экономически выгоднѣе, чѣмъ 30% фосфоритъ, стоящій 30 коп. пудъ; для другихъ—наоборотъ; необходимо принимать во вниманіе кромѣ свойствъ удобрения и свойства почвы, и особенности растеній, на которыя было указано выше.

Такъ какъ количество  $P_2O_5$  въ разныхъ фосфорнокислыхъ тукахъ (даже одного названія) значительно колеблется, то удобнѣе ради

<sup>1)</sup> См. „Опыты по физиологіи и культурѣ сах. свекловицы“ въ Извѣстіяхъ Петровской Академіи 1892 г.

<sup>2)</sup> Bied. Centr. 1904 г., стр. 437.

сравненія приводить стоимость ихъ къ одному проценту  $P_2O_5$  въ пудѣ, указывая напр. что 1%  $P_2O_5$  обходится приблизительно въ суперфосфатъ—4 к., томасовомъ шлакѣ—3 к., костяной мукѣ—2 к., фосфоритѣ—1 к.; или же 1 пудъ  $P_2O_5$  стоитъ соответственно 4 р., 3,2 и 1 р.; также и количество удобрения на единицу площади лучше выражать въ пудахъ  $P_2O_5$ .

Нормой для трудно растворимыхъ фосфатовъ (фосфоритовъ) считаютъ такое количество ихъ, которое содержитъ 6 п.  $P_2O_5$ ; но иногда предпочитаютъ вносить съ этими удобрениями 9 п.  $P_2O_5$ .

Что касается суперфосфата, то такое количество его (на десятину), которое содержитъ 6 п.  $P_2O_5$ , является максима́льнымъ при разбросномъ высѣвѣ даже на западѣ, при нашихъ условіяхъ это количество будетъ болѣе частью экономически невыгоднымъ или прямо избыточнымъ; обыкновенно съ суперфосфатомъ вносятъ 2—4 п.  $P_2O_5$ .

Въ видѣ томова шлака обыкновеннаго вносятъ раза въ  $1\frac{1}{2}$  болѣе (т. е. 3 пуда  $P_2O_5$  на десятину и выше), а въ видѣ костяной муки раза въ два болѣе фосфорной кислоты чѣмъ въ суперфосфатѣ; но, какъ было ранѣе отмѣчено, кислыя почвы могутъ нивелировать дѣйствіе фосфатовъ; тогда дозы могутъ быть и понижены.

Обыкновенно малорастворимые фосфаты вносятся заблаговременно, напр., подъ яровые—осенью, причемъ разсчитываютъ на то, что часть фосфорной кислоты перейдетъ въ растворъ къ началу роста растеній; по этой же причинѣ часто фосфорнокислыя удобрения (нерастворимыя и полурстворимыя) вносятъ заблаговременно и въ паровое поле; нужно думать, что лучшіе результаты при примѣненіи фосфоритовъ подъ озимые по сравненію съ яровыми зависятъ именно отъ болѣе долгаго соприкосновенія и измѣненія фосфорита подѣ вліяніемъ почвы. Суперфосфатъ можетъ быть вносимъ и непосредственно передъ посѣвомъ, если мы имѣемъ дѣло съ нормальной почвой, но при этомъ избѣгаютъ его прямого соприкосновенія съ сѣменами, такъ какъ кислая реакція  $Ca(H_2PO_4)_2$  можетъ вредно отразиться на прорастаніи сѣмянъ и клубней.

Во всѣхъ случаяхъ фосфорнокислое удобрение должно быть хорошо запахано и заборонено, вообще, тщательно перемѣшано съ почвой для возможно равномернаго распредѣленія легко поглощаемой фосфорной кислоты или, въ случаѣ мало растворимыхъ фосфатовъ, ради болѣе полного воздѣйствія на нихъ почвы. Съ этой цѣлью рекомендуютъ напр. фосфориты разсыпать по первой пахотѣ; по невспаханной землѣ разсыпать ихъ менѣе удобно, такъ какъ тогда ихъ труднѣе хорошо смѣшать съ почвой (Костычевъ).

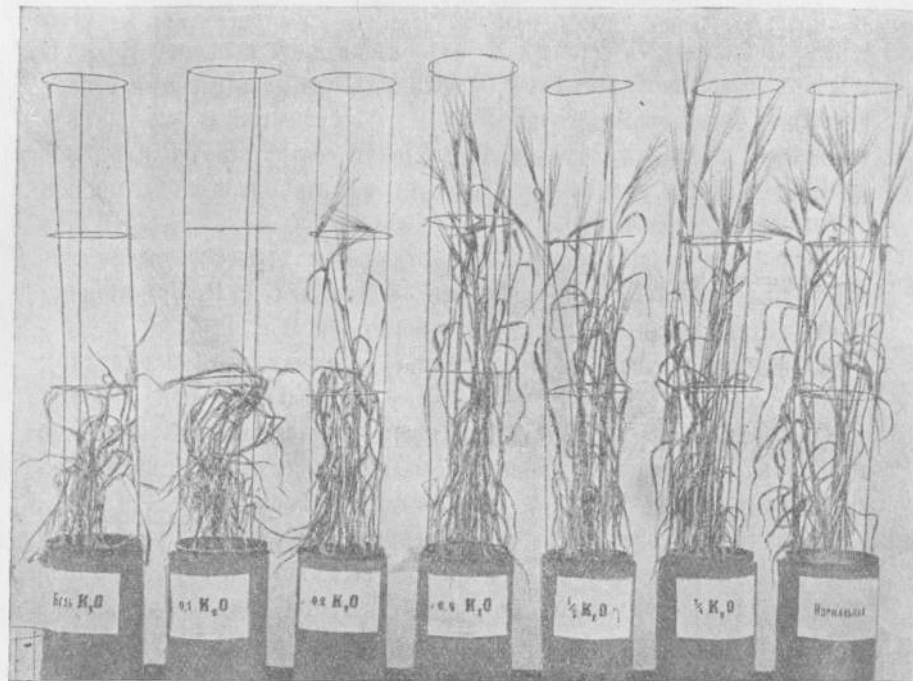


Рис. 57. Вліяніе возрастающих количествъ калия (отъ 0 до нормы) на развитіе ячменя.

### С. Калийныя удобрения.

Калий является элементомъ столь же необходимымъ для растений какъ фосфоръ <sup>1)</sup>; въ природѣ онъ встрѣчается въ большихъ коли-

<sup>1)</sup> По наблюденіямъ Вильфарта (песчаная культура) калийное голоданіе сказывается иначе, нежели недостатокъ азота и фосфора, при немъ появляются желто-бурыя пятна на листовой поверхности, располагающіяся между нервами, пятнистыя листья наклонны давать неправильныя изгибы, отчасти замѣчается отмираніе пораженныхъ участковъ; вся картина напоминаетъ нѣкоторыя заболѣванія, вызываемыя грибами, но въ данномъ случаѣ дѣло не въ нихъ (хотя какъ вторичное явленіе и грибныя заболѣванія возможны чаще на истощенныхъ растеніяхъ, чѣмъ при нормальномъ питаніи). При недостаткѣ азота если и замѣчается желтизна листьевъ, то общая, а не пятнами, и растенія остаются хотя и задержанными въ ростѣ, но неповрежденными; при недостаткѣ фосфора растенія по Вильфарту должны оставаться зелеными. См. Willfarth, Ueber Bedeutung des Kalium's für Pflanzenleben (русскій рефератъ—въ Журналѣ Опытной Агрономіи за 1902 г.). Подобныя же явленія наблюдать Feilitzzen при калийномъ голоданіи на торфяной почвѣ.

Въ нашихъ культурахъ зерновыя растенія безъ калия обнаруживали какъ бы малое развитіе механическихъ элементовъ: ихъ листья и стебли наклонны были сгибаться и при преждевременномъ отмираніи растеній давать слегающійся клубокъ изъ ненормально мягкихъ надземныхъ органовъ (см. рис. 57. крайніе сосуды слѣва).

чествахъ, чѣмъ послѣдній, преимущественно въ видѣ силикатовъ, какъ составная часть горныхъ породъ, гдѣ содержаніе его выражается нѣсколькими процентами, а не долями %, какъ для  $P_2O_5$  (такъ, въ гранитахъ содержится 4—6%  $K_2O$ , въ базальтахъ 1—3%). При выветриваніи горнокаменныхъ породъ онъ отчасти вымывается въ видѣ углекислыхъ и кремнекислыхъ солей, отчасти поглощается почвой, вступая въ составъ цеолитовъ (известковыя почвы и песчаныя поглощаютъ  $K_2O$  хуже другихъ).

Нѣкоторые французскіе авторы считаютъ, что содержаніе въ почвѣ  $0,1\% K_2O$  указываетъ на то, что почва можетъ обойтись безъ внесенія К извнѣ при навозномъ удобреніи. Но подобныя нормы, конечно, слишкомъ относительны,—провести съ помощью реактивовъ строго опредѣленную границу между К усвояемымъ и неусвояемымъ въ почвѣ мы пока не можемъ; показанія солянокислой вытяжки, правда, даютъ нѣкоторыя указанія, такъ какъ при этомъ главнымъ образомъ извлекается  $K_2O$  цеолитовъ, т.-е. находящееся въ поглощенномъ состояніи, а именно эта форма  $K_2O$  и считается усвояемой. Тѣмъ не менѣе, кали безводныхъ силикатовъ не является совершенно недоступнымъ для растений; такъ, по опытамъ проф. Вотчала (Кіевъ) и нашимъ слюда отдаетъ растеніямъ нѣкоторыя количества кали; притомъ вопреки обычно принятому представленію количества эти болѣе значительны, чѣмъ въ случаѣ полевого шпата, который въ условіяхъ песчаныхъ культуръ оказался чрезвычайно плохимъ источникомъ кали (примѣръ: урожай безъ калия—0,5 гр., съ полевымъ шпатомъ—0,8 гр., со слюдой—3,2 гр.; съ растворимыми солями—до 23 граммовъ <sup>1)</sup>).

Понятно, что показанія солянокислой вытяжки часто не идутъ параллельно съ общимъ содержаніемъ  $K_2O$  въ почвѣ, но тѣмъ болѣе расходятся съ нимъ чѣмъ больше содержится въ почвѣ остатковъ невывѣтрившихся минераловъ. Мюнцъ напр. даетъ такія цифры:

| Общее содержаніе $K_2O$ въ почвѣ. | Количество $K_2O$ въ солянокислой вытяжкѣ. |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| 1,5%                              | 0,24%                                      |
| 1,0 »                             | 0,25 »                                     |
| 3,3 »                             | 0,25 »                                     |

<sup>1)</sup> Въ нѣкоторыхъ (исключительныхъ) случаяхъ калийные силикаты настолько легко разрушаются, что являются легко доступнымъ источникомъ пищи растеній, и быть можетъ способны въ извѣстныхъ случаяхъ играть роль калийныхъ удобрений; такова напр. нефелиновая порода съ береговъ Бѣлаго моря (подробнѣе о ней см. ниже).



То-есть, солянокислая вытяжка содержала одинаковыя количества калия при весьма различномъ общемъ содержаніи его въ почвахъ.

У Меркера при анализѣ цѣлаго ряда германскихъ почвъ содержаніе  $K_2O$  въ солянокислой вытяжкѣ колебалось отъ 0,36—0,46%.

Наши черноземы содержатъ часто около 21% всей  $K_2O$  и 0,2—0,5% въ солянокислой вытяжкѣ; подзолистыя почвы—0,1—2%  $K_2O$  въ вытяжкѣ.

Если оставить въ сторонѣ часть нерастворимую въ соляной кислотѣ и попытаться сопоставить отзывчивость почвъ къ калийному удобрению съ показаніями солянокислой вытяжки, то окажется, что здѣсь зависимость не столь проста, какъ могло бы казаться съ перваго взгляда. Нѣкоторый интересъ представляетъ попытка Вейбулля (Швеція) разобраться въ этомъ вопросѣ; по его опытамъ и анализамъ 117 почвъ намѣчается, при общезвѣстной прямой зависимости между количествомъ глины и содержаніемъ калия въ почвѣ, обратная связь съ усвояемостью этого калия; поэтому онъ предлагаетъ установить подвижныя нормы для показаній солянокислой вытяжки, приурочивши ихъ къ извѣстнымъ типамъ почвъ; вотъ среднія величины по Вейбуллю:

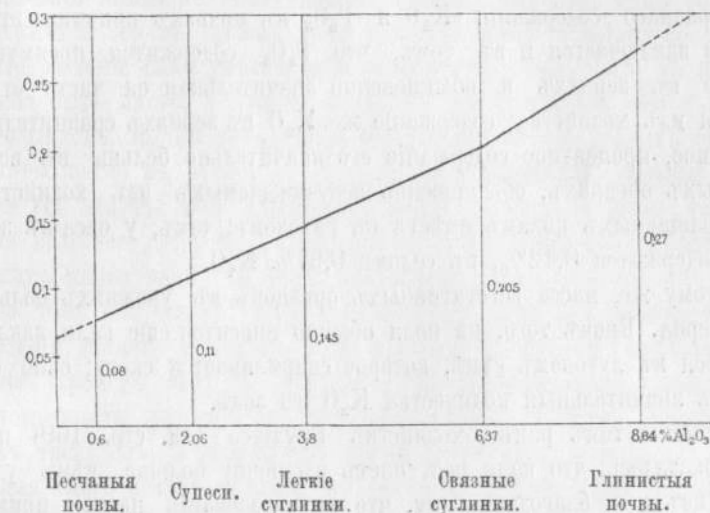
|                                 | Пески. | Супески. | Легкіе суглинки. | Тяжел. суглинки. | Глины. |
|---------------------------------|--------|----------|------------------|------------------|--------|
| $K_2O$ (по $HCl$ ) . . .        | 0,08%  | 0,11     | 0,14             | 0,20             | 0,26%  |
| $Al_2O_3$ (по $H_2SO_4$ ) . .   | 0,60 » | 2,06     | 3,80             | 6,37             | 8,64 » |
| Каолинъ <sup>1)</sup> . . . . . | 0,3 »  | 1,7      | 4,3              | 6,8              | 11,2 » |

Если расположить почвы по возрастающей связности на горизонтальной линіи, а на вертикаляхъ отложить характерное для каждаго случая содержаніе калия, то получится нѣкоторая кривая (см. рис. 58-й), позволяющая при анализѣ каждой почвы найти ея характеристику, именно, если при данномъ содержаніи глинозема (опредѣляющаго положеніе на абсциссѣ), соответственная величина для калия будетъ ниже нормы, то по Вейбуллю, данная почва будетъ отзывчива къ калийному удобрению; если же соответственная точка ляжетъ выше нормальной линіи, то реакція на калийное удобрение ожидать не слѣдуетъ. Большинство опытовъ съ удобрениемъ дали у Вейбулля согласный съ этимъ результатъ. Изъ данныхъ Вейбулля выте-

<sup>1)</sup> Количество каолина опредѣлено на основаніи разницы въ содержаніи  $Al_2O_3$  въ солянокислой и стѣрнокислой вытяжкѣ, въ предположеніи, что первая даетъ  $Al_2O_3$  цеолитовъ, а вторая—цеолитовъ и каолина (Journal f. Landw., 1907, 215).

каетъ заключеніе, что въ почвахъ глинистыхъ калий (или значительная часть его) находится въ болѣе прочныхъ соединеніяхъ, чѣмъ въ почвахъ легкихъ; отъ этого можетъ зависѣть несовпаденіе съ общепринятымъ правиломъ, гласящимъ что легкія почвы реагируютъ на калийное удобрение, а тяжелыя—нѣтъ.

Рис. 58. Зависимость между содержаніемъ глинозема и калия въ почвахъ.



Если на работу Вейбулля и нельзя смотрѣть какъ на нѣчто законченное, то во всякомъ случаѣ въ ней представляетъ интересъ стремленіе установить «подвижную скалу» для различныхъ типовъ почвъ.

Изъ вытяжекъ болѣе слабыхъ чѣмъ соляная кислота, для опредѣленія усвояемаго калия предлагались растворы  $NH_4Cl$  (Kellner) и  $Ca(OH)_2$  (Rümpker), въ предположеніи, что этими веществами будетъ вытѣснено поглощенное кали, а также—водная вытяжка (С. М. Богдановъ) <sup>1)</sup>.

Изъ приведенныхъ выше данныхъ Müntz'a, Вейбулля и Меркера видно, что, почвы содержатъ больше кали, чѣмъ фосфорной кислоты, даже если судить по солянокислой вытяжкѣ <sup>2)</sup>; но и растенія берутъ въ урожаяхъ кали въ большихъ количествахъ; такъ:

<sup>1)</sup> См. его книгу „Плодородіе почвы“. 1906 г. Въ нашихъ опытахъ съ калийными силикатами обнаружился извѣстный параллелизмъ между способностью калия вытѣсняться растворомъ  $NH_4Cl$  и его усвояемостью въ различныхъ силикатахъ (см. VI отчетъ по вегетац. опытамъ).

<sup>2)</sup> Примѣры для русскихъ почвъ см. у Коссовича, Курсъ почвовѣдѣнія (частное описаніе почвъ).





потребленія кали тѣмъ или инымъ растеніемъ и отрывчивостью его къ удобренію.

Матеріаломъ для калийнаго удобренія служатъ 1) различнаго рода отбросы, преимущественно зола, 2) залежи калийныхъ солей въ Стассфуртѣ (Германія) и нѣкоторыхъ другихъ мѣстностяхъ.

Зола, получаемая при сжиганіи веществъ растительнаго происхожденія, должна замѣнять болѣе или менѣе калийныя удобренія, такъ какъ всѣ растенія потребляютъ и содержатъ въ себѣ кали. Обыкновенно, зола древесныхъ породъ получается въ качествѣ отброса при топкѣ; кали содержится въ ней въ видѣ поташа ( $K_2CO_3$ ), но въ ней содержится не только кали, но и фосфорная кислота (тѣмъ же

|                        |                 |                  |
|------------------------|-----------------|------------------|
| Подсолнечникъ (стебли) | содержитъ . 14% | $K_2O$ въ золѣ.  |
| Гречишн. солома        | » 25 »          | (отъ 14 до 35%)  |
| Ржаная »               | » 18 »          | (отъ 9 до 20 » ) |
| Зола кизяка            | » 11 »          | $K_2O$ въ золѣ.  |

Иногда въ приморскихъ районахъ для удобренія пользуются золой морскихъ растеній, водорослей, содержащей около 18%  $K_2O$  (Fucus'ы).

Такой составъ имѣетъ зола въ томъ случаѣ, если она не подверглась выщелачиванью дождевыми водами или выщелачиванію намѣренному въ цѣляхъ полученія  $K_2CO_3$ .

Зола, подвергнутая выщелачиванію, теряетъ уже свою цѣнность,

Рис. 59. Выщелоченная зола как источник  $P_2O_5$  (песчаная культура гречихи).



Безь  $P_2O_5$ . Фосфоритъ. Кость. Зола соломы.

Рис. 60. Овесъ (песчаная культура).



Безь  $P_2O_5$ . Томасовъ [Зола шлакъ. соломы. Зола березы. Зола соломы.

Торфъ обычно бѣденъ зольными веществами (не говоря о механическихъ примѣсяхъ) и кали въ особенности; для техническихъ цѣлей онъ цѣнится тѣмъ выше, чѣмъ меньше содержитъ золы.

Вотъ составъ одного образца торфяной золы (по Мюнцу).

|          |                     |
|----------|---------------------|
| $K_2O$   | —0,05% (чаще до 1%) |
| $P_2O_5$ | —0,13 »             |
| $CaCO_3$ | —91,1 »             |
| $CaSO_4$ | —2,55 »             |

Тоже относится и къ золѣ каменнаго угля. Если и получается иногда хорошій результатъ отъ внесенія большихъ количествъ золы такого состава, то его скорѣе приходится отнести на счетъ соединений  $Ca$ .

Относительно количествъ золы, которая слѣдуетъ вносить, пока не выработано прочныхъ нормъ. Часто пишутъ, что на десятину вносится 70—100, иногда 200 пудовъ золы, въ зависимости отъ количества содержащагося въ ней калия (золы выщелоченной вносятъ большія количества, хорошо сохранившейся—меньшія).

Нельзя однако не признать обычныхъ нормъ преувеличенными, можно даже думать, что неблагоприятное мнѣніе о золѣ, какъ удобреніи въ значительной степени обязано своимъ происхожденіемъ этимъ повышеннымъ нормамъ. Въ самомъ дѣлѣ если допустимъ, что мы имѣемъ дѣло съ золой содержащей 13%  $K_2O$  (какъ и каинитъ), то почему этой золы нужно класть 50—70 п., когда каинита кладется 20 пудовъ?

Конечно, каинитъ можетъ стоить разъ въ 10 больше, чѣмъ зола и въ его цѣнѣ можно видѣть регуляторъ, предохраняющій отъ высокихъ дозъ; но дѣло въ томъ, что эти высокія дозы не только экономически, но и технически не выгодны: 40—50 пудами каинита не трудно въ сухое лѣто вызвать выгораніе луговой растительности; тѣмъ болѣе рискованно примѣненіе въ такихъ дозахъ золы, если это нормальная, не выщелоченная зола соломы или березовыхъ дровъ.

Мы не видимъ никакихъ основаній употреблять такую золу въ количествахъ болѣе высокихъ чѣмъ 15—20 п. на десятину; золы хвойныхъ можно брать въ 2—3 раза больше, а цифры въ 100—200 пудовъ нужно оставить лишь для выщелоченной золы (или золы торфа, каменнаго угля, если таковая вообще заслуживаетъ употребленія).

Надо имѣть въ виду одну отрицательную сторону примѣненія большихъ количествъ золы: углекислая щелочи очень способствуютъ



заплыванию почвы, образованию корки; поэтому не следует вносить золу перед посевом поверхностно (тогда первый же дождь даст корку), лучше ее запахивать заранее. Изъ сказаннаго понятно, что наилучшій эффектъ зола оказываетъ на кислыхъ торфяныхъ почвахъ.

*Стассфуртская сол.* Богатѣйшимъ источникомъ калийныхъ удобрѣній являются соляныя копи въ Стассфуртѣ. Въ немногихъ словахъ исторія разработки ихъ такая. Разработка Стассфуртскихъ залежей каменной соли производилась уже давно, но въ сороковыхъ годахъ истекшаго столѣтія работы на нихъ за невыгодностью почти прекратились. Немного позже все-таки были произведены для изслѣдованія буровыя скважины, причемъ, къ удивленію, на нѣкоторой глубинѣ натолкнулись не на горную породу, какъ можно было ожидать, а на слой содержащій соли  $Mg, K$ , подъ которыми залегаетъ опять обширный пластъ (не меньше 300 м. толщины) каменной соли.

Довольно долго считали верхній слой невыгоднымъ отбросомъ (откуда названіе *Abraumsalz*—съемочная соль) и добывали только каменную соль, но съ 1862 года стала производиться въ обширныхъ размѣрахъ разработка этихъ солей преимущественно въ цѣляхъ полученія калиевыхъ препаратовъ для потребностей фабрично-заводскаго и сѣльско-хозяйственнаго промысла <sup>1)</sup>.

Отложение солей въ Стассфуртскомъ бассейнѣ совершалось продолжительное время между образованіемъ верхняго цехштейна, принадлежащаго пермской системѣ, и пестраго песчаника, относящагося къ нижнему триасу. Процессъ отложенія солей происходилъ такъ, какъ въ современную эпоху онъ совершается, наприм., въ Кара-Бугазѣ: достаточно глубокій заливъ былъ отдѣленъ отъ моря пересыпью, не препятствовавшей поверхностному доступу морской воды въ котловину, но не допускавшей оттока концентрированныхъ нижнихъ слоевъ жидкости обратно; при сухомъ климатѣ концентрація солей въ послѣдней дѣлалась все больше и больше, пониженіе уровня вслѣдствіе испаренія вызывало притокъ новыхъ количествъ воды, а значитъ—новыхъ количествъ соли, пока, наконецъ, концентрація достигла той степени, при которой стали осаждаться соли сперва менѣе растворимыя—ангидритъ ( $\text{CaSO}_4$ ), а затѣмъ каменная соль съ прослойками («годовыя кольца») ангидрита.

1) См. Maercker, Kalidüngung и М. Неймайръ. „Исторія земли“, т. II, стр. 648.

Точно такъ теперь идетъ отложеніе на днѣ Мертваго моря солей, приносимыхъ р. Иорданомъ. Только при новомъ и новомъ притока воды, содержащей соли, возможно было образованіе такихъ мощныхъ отложений, какія находятся въ Стассфуртѣ; если бы мы отделили часть океана и дали водѣ испариться (безъ возобновленія ея), то получился бы гораздо меньшій слой соли.

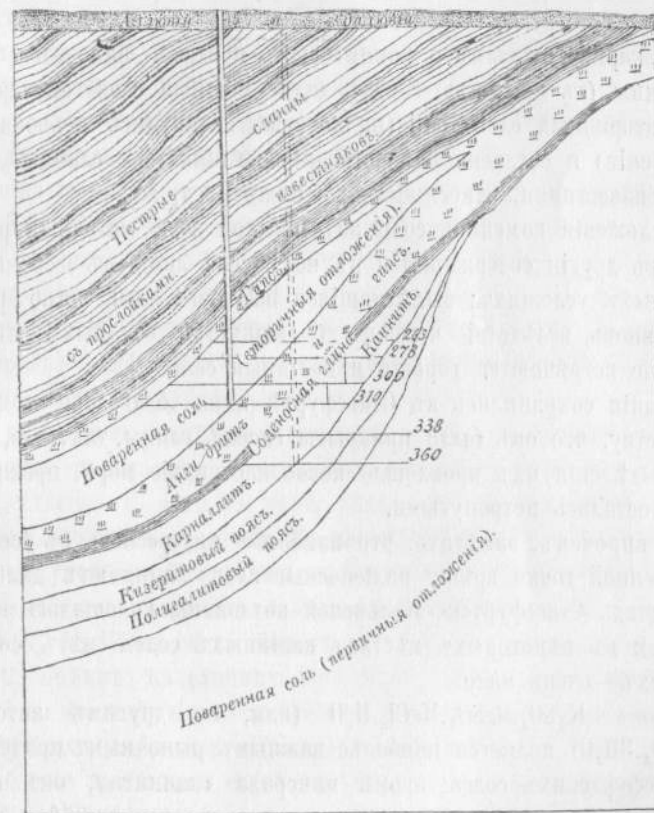


Рис. 61. Схематический разрез Стассфуртских залежей (Neustassfurt).

Въ верхнихъ слояхъ каменной соли къ ней подмѣшивается *полигалитъ*, состоящий изъ 45,2%  $\text{CaSO}_4$ , 19,9%  $\text{MgSO}_4$ , 28,9%  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; количество этой подмѣси постепенно увеличивается кверху. Верхній слой каменной соли получилъ названіе *полигалитовой* области. Выше расположенъ *кизеритовый поясъ*, отличающійся преобладаніемъ горькихъ солей; приблизительный его составъ такой: 65%  $\text{NaCl}$ , 17%  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (кизерита и 13%  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $6\text{H}_2\text{O}$  (карналлита). Надъ

кизеритовымъ находится *карналлитовый поясъ*, а мѣстами—*каинитовый*. Карналлитовый поясъ приблизительно состоитъ изъ 25% NaCl, 16% кизерита и 55% карналлита съ каинитомъ ( $KCl$ ,  $MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ).

Каинитовый слой, повидимому, вторичнаго происхожденія: при процессахъ дислокаціи нѣкоторые слои были выдвинуты и подвергались частичному выщелачиванію и вторичной кристаллизаціи съ образованіемъ иныхъ комплексовъ.

Надъ карналлитовымъ и каинитовымъ поясомъ находится тонкій слой глины (съ примѣсью солей), далѣе мощный слой ангидрита, а сверху вторичный слой NaCl (на который наткнулись первоначально при буреніи) и согласно напластованные глинистые сланцы, песчаники и известняки, относящіеся къ нижнему триасу.

По отложеніи каменной соли изъ морской воды маточный рассолъ осаждаетъ другія содержащіяся въ немъ соли лишь въ особенно благоприятныхъ условіяхъ; выдѣлившіяся изъ него соли легко растворяются вновь, вслѣдствіе чего въ большинствѣ соляныхъ мѣсторожденій не встрѣчаются горькія и калийныя соли.

Послѣднія сохранились въ Стассфуртѣ лишь благодаря тому обстоятельству, что онѣ были прикрыты слоемъ глины, такъ что, когда послѣ выдѣленія ихъ произошло новое наступаніе моря, прежнія отложенія остались нетронутыми.

Надо, впрочемъ, замѣтить, что наиболѣе интересные съ сельскохозяйственной точки зрѣнія калиеносные слои занимаютъ далеко не всю площадь Стассфуртско-эгельнской котловины (площадью въ 25 кв. миль): въ нѣкоторыхъ мѣстахъ калийныхъ солей нѣтъ совсѣмъ въ другихъ—очень мало.

*Каинитъ*  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot MgCl_2 \cdot H_2O$  (или, по другимъ авторамъ,  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ) является наиболѣе важнымъ рыночнымъ продуктомъ изъ стассфуртскихъ солей; кромѣ минерала «каинита», онъ содержитъ въ себѣ довольно много хлористаго натра (около 35%), вслѣдствіе чего фирмы гарантируютъ содержаніе въ каинитѣ лишь 12% калия вмѣсто того, что требуется по формулѣ. Въ общемъ продажный каинитъ на половину состоитъ изъ хлористыхъ солей. Онъ представляетъ кристаллическую сѣроватую или красноватую массу, въ размолотомъ состояніи гигроскопическую и поэтому сплывающуюся вновь въ сплошныя массы, почему въ молотый продуктъ для предохраненія отъ сплыванія иногда прибавляютъ 2%—2,5% торфяного порошка, если желаютъ хранить его въ молотомъ состояніи.

*Карналлитъ*  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  не пользуется такимъ распростра-

неніемъ въ качествѣ удобрения какъ каинитъ, вслѣдствіе большого содержанія хлора, поэтому прежде употреблялся лишь для дальнѣйшей химической переработки<sup>1)</sup>; но когда сдѣлалось извѣстнымъ, что не всѣ растенія чувствительны къ хлору, то стали употреблять и его на удобрение. Фирмы гарантируютъ обыкновенно содержаніе 9%  $K_2O$ <sup>2)</sup>. Вслѣдствіе сравнительно низкаго содержанія кали, карналлитъ находитъ примѣненіе преимущественно въ мѣстностяхъ не слишкомъ удаленныхъ отъ Стассфурта (иначе провозъ удорожаетъ стоимость единицы  $K_2O$  болѣе чѣмъ въ каинитѣ). Карналлитовыя залежи значительно обширнѣе каинитовыхъ.

*Полигалитъ*, состоящій изъ сѣрнокислыхъ солей, содержитъ: 10—15%  $K_2O$ ; залежи его сравнительно невелики.

Кромѣ названныхъ непосредственно добываемыхъ изъ копей продуктовъ для цѣлей удобрения употребляются еще продукты искусственной переработки; таковы «30% и 40% калийныя соли», получаемыя при кристаллизаціи изъ маточныхъ растворовъ, остающихся послѣ выдѣленія KCl; конечно, такіе продукты даютъ сначала не столь опредѣленный составъ, но прибавкой болѣе чистой соли легко довести %  $K_2O$  до гарантируемой нормы.

Какъ продажныя калийныя удобрения, наибольшаго вниманія заслуживаютъ карналлитъ и каинитъ; они поступаютъ въ продажу преимущественно въ сыромъ видѣ, такъ какъ всякая очистка значительно удорожаетъ продуктъ. Но по мѣрѣ удаленія отъ Стассфурта могутъ наступать условія (какъ въ большей части Россіи), при которыхъ *выгоднѣе покупать болѣе концентрированныя удобрения*, такъ «40% калийная соль» можетъ тогда конкурировать съ каинитомъ (при оцѣнкѣ на единицу вѣса  $K_2O$ ), тѣмъ болѣе, что при ея внесеніи мы вносимъ на то же количество кали меньшую сумму солей, имѣющихъ побочныя неблагоприятныя вліянія.

Потребленіе калийныхъ солей на удобрение въ разныхъ странахъ въ 1899 году выражалось слѣдующими цифрами: (килограммы на 1 километръ пахотной земли).

<sup>1)</sup> Изъ карналлита добываютъ хлористый калий, обрабатывая его при нагреваніи растворомъ  $MgCl_2$ ; при этомъ примѣси (поваренная соль, кизеритъ) остаются по большей части не растворенными, а изъ слитой жидкости по охлажденіи выдѣляется по преимуществу хлористый калий.

<sup>2)</sup> Нужно не забывать, что хотя расчетъ содержанія ведется ради сравнимости на  $K_2O$ , но на самомъ дѣлѣ въ карналлитѣ содержится KCl.



|                     |     |                       |    |                   |      |
|---------------------|-----|-----------------------|----|-------------------|------|
| Германія . . . . .  | 306 | Швейцарія . . . . .   | 49 | Франція . . . . . | 23,4 |
| Голландія . . . . . | 297 | Финляндія . . . . .   | 45 | Италія . . . . .  | 6,9  |
| Швеція . . . . .    | 197 | Норвегія . . . . .    | 42 | Испанія . . . . . | 5,8  |
| Бельгія . . . . .   | 159 | Соед. Штаты . . . . . | 36 | Австрія . . . . . | 5,6  |
| Данія . . . . .     | 52  | Англія . . . . .      | 36 | Россія . . . . .  | 0,5  |

Важнымъ условіемъ успѣшнаго примѣненія стассфуртскихъ солей является достаточное количество влаги въ почвѣ; помимо причинъ общихъ для каждаго удобрения, здѣсь считается опаснымъ повышение концентрации влѣдствіе присутствія въ удобрѣніи или образованія въ почвѣ такихъ солей, какъ  $MgCl_2$  и  $CaCl_2$ , вредныхъ для растительности при невысокой уже концентрации. Взглядъ Меркера на то, что стассфуртскія соли, какъ вещества гигроскопическія, даже обогащаютъ почву влагою и что на поляхъ, удобренныхъ этими солями, растенія лучше обезпечены влагою нежели на поляхъ неудобренныхъ, не имѣетъ никакого основанія, такъ какъ гигроскопическая влага почвы (содержаніе которой дѣйствительно повышается) представляетъ собою мертвый запасъ, которымъ растенія не пользуются.

Другое условіе ихъ примѣненія—наличность въ почвѣ извести или внесеніе ея со стороны. Необходимость извести для почвъ удобряемыхъ стассфуртскими солями объясняется такъ: соли эти принадлежатъ къ физиологически-кислымъ, солямъ, т.-е. такимъ, изъ которыхъ растенія могутъ усвоить только основанія или потребленіе основанія превышаетъ потребленіе кислоты, а кислота остается въ почвѣ и постепенно накапливается. Такъ напр., изъ  $KCl$ ,  $K_2SO_4$  потребляется въ большомъ количествѣ  $K$ , а въ  $Cl$  растенія почти не нуждаются, точно такъ же остается изъ второй соли избытокъ  $SO_3$ . Въ почвѣ черезъ нѣкоторое время получается избытокъ кислотъ, для нейтрализаціи которыхъ и служитъ известь.

Но повидимому еще болѣе существенной является другая причина, именно при удобрѣніи этими солями почва обѣдняется известью независимо отъ потребленія ея растеніями. При внесеніи  $KCl$  въ почву калий поглощается ею и вмѣсто него выдѣляется эквивалентное количество кальція ( $CaCl_2$ ), который постепенно вымывается дождевыми водами въ нижніе слои; потребность почвы въ извести поэтому повышается.

Наконецъ, при частомъ употребленіи стассфуртскихъ солей надо имѣть въ виду, что строеніе почвы мѣняется въ неблагоприятную сторону: является склонность къ ухудшенію физическаго строенія и образо-

ванію корки. Неблагопріятное въ этомъ направленіи дѣйствіе стассфуртскихъ солей въ извѣстной мѣрѣ парализуется внесеніемъ извести.

Наивысшій эффектъ отъ этихъ удобрѣній получается, конечно тогда, когда именно калий находится въ minimum'ѣ; слѣд., часто приходится заботиться о внесеніи предварительно  $P_2O_5$  или  $N$ .

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| Такъ, напр., въ одномъ опытѣ безъ удобрѣнія |              |
| на лугу урожай сѣна былъ . . . . .          | 2200 килогр. |
| При удобрѣніи каинитомъ . . . . .           | 2300 »       |
| » » суперфосфатомъ . . . . .                | 2500 »       |
| » » суперфосфатъ+каинитъ . . . . .          | 4350 »       |

Соли въ почву должны быть внесены заблаговременно, не вмѣстѣ съ сѣменами, чтобы отъ излишняго (мѣстнаго) повышенія концентрации не пострадала всхожесть, чтобы соли успѣли распредѣлиться, циркулируя съ почвенной влагой, въ большемъ [слоѣ] почвы. Особенно заблаговременно вносятъ эти соли при культурахъ растеній, не выносящихъ избытка  $Cl$ ; тогда этотъ послѣдній долженъ быть вышелоченъ въ подпочву, что съ успѣхомъ достигается осенними и весенними водами при внесеніи этого удобрѣнія съ осени.

Травы высѣваемые на поляхъ и луговая растительность потребляютъ большія количества кали, урожай сѣна въ 240 пуд. беретъ до 4 пуд.  $K$  и лишь 1 пуд.  $P_2O_5$ . (Луговое сѣно состоитъ главнымъ образомъ изъ стеблей, въ которыхъ содержится много  $K$  и мало  $P$ , преобладающего въ сѣменахъ). Луговая растительность очень отзывчива на калийныя удобрения и за границей иногда употребляютъ до 50 пуд. каинита на десятину; обычно же употребляется вдвое или втрое меньше. При цѣнѣ каинита на мѣстѣ въ 13 коп. за пудъ (близъ Стассфурта) во влажномъ климатѣ даже такія высокія дозы могутъ окупаться при интенсивномъ хозяйствѣ; но и здѣсь лучше всего примѣнять калийныя удобрения съ осени, для того чтобы соли могли проникнуть въ почву (въ сухомъ же климатѣ дѣйствіе большихъ дозъ внесенныхъ весной можетъ быть губительнымъ). Замѣчено, что лучше всего соли эти дѣйствуютъ на бѣдныхъ зольными веществами лугахъ подвергавшихся заболачиванію (торфянистыхъ) на подзолистыхъ супесчаныхъ, песчаныхъ и известковыхъ, и менѣе замѣтно на суглинистыхъ и глинистыхъ почвахъ.

Подъ вліяніемъ этихъ удобрѣній обычно замѣчается перемѣна состава луговой растительности. Большинство опытовъ указываютъ на исчезновеніе мха, осокъ и другихъ кислыхъ травъ; начинаютъ пре-

обладать овсяница, лисохвостъ, мятлики, клевера, *Lathyrus* и др. Въ общемъ повышается процентъ бобовыхъ; вотъ напр. весьма рельефный случай повышения урожая на торфяномъ лугу съ одновременнымъ измѣненіемъ ботаническаго состава (опытъ проф. Книрима въ Ригѣ):

|                      | 1886 г. | 1887 г. | 1888 г.      |
|----------------------|---------|---------|--------------|
| Безъ удобрения . . . | 613 ф.  | 634 ф.  | 1264 ф. сѣна |
| 12 пудовъ каинита    | 1448 »  | 1268 »  | 1448 » »     |
| 12 пудовъ каинита и  |         |         |              |
| 18 п. том. шлака .   | 1795 »  | 2568 »  | 2136 » »     |

1886 г. Содержаніе бобовыхъ, злаковъ и др. семействъ:

|                      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|
| Безъ удобрения . . . | 8%   | 75%  | 17%  |
| Каинитъ . . . . .    | 22 » | 65 » | 13 » |
| Шлакъ + каинитъ .    | 27 » | 63 » | 10 » |

Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ весьма энергичное дѣйствіе удобрения наблюдалось не только въ годъ внесенія его, а и въ слѣдующіе годы.

Въ нашемъ небольшомъ опытѣ на Жабенскомъ лугу мы также наблюдали появленіе бобовыхъ подъ вліяніемъ каинита (см. стр. 105).

Измѣненія въ составѣ флоры часто слѣдуютъ за однократнымъ внесеніемъ удобрения, но сильнѣе сказываются при повтореніи его.

Подобно сказанному о постоянныхъ лугахъ, примѣненіе калийныхъ солей имѣетъ большое значеніе и при полевомъ травосѣянн; такъ клеверъ, потребляя большія количества кали, хорошо реагируетъ на внесеніе названныхъ солей, будучи мало чувствителенъ къ формѣ, въ какой вносится кали (каинитъ, 30—40% соль), лишь бы были соблюдены общія правила относительно предѣльной концентраціи.

При опытахъ Энгельгардта въ Смоленской губерніи на каждый пудъ каинита получалось 7—8 пудовъ прироста въ урожай клевернаго сѣна (конечно это относится къ обычнымъ дозамъ въ 15—20 п. каинита или вообще къ 2 пудамъ  $K_2O$  въ видѣ какой-либо изъ солей). Особенно важенъ каинитъ, по Энгельгардту, «при удобрении клеверовъ на тощихъ старопахотныхъ земляхъ, плохо удобрявшихся навозомъ, при удобрении клеверовъ 2 и 3 года, при удобрении новопахотныхъ земель, пустошныхъ и обложныхъ, въ особенности если эти земли подъ хлѣба были удобряемы только фосфоритами». Такъ какъ молодые листочки клевера могутъ иногда страдать при непо-

средственной посыпкѣ каинитомъ, то лучше вносить его заблаговременно весной еще лучше если можно осенью, такъ какъ на почвахъ съ достаточной поглотительной способностью можно не опасаться вымыванія кали.

Относительно хлѣбныхъ растеній оказывается, вопреки ожиданіямъ (ср. возвращеніе кали съ соломой и пр.), что они часто отзываются на калийныя удобрения, причемъ вліяніе это на бѣдныхъ почвахъ сильнѣе и повышеніе урожая на такихъ почвахъ для хлѣбовъ является общимъ правиломъ.

При прочихъ равныхъ условіяхъ овесъ легче усваиваетъ кали изъ почвъ, чѣмъ ячмень и пшеница. Если же при сводкѣ отвѣтовъ хозяевъ (какъ это было сдѣлано въ Германіи) оказывается, что въ суммѣ овесъ и рожь реагируютъ чаще на кали, чѣмъ пшеница, то это стоитъ очевидно въ связи съ посѣвомъ первыхъ двухъ растеній на болѣе бѣдныхъ почвахъ по сравненію съ почвами «пшеничными». Ячмень для пивоваренія особенно охотно удобряютъ калийными солями.

Зерновые бобовыя реагируютъ на калийныя удобрения благоприятно и первый случай удачнаго примѣненія этихъ удобрений былъ именно съ этими растеніями у Шульца въ Люницѣ.

Картофель, свекла хотя и реагируютъ на каинитъ, и вообще калийныя удобрения содержащія  $NaCl$ ,  $MgCl_2$  въ смыслѣ увеличенія массы урожая, но часто получаютъ нежелательные результаты отъ примѣненія этихъ удобрений въ смыслѣ ухудшенія состава продукта причемъ вызывается пониженіе % крахмала и сахара подъ вліяніемъ хлора.

Напримѣръ:

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| безъ удобр. получено . . . | 89 центн. съ содерж. крахмала 18,2% |
| съ каинитомъ . . . . .     | 103 » » » » 15,6 »                  |

Тоже самое получается, если каинитъ примѣняется съ навозомъ:

|                          |                                          |
|--------------------------|------------------------------------------|
| безъ удобр. получено . . | 101 центн. на дес. картоф., крахм. 20,2% |
| удобрено навозомъ . . .  | 109 » » » » 19,1 »                       |
| навозъ + каинитъ . . .   | 117 » » » » 17,4 »                       |

Если разсчитать абсолютное количество полученнаго крахмала, то оно окажется на единицу площади:

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| въ первомъ случаѣ . . . . . | 20,4 |
| » второмъ » . . . . .       | 20,8 |
| » третьемъ » . . . . .      | 20,4 |



Особенно понижается содержание крахмала въ картофелѣ въ случаяхъ поздняго внесенія этихъ солей. Поэтому, если желаютъ все-таки пополнить недостатокъ въ кали посредствомъ каинита, слѣдуетъ вносить каинитъ не подъ картофель, а подъ предшествующій ему хлѣбъ или по крайней мѣрѣ вносить съ осени. Кромѣ ухудшенія состава картофеля иногда замѣчается и ухудшеніе вкуса, увеличеніе содержанія азота, и вообще какъ бы запаздываніе созрѣванія клубней. Что въ подобныхъ случаяхъ вліяетъ не К, а именно Сl, подтверждается внесеніемъ  $K_2CO_3$ , употребленіе котораго не сопровождается вредными послѣдствіями; точно также  $K_2SO_4$  можетъ быть переносимъ въ большихъ количествахъ безъ вреда для качества продукта чѣмъ препараты богатые хлоромъ. По этимъ же причинамъ 30% и 40% калийная соль имѣютъ въ данномъ случаѣ еще то преимущество передъ каинитомъ, что съ нимъ можно внести тоже самое количество  $K_2O$  съ меньшимъ количествомъ сопровождающихъ хлоридовъ <sup>1)</sup>.

Свекла часто понижаетъ подъ вліяніемъ хлористыхъ солей процентъ сахара и повышаетъ количество несахара, т.-е. веществъ переходящихъ въ сокъ и состоящихъ изъ солей, бѣлковъ и проч.; этотъ несахаръ мѣшаетъ кристаллизациі сахара. Поэтому примѣненіе калийныхъ удобрень подъ сахарную свеклу должно сопровождаться тѣми же предосторожностями, какъ и подъ картофель. Къ кормовой свеклѣ это не относится, такъ какъ здѣсь не предъявляется тѣхъ требованій къ составу, какъ въ случаѣ свеклы сахарной.

Табакъ тоже не переноситъ избытка Сl, который легко проникаетъ въ корни табака; это видно изъ слѣдующихъ цифръ:

Зола табака содержала безъ удобрения всего 0,6% хлора.

» » » съ удобреньемъ КСl 20,1 » »

Сгораемость табака понижается и онъ становится менѣ ароматнымъ. Поэтому приходится избѣгать подъ табакъ удобрень, содержащихъ много хлора (если только культивируются болѣе цѣнные сорта).

Прядильныя растенія—ленъ и конопля <sup>2)</sup> съ успѣхомъ используютъ калийныя удобренья, несмотря на примѣсь хлористыхъ солей. Вообще замѣчено, что на растенія, культивируемыя изъ за стеблей, калийныя соли дѣйствуютъ всегда болѣе благоприятно (съ этимъ можно поста-

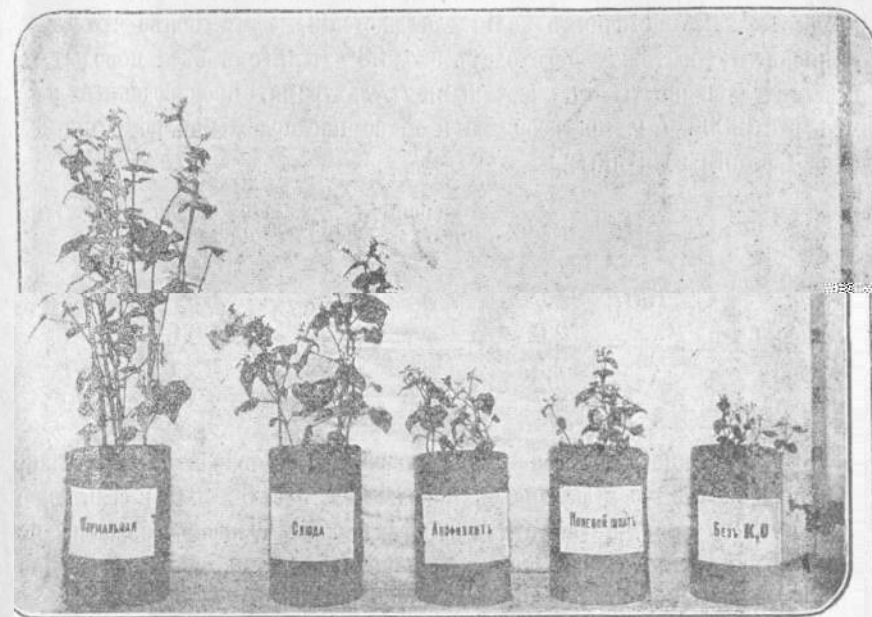
<sup>1)</sup> См. Шнейдевицъ. Калийныя удобренья (Библиотека Хозяина, май 1905).

<sup>2)</sup> У насъ конопля получаетъ обычно сильное навозное удобрень, поэтому на дѣль имѣются мало шансовъ примѣненія подъ нее калийныхъ солей; другое дѣло ленъ, который не сѣется послѣ навознаго удобрения, а занимаетъ другія мѣста въ сѣвооборотѣ.

вить въ связь дѣйствіе калийныхъ удобрень на кормовыя травы, въ урожаѣ которыхъ стебли играютъ по массѣ важную роль).

Согласно вышесказанному, у насъ каинитъ распространяется не въ свеклосахарномъ районѣ, а въ районѣ культуры льна и клевера (Остзейскій край, Псковская и смежныя губерніи), гдѣ и почвы часто бѣдны цеолитной частью (подзолы).

Рис. 62.



КСl                      Слюда.                      Апофиллитъ.                      Полевой шпатъ.                      Безъ  $K_2O$ .

*Калийные силикаты, какъ калийное удобрень.* Какъ выше было упомянуто кали въ полевои шпатѣ является почти недоступнымъ для растеній; поэтому совершенно справедливо разсматриваютъ какъ фальсификацію имѣвшія мѣсто въ Германіи и Швеціи попытки пустить въ продажу муку изъ полевого шпата подъ неопредѣленнымъ названіемъ «калийнаго удобрения», въ которомъ гарантируется содержаніе  $K_2O$  въ 10% <sup>1)</sup>. Слюда, по опытамъ нашимъ (см. рис. 62) и проф.

<sup>1)</sup> Не только ортоклазъ, но микроклинъ и санидинъ отличались при нашихъ опытахъ почти полной недоступностью; изъ другихъ испытанныхъ у насъ минераловъ являлись плохими источниками калия: лейцитъ, эеолитъ, апофиллитъ, (см. V, VI и VII отчеты по вегетаціоннымъ опытамъ).

Вотчала, нѣсколько легче отдаетъ свое кали растеніямъ, при условіи конечно тонкаго размельченія <sup>1)</sup>. Но особенно высоко стоитъ въ этомъ отношеніи нефелиновая порода, на которую обратилъ вниманіе съ этой стороны проф. Е. С. Федоровъ; именно, при изслѣдованіи береговъ Бѣлаго моря, ему пришлось обнаружить на Турьинскомъ полуостровѣ большое развитіе изверженной породы, состоящей изъ нефелина, калийной слюды и апатита; въ виду легкой разлагаемости породы проф. Е. С. Федоровъ высказалъ <sup>2)</sup> предположеніе, что оно можетъ представить интересъ, какъ источникъ калия для растений, тѣмъ болѣе что въ солянокислую вытяжку переходитъ около 3%  $K_2O$  (отъ вѣса породы). Дѣйствительно опыты съ песчаными культурами, произведенные у насъ въ 1906—7 г. подтверждаютъ такое предположеніе; вотъ примѣры (среднія величины):

|                   |      | Безъ $K_2O$ . | Полевой шпатъ. | Слюда. | Нефелиновая порода. | KCl.     |
|-------------------|------|---------------|----------------|--------|---------------------|----------|
| Гречиха           | 1906 | 2,5           | —              | —      | 16,0                | 19,4     |
|                   | 1907 | 1,7           | 3,2            | 6,5    | 15,9                | 17,3 гр. |
| Пшеница . . . .   |      | 2,6           | 3,7            | 4,7    | 20,9                | —        |
| Овесь . . . . .   |      | 2,5           | —              | —      | 13,1                | 16,1     |
| Горчица . . . . . |      | 2,7           | 5,8            | 11,2   | 12,7                | 13,9     |

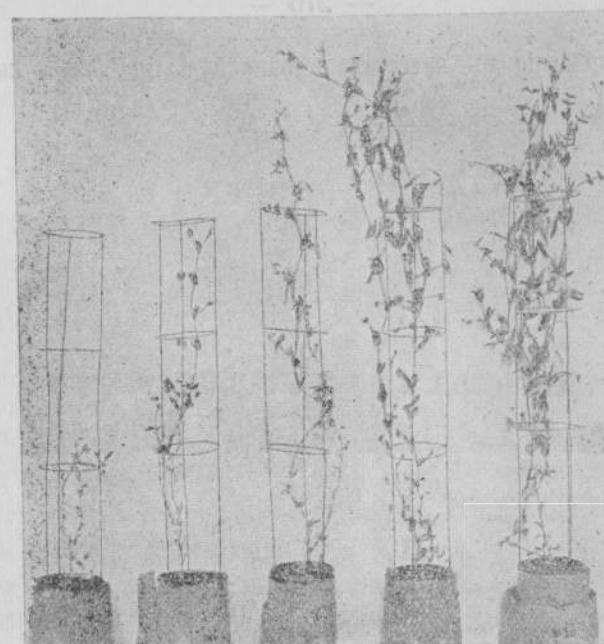
Отсюда видно, что дѣйствительно растенія справляются съ кали, даннымъ въ видѣ нефелиновой породы (см. рис. 63 и 64); если даже принять во вниманіе въ этихъ опытахъ общій уровень урожаевъ не былъ достаточно высокъ, то все же ясно выступаетъ преимущественно этой породы передъ слюдой и тѣмъ болѣе полевымъ шпатомъ.

Въ виду сказаннаго желательно, чтобы при изслѣдованіи горныхъ породъ обращалось вниманіе на нахожденіе въ нихъ подобныхъ источниковъ калия, особенно это можетъ имѣть значеніе для отдаленныхъ отъ нашей западной границы мѣстностей, какъ Сибирь и Туркестанъ, куда доставка стассфуртскихъ солей обходится дорого; возможно, что породы подобныя нефелиновой могутъ пріобрѣсти извѣстное

<sup>1)</sup> Нѣкоторые виды слюдяного сланца оказались по нашимъ опытамъ еще лучшимъ источникомъ калия, чѣмъ измѣльченный мусковитъ (вѣроятно играетъ роль степень вывѣтрѣлости слюды). Біотитъ въ нѣкоторыхъ образцахъ значительно превосходитъ мусковитъ, въ другихъ же различіе было не столь рѣдкимъ.

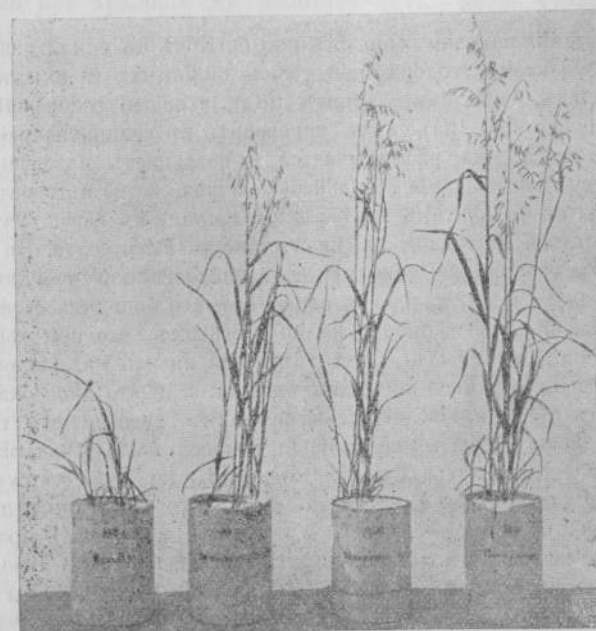
<sup>2)</sup> Извѣстія М.С.Х.И. 1908, кн. 1-я. На основаніи анализовъ А. Э. Купффера, обнаружившихъ въ поверхностныхъ слояхъ 3,4%  $K_2O$  и 4,5%  $P_2O_5$ , Е. С. Федоровъ высчитываетъ для болѣе глубокихъ (невывѣтрившихся) слоевъ 4,8%  $K_2O$  и 10,0%  $P_2O_5$ .

Рис. 63.



Безъ  $K_2O$ . Полевой шпатъ. Слюда. Нефелиновая порода. KCl.

Рис. 64.



Безъ  $K_2O$ . Нефелиновая порода одиноч. двойная доза. KCl.



мѣстное значеніе въ качествѣ источника калия для культурныхъ растений <sup>1)</sup>).

1) Въ Германіи не мало было сдѣлано опытовъ съ одной изверженной породой (фонолитомъ), содержащей смѣсь калийныхъ (и иныхъ) минераловъ (нефелинъ, санидинъ, лейцитъ и др.); общее содержаніе  $K_2O$  въ фонолитѣ около 9%, изъ нихъ переходитъ въ солянокислую вытяжку около 40%. Эта порода размалывается и поступаетъ на рынокъ подъ неопредѣленнымъ названіемъ „Kalisilicat“. Большинство авторовъ, ставившихъ опыты съ фонолитомъ въ Германіи пришли къ выводу, что онъ не можетъ являться выгодной замѣной стассфуртскихъ солей. Въ опытахъ 1911 года мы сравнивали фонолитъ съ вышеназванной нефелиновой породой съ Вѣлаго моря, при чемъ оказались, что фонолитъ стоитъ много ниже послѣдней по доступности калия. Отмѣтимъ, что при рѣшеніи вопроса о замѣнѣ калийныхъ солей тѣмъ или инымъ матеріаломъ, большее значеніе имѣетъ экономическая сторона; если что либо оказывается невыгоднымъ въ Германіи, обладающей своимъ Стассфуртомъ, то отсюда еще не слѣдуетъ, чтобы то же рѣшеніе вопроса было вѣрнымъ и для странъ удаленныхъ отъ Стассфурта; если уже въ Москвѣ каинитъ стоитъ въ  $3\frac{1}{2}$  раза дороже, чѣмъ на мѣстѣ (что заставляетъ предпочитать 30% соль), то возможно, что на Уралѣ или за Ураломъ можетъ оказаться болѣе выгоднымъ даже фонолитъ (не говоря уже о породахъ подобныхъ бѣломорской, если бы только на мѣстѣ нашлись бы соотвѣтственные залежи).

## Полныя удобрительныя вещества.

### Навозъ.

Qui vend son fumier  
Vide son grenier.

Навозъ является важнѣйшимъ изъ полныхъ удобреній; полнымъ удобреніемъ онъ является потому, что въ его составъ входятъ тѣ самыя (важныя съ точки зрѣнія удобренія) вещества, которыя уже участвовали въ образованіи растительной массы: составныя части навоза (твердыя и жидкія изверженія животныхъ съ одной стороны и подстилка съ другой) представляютъ изъ себя растительные продукты, отчасти измѣнившіеся при прохожденіи черезъ организмъ животного или при храненіи въ навозной кучѣ, но не утратившіе ни того азота, ни тѣхъ зольныхъ веществъ, которые въ нихъ ранѣе заключались.

Чтобы яснѣе представить себѣ составъ навоза, нужно прослѣдить, что дѣлается съ пищей въ организмѣ животныхъ.

При прохожденіи черезъ кишечникъ пища дѣлится на двѣ части: переваримую и непереваримую; послѣдняя выдѣляется изъ организма въ видѣ твердыхъ изверженій, а первая поступающая въ кровь и въ безазотистой своей части окисляется сполна до  $CO_2$  и  $H_2O$ ; а бѣлковыя вещества хотя также сильно измѣняются, проходя черезъ организмъ, но не сжигаются до конца, а даютъ остатокъ въ видѣ мочевины, содержащей весь азотъ ихъ, но лишь часть углерода и водорода. Для взрослого животного можно принять, что весь азотъ переваренной части, выдѣляется почками въ видѣ мочи, которая и примѣшивается къ твердымъ изверженіямъ. Итакъ, составъ сухого вещества жидкихъ выдѣленій отличается меньшимъ содержаніемъ Н и С отъ состава усвоенной части пищи, но усвояемый азотъ выдѣляется изъ организма весь этимъ путемъ при обычныхъ условіяхъ (если не принимать во вниманіе прироста мяса, шерсти, выдѣленія молока). Твердыя изверженія процентно богаче кормоваго вещества клетчаткой, бѣднѣе другими углеводами и бѣлкомъ. Въ суммѣ, азотъ твердыхъ и жид-

кихъ выдѣлений отвѣчаетъ азоту потребленной пищи, если исключить упомянутые случаи (откормъ, выдѣленіе молока, приростъ шерсти).

Если опредѣлить то, что животнымъ потреблено и что выдѣлено въ суммѣ (въ твердыхъ и жидкихъ выдѣленіяхъ), то замѣчается уменьшеніе сухого вещества и процентное обогащеніе азотомъ и зольными составными частями отбросовъ по сравненію съ кормомъ. Такъ, въ одномъ рядѣ опытовъ Геннеберга и Стомана съ рогатымъ скотомъ оказалось, что въ среднемъ потреблялось въ день около 21,0 фунта сухихъ веществъ, выдѣлялось въ суммѣ 10,5 фунт.; другая половина сухихъ веществъ тратилась на процессы дыханія.

Такъ какъ азотъ и зольныя вещества цѣликомъ переходятъ въ экскременты, то количество ихъ процентно увеличивается приблизительно вдвое.

Въ данномъ опытѣ содержалось въ кормѣ азота 1,46%  
Въ сухомъ веществѣ смѣси изверженій » 2,90 »

Точно также для зольныхъ веществъ:

Золы въ кормѣ . . . . . 6,95%  
» » изверженіяхъ . . . . . 14,00 »

Для большинства опытовъ результатъ былъ близокъ къ этому, и такія цифры для травоядныхъ животныхъ могутъ быть приняты за типичныя.

Жидкія изверженія содержатъ азотъ и минеральныя вещества въ видѣ продуктовъ распада веществъ, усвоенныхъ организмомъ. Азотъ здѣсь содержится въ формѣ мочевины, гиппуровой и мочевои кислоты; азотъ въ формѣ амміака нормально организмомъ не выдѣляется, а получается углекислый амміакъ уже при броженіи жидкости. Жидкія изверженія содержатъ 8—9% сухого вещества; изъ него около  $\frac{1}{10}$  части (или 1% отъ сырой массы) приходится на долю азота и 30—40% на зольныя вещества. Характернымъ для жидкихъ изверженій травоядныхъ служить отсутствіе въ нихъ (или крайне малое содержаніе) фосфорной кислоты и значительное количество кали въ формѣ  $\text{KHSO}_3$ ; весь почти фосфоръ пищи выдѣляется черезъ кишечникъ. Поэтому жидкія выдѣленія сами по себѣ будутъ удобреніемъ азотистокаліинымъ; лишь смѣсь экскрементовъ является полнымъ удобреніемъ.

Вотъ данныя Буссенго: въ 1000 частяхъ жидкихъ и 1000 частяхъ твердыхъ изверженій:

|                             |       |     |
|-----------------------------|-------|-----|
| содержится азота . . . . .  | 9,7   | 4,2 |
| фосфорной кислоты . . . . . | слѣды | 1,0 |
| окиси калия . . . . .       | 13,2  | 0,5 |

Чтобы представить себѣ ближайшій составъ жидкихъ изверженій приведемъ слѣдующія цифры (по Muntz'y) для рогатаго скота:

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Мочевины на 1000 частей . . . . . | 18,5 |
| Гиппуровокислаго кали . . . . .   | 16,5 |
| Молочнокислыхъ солей . . . . .    | 17,0 |
| Двууглекислаго кали . . . . .     | 16,0 |
| Воды . . . . .                    | 921  |

Кромѣ того небольшое количество двууглекислыхъ магnezин и извести (около 5 ч. въ суммѣ) хлористыхъ и сѣрнокислыхъ щелочей (4 ч.), кремнезема (слѣды).

Абсолютное количество различныхъ веществъ выдѣляемыхъ почками и черезъ кишечникъ различно у различныхъ животныхъ, въ зависимости отъ рода пищи. Въ то время какъ у плотоядныхъ животныхъ благодаря большей питательности и усвояемости ихъ пищи, больше вещества выдѣляется черезъ почки, у травоядныхъ животныхъ наоборотъ:

|                                        |                  |       |                       |
|----------------------------------------|------------------|-------|-----------------------|
|                                        | азота:           | кали: | фосфорной<br>кислоты: |
|                                        | въ килограммахъ: |       |                       |
| жидкихъ изверженій 1200 клгр., въ нихъ | 17,7             | 9,6   | —                     |
| твердыхъ » 6000 » » »                  | 39               | —     | 18                    |

По Вольфу, если принять за 100 количество органическихъ веществъ, азота и золы въ кормѣ, то на твердыя и жидкія выдѣленія придется въ процентахъ:

|                             |       |         |                      |
|-----------------------------|-------|---------|----------------------|
|                             | кормъ | твердыя | жидкія<br>выдѣленія: |
| Органич. вещества . . . . . | 100   | 42,5    | 3,4%                 |
| Азотъ . . . . .             | 100   | 40,1    | 47,2 »               |
| Зола . . . . .              | 100   | 59,7    | 39,0 »               |

Нужно замѣтить, что количество твердыхъ и жидкихъ изверженій сильно мѣняется въ зависимости отъ пищи; отъ пищи же зависитъ и ихъ составъ: чѣмъ водянистѣе кормъ, тѣмъ больше масса жидкихъ выдѣлений, чѣмъ переваримѣе сухое вещество корма, тѣмъ меньше количество сухого вещества въ твердыхъ выдѣленіяхъ, а относительно больше — въ жидкихъ; чѣмъ богаче бѣлками кормъ, тѣмъ больше азота въ смѣси экскрементовъ твердыхъ и жидкихъ. Но все же считается въ общемъ характернымъ извѣстное соотношеніе въ содержаніи воды и азота для различныхъ группъ с.-х. животныхъ.

|                                            |      |            |
|--------------------------------------------|------|------------|
| Такъ, у рогатаго скота воды въ извержен. . | 78%  | азота 0,4% |
| » лошадей . . . . .                        | 78 » | » 0,7 »    |
| » овецъ . . . . .                          | 68 » | » 0,9 »    |



Другая составная часть навоза — *подстилка* играет двойную роль: — отъ нея требуется обезпеченіе чистоты и мягкости ложа для скота съ одной стороны и, что для насъ здѣсь болѣе важно, она должна задерживать жидкія изверженія и тѣмъ предохранять отъ потерь вещества важныя для удобренія; вмѣстѣ съ тѣмъ для насъ не безразлично содержаніе въ ней питательныхъ веществъ, такъ какъ въ послѣдствіи онѣ цѣликомъ переходятъ въ навозъ. На ходъ разложенія навоза подстилка также не остается безъ вліянія, обуславливая напримѣръ, большую рыхлость, его, слѣд., болѣе доступъ воздуха, или наоборотъ.

Матеріалъ для подстилки употребляется крайне различный; въ преобладающемъ числѣ случаевъ употребляется для подстилки солома злаковыхъ; кромѣ того, употребляется солома другихъ растений, древесная листва, торфъ, стружки, мохъ и т. п.

Если руководиться въ оцѣнкѣ соломы злаковыхъ, какъ подстилки количествомъ воды, которое можетъ удержать она, то съ этой стороны солома должна занять одно изъ первыхъ мѣстъ. Такъ напр., при опытахъ поглощенія воды соломой и другими матеріалами, употребляющимся въ качествѣ подстилки, оказалось, что

|                                                      |                  |   |   |
|------------------------------------------------------|------------------|---|---|
| Солома злаковъ на 100 частей удерживаетъ .           | 180—280 ч. воды. |   |   |
| » гороха . . . . .                                   | 280              | » | » |
| Листья дуба . . . . .                                | 162              | » | » |
| » бука . . . . .                                     | 400              | » | » |
| Верескъ . . . . .                                    | 100              | » | » |
| Хвоя . . . . .                                       | 150—250          | » | » |
| Еловая лапка . . . . .                               | 70               | » | » |
| Опилки . . . . .                                     | 420              | » | » |
| Стружки <sup>1)</sup> . . . . .                      | 300              | » | » |
| Торфъ (см. по возр. торфяника) 500—700 (и даже 1000) |                  | » | » |
| Мохъ . . . . .                                       | 300              | » | » |

Мѣстами при недостаткѣ соломы прибѣгаютъ, какъ напримѣръ, въ Швейцаріи, къ разведенію осоки, грубостебельныхъ злаковъ (*Molinia*) и другихъ растений на такихъ лугахъ, которые не могутъ быть использованы подъ культуру какихъ-либо болѣе цѣнныхъ растений (въ слѣдствіе избытка влаги). Въ крайности примѣняютъ въ качествѣ

<sup>1)</sup> Стружки и опилки, какъ матеріалъ, содержащій мало азота (около 0,2 должны уступать соломѣ съ точки зрѣнія внесенія въ навозъ элементовъ пищи растений; напротивъ того торфъ существенно повышаетъ содержаніе азота въ навозѣ.

подстилки почву богатую перегноемъ и песокъ; но недостатокъ этихъ матеріаловъ состоитъ въ необходимости передвиженія большихъ массъ ихъ благодаря малой ихъ влагоемкости (почва—до 50%, песокъ 25%).

Не смотря на то, что количества воды, задерживаемой соломой бобовыхъ и злаковыхъ растений почти одинаковы, со стороны вліянія на составъ навоза эти два рода подстилки далеко не одинаковы. Солома бобовыхъ содержитъ до 2% азота, который цѣликомъ переходитъ въ навозъ и улучшаетъ его со стороны его химического состава; но эта солома, благодаря сравнительно высокому ея питательному достоинству, гораздо чаще скармливается скоту, чѣмъ употребляется какъ подстилочный матеріалъ (послѣднее случается при излишней грубости матеріала или порчѣ его плѣсневыми грибами и пр.).

Вотъ составъ нѣкоторыхъ видовъ подстилки по анализамъ Ад. Майера:

|                     | Солома<br>злаковъ. | Солома<br>бобовыхъ. | Лиственная<br>подстилка. |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|
| Воды . . . . .      | 12—21              | 12—22               | 13—15%                   |
| Органич. веществъ . | 75—83              | 76—83               | 78—81                    |
| Азота . . . . .     | 0,3—0,9            | 1,2—2,0             | 0,8—1,4                  |
| Зола . . . . .      | 3—8                | 3—9                 | 4—6                      |
| Фосфорной кислоты . | 0,2—0,3            | 0,3—0,4             | 0,2—0,3                  |
| Кали . . . . .      | 0,5—1,1            | 0,6—1,8             | 0,2—0,4                  |

Количество соломы подстилки сильно мѣняется въ зависимости отъ внѣшнихъ условій: оно зависитъ отъ большей или меньшей водности корма и увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ этой послѣдней; оно зависитъ отъ времени года (такъ какъ температура вліяетъ на ходъ испаренія и изложенія) и, наконецъ, существенную роль въ данномъ случаѣ играетъ и родъ животныхъ; напр., овцы требуютъ меньше подстилки чѣмъ лошади и рогатый скотъ, считая, конечно, не только на голову, но и на единицу сухого вещества въ кормѣ (приблизительно 1:1/5 для соломы). Въ абсолютныхъ величинахъ считаютъ для лошади необходимымъ 5—10 ф., для рогатаго скота 8—12 ф., для овецъ—1 1/4 ф. въ сутки.

Торфъ употребляется на подстилку въ разныхъ формахъ наибольшей способностью поглощаетъ воду обладаетъ моховой торфъ, состоящій изъ малоразложившихся еще растений (*Sphagnum*); но и торфъ болѣе разложившійся идетъ въ подстилку въ различныхъ формахъ; такъ иногда устилаютъ полъ конюшни кирпичами формованнаго торфа, сверху покрывая ихъ соломой; или дробятъ торфъ на торфяныхъ мельницахъ (или корнерѣзкахъ, жмыходробилкахъ); коли-

чества торфа мѣняются въ зависимости отъ его свойствъ; такъ для войлочнаго торфа разные авторы даютъ нормы отъ 4 до 8 фунтовъ въ сутки на лошадь <sup>1)</sup>).

Навозъ въ зависимости отъ своего происхожденія и условій сохраненія имѣетъ различный составъ.

Въ среднемъ (по Вольфу) приходится:

| 1000 ч. навоза:  | воды | азота | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|------------------|------|-------|-------------------------------|------------------|
| у овецъ . . .    | 646  | 8,3   | 2,3                           | 6,7              |
| лошадей . . .    | 713  | 5,8   | 2,8                           | 5,3              |
| свиной . . .     | 724  | 4,5   | 1,9                           | 6,0              |
| рогатаго скота . | 775  | 3,4   | 1,6                           | 4,0              |

Слѣдовательно, содержаніе питательныхъ (для растений) веществъ ограничивается долями процента; эти питательныя вещества сопровождаются въ значительной мѣрѣ балластомъ органическаго вещества и воды; на этомъ основаніи (а также въ цѣляхъ улучшенія физическихъ свойствъ почвы) навозъ приходится вносить въ очень большихъ количествахъ по сравненію съ удобрениями ранѣе разсмотрѣнными.

Въ практикѣ употребляется чаще навозъ полуперепрѣвшій; среднія цифры состава такого навоза, которыми можно пользоваться для приблизительныхъ расчетовъ, для смѣшаннаго навоза таковы:

воды 75%, азота 0,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—0,2% и K<sub>2</sub>O—0,6%.

Составъ навоза, кромѣ того, что зависитъ отъ рода животныхъ, также зависитъ и отъ пищи ихъ; чѣмъ больше бѣлковъ содержится въ пищѣ животнаго, чѣмъ богаче навозъ азотомъ. Мюнцъ и Жираръ

<sup>1)</sup> См. „Энциклопедія Сельскаго Хозяйства“, изд. Девріена т. IX, статья „Торфъ и его примѣненія“. При опытахъ Feilitzen'a (Швеція) сравнивалось три рода подстилки при одинаковомъ кормленіи, именно: торфъ, солома и опилки, при чемъ велся учетъ состава корма, съ одной стороны, молока и навоза—съ другой; за 10 дней опыта недоставало въ продуктахъ изъ введеннаго съ кормомъ азота:

| Торфъ. | Солома. | Опилки. |
|--------|---------|---------|
| 7,1%   | 19,8%   | 11,1%   |

Затѣмъ полученный навозъ выдерживался въ кучахъ 3½ мѣсяца; за это время потери достигали (сверхъ ранѣе наблюденныхъ):

|                         |      |       |       |
|-------------------------|------|-------|-------|
| Для всего N . . . . .   | 7,4% | 20,0% | 7,5%  |
| Для азота амміака . . . | 4,7% | 51,3% | 26,6% |

Такимъ образомъ съ точки зрѣнія сохраненія азота торфъ оказался лучшимъ подстилочнымъ матеріаломъ (Bied. Centr. 1910, 694).

подтверждаютъ это положеніе слѣдующимъ опытомъ: при кормленіи рогатаго скота сѣномъ (люцерной), и корнеплодами, съ добавкой ржаной муки, азота въ навозѣ было 0,65%; а при кормленіи соломой, съ добавкой ржаной муки и капустныхъ листьевъ, азота было въ навозѣ до 0,41%; фосфорной кислоты въ первомъ случаѣ было 0,3%, а во второмъ 0,15%.

Количество всего получаемаго въ хозяйствѣ навоза можно для предварительныхъ соображеній рассчитывать или по количеству скота, или по количеству кормовъ.

Жирарденъ рекомендуетъ, напр., всѣхъ всего стада помножить на 25; полученное число дастъ приблизительный всѣхъ всего навоза за годъ.

Вольфъ даетъ другой способъ вычисленія количества навоза — по количеству корма въ хозяйствѣ. Организмъ животнаго сжигаетъ приблизительно ½ сухого вещества корма, а другая переходитъ въ навозъ. Если мы знаемъ количество корма, употребленнаго животными, то можемъ высчитать въ немъ количество сухого вещества; пусть оно =  $a$ ; половина его перейдетъ въ навозъ ( $\frac{a}{2}$ ) туда же перейдетъ все сухое вещество подстилки =  $b$ ; всего сухого вещества въ навозѣ  $\frac{a}{2} + b$ . Въ среднемъ навозъ содержитъ 75% воды, слѣдова-

тельно, если мы общее количество сухого вещества помножимъ на 4, то получимъ количество навоза, которое можно получить изъ даннаго корма  $(\frac{a}{2} + b) \cdot 4$ .

Способъ Баталина претендуетъ на большую точность при вычисленіи общаго количества свѣжаго навоза, но она оказывается излишней, потому что при перепрѣваніи теряется значительная и трудно опредѣляемая количественно часть навоза; ее приходится оцѣнивать на глазъ, а потому точныя вычисленія количества свѣжаго навоза не имѣютъ особаго значенія. Баталинъ пользуется въ данномъ случаѣ переваримостью отдѣльныхъ составныхъ частей корма; зола корма цѣлкомъ переходитъ въ экскременты; изъ бѣлковыхъ, безазотистыхъ веществъ и древесины въ навозѣ будетъ непереваримая часть. Изъ переваримой части бѣлковъ въ видѣ мочевины попадаетъ въ навозъ около ⅓ (предполагая, что весь азотъ переваримыхъ бѣлковъ выдѣленъ черезъ почки). Безазотистыя соединенія—углеводы переваримой части идутъ на дыханіе, а потому въ навозъ не переходятъ. Поэтому, если взять золу, ⅓ переваримыхъ бѣлковыхъ веществъ,



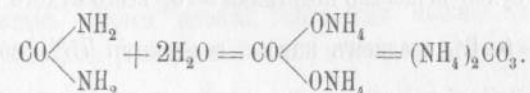
сумму непереваримыхъ веществъ, все сухое вещество подстилки и все это помножить на 4, то получимъ количество навоза.

Для грубаго расчета количества навоза за годъ считаютъ, что въ среднемъ лошадь даетъ около 400 пудовъ; рогатый скотъ 600 пуд.; (откармливаемые вола до 1000 пуд.), овцы до 35 пуд. и свиньи отъ 75 до 100 пуд.

Существуютъ попытки сопоставить объемъ навоза съ его вѣсомъ, что имѣетъ значеніе при расчетѣ объема помѣщеній для храненія навоза. Попытки эти даютъ различныя цифры въ зависимости отъ стадіи разложенія навоза; Буссенго нашелъ, что

|                                            |          |       |
|--------------------------------------------|----------|-------|
| кубич. метръ свѣж. навоза вѣситъ . . . . . | 300—4000 | klgr. |
| » » » » уплотненнаго. . . . .              | 700      | — »   |
| » » » » полуразложивш. . . . .             | 800      | — »   |
| » » » » влажн. разложивш. . . . .          | 900      | — »   |

*Измѣненія въ составъ навоза.* Первымъ процессомъ, наступающимъ непосредственно послѣ выдѣленія экскрементовъ, является аммиачное броженіе мочевины, т. е. превращеніе ее въ углекислый аммиакъ, легко диссоціирующую и летучую соль.



Это броженіе представляетъ поэтому источникъ крупныхъ потерь азота въ навозѣ; потери эти замѣчены давно, но позднѣе только опредѣлили ихъ размѣры, причемъ они оказались гораздо больше тѣхъ, какіе предполагались.

По этому вопросу есть нѣсколько работъ: Мюнца и Жирара, Меркера и др. Мюнцъ и Жираръ при своихъ изслѣдованіяхъ пользовались конюшнями парижской компаніи омнибусовъ, въ которыхъ какъ ухаживали за животными, такъ и за получаемымъ отъ нихъ навозомъ, отличается, по отзыву авторовъ, тщательностью, и гдѣ можно было для опытовъ пользоваться большимъ числомъ однообразно содержащихся животныхъ. Не смотря на уходъ, потери при храненіи навоза были велики. Такъ опытъ съ лошадьми производился въ теченіи мѣсяца; при этомъ животные взвѣшивались для проверки постоянства ихъ вѣса, взвѣшивался и анализировался ихъ кормъ и получаемый отъ нихъ навозъ. Результатъ былъ такой: недоставало 28% азота отъ того количества его, которое дано было въ кормѣ.

Такой же опытъ производился надъ рогатымъ скотомъ и здѣсь

получались потери азота въ 27% отъ количества его въ кормѣ. Произведенъ былъ такой же опытъ и съ овцами, причемъ не только во время опыта велся учетъ N въ кормѣ, подстилкѣ и экскрементахъ, но еще послѣ опыта было опредѣлено количество азота задержаннаго организмомъ и потребленнаго на образованіе мяса, шерсти etc.; вотъ цифры этого опыта (за 6 мѣс.).

|                                       |        |     |
|---------------------------------------|--------|-----|
| Дано N въ кормѣ . . . . .             | 94,867 | gr. |
| » въ подстилкѣ. . . . .               | 3,075  | »   |
| Всего . . . . .                       | 97,942 | gr. |
| Потреблено на образов. мяса . . . . . | 8,185  |     |
| » шерсти . . . . .                    | 2,720  |     |
| Найдено въ навозѣ . . . . .           | 35,425 |     |
| Всего. . . . .                        | 46,330 |     |

Недостаетъ 51,612 gr. или 52,7% N. Нужно замѣтить, что эти опыты производились въ жаркое время года, а потому потери эти скорѣе нужно считать максимальными. Что броженіе мочевины дѣйствительно въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ температуры, среды, показали опыты тѣхъ же авторовъ; у нихъ при броженіи мочевины.

|                                     |     |      |
|-------------------------------------|-----|------|
| при 2° C потерялось азота . . . . . | 237 | mgr. |
| » 11 » » . . . . .                  | 469 | »    |
| » 20 » » . . . . .                  | 704 | »    |
| » 30 » » . . . . .                  | 920 | »    |

Меркеръ даетъ цифры потерь азота нѣсколько ниже, нежели въ въ приведенныхъ опытахъ Мюнца, но все-таки онѣ достигаютъ 13—24% при храненіи навоза въ стойлахъ и еще большихъ размѣровъ, (30—37%) когда навозъ хранился отдѣльно въ гноищахъ (вліяніе избыточной вентиляціи при перемѣщеніи)<sup>1)</sup>. Въ опытахъ Ehrenberg'a потери за два мѣсяца не превышали 10% отъ всего азота, если опытъ велся въ холодное время года (при этомъ преобладали потери не въ видѣ аммиака).

Для борьбы съ потерями аммиака предлагаются употребленія различ-

<sup>1)</sup> Это вліяніе становится особенно замѣтнымъ тогда, когда навозъ удаляется изъ стойла недостаточно часто; тогда приходится приводить въ соприкосновеніе съ воздухомъ уже энергично разлагающуюся массу, потому потери аммиака при этомъ больше, чѣмъ если удаленіе производится быстро или же вовсе не производится.

ныя средства; прежде всего вниманіе останавливается на кислотахъ для связыванія амміака, и дѣйствительно было время когда рекомендовали употреблять съ этой цѣлью разведенную кислоту, поливая подстилку до кислой реакціи, или же ставить чашки съ сѣрной кислотой. Оба эти способа представляютъ значительныя неудобства: чашки представляютъ небольшую поверхность и могутъ задержать поэтому лишь незначительную часть амміака, а поливка подстилки достигается цѣли только тогда, когда прибавлено сѣрной кислоты достаточное количество, а это можетъ дурно отзываться на ногахъ животныхъ. вмѣсто сѣрной кислоты поэтому употребляютъ нерѣдко сѣрнокислыя соли—гипсъ и желѣзный купоросъ, чаще первый. Основаніе этой соли при обмѣнномъ разложеніи съ углекислымъ аммоніемъ связывается углекислотой, давая осадокъ ( $\text{CaCO}_3$ ), а сѣрная кислота связываетъ амміакъ, образуя нелетучую сѣрноамміачную соль (такъ реакція идетъ въ растворѣ; при высушиваніи или повышеніи температуры она можетъ пойти и обратно). При употребленіи этихъ веществъ не слѣдуетъ упускать изъ виду, что въ мочѣ есть и другія части, которыя могутъ потреблять гипсъ, именно углекислыя щелочи (K и Na), точно также образующія  $\text{CaCO}_3$  и соответствующую соль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , поэтому всегда приходится прибавлять излишнее количество гипса для удержанія амміака, чтобы присутствіе нелетучихъ щелочей непарализовало его дѣйствія (кромѣ того часть гипса при процессахъ восстановительныхъ превращается въ  $\text{CaS}$ ). Благодаря этому обстоятельству по даннымъ Мюнца на голову рогатаго скота требуется въ годъ 600—700 kgr. желѣзнаго купороса; по мнѣнію этого автора такая затрата выходитъ уже за предѣлы рентабельности при условіяхъ французскаго хозяйства. Въ Германіи же считаютъ выгоднымъ примѣнять по 2 килограмма гипса въ сутки на голову рогатаго скота (Hofmeister).

Кромѣ этихъ солей рекомендуютъ употреблять стассфуртскія соли, содержащія  $\text{MgSO}_4$ , и дѣйствующія такимъ же образомъ. Однако, имѣются наблюденія, что каннисть способенъ вызывать воспаленіе кожи на ногахъ и на вымени на животныхъ, а попадая внутрь организма каннисть можетъ вредить <sup>1)</sup> здоровью животныхъ. Поэтому слѣдуетъ избѣгать его примѣненія въ стойлахъ (о примѣненіи при храненіи на гноищѣ см. ниже).

<sup>1)</sup> Наблюдались даже случаи смерти мелкихъ животныхъ (овцы, куры) отъ каннита (куры имѣютъ склонность проглатывать какъ разъ болѣе крупныя зерна каннита, а 2 gr. уже могутъ быть для нихъ смертельны если не дать послѣ этого пить вволю).

Въ этихъ же цѣляхъ рекомендовано Пайеномъ употребленіе ждой извести, которая должна прибавляться къ свѣжимъ экскрементамъ еще до начала броженія, когда еще не развились бактеріи и не образовался амміакъ, съ цѣлью создать щелочную реакцію и тѣмъ самымъ устранить возможность броженія. Лабораторные опыты даютъ въ подобныхъ случаяхъ положительные результаты, но на практикѣ такъ поступать нельзя, потому что извести потребуется большее количество для сохраненія щелочной реакціи нужно ее вносить повторно; хорошее и быстрое смѣшеніе съ твердыми экскрементами является трудно осуществимымъ, а выделяющаяся при разложеніи  $\text{CO}_2$  превращаетъ известъ въ углекислую, которая уже не мѣшаетъ дальнѣйшему образованію и потерямъ амміака (болѣе примѣнима известъ для сохраненія жидкихъ выдѣленій, если они собираются отдѣльно отъ твердыхъ въ резервуарахъ, допускающихъ хорошее перемѣшиваніе жидкости).

Изъ веществъ не предохраняющихъ жидкія выдѣленія отъ броженія, но удерживающихъ получающійся амміакъ, употребляютъ землю и торфъ вмѣстѣ съ соломой въ подстилку. Для этого землю, по преимуществу торфяную или съ большимъ количествомъ перегноя, кладутъ слоемъ на полъ стойла, а потомъ кладутъ подстилку, причемъ мѣняютъ чаще только солому, не трогая торфа; рѣже—и то и другое или же переслаиваютъ подстилку съ торфомъ или, оставляя подъ животными солому, располагаютъ измельченный торфъ на пути движенія жидкости по склону пола къ канавкѣ (Книримъ), чѣмъ достигается чистота съ одновременнымъ поглощеніемъ избытка стекающей жидкости торфомъ. При употребленіи торфяной подстилки количество амміака въ воздухѣ, какъ показателя амміачнаго броженія мочевины значительно понижалось и онъ появлялся лишь черезъ нѣкоторый промежутокъ времени (опыты Müntz'a).

| При употребленіи торфа. |        | соломы.      |                         |
|-------------------------|--------|--------------|-------------------------|
| въ 1 день               | 0      | 1,2 миллигр. | N въ 1 куб. метрѣ возд. |
| » 2 »                   | 0      | 3            | »                       |
| » 3 »                   | 0      | 4            | »                       |
| » 6 »                   | 1 mgr. | 16           | »                       |

По Дегерену, улѣтучиванье амміака можно предупредить просто созданіемъ среды богатой углекислотой, такъ какъ въ такой средѣ углекислый аммоній не диссоциируетъ и амміакъ не теряется; поэтому, если навозъ влаженъ и энергично разлагается, если притокъ воздуха ограниченъ, то углекислота будетъ находиться въ большомъ избыткѣ въ смѣси газовъ, заполняющей промежутки, и потери амміака будутъ



ничтожны. Въ подтвержденіе Дегеренъ описываетъ слѣдующій опытъ: если вытягивать воздухъ съ помощью аспиратора изъ внутреннихъ частей навозной кучи, то можно пропустить десятки метровъ и не обнаружить замѣтныхъ количествъ амміака; если же извлечь пробу навоза и, провѣтривши ее на воздухѣ, помѣстимъ подъ колоколъ, черезъ который затѣмъ протягивать воздухъ, то очень быстро замѣтимъ въ поглотителѣ накопленіе амміака. Совершенно такое же различіе получается, если черезъ склянку съ растворомъ углекислаго аммонія протягивать въ одномъ случаѣ—воздухъ обыкновеннаго состава, а въ другомъ—углекислоту, или воздухъ богатый углекислотой (12—15%  $\text{CO}_2$ ). Отсюда значеніе поливки, и извѣстной степени уплотненія (кромѣ того Дегеренъ совѣтуетъ оставлять извѣстную примѣсь стараго навоза къ свѣжему, чтобы послѣдній быстрѣ пришелъ въ разложеніе).

Подобно мочевины, и другія азотистыя вещества мочи способны распадаться съ образованіемъ углекислаго амміака; такъ Дегеренъ наблюдалъ разложеніе гиппуровой кислоты (1 граммъ) въ слабо щелочномъ растворѣ при доступѣ воздуха:

| Продолжит. опыта. | Количество<br>выдѣл. $\text{CO}_2$ . | Азотъ<br>органич. | Азотъ<br>амміака. |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 6 дней            | 22 mgr.                              | 157 mgr.          | 0                 |
| 14 »              | 273 »                                | 130 »             | 25                |
| 30 »              | 752 »                                | 43 »              | 111               |
| 47 »              | 748 »                                | 9 »               | 151               |

Подобный же результатъ былъ полученъ Déhéraïn'омъ для мочевины <sup>1)</sup>.

Амміачное броженіе мочевины наступаетъ довольно быстро; оно можетъ достигать значительной энергіи еще въ стойлѣ, раньше чѣмъ навозъ (или жижа) достигнетъ гноища; такъ, Жули въ одномъ опытѣ наблюдалъ, что жидкость въ сточной канавѣ передъ стеканіемъ въ колодезь содержала въ литрѣ лишь 2 гр. органическаго азота и 9—амміачнаго.

Поэтому, если навозъ хранится не подъ животными, а при періодической очисткѣ перемѣщается на гноище, то лучше, для цѣлей сохраненія азотистыхъ веществъ, производить очистку чаще, а канавкамъ для стока жижи давать достаточный уклонъ, чтобы разложеніе мочевины протекало преимущественно тогда, когда навозъ на-

<sup>1)</sup> О разложеніи мочевины см. работу Лебедянцева, въ Извѣстіяхъ М. С. Х. И. 1906, стр. 401. Разложеніемъ гиппуровой кислоты объясняется содержаніе бензойной к. и фенола въ навозной жижѣ (см. Liechti, Landw. Jahrb. d. Schweiz, 1906).

ходится въ большой массѣ, а слѣдовательно въ атмосферѣ насыщенной углекислотой.

Отъ этихъ первичныхъ измѣненій переходимъ теперь къ условіямъ разложенія и измѣненія навоза при болѣе продолжительномъ храненіи его подъ ногами животныхъ или на гноищѣ, гдѣ измѣняется также органическое вещество твердыхъ экскрементовъ и подстилки.

Разложеніе навоза въ кучѣ можетъ идти или при участіи аэробныхъ бактерій, или же при участіи анаэробныхъ. Оба эти процесса обыкновенно идутъ одновременно въ разныхъ частяхъ, сферы преобладанія того или другого распредѣляются въ кучѣ въ зависимости отъ доступа воздуха: при сухой погодѣ, болѣе доступъ воздуха аэробное броженіе далѣе заходитъ въ глубь, при дождливой погодѣ (или обильной поливкѣ), наоборотъ, граница между этими видами броженія приближается къ поверхности. Дегеренъ производилъ анализъ пробъ газа, взятыхъ съ различныхъ глубинъ навозной кучи; показателемъ анаэробнаго броженія можетъ служить въ данномъ случаѣ присутствіе метана <sup>1)</sup>.

| На поверхности кучи. | Въ срединѣ кучи.   | Въ глуб. слояхъ. |
|----------------------|--------------------|------------------|
| $\text{CO}_2$ —21,6% | $\text{CO}_2$ —31% | 22,7%            |
| $\text{O}_2$ —0 »    | 0 »                | 0 »              |
| $\text{N}_2$ —78,4 » | 35,3 »             | 0 »              |
| $\text{CH}_4$ —0 »   | 33,3 »             | 77,3 »           |

т.-е. въ глубинѣ кучи происходитъ чисто анаэробный процессъ и газы находящіеся тамъ получаются отъ разложенія углеводовъ подстилки и экскрементовъ, а въ наружныхъ слояхъ углекислота образуется насчетъ воздуха кислорода воздуха (поэтому содержаніе азота здѣсь отвѣчаетъ атмосферному, а въ глубь—убываетъ).

При ближайшемъ дождѣ зона анаэробнаго броженія передвигается вверхъ; при высыханіи наоборотъ, воздухъ проникаетъ глубже. Разложеніе при доступѣ воздуха идетъ гораздо энергичнѣе, чѣмъ въ условіяхъ анаэробныхъ. Въ зависимости отъ доступа воздуха также и температура внутри кучи можетъ значительно повышаться, какъ это показано въ опытахъ Гэйона (см. стр. 59).

По наблюденіямъ Déhéraïn'a температура внутри разлагающейся массы навоза, чаще всего колеблется около 60° C, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ оно доходитъ до 70 и даже 75° въ верхнихъ частяхъ кучи, слѣд., при доступѣ воздуха (въ глубокихъ же слояхъ, куда воздухъ не проникаетъ, температура обычно не превышаетъ 30—35°); при

<sup>1)</sup> См. Déhéraïn, Chimie agricole, 771 (1902).

50—55° наибольшую дѣятельность проявляетъ организмъ *Mesentericus Ruber*, а при болѣе высокихъ температурахъ — *Thermophilus Grignoni* (*Chimie agricole* 1902). Повидимому *Thermophilus Grignoni* предпочитаетъ субстратъ болѣе богатый азотистыми веществами, этимъ обстоятельствомъ Dupont объясняетъ большую способность нѣкоторыхъ видовъ навоза разогрѣваться, какъ напр. конскій навозъ, болѣе богатый азотомъ и предпочитаемый въ качествѣ источника тепла при набивкѣ парниковъ. По наблюденіямъ Дыбовскаго ходъ температуры въ навозѣ разнаго происхожденія характеризуется слѣдующими цифрами:

|                  |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Дни:             | 0 | 4  | 7  | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 50  |
| Конскій навозъ.  | 5 | 50 | 75 | 55 | 25 | 24 | 22 | 20 | 18 | 17 | 15° |
| Овечій . . . . . | 5 | 35 | 50 | 65 | 40 | 20 | 18 | 18 | 17 | 16 | 15° |
| Рог. ск. . . . . | 5 | 15 | 25 | 35 | 42 | 40 | 30 | 20 | 10 | 10 | 9°  |

Конскій навозъ раньше разогрѣвается и даетъ болѣе высокую температуру, которая по минованіи періода энергичнаго разложенія затѣмъ довольно быстро опускается; если желаютъ получить болѣе равномерное и продолжительное разогрѣваніе, то можно примѣшивать навозъ другого происхожденія или разлагающуюся листву (см. Dybowski. *Emploi du fumier dans la culture maraichère*, *Annales agronomiques* 1897). При опытахъ Шлезинга въ искусственной обстановкѣ анаэробное броженіе навоза шло еще при 72,5°, лишь при 80° оно останавливалось.

Однимъ изъ условій метановаго броженія является слабо щелочная реакція среды, которая въ навозѣ является результатомъ образованія углекислаго амміака. При искусственномъ осуществленіи метановаго броженія приходится кромѣ того повышать температуру; въ соотвѣтствіи съ условіями разложенія навоза, въ одномъ опытѣ Шлезинга 124 гр. навоза положены были въ колбу съ газоотводной трубкой; температура въ теченіе всего опыта (2 мѣсяца) поддерживалась 52° С. Собранные газы и навозъ послѣ опыта были анализированы; получено  $\text{CO}_2$  — 4.217 к. с., метана 4.557 к. с., слѣдовательно почти равные объемы, какъ и слѣдуетъ по принятому уравненію  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} = 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2)$ . Углерода содержалось въ навозѣ 12,6 гр., а въ продуктахъ собрано 4,7, т.-е. больше  $\frac{1}{3}$ ; при этомъ всѣхъ выделенныхъ газовъ превышаетъ потерю въ всѣхъ взятаго сухого вещества, вслѣдствіе того, что въ реакціи участвуетъ вода. Кромѣ распада на углекислоту и метанъ идетъ образованіе другихъ продуктовъ; такъ Дегеренъ констатировалъ присутствіе летучихъ кислотъ (валерьяновой, уксусной); одновременно подвигается впередъ и процессъ гумификаціи.

Для демонстраціи значительнаго количества выделяющагося въ навозной кучѣ метана можно, извлекая достаточный объемъ газа изъ внутреннихъ частей съ помощью аспиратора и удаливши углекислоту, пропустить газъ въ горѣлку и зажечь (Deherain).

Принято думать, что матерьяломъ для метановаго броженія служатъ клѣтчатка но и могутъ служить для этой цѣли другія вещества (крахмалъ, пентозаны, жирныя кислоты, даже бѣлки). По даннымъ одного опыта (Hebert) видно, что пентозаны разлагаются быстрѣе клѣтчатки; напр., при анализѣ одной пробы оказалось, что пентозановъ осталось 36%, а клѣтчатки 50% отъ исходнаго количества; вообще безазотистыя экстрактивные вещества разрушаются легче, древесина — труднѣе.

Иногда, кромѣ углекислоты и метана, наблюдается выдѣленіе и другихъ газовъ при анаэробномъ процессѣ, именно водорода, сѣроводорода и азота. По опытамъ Deherain'a, недостатокъ щелочи обусловливаетъ выдѣленіе водорода вмѣсто метана; тогда же по его наблюденіямъ, увеличиваются и шансы на выдѣленіе свободного азота. Сѣроводородъ можетъ происходить или отъ возстановленія сульфатовъ (особенно при введеніи гипса) или отъ распада бѣлковыхъ веществъ.

Превращенія азотистыхъ веществъ при дальнѣйшемъ храненіи навоза довольно сложны, и могутъ принимать повидимому различное направленіе въ зависимости отъ условій среды. Deherain и Dupont наблюдали разложеніе альбумина въ условіяхъ анаэробныхъ, заражая бактеріями навоза; по окончаніи опыта они нашли, что изъ 100 частей введеннаго азота 74 части были въ видѣ амміака, 22 — въ видѣ органическихъ соединений, а 4% — выдѣлилось въ видѣ свободного азота <sup>1)</sup>.

Но результатъ такого опыта не можетъ быть прямо перенесенъ на ходъ превращенія бѣлковыхъ веществъ въ навозѣ, такъ какъ тамъ имѣется преобладаніе безазотистыхъ матеріаловъ надъ азотистыми, поэтому возможно не только распаденіе, но и обратное образованіе бѣлка насчетъ амміака и углеводовъ въ тѣлѣ грибовъ и бактерій, причемъ образованіе бѣлка можетъ брать верхъ надъ распаденіемъ его.

Точно также азотистыя вещества мочи измѣняются только сначала

<sup>1)</sup> Интересно, что Д. и Д. наблюдали въ этомъ опытѣ выдѣленіе  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Выдѣленіе метана при разложеніи бѣлковыхъ веществъ подтверждено теперь болѣе точными изслѣдованіями Омедяскаго (Архивъ біологическихъ наукъ).



въ томъ же направленіи, какъ и въ стойлѣ, т. е., мочевины превращается въ углекислый амміакъ, причемъ это броженіе можетъ достигать максимумъ даже раньше, чѣмъ всѣ жидкіе экскременты попадутъ въ навозохранилище, если имъ приходится протекать по канавкѣ не очень малой длины. Но затѣмъ начинаютъ преобладать другіе процессы, благодаря своей сложности изученные еще мало. Съ такимъ громоздкимъ матеріаломъ какъ навозъ оперировать трудно; трудно даже брать среднія пробы, а результаты опытовъ лабораторныхъ не всегда можно переносить непосредственно на процессъ разложения навоза на гнищѣ, вслѣдствіе различія въ условіяхъ согрѣванія и охлажденія массы, вентиляціи и пр.

Тѣмъ не менѣе, превращенія азотистыхъ веществъ при храненіи навоза изучались въ различныхъ условіяхъ и обстановкѣ, и это изученіе показало, что вторичныя измѣненія и потери могутъ достигать значительныхъ величинъ.

Такъ, въ опытахъ Жули (Biederm. C. 1885) бралась смѣсь экскрементовъ лошади и мелко изрѣзанной соломы; смѣсь эта помѣщалась въ колоколъ съ тубулусомъ обращеннымъ внизъ, такъ чтобы избытокъ жидкости могъ стекать въ находящейся подъ колоколомъ сосудъ, сверху колоколъ закрытъ былъ стеклянной крышкой для уменьшенія испаренія, смѣсь поливалась время отъ времени жидкостью, которая стекала внизъ. Опытъ тянулся 6 мѣсяцевъ; сухого вещества за это время потерялось 50%; изъ 100 частей азота амміака осталось только 15; 40.7 части амміачнаго азота улетучились, а 44.7—перешли въ органическое вещество.

У Hebert'a <sup>1)</sup> также находимъ опытъ съ разложеніемъ въ искусственной обстановкѣ (при повышенной  $t^{\circ}$  щелочной реакціи); опытъ тянулся три мѣсяца. Въ соломѣ до опыта было азота 0.39 gr., осталось 0.24 gr. Азота въ формѣ  $NH_3$  было 2.64, осталось 0.40, въ азотъ растворимыхъ органическихъ соединений перешло 0.96, остальное количество улетучилось. При этомъ разложеніи азотъ амміачный переходитъ отчасти при соприкосновеніи съ гуминовыми веществами навоза въ соединеніе болѣе стойкое чѣмъ гуминово-амміачная соль (быть можетъ въ азотъ амидосоединеній, ср. стр. 76). Другая часть амміачнаго азота переходитъ въ органическое вещество благодаря жизнедеятельности грибовъ и бактерій, причемъ азотъ переходитъ въ бѣлковыя соединенія, входя въ составъ тѣла названныхъ организмовъ.

<sup>1)</sup> Работы Schloesing'a, Hebert'a, Deberain'a и нѣк. др. авторовъ по разложенію навоза напечатаны въ журналѣ Annales agronomiques (преимущественно 1890—1900).

И такъ, амміакъ, образующійся въ первыхъ стадіяхъ разложенія при распадѣ мочевины, въ послѣдующихъ стадіяхъ переходитъ въ значительной части въ азотъ органическихъ соединеній (отчасти растворимыхъ), отчасти нерастворимыхъ, обычно принимаемыхъ за бѣлковыя вещества (замѣтимъ, что при обычномъ суммарномъ опредѣленіи бѣлковый азотъ не отдѣляется отъ азота гуминовыхъ веществъ).

Спорнымъ является вопросъ, насколько въ навозѣ можетъ имѣть мѣсто нитрификація. Такъ какъ экскременты не содержатъ нитрифицирующихъ бактерій, то необходимо зараженіе ими со стороны; однако въ жидкихъ выдѣленіяхъ и въ навозной жижѣ эти бактеріи развиваться не могутъ (Niklewski); хотя твердыя составныя части навоза не содержатъ веществъ, мѣшающихъ размноженію нитрификаторовъ, но ихъ рѣзко выраженная потребность въ кислородѣ противорѣчитъ предположенію о возможности нитрификаціи внутри навозной кучи. Дѣйствительно, анализы показываютъ, что нитратовъ въ навозѣ мало <sup>1)</sup>, или онѣ совершенно отсутствуютъ. Лишь въ наружныхъ частяхъ кучи, въ особенности въ мѣстахъ соприкосновенія съ землею или торфяной покрывкой ихъ можетъ содержаться замѣтное количество. Въ массѣ же навоза только тогда можетъ быть много нитратовъ, если навозъ смѣшивается съ землею или торфомъ съ добавленіемъ извести <sup>2)</sup>, но взгляды на причины отсутствія (или малаго содержанія) нитратовъ у лицъ изучавшихъ это явленіе не сходятся: одни говорятъ, что они и не образуются, а другіе, что они распадаются благодаря дѣятельности денитрифицирующихъ бактерій или другихъ причинъ (напр., по мнѣнію нѣкоторыхъ авторовъ потери азота при гніеніи органическаго вещества навоза въ формѣ свободнаго азота возможны, благодаря тому, что, напр., при соприкосновеніи азотисто-

<sup>1)</sup> Вотъ данныя по распредѣленію азота въ нѣкоторыхъ образцахъ навоза, анализированныхъ Меркеромъ.

|    | Всего N | N<br>нераств.<br>органич.<br>соед. | N<br>амидный | N<br>амміака | N<br>нитратовъ |
|----|---------|------------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| 1) | 0,548   | 0,364                              | 0,017        | 0,157        | 0,004          |
| 2) | 0,730   | 0,454                              | 0,037        | 0,225        | 0,018          |
| 3) | 0,651   | 0,450                              | 0,005        | 0,148        | 0,048          |

Нужно замѣтить, что здѣсь цифры для нитратовъ должны быть принямы съ извѣстной осторожностью, такъ какъ обычные способы опредѣленія въ присутствіи амидосоединеній даютъ повышенныя показанія, если не принять специальныхъ мѣръ предосторожности.

<sup>2)</sup> Такъ въ опытахъ Меркера при смѣшеніи съ торфомъ и 10%  $CaO$  черезъ 5 мѣсяцевъ 29,8% отъ всего азота перешло въ форму нитратовъ.

кислых солей съ амидосоединениями въ присутствіи  $\text{CO}_2$  происходитъ разложеніе ихъ съ выдѣленіемъ свободного азота, независимо отъ дѣятельности бактерій).

Опыты Эренберга показываютъ, насколько энергично распадаются нитраты въ навозѣ при искусственномъ введеніи ихъ. Брались экскременты различныхъ животныхъ и подвергались анаэробному разложенію въ колбѣ съ газоотводной трубкой безъ прибавки нитратовъ и съ ними. Безъ нитратовъ шло метановое броженіе, а прибавка селитры подавляла его, вызывая выдѣленіе свободного азота и углекислоты. Такъ въ одномъ опытѣ послѣ прибавки  $\text{KNO}_3$  было въ газахъ, выдѣленныхъ изъ колбы:

|                      | $\text{CO}_2$ | N  | $\text{CH}_4$ |
|----------------------|---------------|----|---------------|
| Черезъ 10 дней . . . | 75            | 25 | 0             |
| » 20 » . . .         | 53            | 46 | 0             |
| » 30 » . . .         | 47            | 49 | 3             |
| » 60 » . . .         | 45            | 0  | 54            |

Слѣдовательно, метановое броженіе временно прекращалось подвліяніемъ того кислорода, который бактеріи брали изъ селитры, а послѣ того, какъ разлагалась селитра и потреблялся кислородъ ея, опять начиналось метановое броженіе (Bied. Centr. 1890). Этотъ опытъ наглядно показываетъ, насколько невыгодно было бы вводить въ навозъ матеріалы, содержащіе нитраты.

Дегеренъ думаетъ на основаніи своихъ наблюденій, что потери свободного азота возможны также и путемъ окисленія азотистаго органическаго вещества (слѣд., и безъ предварительной нитрификаціи); онъ наблюдалъ, при протягиваніи воздуха въ теченіе 3 недѣль черезъ колбу, содержащую нормальный навозъ и помѣщенную въ водяную баню при  $50^\circ \text{C}$ . потери азота въ 10—15%, сверхъ того азота, который выдѣленъ былъ въ видѣ амміака и уловленъ сѣрной кислотой (выше мы видѣли, что и при анаэробномъ процессѣ Дегеренъ наблюдалъ выдѣленіе свободного азота, но въ малыхъ количествахъ); эти наблюденія требуютъ еще ближайшаго изслѣдованія <sup>1)</sup>.

Подобныя наблюденія относительно выдѣленія свободного азота при аэробномъ разложеніи сдѣланы также и другими авторами (Pfeiffer, Jentys, Sjollem); Ehrenberg на основаніи своихъ опытовъ приходитъ къ заключенію, что „біологическое окисленіе амміака до свободного

<sup>1)</sup> Подобный фактъ выдѣленія свободного азота безъ предварительной нитрификаціи отмѣчаютъ Schittenhelm и Schröter (Z. f. physiologische Chemie, Bd. 40, 70).

азота“ можетъ быть столь же (если не болѣе) вѣроятнымъ источникомъ потерь азота, какъ и денитрификаціи <sup>1)</sup>.

Вопросъ о потеряхъ азота такимъ образомъ не является вполне выясненнымъ; но изъ сказаннаго видно, что мѣстное наступленіе нитрификаціи можетъ быть причиной потерь азота въ навозѣ, такъ какъ оно даетъ матеріалъ для денитрификаціи, которая должна наступать во внутреннихъ частяхъ кучи въ случаѣ просачиванья туда нитратовъ, образовавшихся въ поверхностныхъ слояхъ.

Въ навозѣ подвліяніемъ низшихъ организмовъ происходитъ рядъ качественныхъ измѣненій при общей убыли сухого вещества. Энергія этихъ превращеній находится въ зависимости отъ условія храненія навоза. Такъ, въ одномъ опытѣ отъ 1000 kilogr. сухого вещества навоза при храненіи его начиная съ 21 марта осталось къ

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| 18 мая . . . . .  | 775 kilogr. |
| 18 июня . . . . . | 704 „       |
| 18 июля . . . . . | 455 „       |

Значительная убыль въ послѣдній мѣсяцъ обусловлена высокой температурой июля, вызывающей болѣе энергичное разложеніе (также при доступѣ воздуха потери вещества бывають выше, чѣмъ при условіяхъ анаэробныхъ).

Въ опытѣ Фелькера утратилась половина сухого вещества навоза за годъ храненія его.

Какъ было указано, при опредѣленіи состава навоза въ разныхъ его состояніяхъ большое затрудненіе составляетъ выборъ средней пробы изъ этой громоздкой неоднородной смѣси; тщательное перелопачиванье, конечно, нѣсколько помогаетъ, но нужно имѣть въ виду, что при перелопачиваніи происходитъ улетучиваніе нѣкоторыхъ составныхъ частей (воды и амміака). Вслѣдствіе трудности составленія средняго образца навоза, учетъ азота и другихъ веществъ не достигаетъ той точности, какая часто была бы желательна.

А priori можно думать, что при рациональномъ храненіи потери азота не очень велики, меньше чѣмъ потери сухого вещества, такъ что должно наблюдаться относительное обогащеніе навоза азотомъ; это положеніе еще болѣе справедливо по отношенію къ зольнымъ веществамъ. Анализы подтверждаютъ эти соображенія.

Для азота относительное увеличеніе его содержанія не идетъ такъ быстро, какъ того можно было бы ожидать по убыли сухого веще-

<sup>1)</sup> Mittheilungen d. Landw. Institut Breslau, Bd. V, 871.



ства, вследствие того, что потерь азота избѣжать невозможно. Приводимъ цифры, указывающіе на измѣненіе состава навоза при его храненіи (изъ опытовъ Holdeleiss'a).

|                                         | Навозъ<br>свѣжій.   | Навозъ лежавшій<br>7 мѣсяцевъ. |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| N. . . . .                              | 0,396%              | 0,444%                         |
| % сухого вещества. . . . .              | 19,1 »              | 19,2 »                         |
| Амміачн. N. . . . .                     | не былъ опредѣленъ. | 0 »                            |
| N селитры . . . . .                     | 0 »                 | 0,01 »                         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 0,148 »             | 0,210 »                        |
| K <sub>2</sub> O . . . . .              | 0,511 »             | 0,725 »                        |
| CaO. . . . .                            | 0,424 »             | 0,640 »                        |

За время храненія навозъ потерялъ 31,2% сухого вещества.

Отсюда видно, что приростъ содержанія азота меньше, чѣмъ потеря сухого вещества (значитъ часть азота утрачена), что въ навозной кучѣ селитры почти нѣтъ, такъ какъ здѣсь на лицо условія, неблагоприятныя для нитрификаціи; отмѣчаемъ это въ виду того, что въ нѣкоторыхъ руководствахъ переведеніе азота въ форму нитратовъ считается одной изъ задачъ храненія. Но отсутствіе N амміака не является типичнымъ; по даннымъ Меркера, количества N въ этой формѣ въ большей части образцовъ навоза не было низкимъ.

Потеря сухого вещества различна въ зависимости отъ способа ухода за навозомъ, наприм., примѣняется ли поливка его навозной жижей (или водой) или же нѣтъ. Поливка обезпечиваетъ разложеніе кучи во всѣхъ частяхъ (при высыханіи разложеніе останавливается), уменьшаетъ излишнюю вентиляцію (связанную съ потерями NH<sub>3</sub>), предохраняетъ отъ развитія плѣсней, которыя, помимо того, что потребляютъ питательныя вещества, вредны еще и въ томъ отношеніи, что своими гифами переплетаютъ частицы навоза, такъ что его трудно разбить при распредѣленіи по полю. Развитіе плѣсени всегда указываетъ на избыточную вентиляцію (рѣзко выраженная аэробія), происходящую или отъ слишкомъ рыхлаго сложенія, или отъ высыханія; уплотненіе и поливка устраняютъ развитіе плѣсени. Поливка сильно способствуетъ сохраненію азота, понижая улетучиванье амміака какъ непосредственно, такъ и косвенно, вызывая энергичное разложеніе и заполненіе углекислотой поръ, не занятыхъ водой. Такъ, въ опытахъ Holdeleiss'a наблюдалась

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| убыль азота въ навозѣ безъ поливки въ . . | 23% |
| » » » » съ поливкой » . .                 | 13% |

Навозъ сохраняется или подъ ногами животныхъ, или же постепенно поступаетъ въ специально устроенныя навозохранилища. Последнія представляютъ или углубленія, такъ что навозъ находится отчасти ниже поверхности земли (рис. 65-й), или же навозохранилища устраиваются цѣликомъ надъ поверхностью земли и навозъ здѣсь сохраняется въ видѣ кучъ, расположенныхъ на непроницаемыхъ платформахъ (см. рис. 66-й), въ надземныхъ навозохранилищахъ въ сухомъ климатѣ и при недостаточномъ уходѣ возможность потерь больше, такъ какъ площадь соприкосновенія съ воздухомъ больше, и поливка является болѣе необходимой.

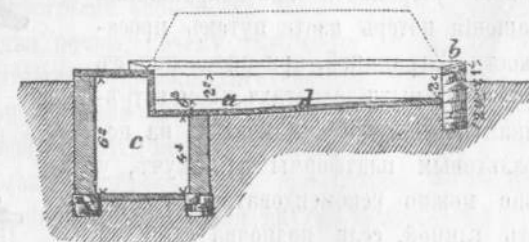


Рис. 65.

При храненіи въ ямахъ возамъ съ навозомъ возможно двигаться по поверхности навоза, надземныя же навозохранилища приходится нагружать и разгружать не въѣзжая на нихъ, такъ что въ этомъ случаѣ поперечные разрѣзы кучъ не могутъ быть произвольно большими (не больше 2-хъ сажень). Высота обычно не превышаетъ 5—6 ф. Иногда надъ навозохранилищемъ устраивается навѣсъ, что-

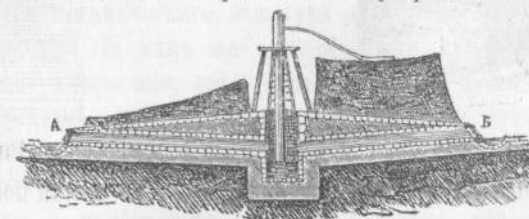


Рис. 66.

бы предохранить навозъ отъ выщелачиванія (рис. 67-й), но если климатъ не очень влажный, то надобности въ этомъ нѣтъ, такъ какъ все равно нужно будетъ увлажнять просыхающую кучу. Дно и стѣнки навозохранилища дѣлаются по возможности водонепроницаемыми, по крайней мѣрѣ изъ плотно-убитой глины, или выкладываются по глинянымъ или кирпичнымъ; встрѣчается и кладка на цементъ, или ас-

фальтъ, что болѣе необходимо для сборника или колодца (с, рис. 65-й), предназначеннаго для собиранія избытка жидкости, стекающей съ навоза (эта же жидкость служить и для поливки съ помощью насоса того или этого простого устройства напр. *чточнаго насоса*, рис. 68-й).

Потери веществъ въ навозохранилищахъ, вообще, значительны; почва на нѣкоторую глубину подъ навозохранилищемъ такъ обогащается азотомъ, что его здѣсь содержится не меньше, чѣмъ въ навозѣ (Müntz); экономическія соображенія должны указывать, насколько тщательно возможно устраивать навозохранилища для предотвращенія потерь азота путемъ просачиванія жидкости. Заграницей, при интенсивномъ хозяйствѣ и значительныхъ затратахъ, чаще встрѣчается каменная или кирпичная кладка, на цементъ и асфальтовые платформы для кучъ, у насъ же чаще можно рекомендовать дно ямъ просто убивать глиной, если подпочва сама по себѣ не является непроницаемой.

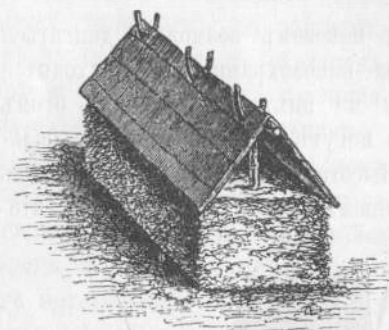


Рис. 67.

Для уменьшенія потерь N примѣняется еще земляная покрывка навоза. Степень благоприятнаго дѣйствія ея видна изъ слѣдующихъ цифръ Гольдфлейсса:

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| Потеря N навоза безъ покрывки. . . . . | 23% |
| » » » съ земл. покрывкой . . . . .     | 2 » |

Послѣдняя величина лежитъ въ предѣлахъ погрѣшности учета (вслѣдствіе трудности взятія средней пробы).

Съ той же цѣлью уменьшенія потерь N рекомендуютъ еще употреблять гипсъ, каинитъ, кислоты (кислые отбросы). Результаты при-

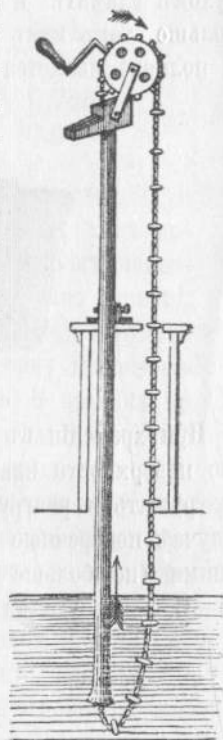


Рис. 68.

мѣненія этихъ веществъ показываютъ, что дѣйствительно ими удерживается значительное количество азота. Эти консервирующіе матеріалы вліяютъ и на убыль сухого вещества, какъ показываютъ слѣдующія цифры Holdeffleiss'a:

|                                      | Потеря сухого вещества. |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Навозъ консервир. веществъ . . . . . | 31%                     |
| » + гипсъ . . . . .                  | 22 „                    |
| » + каинитъ . . . . .                | 12 „                    |

Но консервирующія вещества являются до извѣстной степени помѣхой тѣмъ процессамъ, которые важны для полученія перегнившей массы съ извѣстными свойствами, благоприятно вліяющими на физическія свойства почвы, почему нѣкоторые авторы, какъ, напр., Дегеренъ, не считаютъ рациональнымъ употребленіе ихъ <sup>1)</sup>.

При земляной покрывкѣ замѣчается образованіе нитратовъ, такъ какъ съ почвой вносятся нитрифицирующія бактеріи и создается среда не столь богатая органическимъ веществомъ; но не слѣдуетъ допускать, чтобы нитраты проникали внутрь кучи путемъ выщелачиванія, такъ какъ при условіяхъ анаэробныхъ они будутъ разрушены. Въ этомъ обстоятельствѣ вѣроятно и лежитъ причина противорѣчія нѣкоторыхъ опытовъ съ земляной покрывкой.

Часто навозъ сохраняется и подъ ногами животныхъ. Въ томъ видѣ, какъ этотъ способъ примѣняется въ большинствѣ случаевъ, онъ является довольно совершеннымъ въ смыслѣ полученія удобрения съ возможно малыми потерями и малыми затратами на уходъ за навозомъ (не касаемся здѣсь соображеній зоогигіеническихъ). У Гольдфлейсса потеря органическаго вещества при этомъ способѣ была около 10%, а потери N такъ же мало замѣтны, какъ и при употребленіи земляной покрывки, такъ какъ навозъ постоянно уплотняется ногами животныхъ, смачивается мочей; послѣднее происходитъ особенно равномерно тогда, когда животные находятся не на привязи. Продуктъ получается вполне доброкачественный. Меркеръ также опредѣлялъ потери N навоза подъ скотомъ и въ навозохранилищѣ. Изъ 469 kilogr. N навоза утратилось:

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| Въ навозохранилищѣ . . . . . | 172 klgr. N. |
| Подъ скотомъ . . . . .       | 62 „ „       |

<sup>1)</sup> Одно время, на основаніи опытовъ Меркера, приписывали углекислому кальцію благоприятное вліяніе на ходъ разложенія навоза и сохраненіе азота; но такъ какъ Меркеръ примѣнялъ для консервированія не  $\text{CaCO}_3$ , а почву богатую  $\text{CaCO}_3$ , то означенный выводъ нужно считать необоснованнымъ (см. Bied. Centr. 1903, 373).



Въроятно при храненіи навоза подъ скотомъ на относительно хорошее сохраненіе азота влияетъ и то обстоятельство, что разложеніе свѣжевыдѣленныхъ жидкихъ экскрементовъ происходитъ въ атмосферѣ богатой углекислотой; а это, по Дегерену, и составляетъ главное условіе, предохраняющее углекислый аммоній отъ диссоціаціи и улетучиванья. Въ связи съ этимъ очевидно нужно поставить и наблюденіе Schneidewind'a, что если при закладкѣ навозной кучи на дно гноища положить слой уже разлагавшагося ранѣе навоза, то свѣжій навозъ, поступающій на гноище, теряетъ меньше азота, нежели если бы онъ лежалъ на дно гноища непосредственно <sup>1)</sup>.

Раземотримъ теперь вопросъ объ *удобрительномъ значеніи навоза*.

Съ навозомъ вносятся элементы какъ положительнаго, такъ отчасти и отрицательнаго дѣйствія на урожай; необходимо возможно расчислить роль отдѣльныхъ ингредиентов навоза.

Прежде всего въ навозѣ мы вносимъ азотъ и зольныя вещества, необходимыя для жизни растений, а затѣмъ мы имѣемъ цѣлый рядъ другихъ воздѣйствій; такъ, перегной, образующійся при разложеніи навоза, необходимъ для поддержанія извѣстныхъ физическихъ свойствъ почвы (прочность строенія, влагоемкость), а одновременно органическое вещество навоза, являясь источникомъ образованія углекислоты и гуминовыхъ кислотъ, способствуетъ растворенію минеральной пищи въ почвѣ; далѣе, съ навозомъ мы вносимъ массу микроорганизмовъ, работа которыхъ можетъ быть то полезной, то вредной, смотря по ихъ природѣ и по характеру той органической пищи, какая имъ дается въ составныхъ частяхъ навоза.

<sup>1)</sup> Landw. Jahrb. 1907, XXXVI, 588. Въ виду того, что цѣннымъ является собственно азотъ жидкихъ выдѣленій, а азотъ твердыхъ экскрементовъ оказываетъ отрицательное дѣйствіе, Sohlet предложилъ систематично проводить отдѣленіе жидкихъ выдѣленій отъ твердыхъ; это позволило бы избѣжать чередованія нитрификаціи съ денитрификаціей, вызывающаго потери азота.

При этомъ способѣ пришлось бы во многомъ поступать обратно принятымъ теперь правиламъ, а именно возможно полно отводить жидкія выдѣленія въ резервуаръ, возможно меньше позволяя имъ задерживаться соломой и смѣшиваться съ твердыми экскрементами. Жидкія выдѣленія при этомъ рекомендуется держать въ резервуарѣ, хорошо закрываемомъ, чтобы избѣжать потерь амміака, и примѣнять затѣмъ какъ энергичное азотистое (и также калийное) удобреніе; а твердыя экскременты—сохранять въ отдѣльной кучѣ вмѣстѣ съ соломой; при чемъ послѣ перепрѣванія это удобреніе будетъ служить преимущественно для обогащенія почвы гумусомъ и фосфорной кислотой (см. Deutsche Landw. Presse, 1898 г., стр. 358).

Только въ послѣднее время стали оцѣнивать разныя стороны навознаго удобрения и дѣйствіе отдѣльныхъ составныхъ частей навоза; въ настоящее время имѣются нѣкоторые данныя преимущественно относительно азота, значеніе же остальныхъ составныхъ частей навоза менѣе затронуто въ имѣющихся изслѣдованіяхъ.

Средній коэффициентъ использованія азота навоза въ первый годъ по внесеніи по Вагнеру равенъ 25%, т. е. дѣйствіе азота въ видѣ навоза составляетъ 25% отъ дѣйствія того же количества N въ видѣ селитры. Если бы, этотъ коэффициентъ былъ постояненъ, то можно было бы считать, что мы, давая съ полнымъ навознымъ удобреніемъ 2400 п. п. N вчетверо больше, чѣмъ при удобреніи селитрой, вносимъ равныя количества усвояемаго (въ первый годъ) азота въ обоихъ случаяхъ (см. стр. 151).

Работы Меркера, однако, показали, что Вагнеровскій коэффициентъ является очень приблизительнымъ, что къ нему подходит лишь небольшое число изслѣдованныхъ видовъ навоза, насколько можно судить на основаніи вегетационныхъ опытовъ. Меркеръ въ изслѣдованіяхъ имѣ образцахъ навоза (около 50) нашелъ такія отклоненія отъ величины Вагнеровскаго коэффициента:

|                  |     |     |     |     |     |    |        |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|--------|
| Число образцовъ  | 7   | 10  | 5   | 8   | 7   | 3  | 5      |
| Коэффициентъ . . | 60% | 45% | 36% | 25% | 14% | 3% | —13,8% |

Такимъ образомъ, образцы разнаго происхожденія оказали весьма различное дѣйствіе, причемъ иногда дѣйствіе это было даже отрицательнымъ.

Меркеръ пытался установить связь коэффициентовъ использованія съ составомъ и происхожденіемъ навоза, что ему отчасти и удалось сдѣлать.

Если ту же серію анализированныхъ образцовъ разгруппировать по происхожденію, то оказывается:

|                                                        |      |
|--------------------------------------------------------|------|
| Для овечьего навоза коэффициентъ использованія N . . . | 48%  |
| » конскаго » . . .                                     | 29 » |
| » коровьяго » . . .                                    | 26 » |

Если же, не различая происхожденія, расположить образцы въ порядкѣ по содержанію азота, то чѣмъ образчикъ содержитъ больше N, тѣмъ больше коэффициентъ его использованія.

Коэффициентъ использованія.

Въ среднемъ, если %N = 1% . . . . 61%

» %N = 0,6 » . . . . 47 »

» %N = 0,2 и меньше — 17 »

Совпадение замѣчается лишь на среднихъ числахъ, въ отдѣльныхъ случаяхъ послѣдовательность не вполне правильная.

Меркеръ и др. пытались опредѣлить дѣйствіе связаннаго N въ отдѣльныхъ частяхъ навоза—калѣ, подстилкѣ, жидкой части. Полученные результаты обнаружили рѣзкую противоположность въ значеніи отдѣльныхъ ингредиентовъ. Такъ, у Меркера при внесении равныхъ количествъ азота въ разныхъ формахъ получились слѣдующія измѣненія въ урожаѣ:

|                                            | Приростъ<br>урожаа. |
|--------------------------------------------|---------------------|
| При удобреніи селитрой . . . . .           | + 59 gr.            |
| » » мочей . . . . .                        | + 55 »              |
| » » лошадинымъ каломъ . . . . .            | — 8,9 »             |
| » » экскрементами рогатаго скота . . . . . | — 3,7 »             |
| » » » овцы . . . . .                       | + 9,9 »             |

Азотъ жидкой части навоза по дѣйствию довольно близокъ къ дѣйствию N селитры, а азотъ въ формѣ кала не только плохо используется самъ, но еще мѣшаетъ использованию азота почвы, вызывая денитрификацію и тѣмъ понижаетъ урожай. Этотъ опытъ не представляетъ чего-нибудь исключительнаго, онъ повторялся очень многими изслѣдователями, и въ нашихъ культурахъ не разъ тоже дѣйствіе проявлялось въ рѣзкой формѣ, если удобрения вносились подъ яровыя весной, незадолго до посѣва.

Особенно сильно при такихъ условіяхъ понижаютъ урожай калъ и солома. Приводимъ цифры Меркера относящіяся къ соломѣ.

|                           | Урожай. |
|---------------------------|---------|
| Безъ удобренія . . . . .  | 5 gr.   |
| Удобр. селитрой . . . . . | 37 »    |
| » соломой . . . . .       | 2 »     |

Такъ какъ Меркеру и Вагнеру, высказанъ былъ упрекъ, что они брали слишкомъ большія количества соломы, никогда не встрѣчающіяся въ практикѣ, то въ одномъ изъ нашихъ опытовъ испытано было вліяніе различныхъ количествъ соломы, начиная съ  $\frac{1}{4}\%$  и до 1% отъ вѣса почвы (что отвѣчаетъ приблизительно 400—1600 пудамъ на десятину); вотъ полученные результаты:

|               | Безъ соломы | $\frac{1}{4}\%$ | $\frac{1}{2}\%$ | 1% отъ вѣса почвы. |
|---------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Урожай ячменя | 16,2        | 10,0            | 6,6             | 3,0.               |

Подобные результаты получены нами и въ другихъ опытахъ (см. рис. 69 и 70) съ различными растеніями (кроме бобовыхъ).

Такимъ образомъ уже  $\frac{1}{4}\%$  соломы вызывала значительное пониженіе урожая, а такое количество можетъ заключаться въ непере-

Рис. 69. Просо въ песчаныхъ культурахъ.

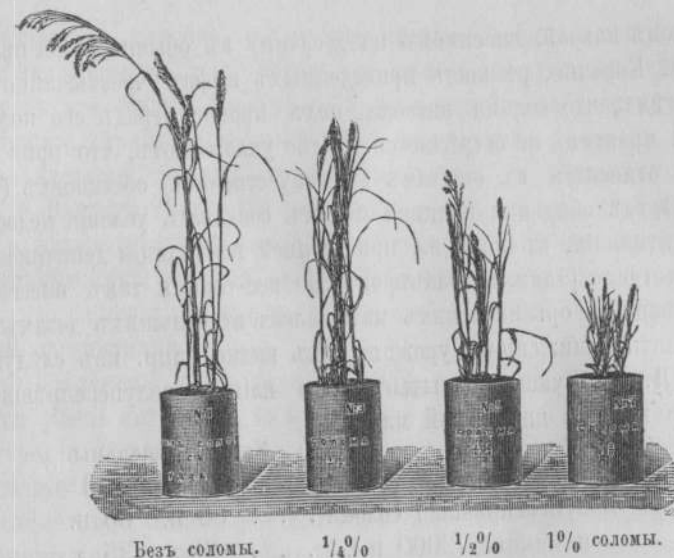
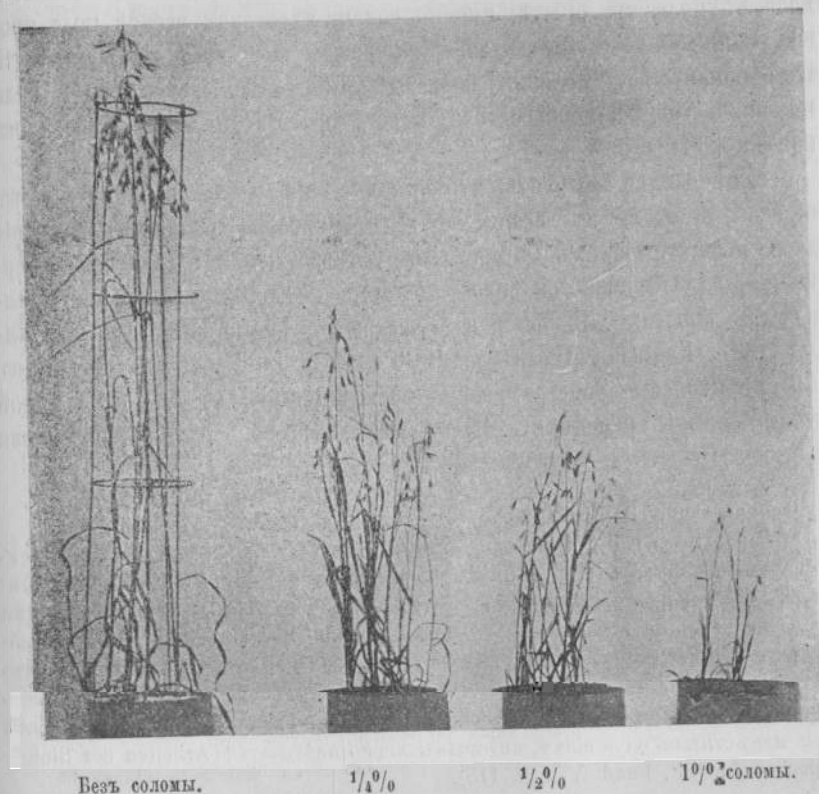


Рис. 70. Овесъ въ почвенныхъ культурахъ.





прѣвшемъ навозѣ, вносимомъ на десятину въ обычныхъ на практикѣ дозахъ. Конечно, рѣзкость приведенныхъ цифръ чрезвычайно повышена тѣмъ, что солома внесена подъ яровое передъ его посѣвомъ, что на практикѣ не встрѣчается. Далѣе указываютъ, что приводимыя цифры относятся къ опытамъ въ искусственной обстановкѣ (въ сосудахъ), гдѣ обильная поливка можетъ создавать условія недостаточной вентиляціи, въ полѣ же при лучшей вентиляціи денитрификація не достигаетъ такихъ размѣровъ; но все-таки и тамъ внесеніе неперепрѣвшихъ органическихъ матеріаловъ въ большихъ дозахъ даетъ себя знать пониженіемъ урожая, какъ видно напр. изъ слѣдующаго опыта Я. М. Жукова, испытывавшаго вліяніе полуперепрѣвшей соломы и мякины на урожай мякины:

|                              | Урожай пшеницы. |       |
|------------------------------|-----------------|-------|
| Безъ удобрения . . . . .     | a)              | b)    |
| Полуперепрѣвшая солома . . . | 83 п.           | 60 п. |
| и мякина (2000 п.). . . . .  | 49 »            | 35 »  |
| Навозъ (2000 п.). . . . .    | 93 »            | 86 »  |

Schneidewind <sup>1)</sup>, наблюдалъ также отрицательное дѣйствіе соломы и кала въ полевоомъ опытѣ; именно, солома внесенная весной подъ яровое, понижала втеченіе двухъ лѣтъ урожай горчицы и лишь на третій годъ обнаружила положительное дѣйствіе; смѣсь же соломы и кала понизила урожай первого года, и со второго года уже наблюдалось полезное дѣйствіе.

Нужно однако замѣтить, что при внесеніи заблаговременномъ (въ пару, а особенно съ осени, за годъ до посѣва озимыхъ) дѣйствіе даже неперепрѣвшихъ матерьяловъ успѣваетъ или сгладиться совершенно, или выражается далеко не столь рѣзко, какъ въ вышеупомянутыхъ опытахъ Вагнера и Меркера (см. напр. опыты А. А. Калужскаго, Извѣстія Института 1906 г.; также на опытной станціи въ им. Харитоненко констатирована подъ вліяніемъ соломы запаханной въ маѣ лишь временная убыль нитратовъ, ко времени же посѣва озимыхъ различія сглаживались <sup>2)</sup>).

<sup>1)</sup> Bied. Centr. 1903, 370.

<sup>2)</sup> См. выпускъ 3-й трудовъ станціи отчетъ В. И. Сазонова. На Шатиловской станціи въ 1901 году наблюдалось пониженіе урожая подъ вліяніемъ соломы запаханной въ іюнѣ, но зола отъ такого же количества соломы вызвала повышеніе (ср. ниже мнѣніе Костычева по тому же вопросу). Hiltner на основаніи своихъ опытовъ приходитъ къ выводу, что „солома представляетъ весьма цѣнное долго дѣйствующее удобрѣніе, которое можетъ принести вредъ непосредственно послѣ внесенія только при извѣстныхъ условіяхъ, которыхъ легко избѣжать“ (Arbeiten der Biologischen Anstalt, Band V, стр. 115).

Желательно, конечно, увеличеніе числа подобныхъ данныхъ, при томъ для разныхъ дозъ соломы и навоза, но уже изъ сказаннаго слѣдуетъ, что солома сама по себѣ, до перепрѣванія, можетъ являться факторомъ, отрицательно вліяющимъ на урожай.

Что касается причинъ указаннаго явленія, то первоначально Меркеръ и Вагнеръ объяснили пониженіе урожая при удобреніи соломою и неперепрѣвшимъ навозомъ исключительно дѣятельностью денитрифицирующихъ бактерій, вносимыхъ въ почву съ этими матеріалами, такъ что растенія голодаютъ отъ недостатка нитратовъ, разрушаемыхъ этими организмами.

Это объясненіе не является полнымъ; если дѣйствительно, наблюдается убыль нитратовъ, то и въ почвѣ находятся денитрифицирующія бактеріи, слѣдовательно одно внесеніе ихъ извнѣ еще много не измѣнило бы дѣла, если бы одновременно не измѣнялись условія ихъ существованія. Но съ соломою, неперепрѣвшимъ навозомъ въ почву вносится много органическаго вещества, чѣмъ и создаются благоприятныя условія для развитія денитрифицирующихъ бактерій. То же самое явленіе пониженія урожая произойдетъ и въ томъ случаѣ, если внести въ почву и другія органическія вещества—углеводы, или взять стерилизованную солому. По опытамъ Дегерена, напр., крахмалъ оказался веществомъ вызывающимъ усиленное разрушеніе нитратовъ въ почвѣ, еще въ большей мѣрѣ, чѣмъ солома; черезъ мѣсяцъ послѣ внесенія его въ почву нитратовъ осталось 33% отъ прежняго количества, а при внесеніи соломы въ тѣхъ условіяхъ—69%.

У Крюгера и Шнейдевинда и также Меркера получены при вегетационныхъ опытахъ такія цифры:

|                         | У Крюг. и Шнейд. | У Меркера.                    |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|
| Безъ органическихъ вещ. | 33,7 гр.         | 51,3 гр. (тоже).              |
| + нестерилизован. калъ  | 10,2             | 4,0 + солома не стерилизован. |
| + стерилизован. „       | 9,0              | 4,7 + солома стерилизован.    |

Какъ видимъ, стерилизація не устраняла паденія урожая.

При лежаніи навоза органическое вещество перепрѣваетъ, и денитрифицирующая способность соломы и кала падаетъ.

Уже давно извѣстно, что навозъ долженъ до извѣстной мѣры перепрѣть для проявленія своего полезнаго дѣйствія; сообщенные опыты даютъ объясненія этого наблюденія.

Въ одномъ опытѣ былъ взятъ свѣжій навозъ разныхъ видовъ животныхъ и опредѣлено было денитрифицирующее его дѣйствіе. Затѣмъ навозъ былъ помѣщенъ на 50 дней въ термостатъ, при благоприят-

ныхъ условіяхъ разложенія, послѣ чего снова была измѣрена денитрифицирующая способность взятаго матеріала. Измѣненіе послѣдней видно изъ слѣдующихъ цифръ одного опыта:

| денитрифицирующая способ-<br>ность навоза | Свѣжаго. | Бывшаго въ термостатѣ. |
|-------------------------------------------|----------|------------------------|
| Конскій навозъ. . . .                     | 100%     | 27,7%                  |
| Навозъ рогат. скота. .                    | 97,7     | 14,4                   |
| Овечій навозъ . . . .                     | 70,4     | 17,0                   |

Пониженіе денитрифицирующей способности (въ этомъ и аналогичныхъ случаяхъ) при разложеніи навоза объясняется сѣуженіемъ оттошенія азотистой и безазотистой части матеріала.

Кромѣ свойствъ самаго навоза, энергія денитрификаціи зависитъ еще отъ внѣшнихъ условій, какъ-то отъ влажности среды; повидимому, при томъ же самомъ химическомъ составѣ возможна денитрификація — при избыточной влажности; вотъ одинъ относящійся сюда опытъ Варрингтона:

| % воды въ почвѣ. | Количество образовавшейся азотной кислоты.<br>Безъ навоза. | При удобреніи навозомъ<br>(2% отъ вѣса почвы). |
|------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 5%               | 250 mgr.                                                   | 270 mgr.                                       |
| 10 »             | 260 »                                                      | 260 »                                          |
| 15 »             | 270 »                                                      | 490 »                                          |
| 20 »             | 290 »                                                      | 290 »                                          |
| 25 »             | 380 »                                                      | 220 »                                          |

Если внесеніе навоза напр. при 15% влаги не нарушало нормальнаго хода нитрификаціи (даже повышало его, доставляя матеріалъ), то при 25% наоборотъ — количество нитратовъ уменьшалось, (слѣдствіе ли ихъ разрушенія или менѣе энергичнаго образованія, при маломъ доступѣ воздуха, вызванномъ заполненіемъ поръ водой и потребленіемъ кислорода на образованіе углекислоты).

Отчасти въ указанныхъ фактахъ, быть можетъ, кроется причина наблюдающагося иногда неблагопріятнаго дѣйствія навоза въ районахъ экстенсивнаго хозяйства, обильныхъ цѣлиной: обыкновенно въ такихъ районахъ нѣтъ правильнаго ухода за навозомъ, онъ лежитъ пересохшимъ и потому не разлагается; если къ этому присоединить неправильную обработку пара, связанную съ изсушеніемъ почвы, то понятно, что неразложившійся навозъ плохо разлагается и послѣ запашки, а затѣмъ способенъ вызвать убыль нитратовъ и понизить урожай.

Поэтому весьма важно при опытахъ по вліянію навознаго удобрения обращать вниманіе на качество употребляемаго навоза.

Здѣсь уместно вспомнить, что Костычевъ <sup>1)</sup>, еще ранѣе всѣхъ указанныхъ выше работъ по денитрификаціи, считая удобреніе соломой на почвахъ черноземныхъ вреднымъ, утверждалъ, что большей пользы нужно ожидать при удобреніи не самой соломой, а продуктами ея перегниванія или же золой, которая получается при сжиганіи разбросанной соломы по полю; мотивировалъ онъ это тѣмъ, что при употребленіи свѣжей соломы вносится значительная масса углеводовъ и азотъ почвы идетъ на построеніе тѣла развивающихся въ въ большомъ количествѣ грибовъ и бактерій, а поэтому нитраты не накапливаются и высшія растенія чувствуютъ недостатокъ азота.

Значенія этихъ соображеній, дѣйствительно, отрицать нельзя; можно согласовать это объясненіе съ позднѣйшими наблюденіями, допуская, что имѣютъ мѣсто оба процесса — и денитрификаціи, и потребленіе азота въ смыслѣ Костычева при внесеніи матеріаловъ содержащихъ много клѣтчатки и пентозановъ. Дѣйствительно, въ нѣкоторыхъ опытахъ послѣдняго времени находимъ фактическое подтвержденіе этого двойственнаго расходованія азота нитратовъ при внесеніи органическаго вещества (Schneidewind, Pfeiffer, Lemmermann, Rogoyski).

Оказывается, что въ зависимости отъ условій и состава среды, большая или меньшая часть азота исчезающихъ нитратовъ *переводится въ органическое вещество*, такъ что правильнѣе говорить не о денитрификаціи только, а объ *исчезновеніи нитратовъ вообще* или по крайней мѣрѣ уменьшеніи ихъ количества. Для результата перваго года конечно безразлично, отчего произошло паденіе урожая: отъ денитрификаціи, или отъ указаннаго Костычевымъ процесса потребленія нитратовъ, но въ случаѣ второмъ можно еще надѣяться на использование этого «ретроградивавшаго» азота въ послѣдующіе годы, въ первомъ же случаѣ онъ теряется безвозвратно.

Pfeiffer и Lemmermann <sup>2)</sup> полагаютъ, что въ вышеописанныхъ опытахъ съ соломой и каломъ (Меркера, Вагнера и др.) денитрификаціи собственно даже не принадлежала главная роль, а больше значенія имѣлъ переходъ растворимыхъ азотистыхъ соединений въ бѣлки и другія трудно растворимыя формы, а также быть можетъ прямой вредъ нѣкоторыхъ продуктовъ разложенія избыточно введеннаго органическаго вещества (подобныя указанія дѣлаетъ и Hiltner).

Въ связи съ вышесказаннымъ нужно ожидать, что неперепрѣвшая солома должна сильнѣе подавлять дѣйствіе селитры, чѣмъ сѣрноки-

<sup>1)</sup> Обработка и удобреніе чернозема, 1892.

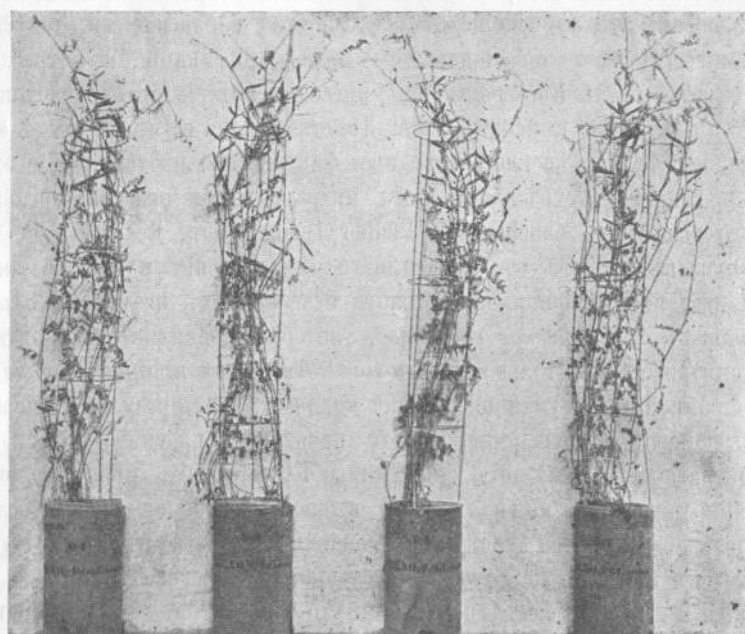
<sup>2)</sup> Landw. Vers. Stat. Bd. 54.



лаго аммонія, такъ какъ въ первомъ случаѣ денитрификація въ собственномъ смыслѣ слова (потеря свободнаго азота) будетъ больше; это дѣйствительно наблюдалось въ опытахъ С.-П.Б. с. хоз. лабораторіи <sup>1)</sup>.

При этихъ же опытахъ констатируется, что солома не оказываетъ подавляющаго дѣйствія на развитие бобовыхъ, что стоитъ очевидно въ связи съ ихъ способностью пользоваться азотомъ воздуха; аналогичный результатъ наблюдался затѣмъ и въ нашихъ культурахъ 1909 года (см. рис. 71-й).

Рис. 71. Вика въ почвенныхъ культурахъ.



Безъ соломы. 1/4% 1/2% 10% соломы.

Нужно однако замѣтить, что во всякомъ случаѣ въ дѣйствительности гораздо рѣже будутъ встрѣчаться тѣ условія, какія наблюдались при вегетационныхъ опытахъ Вагнера и Меркера, такъ какъ вносится обычно не свѣжая, а болѣе или менѣе перепрѣвшая солома

<sup>1)</sup> См. IV отчетъ, статьи проф. П. С. Коссовича. Въ нашихъ культурахъ солома даже смягчала вредное дѣйствіе, вызываемое стрнокистымъ аммоніемъ при недостаткѣ основаній въ почвѣ (см. V и VI отчеты о вегетационныхъ опытахъ).

и экскременты, количества вносятся не столь большія, и время внесенія иное (не весной подъ яровое, а въ пару подъ озимое). Что перепрѣваніе даже втеченіе сравнительно малаго промежутка времени устраняетъ вредныя стороны дѣйствія соломы, видно изъ опытовъ П. С. Коссовича, въ которыхъ достаточно было 47 дневного разложения, чтобы солома потеряла способность оказывать понижающее дѣйствіе на урожай <sup>1)</sup>.

Въ работахъ С. Л. Франкфурта и В. И. Сазанова (1. с.) имѣются данныя о вліяніи различныхъ количествъ обычнаго въ хозяйствахъ (слѣд. довольно соломистаго) навоза на ходъ нитрификаціи въ черноземныхъ почвахъ и на урожай озимыхъ: оказалось, что ко времени посѣва озимыхъ количество нитратовъ не разнится существенно въ почвѣ унавоженной и не унавоженной:

|                          | Нитратный азотъ (миллиграммы на килограммъ) |                    |
|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
|                          | 1904 г.                                     | 1905 г.            |
| Безъ удобрения . . . . . | 24,9                                        | 26,5               |
| 1000 п. навоза . . . . . | 30,5                                        | 30,1               |
| 2000 » » . . . . .       | 27,4                                        | 25,9               |
| 2500 » » . . . . .       | 26,6                                        | 36,8               |
| 3000 » » . . . . .       | 21,5                                        | 31,3               |
| 4000 » » . . . . .       | 23,6                                        | 31,9 <sup>2)</sup> |

Но все же этими цифрами врядъ ли можно пользоваться для обоснованія утвержденія, что денитрификація (= убыль нитратовъ) въ обычныхъ условіяхъ подъ вліяніемъ даже большихъ количествъ (хотя бы и соломистаго) навоза вовсе не происходитъ; очевидно, что въ означенныхъ случаяхъ имѣетъ мѣсто борьба двухъ процессовъ, нитрификаціи и потребленія нитратовъ; отъ внесенія доброкачественнаго навоза естественно ожидать черезъ извѣстный промежутокъ повышенія содержанія нитратовъ въ почвѣ, если же его не наблюдается, то значитъ процессъ нитрификаціи былъ замаскированъ обратными

<sup>1)</sup> См. Труды СПБ. сельскохозяйств. лабораторіи, выпускъ IV-й. Точно также въ вегетационныхъ опытахъ В. И. Сазанова конскій калъ, внесенный съ осени, оказывалъ не понижающее, а повышающее дѣйствіе (см. 3-й выпускъ трудовъ Ивановской станціи въ им. Харитоненко); этотъ фактъ интересенъ, какъ подтвержденіе ранѣе упомянутого соображенія, что въ большинствѣ вегетационныхъ опытовъ подавляющее вліяніе соломы сказалось рѣзче чѣмъ въ обычныхъ условіяхъ хозяйства главнымъ образомъ благодаря весеннему ея внесенію.

<sup>2)</sup> Подобныя же данныя для Полтавскаго опытнаго поля см. въ „Итогахъ работъ за 20 лѣтъ“, вып. 2-й, стр. 282.

вліяніями и результатъ внесенія большихъ количествъ азотистыхъ соединений временно сведенъ на нѣтъ благодаря присутствію мало перепрѣвшей соломы; очевидно, благоприятное дѣйствіе въ этихъ случаяхъ скажется лишь позднѣе, когда исчезнетъ избытокъ внесеннаго неразложившагося органическаго вещества.

Мы касались пока только одной стороны дѣйствія навоза, именно вліянія его въ качествѣ азотистаго удобрения; но несомнѣнно, что и другія положительныя вліянія навоза (какъ химическія, такъ и физическія) проявляются параллельно съ использованиемъ азота.

Мы обладаемъ пока небольшимъ числомъ цифровыхъ данныхъ по отношенію усвояемости другихъ составныхъ частей навоза, но эти данныя говорятъ скорѣе за лучшее использование  $P_2O_5$  и  $K_2O$  въ навозѣ по сравненію съ азотомъ; такъ въ одномъ опытѣ Меркера констатировано было хорошее использование фосфорной кислоты въ первый же годъ (около 50% по сравненію съ растворимой фосф. к.). На Шатиловской станціи наблюдалось въ одномъ случаѣ использование около 65%. Schulze (Бреславль) наблюдалъ на легкихъ почвахъ использование 50—60% фосфорной кислоты навоза<sup>1)</sup>. Относительно кали можно аргументировать, что оно должно находиться главнымъ образомъ въ растворѣ (такъ какъ содержится въ жидкихъ выдѣленіяхъ по преимуществу) и потому обладать хорошей усвояемостью; въ согласіи съ этимъ стоятъ наблюденія 'Schneidewind'a, по которымъ картофель въ первый годъ усваиваетъ около 60%  $K_2O$ , введеннаго съ навозомъ. Но и для фосфорной кислоты и для кали желательны болѣе обстоятельныя опытыя данныя<sup>2)</sup>.

Нужно замѣтить, что чувствуется недостатокъ данныхъ не только въ такомъ расчлененномъ учетѣ, но даже и въ суммарномъ учетѣ дѣйствія навоза; въ этомъ отношеніи желательны систематическіе опыты, ибо простыми записями въ хозяйствахъ, даже самыми точными, трудно пользоваться въ указанныхъ цѣляхъ, по той простой причинѣ, что остается недоказаннымъ тождество унавоживаемыхъ участковъ съ неунавоживаемыми; часто даже завѣдомо этого равенства нѣтъ, если въ хозяйствѣ предпочитаютъ унавоживать чаще и сильнѣе «слабыя» десятины, чтобы выровнять поля (см. по этому поводу статьи Н. И. Шатилова и Я. А. Фокина въ «Хозяинѣ» за 1902 и 1903 г.г.).

<sup>1)</sup> Bied. Centralblatt, 1909.

<sup>2)</sup> Попытки прослѣдить распределеніе фосфора по разнымъ категориямъ соединений (фосфоръ минеральныхъ солей, фитина, фосфатидовъ, бѣлковъ и др. нераств. органич. веществъ) въ связи съ условіями храненія навоза см. въ работахъ М. А. Егорова (Извѣстія Моск. С. Х. Инст. и Журналъ Оп. Агрономіи за 1911 годъ).

*Вывозка навоза.* При нагрузкѣ навоза пользуются обыкновенно вилами; за границей употребляются иногда еще особые ножи съ пилообразнымъ лезвіемъ для отрѣзыванія вертикальныхъ слоевъ навоза.

Рекомендуется брать навозъ во всю высоту кучи, а не снимать слоями, чтобы не получить неравномѣрнаго по качеству распределенія навоза въ полѣ (такъ какъ верхніе слои будутъ менѣе разложившимися, какъ позднѣе поступившіе на гноище).

При вывозкѣ въ поле по возможности не слѣдуетъ оставлять навозъ лежать не запаханнымъ, въ обычныхъ небольшихъ кучахъ, равномѣрно распределяемыхъ при сбрасываніи съ возовъ, передъ послѣдующимъ ручнымъ разбрасываніемъ. Въ дождливую погоду такія кучи выщелачиваются дождемъ, растворимыя азотистыя вещества проникаютъ съ дождемъ въ почву и мѣсто подъ кучей оказывается переудобреннымъ; при разбрасываніи остальные части поля получаютъ главнымъ образомъ солому, которая не окажетъ положительнаго или даже проявитъ только отрицательное дѣйствіе; слѣдствіемъ является типичная картина пестраго поля, на которомъ темной зеленью и пышнымъ ростомъ выдѣляются мѣста бывшихъ кучъ, остальная часть поля покрыта растеніями плохо развитыми и блѣдной окраски.

Точно также въ сухую погоду такія мелкія кучи теряютъ цѣнныя азотистыя составныя части, такъ какъ они просыхаютъ и пронизываются воздухомъ, уносящимъ амміакъ.

Поэтому лучше навозъ послѣ вывозки тотчасъ разбрасывать и запахивать.

Если же почему либо вывозка навоза должна быть произведена тогда, когда запахать его нельзя (напр. поле занято растеніями), то рекомендуется складывать навозъ съ краю поля въ большія кучи, которыя подстилаются и прикрываются землей, во избѣжаніи потерь жижи и летучихъ продуктовъ, и въ которыхъ навозъ продолжаетъ разлагаться также, какъ и на гноищѣ, до тѣхъ поръ пока возможно распределить его по полю (что въ этомъ случаѣ связано съ вторичной нагрузкой и возкой).

Сказанное выше о мелкихъ кучахъ не относится въ такой мѣрѣ къ зимней вывозкѣ навоза: при суровыхъ зимахъ малыя кучи легко промерзаютъ и легко сохраняются безъ измѣненія до весны, такъ что теперь не происходитъ. При таяніи снѣга кучи остаются лежать какъ бы на ледяныхъ подставкахъ; иногда приходится разбрасывать ихъ не сразу, а по мѣрѣ оттаиванія, которое замедляется и для почвы подъ кучами; если не запоздать съ разбрасываніемъ и запа-



хиваньемъ вывезеннаго зимой навоза, то избѣгаются какъ потери, такъ и избыточное удобреніе мѣстъ, гдѣ лежали кучи (на Полтавскомъ опытномъ полѣ не наблюдалось замѣтныхъ различій между зимней и ранней весенней вывозкой навоза; см. «Итоги работъ за 20 лѣтъ», II, 312).

Многіе рекомендуютъ при вывозкѣ въ теплое время года разбрасывать навозъ по полю сейчасъ же и оставлять его лежать разбросаннымъ, если нельзя запахать тотчасъ; этотъ способъ можетъ быть и рациональнѣе, чѣмъ оставленіе навоза въ небольшихъ кучахъ, хотя хуже, чѣмъ запашка его немедленно вслѣдъ за вывозкой и раструской. Обычно утверждаютъ, что при этомъ потерь азота не происходитъ, такъ какъ почва поглощаетъ амміакъ; но это поглощеніе не можетъ быть полнымъ, если навозъ не смѣшанъ съ землею и лишь разбросанъ по поверхности; значительная часть амміака уносится токомъ воздуха и въ почву не попадаетъ. Мало того, имѣются данныя, что потеря азота при обильномъ доступѣ воздуха не ограничивается амміачнымъ азотомъ; Дегеренъ доказываетъ, что и въ этихъ условіяхъ возможны потери въ видѣ свободного азота. Что органическое вещество при окисленіи способно выдѣлять свободный азотъ, Дегеренъ обнаруживаетъ тѣмъ, что если пропускать воздухъ черезъ трубку съ навозомъ и улавливать амміакъ, то количества N въ уловленныхъ продуктахъ + оставшійся N навоза неравны исходному количеству азота.

Дегеренъ въ одномъ изъ опытовъ протягивалъ черезъ трубку съ навозомъ воздухъ обыкновенный и озонированный. Результаты опыта были таковы:

|                                                     |               |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| N въ навозѣ до опыта. . . . .                       | 537 mlgr.     |
| » » » въ концѣ опыта. . . . .                       | 413 »         |
| » поглощено $H_2SO_4$ . . . . .                     | 42 »          |
| Недостаетъ N противъ начальной колич. его . . . . . | 81 » или 15%. |

При пропусканіи озонированнаго воздуха доставало 19% N. Следовательно, при разложеніи органическаго вещества происходила потеря N не только въ формѣ  $NH_3$ , но и въ формѣ не поглощаемой сѣрной кислотой, вѣроятно же всего въ видѣ свободного N.

Deherain приводитъ нѣсколько опытовъ по сравненію дѣйствія навоза непосредственно запаханнаго и оставленнаго лежать на поверхности, и каждый разъ запаханіе оказалось лучшимъ пріемомъ; вотъ примѣры:

|                                          | Навозъ тотчасъ запаханъ. | Навозъ остав. лежать на поверхн. |
|------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Кукуруза на зелен. кормъ 1878 г. . . . . | 78,000                   | 71,600 kg.                       |
| » » » » 1879 » . . . . .                 | 87,000                   | 58,000 »                         |
| Картофель . . . . . 1878 » . . . . .     | 202                      | 188 »                            |
| » » » » 1879 » . . . . .                 | 275                      | 252 »                            |

Для нашихъ условій имѣемъ опытъ Я. М. Жукова (им. Харитоненко) съ озимыми; навозъ частью запахивался тотчасъ, частью оставлялся лежать или разбросаннымъ въ мелкихъ кучахъ въ теченіе мѣсяца и лишь послѣ этого задѣлывался; вотъ результаты:

|                                         | а) всѣ участки вспаханы при вывозкѣ. | б) вспашка произв. лишь при задѣлкѣ навоза. |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| Навозъ оставленъ въ кучахъ 120 п. зерна | 83 п. зерна                          |                                             |
| » разброс. по поверх. 160 » »           | 120 » »                              |                                             |
| » тотчасъ запаханъ. . 183 » »           | (183) » »                            |                                             |

И здѣсь непосредственная запашка дала лучшіе результаты, нежели оставленіе навоза разбросаннымъ на значительный срокъ; всего же хуже, конечно, было оставить навозъ въ маленькихъ кучахъ, безъ предварительной вспашки, такъ какъ здѣсь къ плохому использованию удобренія присоединилось еще изсушеніе почвы.

Въ засушливомъ климатѣ мыслима даже наличность условій, при которыхъ прикрытіе поля навозомъ дастъ болѣе благоприятный результатъ, но въ силу сторонней причины. Разбросанный по полю навозъ задерживаетъ высыханіе почвы, дѣйствуя какъ всякій мертвый покровъ, и наблюдаемое въ этихъ случаяхъ болѣе благоприятное дѣйствіе его должно быть отнесено не на счетъ утилизаціи азота при этомъ способѣ, а на счетъ уменьшенія испаренія воды почвой; въ этомъ и заключается благоприятное дѣйствіе лежанія навоза незапаханнымъ, иногда дѣйствительно наблюдающееся; тутъ уже дѣло не въ удобреніи, а въ сохраненіи влаги <sup>1)</sup>.

Ближе на задѣлкѣ навоза и послѣдующихъ операціяхъ не будемъ

<sup>1)</sup> Замѣтимъ однако, что въ условіяхъ Полтавскаго опытнаго поля несмотря на сбереженіе влаги въ почвѣ при лежаніи разбросаннаго на поверхности навоза теченіе мѣсяца не получилось повышенія урожая, а при лежаніи втеченіе 2-хъ мѣсяцевъ наблюдалось пониженіе урожая по сравненію съ тѣми дѣлянками, на которыхъ навозъ былъ запаханъ при вывозкѣ въ половинѣ апрѣля («Итоги работъ за 20 лѣтъ», II, 313).





ющих за навозомъ, а на Полтавскомъ опытномъ полѣ <sup>1)</sup> даже наблюдалось большее дѣйствіе на второй хлѣбъ (яровое), чѣмъ на первый (озимое).

На Плотнянской опытной станціи въ среднемъ получены такіе простоты для трехъ растений, слѣдующихъ за навозомъ:

|                 | 1. Оз. пшеница. |         | 2. Кукуруза. |         | 3. Яр. пшеница. |         |
|-----------------|-----------------|---------|--------------|---------|-----------------|---------|
|                 | Зерно.          | Солома. | Солома.      | Стебли. | Зерно.          | Солома. |
| Безъ навоза.    | 134 п.          | 242 п.  | 130 п.       | 215 п.  | 73 п.           | 177 п.  |
| 2400 п. навоза. | 169 «           | 361 «   | 152 «        | 263 «   | 98 «            | 200 «   |
| Разность въ     |                 |         |              |         |                 |         |
| пользу навоза.  | 35 «            | 119 «   | 22 «         | 48 «    | 25 «            | 23 «    |

Такимъ образомъ здѣсь дѣйствіе также растяннутое, безъ рѣзкаго паденія (оно конечно въ подобныхъ случаяхъ не ограничивается тремя урожаями, а распространяется еще и на слѣдующіе годы; въ Полтавѣ наблюдали, что при возвращеніи навознаго удобренія черезъ 6 лѣтъ дѣйствіе его еще не вполне исчерпывалось за этотъ періодъ). Для условій нечерноземнаго района напротивъ нужно ожидать схода съ данными опытовъ въ Бреславлѣ, но опять и здѣсь мѣстные (особенно почвенныя) условія должны накладывать свой отпечатокъ, и для отдѣльных районовъ необходимо свое мѣстное рѣшеніе вопроса.

Изъ данныхъ того же Полтавскаго опытнаго поля (1. с.) приведемъ примѣръ вліянія навоза на химическій составъ зерна (среднія за 3 года):

|                  | % N         |             | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |              |
|------------------|-------------|-------------|---------------------------------|--------------|
|                  | безъ навоза | съ навозомъ | безъ навоза                     | съ навозомъ. |
| Оз. пшеница: . . | 1,91%       | 2,52%       | 0,77%                           | 1,22%        |
| Яров. пшеница: . | 2,03 «      | 2,24 «      | —                               | —            |
| Овесъ: . . . . . | 1,79 «      | 2,04 «      | —                               | —            |

Здѣсь замѣтно ясное повышеніе содержанія бѣлковыхъ веществъ въ зернахъ подъ вліяніемъ навознаго удобренія.

Упомянемъ еще объ одномъ случаѣ прямого примѣненія экскрементовъ травоядныхъ для удобренія — о *толокнѣ*. Способъ состоитъ въ томъ, что животныя (обыкновенно овцы) сгоняются на ночь на мѣсто, которое имѣется въ виду удобрить; оставшіеся послѣ ночевки экскременты запахиваются. При такомъ способѣ устраняется необходимость перевозки навоза, употребленіе подстилки и устройство специальныхъ приспособленій для храненія навоза и избѣгаются потери.

<sup>1)</sup> См. „Итоги“, II, 225.

Для экстенсивныхъ хозяйствъ съ обширнымъ овцеводствомъ, этотъ приемъ заслуживаетъ вниманія. Считаютъ сильнымъ удобреніемъ, если овцы проводятъ 12 часовъ на одномъ мѣстѣ при густотѣ 4-хъ штукъ на 1 кв. саж.; нормальнымъ же удобреніемъ считаютъ уже 6 часовъ такого пребыванія. Хотя по вѣсу получается даже въ первомъ случаѣ лишь половинное количество экскрементовъ по сравненію съ нормальнымъ навознымъ удобреніемъ, но эффектъ его значителенъ, такъ какъ здѣсь дѣйствуетъ главнымъ образомъ N жидкой части экскрементовъ, безъ утратъ попадающей въ почву и не сопровождаемой массой соломы.

Тотчасъ послѣ удобренія толокой поле перепашивается; иногда рекомендуютъ и предварительно предъ ночевкой вспахать удобряемое мѣсто, но при этомъ овцы сильнѣе грязнятся.

#### Компостъ.

Компостъ представляетъ смѣсь, съ одной стороны, веществъ разлагающихся и доставляющихъ элементы пищи растенія, а съ другой такихъ веществъ, которыя могутъ удерживать, предохранять отъ потерь продукты разложенія. Въ составъ компостной кучи могутъ входить самые разнообразные матеріалы, которые или представляютъ животныя отбросы, попутно получающіеся въ хозяйствѣ, (напр., трупы павшихъ животныхъ, кости, рога; копыта, шерсть, вредныя насекомыя, если они скопляются при уничтоженіи въ значительныхъ количествахъ) или же представляютъ отбросы растительнаго происхожденія, напр., испортившіеся корма, сорныя травы, опилки, кострика и пр. Далѣе въ компостъ поступаютъ разные отбросы усадьбы, какъ соръ со двора, часто богатый органическими веществами, зола изъ печей, экскременты и пр.,—все это съ пользой можно употребить при устройствѣ компоста.

Важной составной частью компостной кучи, имѣющей цѣлью поглощеніе продуктовъ разложенія является земля, которая въ этихъ цѣляхъ должна обладать значительной влагоемкостью и содержать по возможности значительное количество органическихъ веществъ. Для этой цѣли является пригодной земля съ примѣсью растительныхъ остатковъ, какъ земля изъ канавъ, пыль отъ очистки улицъ, содержащая до 0,2% азота; (кромѣ того указываютъ, что уличная и дорожная пыль содержитъ еще нѣкоторое количество кали, получающагося изъ обломковъ камней съ шоссе, но усвояемость этого K<sub>2</sub>O невелика). Въ тѣхъ же цѣляхъ употребляется и торфъ, обладающий

значительной поглотительной способностью и содержащей органические вещества, способные при наличии оснований и избытке микроорганизмов также приходить в разложение в компост. Это относится в особенности к азотистым веществам, азот которых может перейти в аммиак и нитраты под действием нитрифицирующих бактерий в компост. Торф в зависимости от происхождения содержит много или мало зольных веществ. Моховой торф, часто состоящий из малоизменившихся растений (*Sphagnum*), содержит мало золы, а луговой, в образовании которого участвуют злаки и осоки, содержит значительное количество ее. Встречающийся иногда виванитовый торф, благодаря содержанию фосфорнокислой закиси железа, может служить для обогащения компоста фосфорной кислотой.

Далее в состав компоста могут входить самые разнообразные материалы, но стараются подбирать их таким образом, чтобы с материалами скоро разлагающимися, напр., мясными отбросами не вносить в одну и ту же кучу веществ очень трудно разлагающихся, так как это ведет к затруднению определения времени спелости компоста и к напрасным потерям питательных веществ. Для веществ медленно разлагающихся можно закладывать отдельные (подготовительные) кучи.

При приготовлении компоста материалы тщательно измельчаются, перебиваются и увлажняются или водой, или навозной жижей (последняя, кроме питательных веществ вносит и ферменты для разложения). Относительно формы куч, в какие укладываются материалы для компоста, обычно даются такие указания: при произвольной длине им придать ширину 5—6 фут., и высоту около  $\frac{1}{2}$  сажени (в виде трапеции в поперечном разрезе).

Уход состоит в поливании и перелопачивании для перебивания и для доставления доступа воздуха внутрь кучи.

Время, необходимое для того, чтобы материалы вполне перегнили и компост был годен к употреблению, различно в зависимости от составных его частей и простирается от нескольких месяцев до 2 лет. Критерием спелости является однородность компостной массы.

Компост является довольно универсальным удобрением. Охотно применяется компост там, где навоз мало удобен, напр., при удобрении лугов; навоз здесь может вызвать этиологирование растений в теплое время года, а компост можно распределить более равномерно. Компост обычно представляет собою скороспелое удобрение и действие его по большей части ограничивается одним годом.

### Городские нечистоты.

Значительная часть продуктов полеводства (прямо или непрямо) идет в пищу человеку, следовательно, выделения человеческого организма должны содержать большие количества азота и зольных составных частей, взятых растениями у почвы. Сравнительно с извержениями травоядных, отбросы человеческого организма должны быть процентно богаче (считая на сухое вещество) азотом и фосфорной кислотой, во первых потому, что пища человека богаче белками, чем корм травоядных; если, напр., в пище животных (свин) содержится 1,5% азота, считая на сухое вещество, то в пище человека его бывает от 2—3% (зерна хлебов до 15% (мясо). Во-вторых, пища эта более перевариваемая, значит большая часть ее окисляется давая в  $H_2O$  и  $CO_2$ , а потому оставшаяся еще больше обогащается процентно азотом, чем в организм травоядных. В связи с родом пищи непереваримые остатки ее, плюс сухое вещество мочи могут содержать до 15% азота, который здесь иначе распределяется между твердыми и жидкими извержениями; в сухом веществе твердых выделений содержится 2,5% N; кроме того, у человека вторые по массе сильно, преобладают над первыми в отличие от травоядных. Так, для лошади выделения кишек относятся к выделениям почек (сырой массой) как 5:1, а у человека 1:9; такое же обратное отношение сохраняется и для сухих веществ.

В среднем человек выделяет в сутки около 133 граммов твердых извержений и 1200 гр. жидких; в них содержится:

|                            | в твердых | в жидких. |
|----------------------------|-----------|-----------|
| Сухого вещества . . . . .  | 25 гр.    | 50 гр.    |
| азота . . . . .            | 2 »       | 12 »      |
| золы . . . . .             | 4,5 »     | 14 »      |
| фосфорн. кислоты . . . . . | 1,35 »    | 1,78 »    |
| $K_2O$ . . . . .           | 0,64 »    | 2,29 »    |

Таким образом, большая часть азота содержится в жидких выделениях. Но для целей утилизации важно кроме абсолютных количеств знать и процентный состав, зависящий более всего от содержания воды. Оказывается, что примесью воды материалы эти обезврежены в значительной мере; так состав их таков:



|                               | Твердые изверж. | Жидкие. | Смесь ихъ.   |
|-------------------------------|-----------------|---------|--------------|
| H <sub>2</sub> O              | 75%             | 95%     | 93%          |
| N                             | 1,5 »           | 1 »     | 1 » и меньше |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1,0 »           | 0,15 »  | 0,2 »        |
| K <sub>2</sub> O              | 1,5 »           | 0,18 »  | 0,1 »        |

Содержание питательных веществ в этих отбросах зависит от рода потребляемой пищи и способа уборки их. Чем лучше пища, тем богаче азотом экскременты, если они одинаковым образом собираются. Мюнц при исследовании отбросов из жилищ зажиточного класса находил азота 0,869%, фосфорной кислоты 0,324%, а из жилищ рабочего азота 0,549, фосфорной кислоты 0,167; кали было в 1½ раза меньше в последнем случае.

Но обыкновенно, чем культурнее население, тем больше оно употребляет воды; в таком случае отбросы разжижаются и получается обратная картина содержания питательных веществ благодаря значительному количеству прибавляемой к экскрементам воды, отбросы классов лучше питающихся содержат часто меньше N и P (процентно), благодаря сильному разжижению.

Состав отбросов употребляемых на удобрение различен в зависимости от способа, уборки их. Самый простой — это система выгребных ям, но она неудобна как со стороны санитарной, так и с точки зрения получения удобрения, так как при этом заражается почва, вывозка производится недостаточно часто, поэтому происходит усиленное разложение азотистых веществ, выделяется масса газов, портящих воздух и теряется значительное количество азота.

Система подвижных ящиков или бочек, когда экскременты собираются в вывозные резервуары и удаляются по мере накопления, будучи лучше первой в обоих указанных отношениях, оказывается очень обременительной для хозяйства больших городов, так как требует значительного количества подвод для своевременного удаления нечистот.

В Голландии в больших городах применяется пневматическая канализация Лирнура (которую не следует смешивать с обычной сплавной канализацией). Центральный резервуар соединен с трубой с частными резервуарами отдельных домов; для удаления нечистот выкачивают воздух из центрального резервуара, а потом открывают краны труб частных резервуаров и нечистоты давлением воздуха поступают в общий резервуар. При таком

способе собирания нечистот избегается их разложение и экскременты собираются свежими в цементный резервуар, откуда они или поступают в продажи огородникам, или же высушиваются для приготовления пудрета.

К экскрементам примешивают иногда вещества дезинфицирующие или по крайней мере устраняющие развитие неприятно пахнущих газов; так, употребляют железный купорос FeSO<sub>4</sub>, который рекомендуется как средство, связывающее одновременно и аммиак, и сероводород. Его требуется около 10 килогр. на человека в год для того чтобы лишить экскременты свойственного им запаха. Кроме того употребляется сернокислый цинк, гипс; поглощающим средством служит часто земля (250 килогр. на человека в год), а особенно торфяной порошок (60 килогр.), местами примешивают соломенную резку, опилки, шерстяные отбросы и т. д. В Китае встречается такой способ: экскременты смешиваются с глиной, формуется в плитки, высушиваются и в таком виде поступают в продажу, как материал удобный для обращения и перевозки.

В Европе местами из этих отбросов готовят пудреты, т. е. высушивают их и превращают в порошок, чтобы избавиться от массы воды и сдать удобрение выносящим перевозку на большие расстояния. Самый простой способ приготовления пудрета состоит в том, что материал помещается в ямах, отстаивается жидкость удаляют, осадок выкладывают на края ямы и дают высохнуть. Высыхание влагоемкой массы идет медленно, сопровождается сильным разложением, теряется масса аммиака. Полученный материал содержит до 2% азота и 4% фосфорной кислоты. Примешивают при сушении иногда торфяной порошок и другие материалы, позволяющие уменьшить потери азота. Иногда сушение производится с прибавлением кислот для задержания NH<sub>3</sub>, прибавляют также суперфосфат; тогда продукт часто обозначают именем искусственного гуано. Но в таких случаях обыкновенно примешивается уже удаление воды выпариванием.

Под Парижем, напр., практикуется отчасти такой способ утилизации нечистот: вся масса без отстаивания подвергается отгонке с примесью Ca(OH)<sub>2</sub>, аммиак улавливается серной кислотой и поступает в продажу как (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; остальная масса отстаивается, выделяя осадок и слой жидкости сверху; последняя сливается, а осадок сушат, предварительно подвергая центрифугированию. Используется весьма полно в таких случаях азот (частью в дистилляте, частью в осадке в органическом веществе) и фосфорная

кислота (въ осадкѣ, въ соединеніи съ известью), лишь кали удаляется съ водами, какъ менѣе цѣнный матеріалъ и труднѣе выдѣляемый.

Пудреть обычно содержитъ азотъ въ формѣ используемой растеніями лучше, нежели азотъ навоза. Такъ, въ первый годъ изъ пудрета переходитъ въ усвояемое состояніе до 56—60% азота.

Въ Голландіи при употребленіи необработанныхъ (сырыхъ) нечистотъ, ихъ по доставкѣ изъ города помѣщаютъ въ резервуары, разбавляютъ водой и прибавляютъ къ нимъ навозной жижи или еще чего либо, способнаго внести элементы пищи растенія (жмыхи). Подготовленной броженіемъ жидкостью пользуются, поливая ею осенью вспаханные поля.

Нечистоты представляютъ удобрение по преимуществу азотистое и могутъ употребляться подъ хлѣба, травы, прядильныя растенія, кормовыя корнеплоды; подъ сахарную свеклу ихъ нельзя употреблять, такъ же какъ и подъ лучшіе сорта табака, въ виду значительнаго содержанія хлористыхъ солей и избытка азота. Лучше всего употреблять нечистоты подъ огородныя культуры, что и примѣняется съ значительнымъ успѣхомъ во многихъ мѣстахъ. Удобрение это довольно быстро дѣйствуетъ, но не надолго и должно повторяться часто. При употребленіи экскрементовъ въ качествѣ удобрительнаго матеріала нерѣдко замѣчалось неблагопріятное ихъ дѣйствіе на физическія свойства почвъ, напр., глинистыя почвы подъ ихъ вліяніемъ становятся болѣе наклонными сплываться, что объясняется отчасти содержаніемъ поваренной соли; на торфяныхъ почвахъ, наоборотъ, они оказывали благопріятное (уплотняющее) вліяніе.

Легкости передвиженія и перемѣщенія городскихъ отбросовъ можно достигнуть и средствомъ противоположнымъ высушиванью—сильнымъ разжиженіемъ ихъ, такъ чтобы масса могла двигаться по канавамъ какъ оросительная вода. Это канализаціонная система удаленія нечистотъ. Въ такихъ случаяхъ жидкость содержитъ немного сухихъ веществъ: напр., въ канализаціонныхъ водахъ Парижа содержится всего отъ 2 до 3 частей сухихъ веществъ на 1000.

Это смѣшиваніе отбросовъ съ водой сначала производилось съ цѣлью удаленія ихъ изъ городовъ. Города спускали экскременты вмѣстѣ съ дождевыми и др. водами и направляли или въ большія рѣки, какъ, напр., Сену въ Парижѣ, или въ море, какъ въ Лондонѣ. Опытъ показалъ, что такой способъ удаленія нечистотъ сильно вредитъ органической жизни рѣки въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ спускаются нечистоты: рыба перестаетъ водиться на значительномъ протяженіи, количество раствореннаго кислорода сильно понижается, бактерій—увѣ-

личивается. Съ цѣлью обезвредить эти нечистоты пробовали фильтровать ихъ, но при этомъ задерживаются только механически взвѣшенные части; химическіе способы осажденія давали малоцѣнные неиспользуемые осадки. Лучшимъ оказалось фильтрованіе канализаціонныхъ водъ черезъ почву; процеживанье черезъ эту среду населенную микроорганизмами и порозную не является механической операціей, оно связано съ рядомъ химическихъ превращеній въ фильтруемой жидкости, главнымъ образомъ вызванныхъ дѣятельностью микроорганизмовъ; органическое вещество подвергается окисленію, его азотъ переходитъ въ форму азотнокислыхъ солей; послѣ окисленія жидкость является освѣтленной и обезвреженной. Этимъ фильтрованіемъ и воспользовались съ цѣлями сельскохозяйственными, какъ средствомъ удобрения.

Поля орошенія существуютъ теперь во многихъ большихъ городахъ Европы, но вездѣ цѣль обезвреживанья является первенствующей, а сельскохозяйственная — побочной: такъ, въ Парижѣ въ годъ на десятину этихъ полей доставляется свыше 50.000 куб. метр. жидкости, что въ переводѣ на навозъ по азоту равняется 30.000 пуд. Подъ Парижемъ для полей орошенія нѣтъ достаточнаго количества земли, поэтому используется только около  $\frac{1}{4}$  всѣхъ отбросовъ; остальная часть ихъ еще и теперь идетъ въ Сену. На поляхъ орошенія развита главнымъ образомъ огородная культура; культурныя растенія хорошо удаются, находятъ себѣ обезпеченный сбытъ и арендная плата за землю орошаемую нечистотами постоянно растетъ. Урожай получаютъ громадные, такъ кормовая свекла, напр., даетъ до 6000 п.

Въ большихъ размѣрахъ устроены поля орошенія въ Берлинѣ: поля эти занимаютъ до 10000 дес., и на нихъ поступаютъ отбросы отъ  $1\frac{1}{4}$  милліона жителей; въ среднемъ на человѣка поступаетъ до 100 литровъ жидкости. (При расчетѣ площади полей орошенія принимаютъ 350 человѣкъ на 1 дес. поля). Если перечислить все количество жидкости, поступающей на 1 десятину, на навозъ по азоту, то окажется, что оно отвѣчаетъ 18000 пуд. навоза; слѣдовательно и здѣсь доставляется громадный избытокъ питательныхъ веществъ на десятину, въ виду того, что желаютъ на единицѣ площади обезвредить возможно большее количество нечистотъ; слой воды, который профильтровывается черезъ почву, не считая осадковъ атмосферы, равняется  $1\frac{1}{2}$  метрамъ.

Въ Берлинѣ на поляхъ орошенія сначала заведена была мелкая культура; сѣялись главнымъ образомъ овощи—свекла, морковь, картофель. Однако, скоро явилось затрудненіе въ сбытѣ отчасти по пре-



дубѣженію, отчасти и потому, что овощи эти дальше не вызрѣвали, благодаря значительному количеству влаги и азотистыхъ веществъ, слѣдовательно, позднѣе поступали на рынокъ, а при сохраненіи скорѣе портились (хотя по опытамъ въ Одессѣ этого не наблюдается). Тогда тамъ стали культивировать растенія, допускающія постоянный сбытъ въ большихъ количествахъ, напр., капусту, которую заквашиваютъ въ значительныхъ количествахъ (для арміи и пр.), а также и кормовую свеклу (для конюшенъ конно-желѣзныхъ дорогъ). Растенія эти культивируются на грядкахъ, а между грядками пропускается канализаціонная вода.

Травы оказались тоже очень благодарными за такое орошеніе, въ особенности итальянскій райграсъ, тимopheевка, англійскій райграсъ, ежа; онѣ даютъ 5—6 укосовъ, въ свѣжемъ видѣ охотно поѣдаются скотомъ безъ какого либо вреда для молочной производительности и даже качества молока. Но сѣно съ такихъ мѣстъ не такъ легко просыхаетъ при уборкѣ (по наблюденіямъ въ Берлинѣ), а затѣмъ отмѣчаютъ въ немъ очень высокое содержаніе нитратовъ и хлористыхъ солей <sup>1)</sup>.

Кромѣ огородной культуры и орошаемыхъ луговъ часть площади приходится отводить подъ зимніе бассейны. Температура воды повы-

засаживаются ольхой, плодовыми деревьями, ягодными кустарниками и т. п.

Въ Одессѣ поля орошенія устроены на «Пересыпи», почва которой состоитъ изъ извести и кварцеваго песка (до 98% въ суммѣ); она въ естественномъ состояніи часто бесплодна вслѣдствіи отсутствія питательныхъ веществъ, а мѣстами вслѣдствіе близости соленой воды. Орошеніе сточными водами уничтожаетъ соленость и обогащаетъ почву питательными веществами. Опыты огородной культуры удалась очень хорошо и дѣло начало быстро расширяться <sup>1)</sup>.

Культура на поляхъ орошенія въ Москвѣ дала хорошіе результаты для капусты, свеклы, огурцовъ и другихъ овощей, затѣмъ для вишневой смѣси, кукурузы на кормъ и злаковыхъ кормовыхъ травъ <sup>2)</sup>.

## Косвенныя удобрения.

Къ числу косвенныхъ удобрительныхъ средствъ относятся такія, которыя вносятся въ почву не съ цѣлью прямого обогащенія ея элементами пищи растений, но для того, что бы вызвать въ ней рядъ реакцій, слѣдствіемъ которыхъ является освобожденіе питательныхъ веществъ изъ запасовъ почвы, переходъ ихъ въ растворимую форму.

### Поваренная соль.

Типичнымъ косвеннымъ удобрениемъ можно считать *поваренную соль*, потому что въ составъ ея не входятъ элементы, безусловно-необходимые для жизни растений. Какъ таковая, поваренная соль теперь рѣдко употребляется на удобрение, но она вносится иногда неволью (напр. какъ составная часть стассфуртскихъ солей), а потому съ дѣйствіемъ ея нелишне познакомиться.

Изъ ученія о поглотительной способности почвъ мы знаемъ, что при введеніи соли одного основанія въ почву вытѣняется большее или меньшее количество другого основанія изъ цеолитовъ; извѣстно, что можно такимъ путемъ даже превратить одинъ видъ цеолита въ другой, калиевый, напр., въ натровый, если дѣйствовать повторно большими количествами солей натрія. Поэтому внесеніе солей натрія въ почву имѣетъ косвенное значеніе, такъ какъ при этомъ вытѣняется извѣстное количество кали изъ запаса почвы.

Это видно изъ данныхъ такого опыта Франка: высокіе цилиндры (до 6 ф.), наполнялись помытой и эта почва промывалась чистой водою до удаленія всѣхъ растворимыхъ веществъ. Потомъ почва промывалась растворомъ солей кали въ одномъ случаѣ и растворомъ солей кали и натрія въ смѣси въ другомъ. Если вводить только калий, то онъ поглощается въ верхнихъ слояхъ почвы, а если примѣшать соль натрія, то соли кали проходятъ и въ болѣе глубокіе слои.

Такъ какъ внесеніе поваренной соли отчасти возмѣщаетъ калийное удобрение, то это и является главной причиной, почему хлористый натрій вызываетъ иногда благопріятные результаты послѣ внесенія.

Но хлористыя соли на многія растенія дѣйствуетъ неблагопріятно (картофель); только нѣкоторыя группы растений относятся къ нему (до извѣстныхъ предѣловъ) безразлично. Замѣчено, что болѣе благопріятно дѣйствуетъ NaCl на прядильныя растенія и кормовыя травы; это ставятъ въ связь съ тѣмъ что это удобрение способствуетъ развитію стеблевыхъ органовъ (въ которыхъ преобладаетъ калийныя соли). Такъ, въ одномъ опытѣ, на неудобренныхъ участкахъ клевера, напр., % стеблей въ массѣ урожая равнялся 32%, послѣ удобрения NaCl % стеблей повысился до 52%.

### Известь.

Болѣе важнымъ косвеннымъ удобрениемъ является *известь*; хотя известь представляетъ необходимое для развитія растений вещество <sup>1)</sup>, но если она вносится въ почву какъ удобрение, то главнымъ образомъ для побочныхъ воздѣйствій на почву. Дѣло въ томъ, что прямое потребленіе извести невелико, какъ видно изъ слѣдующихъ сопоставленій:

|            |         |         |       |          |
|------------|---------|---------|-------|----------|
| Въ зернахъ | пшеницы | извести | около | 0.06%    |
| »          | »       | ржи     | »     | » 0.05 » |
| »          | »       | гороха  | »     | » 0.12 » |
| »          | соломѣ  | злаковъ | »     | » 0.26 » |
| »          | »       | гороха  | »     | » 1.86 » |

Слѣдовательно, обычные растенія полевой культуры — хлѣбныя злаки содержатъ мало извести въ урожаѣ, гораздо меньше чѣмъ фосфорной кислоты и кали; кромѣ того съ навозомъ значительная часть извести, находящейся главнымъ образомъ въ соломѣ, обратно вывозится на поля, а отчуждается съ зерномъ сравнительно небольшое количество ея, почвы мало истощаются съ этой стороны. Потребленіе извести въ урожаѣ на десятину для ржи равно приблизительно 8 килогр. CaO, для бобовыхъ больше (для гороха 67, а для люцерны даже до 247 килогр.). Въ почвѣ же извести содержится больше, чѣмъ K<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, поэтому нужда въ ней, какъ въ прямомъ питательномъ веществѣ, наблюдается рѣдко; но известь необходима въ почвѣ для другихъ функцій.

Въ почвѣ известь встрѣчается въ различныхъ формахъ и оказываетъ рядъ полезныхъ воздѣйствій: нейтрализуетъ кислоты перегной-

<sup>1)</sup> О значеніи кальція для растений см. обзоръ Bruch'a, Landw. Jahrbücher XX, 1901, III Supplement; также у И. Коновалова, „Къ вопросу о физиологическомъ значеніи Са“, Извѣстія Кіевского Политехнич. Института. 1907.



ныя и кислоты, образующіяся при нитрификаціи, вступаютъ въ реакцію къ кислыми соединениями при внесении суперфосфата и т. п. Кромѣ обычно встрѣчающейся углекислой извести въ почвѣ находятся кремнекислыя соединения извести, но онѣ мало доступны и мало принимаютъ участія въ химизмѣ почвы, если находятся въ силикатахъ безводныхъ; лишь въ формѣ цеолитовъ эти кремнекислыя соединения извести могутъ играть видную роль въ реакціяхъ обмѣна.

Часть извести связывается въ почвѣ перегнойными кислотами; эта часть равноцѣнна  $\text{CaCO}_3$ ; обычно рекомендуется опредѣлять не всю известь извлекаемую кислотами, но лишь форму  $\text{CaCO}_3$ , какъ болѣе «дѣятельную». Нѣкоторое количество извести прочно связано съ органическимъ веществомъ почвы, и становится растворимымъ въ кислотахъ только послѣ прокаливанья ея; но количество извести въ этой формѣ представляетъ лишь очень малую долю отъ общаго ея количества (за исключеніемъ торфянистыхъ почвъ). Затѣмъ известь находится, въ почвѣ отчасти въ видѣ фосфорнокислой, сѣрнокислой, азотнокислой, менѣе — въ видѣ  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{CaF}_2$ .

Кромѣ разнообразныхъ химическихъ вліяній, известь имѣетъ нѣкоторое вліяніе на физическія свойства почвы; растворъ солей извести способенъ осаждать илъ или препятствовать ему переходить въ взмученное состояніе.

Какое содержаніе извести въ почвѣ нужно считать нормальнымъ и при какомъ въ почвѣ замѣчается въ ней недостатокъ?—Въ отвѣтъ на это нельзя указать постоянныхъ цифръ, потому что въ зависимости отъ состава почвы различныя количества извести могутъ оказаться необходимыми <sup>1)</sup>. Можно сказать, что чѣмъ больше содержитъ почва ила, тѣмъ болѣе нуждается она въ извести; Мюнцъ полагаетъ, напр., что желательнo присутствіе отъ 4 до 5% извести для почвъ глинистыхъ и до 1% для почвъ песчаныхъ.

Но эти цифры слишкомъ высоки; дѣйствительность обнаруживаетъ значительно меньшее содержаніе извести въ культурныхъ почвахъ.

<sup>1)</sup> Между прочимъ по мнѣнію Loew'a имѣетъ значеніе не столько установленіе абсолютныхъ нормъ, сколько выясненіе соотношенія между известью и другими составными частями почвы; Loewъ полагаетъ, что отношеніе между количествами извести и магnezіи должно быть не менѣе 3:1, иначе относительный избытокъ магnezіи можетъ быть вреденъ. Въ виду малой доказанности этого утвержденія не будемъ входить въ подробное разсмотрѣніе относящагося сюда матерьяла. (Нѣкоторыя фактическія данныя см. у *Амтгаузена*, опыты по известкованію, въ VI вып. трудовъ СПБ. с.-хоз. лабораторіи); также у *Lemmermann'a*, въ *Landw. Jahr.* 1911 г.

Такъ, по изслѣдованію D. Meyer'a для значительной серіи почвы Германіи оказалось содержаніе извести въ среднемъ для тяжелыхъ почвъ равнымъ 0,65%, а для легкихъ — 0,33%; при этомъ обнаружилось, что лишь меньшая часть извести находится въ формѣ углекислой; въ среднемъ для тяжелыхъ почвъ 26% и для легкихъ — около 20% отъ всего ея количества. Это показываетъ, насколько опредѣленіе извести по углекислотѣ отличается отъ общаго содержанія извести въ почвѣ. D. Meyerъ показалъ затѣмъ, что количество такъ наз. «дѣятельной» извести точно также не измѣняется только количествомъ углекислой извести, но и известь водныхъ силикатовъ (цеолитовъ) играетъ замѣтную роль въ реакціяхъ почвъ (см. примѣчаніе на стр. 46-й).

Обычнымъ удобреніемъ является известь въ формѣ  $\text{CaO}$ . Такъ какъ она встрѣчается въ природѣ обыкновенно въ видѣ  $\text{CaCO}_3$  (известняки), въ трудно измелѣваемомъ состояніи (что неудобно для ея распредѣленія), то ее обжигаютъ, хотя это обжиганіе не имѣетъ въ виду только достиженіе этой цѣли; известь послѣ обжиганія, переходя въ форму  $\text{CaO}$ , становится энергичнѣе со стороны ея воздѣйствія на соединенія почвы; кромѣ того при обжиганіи теряется 44% ея вѣса (выдѣленіе  $\text{CO}_2$ ), что имѣетъ извѣстное значеніе еще и въ смыслѣ удешевленія перевозки; такая обожженная известь разсыпается въ мелкій порошокъ при гашеніи, сильно увеличиваясь въ объемѣ.

При употребленіи различаютъ известь тощую отъ жирной. Чѣмъ меньше въ извести песку и другихъ постороннихъ примѣсей, тѣмъ она «жирнѣе», тѣмъ энергичнѣе реагируетъ съ водой и легче распадается, и наоборотъ.

Обожженная известь получается въ видѣ кусковъ и гасится различно. Иногда известь оставляютъ лежать подъ навѣсомъ въ усадьбѣ, на воздухѣ она поглощаетъ влагу и распадается мѣсяца въ 2—3 въ порошокъ; но при этомъ часть ея (около 15%) снова связывается съ углекислотой воздуха и превращается опять въ углекислую известь. Такое гашеніе неудобно, такъ какъ сопряжено съ потерями; кромѣ того, перевозка и разбрасыванье этого ѣдкаго, пылящаго порошка являются затруднительными.

Лучше вывозить въ поле негашенную известь, складывать ее на паровомъ полѣ небольшими кучками и покрывать землей; черезъ нѣкоторое время она гасится насчетъ влаги почвы; послѣ этого ее перемѣшиваютъ съ землей, разбрасываютъ сначала лопатами, а потомъ перемѣшиваютъ ее съ почвой при помощи боронъ и плуговъ. Иногда для гашенія въ кучи приливаютъ воды, но эта операція требуетъ

осторожности, такъ какъ при избыткѣ воды получается вмѣсто хорошо размельченнаго порошка мажущаяся масса, распределение которой крайне затруднительно.

Рекомендуютъ еще гасить известь, погружая куски ея въ корзины на нѣкоторое время въ воду и потомъ перевозить ее на поля въ тѣхъ же корзинахъ. Иногда известь вводятъ въ компостныя кучи, но тамъ она превращается въ углекислую; такая прибавка въ небольшихъ количествахъ можетъ быть благоприятна для компоста, но это не входитъ прямо въ число приемовъ известкованія.

Количество извести, въ которыхъ она вносится въ почву, колеблется въ зависимости отъ свойствъ удобряемыхъ почвъ: тяжелыя, кислыя перегнойныя почвы требуютъ большихъ количествъ извести, чѣмъ почвы легкія или не содержащія кислаго перегноя. Если известкованіе производится правильно періодически, черезъ промежутки отъ 3-хъ, 4-хъ до 20-ти лѣтъ, то, (какъ это имѣетъ мѣсто въ нѣкоторыхъ районахъ западной Европы) вносятся тѣмъ меньшія количества, чѣмъ меньше промежутки между известкованіями. Кромѣ того, количество извести, вносимой въ почву, зависитъ еще отъ глубины почвеннаго слоя и отъ состава самой извести. Примѣрными границами колебаній въ количествахъ извести могутъ служить цифры въ 50 и 1000 пуд. Избыточное количество извести можетъ быть вреднымъ, кромѣ того внесеніе большихъ дозъ обходится дорого; по этому чаще всего вносятъ не болѣе 100—200 пуд. на десятину.

Что касается дѣйствія извести на почву, то оно довольно сложно и распространяется какъ на органическія, такъ и минеральныя почвы.

Если мы имѣемъ дѣло съ почвами кислыми, то прежде всего, конечно, наступаетъ нейтрализація, а при значительныхъ количествахъ извести переходъ на время къ щелочной реакціи. Щелочная реакція можетъ вызвать даже временную задержку биологическихъ процессовъ, но затѣмъ разложеніе возстановливается (послѣ перехода извести въ  $\text{CaCO}_3$  и др. соединенія) еще съ большею энергіей, чѣмъ до известкованія <sup>1)</sup>.

Дѣйствіе на азотистыя вещества начинается съ образованія значительныхъ количествъ амміака; пока реакція еще щелочная отъ из-

<sup>1)</sup> Если въ кислыхъ почвахъ известь несомнѣнно повышаетъ энергію разложенія органическихъ веществъ и мѣняетъ самый характеръ процесса, то отсюда не слѣдуетъ еще дѣлать общаго вывода, что известь вездѣ и при всякихъ условіяхъ повышаетъ разложеніе перегноя (см. опыты П. А. Костычева въ его книгѣ „Почвы черноземной области“ и П. С. Косовича въ Журналѣ Опытной Агрономіи 1902 г.; также Lemmermann. 1с.).

бытка извести, нитрификація временно понижается, но потомъ, когда процессъ разложенія органическаго вещества увеличивается, точно такъ же увеличивается процессъ нитрификаціи, благодаря тому, что кислые продукты находятъ достаточно оснований для нейтрализаціи, а также и благодаря наличности подготовленнаго известкованіемъ амміака. У Буссенго при внесеніи 1% извести образовалось 76 mlgr. амміака черезъ мѣсяцъ, а въ удобренной почвѣ всего 5 mlgr.; для нитратовъ отношеніе было въ 1-й мѣсяцъ обратнымъ, но потомъ процессъ нитрификаціи въ первой почвѣ значительно обогналъ нитрификацію второй <sup>1)</sup>. Отмѣтимъ, что по нѣкоторымъ наблюденіямъ послѣ сильнаго известкованія уменьшается количество клубеньковъ на бобовыхъ, высѣваемыхъ вслѣдъ примѣненіемъ этого приема.

Известь способствуетъ вывѣтриванію безводныхъ силикатовъ (опытъ Дитриха); она вступаетъ въ обмѣнъ съ основаниями водныхъ силикатовъ, причемъ она обогащаетъ почвенный растворъ соединеніями  $\text{K}_2\text{O}$  и пр. Указываютъ и на то, что известь косвенно ускоряетъ окисленіе нѣкоторыхъ закисныхъ соединеній почвы, напр., вредныя соединенія закиси желѣза переходятъ въ соединенія окиси подъ вліяніемъ извести гораздо быстрее, такъ какъ вытѣсненная известью закись желѣза окисляется легче, чѣмъ ея соли.

Имѣются указанія, что известь въ извѣстныхъ условіяхъ (въ почвахъ богатыхъ соединеніями желѣза) способствуетъ поддержанію фосфорной кислоты въ состояніи относительно усвояемомъ, удерживая ее отъ перехода въ фосфаты желѣза и даже отнимая часть фосфор-

<sup>1)</sup> Въ одномъ произведенномъ у насъ опытѣ черноземная почва при внесеніи умѣренныхъ количествъ извести (0,2%) обнаружила повышенную нитрификацію уже черезъ 3 недѣли, такъ что той временной задержки, которую наблюдалъ Буссенго при 1% извести, здѣсь не было или же она была гораздо болѣе кратковременной и не могла быть отмѣчена при анализахъ черезъ 3 недѣльные промежутки.

Вотъ цифры для этого опыта (анализы студентовъ Рубина и Галецкаго)

| Сроки:        |                   | 0    | 3 нед. | 6 нед. | 9 недѣль. |
|---------------|-------------------|------|--------|--------|-----------|
| Безъ извести. | Нитраты . . . . . | 58,8 | 69,3   | 90,3   | 96,8 mgr. |
|               | Амміакъ . . . . . | 14,0 | 17,5   | 26,7   | 16,8      |
|               | Сумма . . . . .   | 72,8 | 86,8   | 117,0  | 113,6     |
| Съ известью.  | Нитраты . . . . . | 58,8 | 85,7   | 120,8  | 118,3     |
|               | Амміакъ . . . . . | 14,0 | 14,8   | 29,4   | 35,6      |
|               | Сумма . . . . .   | 72,8 | 100,5  | 150,2  | 153,8     |

(См. статью автора въ журналѣ Опытной Агрономіи, 1903 г., 262).



ной кислоты отъ фосфатовъ желѣза и глинозема <sup>1)</sup>; но этотъ довольно сложный процессъ является недостаточно еще выясненнымъ (на трехкальцевый фосфатъ и апатитъ дѣйствіе обратное).

Известь сильно дѣйствуетъ и на физическія свойства почвъ. Nilgard бралъ глину и дѣлалъ кирпичики изъ чистой глины и изъ глины съ примѣсью извести (0,5—1%); послѣ высушиванія онъ ронялъ ихъ съ опредѣленной (одинаковой) высоты, при этомъ кирпичики съ известью разсыпались, а изъ чистой глины не разбивались. Связность тяжелыхъ почвъ при прибавленіи извести понижается; вода и воздухъ легче проникаютъ въ почву, обработка ея облегчается.

Вообще известь помогаетъ использованію питательныхъ веществъ запаса почвы, но внесенію ея, конечно, не увеличиваетъ ихъ запаса. Прежде, когда не было правильныхъ представленій о роли различныхъ удобрений, послѣднее обстоятельство игнорировалось, часто этимъ приемомъ злоупотребляли и приходили въ концѣ концовъ къ результатамъ неблагоприятнымъ. Такъ какъ урожаи на известковыхъ почвахъ послѣ нѣкотораго подъема въ послѣдствіи быстрее падали, чѣмъ на неизвестковыхъ (въ слѣдствіи болѣе быстрого израсходованія запаса питательныхъ веществъ почвы), то въ Западной Европѣ сложилась пословица, что «известь, обогащая отцовъ, разоряетъ дѣтей». Это, конечно, могло быть вѣрно, если только пользоваться известкованіемъ неумѣренно и вмѣстѣ съ известью не употреблять другихъ удобрений. Но часто известь несомнѣнно оказывала существенныя услуги въ поднятіи культурнаго состоянія того или иного района, напр., при известкованіи оказывалось возможнымъ ввести мотыльковыя тамъ, гдѣ ихъ прежде въ культурѣ не было. Раньше въ нѣкоторыхъ департаментахъ Франціи (Loire et Cher) на почвахъ очень бѣдныхъ известью существовало трехполье съ рожью и гречихой. Послѣ проведенія желѣзной дороги стали подвозить туда известь и начали на известкованныхъ поляхъ воздѣлывать клеверъ, а въ послѣдствіи появились посѣвы и пшеницы; одновременно произошелъ подъемъ и скотоводства. Въ Бретани въ бережной полосѣ, за которой сохранилось названіе «золотого пояса» (ceinture dorée) культура сто-

<sup>1)</sup> См. Костычевъ. Нерастворимыя фосфорнокислыя соединенія, 1881; Sutherst, Bied. Centralblat, 1902, 796; Gerlach, Landw. Vers. Stat., Bd. 46; Geopойнъ, Журналъ Опытной Агрономіи, 1905, 686 (въ послѣдней работѣ имѣются примѣры положительнаго и отрицательнаго вліянія извести на усвояемость  $P_2O_5$  почвы и разборъ условій того или иного дѣйствія на фосфорную кислоту удобрений).

ить на такой высотѣ, между прочимъ, и потому, что тамъ легко можно добывать и пользоваться известью изъ морскихъ отложеній; внутри же страны, дальше отъ моря (и отъ извести) культура стоитъ ниже.

При нашихъ вегетаціонныхъ опытахъ въ 1897 году испытано было 10 различныхъ почвъ на известь; болѣе сильно реагировали подзолы, но реакція сказалась болѣе или менѣе и на другихъ почвахъ. При послѣдующихъ опытахъ наблюдалось, что разныя почвы выносятъ различныя количества извести; такъ на нѣкоторыхъ почвахъ внесеніе 1% извести отъ вѣса почвы уже оказывалось избыточнымъ и давало меньшій урожай, нежели внесеніе  $\frac{1}{2}$ %; на другихъ почвахъ предѣлъ полезнаго дѣйствія лежалъ выше.

Вотъ примѣры изъ опытовъ 1907 года.

|                    | Безъ СаО. | $\frac{1}{4}$ %. | $\frac{1}{2}$ %. | 1% СаО.             |
|--------------------|-----------|------------------|------------------|---------------------|
| Черноземъ . . . .  | 8,0       | 9,0              | 13,8             | 19,6 гр. (пшеница). |
| Болотный суглин. . | 9,0       | 16,6             | 20,2             | 8,1 > (овесъ)       |

Нужно имѣть въ виду, что, 1% извести отъ вѣса почвы представляетъ величину, превосходящую обычно вносимыя количества извести; но причины вреднаго дѣйствія большихъ количествъ извести (даже  $CaCO_3$ ) видимо лежатъ въ наступленіи щелочной реакціи, вѣроятно связанной съ образованіемъ углекислыхъ щелочей; правда опыты проф. П. С. Коссовича показали, что простое промываніе почвы водой еще не устраняетъ вредныхъ послѣдствій избыточнаго известкованія <sup>1)</sup>; но вода могла извлечь лишь ранѣе образовавшіяся углекислыя щелочи, если же причиной ихъ образованія было наличие углекислаго кальція, то это причина могла продолжать оказывать свое дѣйствіе и послѣ промыванія). Въ этихъ же опытахъ обнаружилось, что почвы сильно выщелоченныя и обѣдненные известью (подзолы), хорошо реагируя на внесеніе извѣстныхъ количествъ извести, въ тоже время болѣе чувствительны и къ внесенію большихъ избытковъ ея.

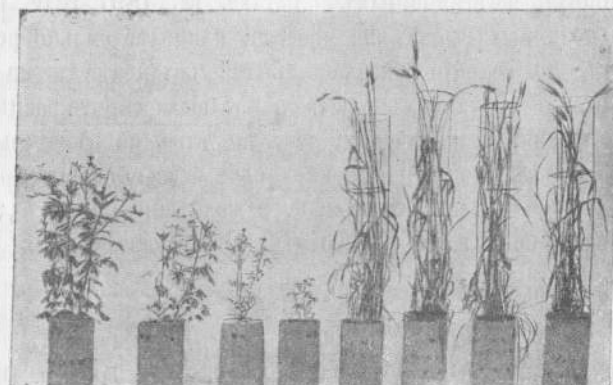
При удобреніи луговъ известью наблюдается улучшеніе ботаническаго состава: процентъ бобовыхъ и кормовыхъ злаковъ возрастаетъ насчетъ сокращенія нежелательной растительности другихъ семействъ.

Изъ растений полевой культуры хорошо реагируютъ на известь какъ хлѣба, такъ и бобовыя, но исключеніе представляютъ люпинъ и серраделла, подъ которые известкованіе не примѣняется во избѣ-

<sup>1)</sup> Труды С. Х. лабораторіи, вып. IV и VI.

жаніе обычно имѣющаго мѣсто при известкованіи подъ эти растенія пониженія урожаявъ <sup>1)</sup>).

Рис. № 72. Люпинъ и пшеница (одна и таже почва).



Известь вносится въ почву также въ видѣ *углекислой извести*, если только есть возможность внести ее въ удобораспредѣляемомъ состояніи, напр., въ видѣ *мергеля*, представляющаго изъ себя тонкую смѣсь углекислой извести съ глиной. Мергель характеризуется смотря по преобладанію той или другой части въ немъ какъ известковый, содержащій отъ 50 до 95% извести; глинистый съ содержаніемъ извести меньше 50% и песчаный, въ случаѣ значительной, примѣси песка; рѣже въ составъ мергеля входитъ и углекислый магній; иногда въ немъ содержится до 1/2% фосфорной кислоты, и тогда мергель можетъ обогащать почву фосфорной кислотой, такъ какъ его вносится въ почву обычно значительное количество.

<sup>1)</sup> Причины отрицательнаго дѣйствія извести на эти растенія недостаточно выяснены; очевидно и это отрицательное вліяніе извести должно быть объяснено косвеннымъ воздѣйствіемъ, такъ подобно всѣмъ высшимъ растеніямъ, люпинъ также нуждается въ извести для своего развитія (см. соответственные опыты въ нашихъ отчетахъ о культурахъ за 1901-й и слѣд. годы). Вѣроятно болѣе правильно будетъ сказать, что предѣлъ полезнаго дѣйствія при культурѣ люпиновъ лежитъ ниже по сравненіи съ злаковыми и другими бобовыми, чѣмъ выставлѣть въ общей формѣ положеніе о неблагопріятномъ отношеніи люпина къ извести (см. между прочимъ статью Хандурина въ Журн. Оп. Агрономіи).

Мергель вывозится съ осени на паровыя поля; подъ вліяніемъ влажности и измѣненій температуры онъ размельчается; для равномернаго распредѣленія его разбрасываютъ и запахиваютъ. Онъ вносится въ количествахъ отъ 600 до 2000 и даже до 15000 пуд. на десятину; въ послѣднемъ случаѣ удобреніе имъ будетъ граничить уже съ кореннымъ улучшеніемъ почвы. Рекомендуютъ, когда есть возможность выбора, вывозить на глинистыя почвы песчаный мергель и наоборотъ, въ видахъ улучшенія физическихъ свойствъ почвы.

Дѣйствіе мергеля по характеру такое же, какъ и жженой извести, но менѣе энергично.

Какъ удобрительныя вещества, содержащія значительное количество извести, вносятся иногда отбросы свеклосахарнаго и газоваго производства.

*Дефекаціонная грязь* съ свеклосахарныхъ заводовъ содержитъ значительное количество извести, наряду съ другими важными для растеній веществами. По составу она бываетъ довольно различна на различныхъ заводахъ.

Въ среднемъ дефекаціонная грязь содержитъ.

|                               |                 |          |
|-------------------------------|-----------------|----------|
| CaCO <sub>3</sub>             | около . . . . . | 40%      |
| H <sub>2</sub> O              | » . . . . .     | 40%      |
| N                             | » . . . . .     | 0.3—0.5% |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | » . . . . .     | 1/2—1%   |

Но отъ этихъ нормъ часто встрѣчаются отступленія, именно можетъ содержаться больше CaCO<sub>3</sub> и меньше P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и N <sup>1)</sup>).

Какъ видно изъ цифръ, по содержанію азота деф. грязь не уступаетъ навозу, а по фосфорной кислотѣ она богаче навоза; но усвояемость этихъ веществъ въ дефек. грязи пока не достаточно выяснена во всякомъ случаѣ удобрительное дѣйствіе дефекаціонной грязи ниже дѣйствія соответственнаго количества навоза (С. Л. Франкфуртъ). Употребляютъ 300—600 пуд. и болѣе дефекаціонной грязи при внесеніи въ паровомъ полѣ; въ нѣкоторыхъ хозяйствахъ встрѣчается внесеніе даже 2—3000 п. на десятину; но такія количества часто проявляютъ отрицательное вліяніе.

*Газовая изветь* отбросъ газоваго производства, не можетъ быть употребляема для удобренія тотчасъ же; она содержитъ ядовитыя для растеній вещества, и нужно дать ей полежать нѣкоторое время на воздухѣ, прежде чѣмъ употреблять въ качествѣ удобренія.

<sup>1)</sup> См. анализы въ Трудахъ Ивановской оп. станціи (им. Харитоненко), вып. 1-й и 2-й.



# Г и п с ь.

Въ качествѣ косвеннаго удобрения играетъ значительную роль *гипсъ* — сѣрниокислый кальцій, содержащій кристаллизационную воду (но встрѣчается и *ангидридъ*, не содержащій воды). Передъ употребленіемъ гипсъ обыкновенно пережигаютъ; пережиганіе это должно вестись осторожно, потому что гипсъ начинаетъ терять воду при 115°, при 250° она удаляется окончательно, а при 400° гипсъ пережигается «на мертво», онъ спекается и его трудно размельчать.

Иногда употребляютъ *суперфосфатъ-гипсъ* (онъ же фосфогипсъ), получающійся при приготовленіи двойныхъ суперфосфатовъ. Это есть остатокъ послѣ обработки фосфорита сѣрной кислотой и промывки его (для удаленія фосфорной кислоты, употребляемой для разложенія новыхъ порцій фосфорита). Употребленіе его считается благоприятнымъ, вслѣдствіе содержанія фосфорной кислоты, но при покупкѣ этого удобрительнаго средства нужно считаться съ составомъ его, потому что кромѣ гипса оно содержитъ глину и песокъ, входившіе въ составъ фосфорита. Примѣрный составъ такой:

|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| CaSO <sub>4</sub> . . . . .             | 64%    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 2—3—5% |
| Глины и песка до . . . . .              | 30%    |

Гипсъ употребляется почти исключительно какъ поверхностное удобрение и разбрасывается уже по развившимся до нѣкоторой степени растеніямъ; употребляется главнымъ образомъ для мотыльковыхъ растеній, культивируемыхъ на кормъ — клевера и люцерны. При разбрасываніи онъ отчасти остается на листьяхъ, но первыми дождями смывается въ почву.

Что касается его дѣйствія въ растенія, то въ исключительныхъ случаяхъ оно достигаетъ громаднхъ размѣровъ. Такъ у Буссенго неудобренный участокъ далъ 1000 кгг. клевернаго сѣна, а удобренный гипсъ 5900 кгг.; обычно же дѣйствіе не столь громадное, но опредѣленно благоприятное. У А. Н. Энгельгардта безъ удобрения было 172 п. клевера, а по гипсу 303 пуда. Въ среднемъ можно считать 4 п. клевернаго сѣна въ приростѣ урожая на 1 пудъ гипса (на сколько такіа среднія, конечно, вообще возможны), иногда получается и 10 п. сѣна на каждый пудъ гипса <sup>1)</sup>. Разсыпаютъ его весной, или послѣ перваго укоса, или же съ осени: последнее примѣняется

<sup>1)</sup> Конечно при обычныхъ дозахъ гипса, въ 15—20 пудовъ на десятину.

въ засушливомъ климатѣ, когда есть рискъ, что гипсъ, разсыпанный по поверхности весной пролежитъ долго безъ дѣйствія. Употребляется гипсъ преимущественно подъ растенія, воздѣлываемыя для корма потому, что онъ способствуетъ усиленному росту листовыхъ и стеблевыхъ органовъ, а не плодовъ (впрочемъ, это вліяніе гипса отчасти зависитъ отъ влажности и плодородія почвы).

Введеніе гипса въ практику удобрения связано съ именами тѣхъ же лицъ, которые способствовали введенію культуры клевера, напр., Шубартъ (von Kleefeld).

Среди объясненій дѣйствія гипса есть много различныхъ вариантовъ. Либихъ высказывалъ, что гипсъ дѣйствуетъ растворяющимъ образомъ на другія вещества почвы и помогаетъ поглощенію углекислой соли изъ воздуха. Первая часть его объясненія подтверждается и другими авторами, но относительно второй трудно допустить, чтобы такая ничтожная по вѣсу доля гипса, который вносится какъ удобрение въ количествѣ 20 п. (и даже меньше), могла оказать вліяніе на поглощеніе амміачныхъ солей почвеннымъ слоемъ, вѣсъ котораго простирается до сотенъ тысячъ пудовъ на десятину и который самъ по себѣ уже является энергичнымъ поглотителемъ амміака; да и тотъ фактъ, что гипсъ, дѣйствуетъ именно на бобовыя, указываетъ на то, что здѣсь дѣло не въ поглощеніи (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>. Буссенго полагалъ, что гипсъ, дѣйствуетъ прямо, какъ растворимая форма извести; Ритгаузенъ также приписывалъ гипсу дѣйствіе прямое, но при этомъ онъ видѣлъ въ немъ прежде всего источникъ сѣры. Это отчасти можно поставить въ связь съ тѣмъ, что бобовыя, богатая бѣлками, содержатъ много сѣры. Проф. Богдановъ (Кіевъ) указывалъ въ послѣднее время, что потребность растеній въ сѣрѣ больше, чѣмъ мы привыкли думать и можетъ быть многія почвы уже нуждаются въ соотвѣтственномъ удобрении (т. е. внесеніи сѣрно-кислыхъ солей, въ частности гипса) <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Такъ, по даннымъ Залѣскаго (полученнымъ въ лабораторіи проф. С. М. Богданова) содержаніе сѣры (S) оказалось такимъ:

|                            |         |                            |         |
|----------------------------|---------|----------------------------|---------|
| Зерна пшеницы . . . . .    | 0,168%  | Солома овса . . . . .      | 0,111%  |
| „ ржи . . . . .            | 0,150 „ | „ проса . . . . .          | 0,199 „ |
| Конскій бобъ . . . . .     | 0,202 „ | Сѣно люцерны . . . . .     | 0,217 „ |
| Горохъ . . . . .           | 0,205 „ | Солома клевера . . . . .   | 0,331 „ |
| Клевера (сѣмена) . . . . . | 0,131 „ | Сах.свекла (на сух.вещ.) . | 0,139 „ |

Эти цифры (полученныя при непосредственномъ сплавленіи съ содой и селитрой) гораздо выше тѣхъ, какія получаютъ при опредѣленіи сѣры по сѣрной кислотѣ въ золѣ (см. книгу проф. С. М. Богданова. Плодородіе почвы 1906 г., стр. 25).

Ученіе объ удобрении.

Чаще всего смотреть на гипс, какъ на косвенное удобрѣніе, которое способствуетъ выдѣленію кали изъ водныхъ силикатовъ (цеолитовъ) почвы. Въ опытахъ Дегерена оказалось, что при промываніи образца русскаго чернозема водой въ водный растворъ переходило изъ 1 килогр. почвы 0,048 гр.  $K_2O$  въ видѣ  $K_2SO_4$ , а при промываніи той же почвы водой съ гипсомъ = 0,428 т. е. въ 9 разъ больше.

Отмѣчаютъ что гипсомъ удобряютъ обычно почвы богатые, а не бѣдные питательными веществами; это можетъ тоже указывать на то, что гипсъ играетъ преимущественно роль косвеннаго удобрѣнія.

Нужно думать, что отмѣчаемая сторона дѣйствія гипса въ разныхъ случаяхъ находятъ свое осуществленіе въ разной мѣрѣ, что въ извѣстныхъ случаяхъ имѣетъ значеніе внесеніе растворимой соли  $Ca$  (клеверъ и люцерна берутъ много кальция въ урожаяхъ), на другихъ почвахъ можетъ играть большую роль внесеніе гипса, какъ сѣрнокислой соли, на третьихъ — косвенное дѣйствіе въ смыслѣ переведенія кали въ болѣе растворимыя соединенія, а затѣмъ возможно конечно одновременное проявленіе двухъ или трехъ названныхъ родовъ воздѣйствія, (названные кормовыя травы уносятъ также много и кали) тѣмъ болѣе, что на всѣ три названные элемента ( $K, Ca, S$ ) бобовыя проявляютъ большій спросъ, чѣмъ злаки.

Нужно не упускать изъ виду, что съ другими удобрениями нерѣдко также вносятся гипсъ или его компоненты; такъ удобряя клеверъ суперфосфатомъ, мы уже даемъ гипсъ; сѣрную кислоту даемъ въ каннитѣ и сѣрнокисломъ амміакѣ, известъ въ томасовомъ шлакѣ, фосфоритѣ, костяхъ, поэтому при вопросѣ о примѣненіи гипса слѣдуетъ считаться съ внесеніемъ другихъ удобрѣній.

Изрѣдка употребляютъ не  $CaSO_4$ , а сѣрнокислый магній; есть указанія, что дѣйствіе его благоприятно. Въ Англіи употребляютъ еще иногда желѣзный купоросъ  $FeSO_4$ ; въ результатъ въ почвѣ, содержащей достаточно извести, образуется тоже гипсъ и углекислая закись желѣза, послѣдняя окисляясь и теряя  $CO_2$  даетъ  $Fe_2(OH)_6$ . Здѣсь дѣло сводится къ образованію въ почвѣ гипса и гидрата окиси желѣза, но это возможно дѣлать въ почвахъ хорошо вентилируемыхъ, чтобы дать возможность солямъ закиси желѣза всегда переходить въ соли окиси. Иначе результаты этой операціи могутъ быть сомнительны; вообще нѣтъ достаточныхъ основаній прибѣгать къ этому приему.

### Постановка опытовъ съ удобрениями.

Опредѣленіе потребности почвъ въ удобрѣніи нуждается въ концѣ концовъ для рѣшенія конкретнаго вопроса (относящагося при томъ не вообще къ данному почвенному типу, а къ условіямъ даннаго хозяйства или даже отдѣльнаго поля) въ показаніяхъ прямого опыта, такъ какъ данныя обычнаго химическаго анализа (солянокислой вытяжки) даютъ слишкомъ общую характеристику почвы, чтобы ей прямо можно было воспользоваться въ этихъ цѣляхъ; конечно, когда, солянокислая вытяжка указываетъ напр. малое содержаніе фосфорной кислоты, то придется примѣнять фосфаты, но при среднихъ показаніяхъ (какія чаще всего встрѣчаются) вопросъ о потребности въ удобрѣніи остается открытымъ, такъ какъ не извѣстна еще степень усвояемости интересующихъ насъ составныхъ частей почвы; а именно отъ усвояемости нѣкоторой части питательныхъ веществъ (относительно малой) и зависитъ урожай даннаго года. Это станетъ очевиднымъ, если мы попробуемъ показаніе солянокислой вытяжки перечислить съ обычныхъ процентовъ на абсолютныя величины. Такъ, возьмемъ почву съ содержаніемъ  $P_2O_5$  въ 0,1%; для 8 вершковаго слоя почвы, вѣсящаго на десятинѣ около 340,000 пудовъ, это составитъ запасъ фосфорной кислоты въ 340 пудовъ; а ежегодно въ урожаяхъ уносится лишь 1—2 п.  $P_2O_5$ , въ обычныхъ количествахъ удобрѣнія вносится около 3 п.  $P_2O_5$ , что составитъ въ % отъ вѣса почвы около 0,001 %. Слѣдовательно, при анализѣ почвъ путемъ солянокислой вытяжки имѣютъ дѣло не съ тѣми величинами, отъ которыхъ зависитъ урожай даннаго года, а опредѣляютъ какъ бы основной капиталъ («богатство» почвы), урожай же зависяетъ только отъ той небольшой части этого запаса, которая способна быть усвоенной растениями («плодородіе» почвы) въ теченіе даннаго вегетаціоннаго періода. Для опредѣленія этихъ малыхъ количествъ предлагается методъ слабыхъ вытяжекъ при очень большихъ навѣсахъ; но и здѣсь встрѣчаются препятствія на пути; помимо трудностей аналитическаго характера и недостатка физиологическихъ данныхъ приходится считаться съ тѣмъ фактомъ, что если бы мы и имѣли реактивъ,



отдѣляющей напр. усвояемую фосфорную кислоту отъ неусвояемой (для того или иного растенія), то показанія анализа относились бы къ одному лишь моменту, въ который взята была почва для анализа; но почва представляетъ среду измѣняющуюся, населенную микро-организмами, и количество усвояемыхъ веществъ или переходящихъ въ такое состояніе за вегетаціонный періодъ, можетъ не совпадать съ показаніями даже идеальнаго анализа, произведеннаго весной. Возможно, конечно, что амплитуда этихъ колебаній окажется не столь большой, чтобы она мѣшала воспользоваться методомъ слабыхъ вытяжекъ; но пока разработка всѣхъ этихъ вопросовъ не достигла желаемой точности, нельзя обойтись безъ постановки непосредственныхъ опытовъ съ данной почвой, если желаютъ имѣть конкретныя указанія о примѣнности и рентабельности того или иного удобрения<sup>1)</sup>.

Подъ вліяніемъ новыхъ взглядовъ высказанныхъ Либихомъ съ 40-хъ годовъ начали производить въ большихъ количествахъ чѣмъ раньше<sup>2)</sup> полевые опыты для выясненія вліянія различныхъ удобрений на культурныя растенія; при этомъ вначалѣ казалось, что эти опыты поставить очень легко, стоитъ только засѣять одинъ участокъ какимъ-либо растеніемъ по испытываемому удобрению, а другой такой же участокъ—безъ удобрения. Вскорѣ, однако, оказалось, что такая элементарная постановка часто ничего не даетъ, такъ какъ на результатахъ опыта слишкомъ сильно отражаются всякія случайности.

При постановкѣ опытовъ пользуются методомъ разницы, т.-е. измѣняютъ только тотъ факторъ, вліяніе котораго хотятъ наблюдать, оставляя остальные факторы постоянными и неизмѣнными, тогда разница въ урожаѣ укажетъ на роль изучаемаго фактора; но желаемая неизмѣнность остальныхъ факторовъ въ полевомъ опытѣ не

<sup>1)</sup> См. упомянутую ранѣе книгу проф. *Богданова* „Плодородіе почвъ“, статьи *Гедройна* (Журналъ Опытной Агрономіи, 1903 и 1906), и *Кудашева* (тамъ же, 1905), *Sigmond'a* (Z. f. Versuchswesen in Oesterreich, 1907), *Tollens'a* (Journal für Landw Bd. 57), *Косицкевича* (Журн. Оп. Agr. 1909) и др. Объ анализѣ растеній въ цѣляхъ сужденія о плодородіи почвы см. обзоръ *Буткевича* (Труды СІВ. с.-х. лабораторіи).

<sup>2)</sup> Обычное представленіе, что опыты съ концентрированными удобрениями ведутъ начало только отъ Либиха, не вѣрно; достаточно взять „*Möglin'sche Annalen*“ за 30-е годы, чтобы убѣдиться въ этомъ; такъ въ 29-мъ томѣ 1832 г.) напечатаны статьи *Körte*, въ одной изъ которыхъ описываются опыты по вліянію костяной муки на урожай хлѣбовъ, а въ другой—опыты по вліянію удобрений на содержаніе клейковины и крахмала въ зернахъ пшеницы.

легко осуществима. Правда, рекомендуется при выборѣ мѣста для опытовъ соблюдать по возможности, чтобы между дѣлянками не было напр. различій, вызываемыхъ условіями рельефа; разницы эти могутъ состоять въ разномъ распредѣленіи влаги, питательныхъ веществъ (наносъ или смываніе мелкозема), также свѣта и тепла, при наклонѣ обрабатываемомъ къ разнымъ сторонамъ горизонта. Слѣдуетъ опасаться также близости дорогъ, которыя помимо риска прямой порчи, могутъ вызвать различія въ строеніи и богатствѣ питательными веществами, особенно если нѣтъ гарантій, что дорога не измѣняла своего положенія въ прошломъ; точно также вліяетъ близость лѣса (снѣгъ лежитъ дольше). Но пожеланіе относительно однородности свойствъ и условій залеганія дѣлянокъ не всегда строго выполнимо даже въ тѣхъ отношеніяхъ, о которыхъ можно судить по непосредственному осмотру; между тѣмъ, помимо этого существуетъ цѣлый рядъ условій, которыя, ускользая отъ вниманія экспериментатора, могутъ сильно отразиться на результатахъ опыта, какъ-то: неодинаковыя обработка и удобрение участковъ въ прежніе годы, разныя культурныя растенія бывшія на нихъ, природныя различія въ механическомъ и химическомъ составѣ почвы или подпочвы<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Чтобы дать нѣкоторое понятіе объ измѣчивости свойствъ почвы, возьмемъ на выдержку изъ 4-го отчета Ивановской оп. станціи (стр. 183) нѣсколько рядовъ цифръ выражающихъ въ фунтахъ урожай свекловицы на рядомъ расположенныхъ и ничѣмъ не удобренныхъ дѣлянкахъ, по 30 кв. саж. каждая (нужно имѣть въ виду, что участокъ взятъ на постоянномъ опытномъ полѣ, слѣдовательно при всемъ соблюденіи возможной однородности почвы по видимымъ признакамъ).

Урожай свеклы въ фунтахъ на каждой дѣлянкѣ въ 30 сажень:

| №№  | 48-й. | 49-й. | 50-й. | 51-й. | 52-й. | 53-й. | 54-й. | 55-й. | 56-й. |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I   | 542   | 503   | 572   | 607   | 552   | 567   | 494   | 419   | 471   |
| II  | 556   | 666   | 642   | 665   | 619   | 627   | 642   | 617   | 669   |
| III | 668   | 663   | 640   | 659   | 640   | 620   | 589   | 665   | 709   |
| IV  | 703   | 696   | 672   | 698   | 707   | 684   | 713   | 697   | 715   |

и т. д.

Приведемъ подобныя же данныя полученные на Сумской опытной станціи при учетѣ на овсяномъ полѣ (безъ всякаго удобрения).

Урожай надземныхъ органовъ овса (килограммы на 1 кв. сажень),

| №№  | 1-й. | 2-й. | 3-й. | 4-й. | 5-й. | 6-й. | 7-й. | 8-й.        |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| I   | 1,87 | 2,22 | 2,05 | 2,12 | 2,06 | 1,80 | 1,89 | 1,70        |
| III | 2,16 | 2,09 | 2,14 | 1,48 | 2,00 | 2,07 | 2,20 | 2,19        |
| IV  | 2,32 | 1,98 | 2,01 | 1,82 | 1,89 | 2,19 | 1,96 | 2,14        |
| VII | 1,46 | 1,73 | 1,97 | 2,04 | 2,11 | 2,26 | 2,20 | 2,30 и т.д. |

Такова измѣчивость въ хорошемъ случаѣ т. е. при однородныхъ внѣшнихъ свойствахъ, благоприятномъ рельефѣ одинаковой культурѣ въ прошломъ; при отсутствіи этихъ условій размѣры колебаній въ сильной степени возрастаютъ (примѣръ измѣчивости для условій нечерноземной полосы см. въ концѣ книги).

Возможно бороться съ этими неточностями разными путями; одинъ изъ мыслимыхъ способовъ — детальное изученіе почвы въ химическомъ и физическомъ отношеніяхъ, учетъ энергіи біологическихъ процессовъ, — сопряженъ съ слишкомъ большими затрудненіями; а если бы были найдены достаточно скорые и чувствительные методы для опредѣленія тончайшихъ различій между свойствами почвы на отдѣльныхъ участкахъ, то самый вопросъ о полевомъ опытѣ утратилъ бы свою остроту.

Далѣе возможно эмпирическимъ способомъ сравнить участки за годъ до производства опытовъ, выдѣливши ихъ заранее одинаково по возможности ихъ обработать, засѣять въ одно время, убрать отдѣльно урожаи и сравнить между собой; если не будетъ замѣтныхъ колебаній въ показаніяхъ, то признать участки пригодными для производства опытовъ по удобренію на слѣдующій годъ. Нужно однако замѣтить, это этотъ способъ, помогая исключить грубые расхожденія показаній, не исключаетъ все-таки различій, проявляющихся неодинаково при разныхъ условіяхъ погоды и разныхъ культурахъ. въ одномъ случаѣ Dafert (Landw. Jahrb. 1903) занимался предварительной вывѣркой 100 мелкихъ дѣлянокъ (на 10 кв. метровъ каждая); урожай пшеницы въ 1899 году колебался на этихъ дѣлянкахъ отъ 2,7 до 3,8 kgr.; для опытовъ 1900 года были выбраны только дѣлянки, давшія совпадающія показанія, тѣмъ не менѣе урожай слѣдующаго растенія (картофеля) колебался на этихъ избранныхъ дѣлянкахъ отъ 19,6 до 26,0 kgr., а урожай третьяго хлѣба (овса) отъ 2,8 до 3,3 kgr.<sup>1)</sup> Причины такихъ несовпаденій показаній разныхъ лѣтъ могутъ лежать частью въ условіяхъ погоды; напр. при недостаткѣ (или избыткѣ) влаги урожаи могутъ быть равны, а при оптимальной влажности скажется различіе въ плодородіи дѣлянокъ, далѣе, при разныхъ растеніяхъ можетъ оказаться, что для однихъ запасъ нищи былъ вездѣ обезпеченъ и различія не проявились, а для другихъ, болѣе требовательныхъ, эти различія сказались (напр. тамъ гдѣ хлѣба не обнаружатъ различій, свекловица ихъ дастъ). Наконецъ, играютъ роль и случайныя вліянія какъ число невзшедшихъ или погибшихъ отъ вредителей растеній и пр.).

Тѣмъ не менѣе при изученіи площади отводимой подъ постоянныя опытные поля этотъ приемъ можетъ оказывать значительныя услуги, хотя не въ той мѣрѣ, какъ это иногда ожидается; такъ предвари-

<sup>1)</sup> Подобные примѣры изъ данныхъ Шатиловской станціи см. въ статьѣ А. Н. Лебеядцева въ Вѣстн. с.-хоз. за 1912 г. № 6.

тельными посѣвами не достигается выравниванія свойствъ отдѣльныхъ дѣлянокъ, такъ же нельзя дѣлать на основаніи ихъ какихъ-либо исправленій въ случаѣ учета урожая въ послѣдующихъ опытахъ; они служатъ лишь для изученія свойствъ площади поля (характера измѣчивости) и могутъ содѣйствовать при достаточной дробности учета, болѣе правильному установленію размѣровъ дѣлянокъ, болѣе правильному дѣленію площади на части, предназначенныя для отдѣльныхъ опытовъ или исключенію той или иной части площади, если она окажется слишкомъ пестрой. На основаніи сказаннаго намъ представляется неудачнымъ названіе такихъ посѣвовъ „уравнительными“; скорѣе они являются посѣвами рекогносцировочными.

Если участки невелики, то съ цѣлью выравниванія свойствъ почвы мыслимо перемѣшиваніе и обратное распредѣленіе уже однородной массы, но это связано съ большимъ трудомъ, тѣмъ болѣе, что нужна чрезвычайная внимательность и осторожность при обратномъ размѣщеніи почвы, иначе можно невольно создать существенныя различія въ строеніи почвы на отдѣльныхъ дѣлянкахъ; лишь при очень малыхъ размѣрахъ дѣлянокъ (лизиметры) возможно пользоваться этими приемами. Развитие этого направленія привело Вагнера къ „вегетационному“ методу (см. ниже).

Наконецъ, четвертый, наиболѣе удобопримѣнимый способъ парализовать случайныя различія состоитъ въ томъ, что для полевыхъ опытовъ рекомендуютъ брать по нѣскольку дѣлянокъ для одной и той же комбинаціи удобреній, а потомъ выводить среднія въ расчетѣ что случайныя колебанія устранятся; приходится брать не только большое число участковъ, но и располагать ихъ въ извѣстномъ порядкѣ, чтобы вѣрнѣе избѣжать возможныхъ случайностей. Умноженіе числа дѣлянокъ иногда создаетъ значительныя трудности; особенно если приходится имѣть дѣло со многими удобреніями, число дѣлянокъ растетъ очень быстро. Пусть, напр., намъ нужно опредѣлить отношеніе почвы къ тремъ главнымъ питательнымъ веществамъ — кали, азоту и фосфорной кислотѣ порознь и въ комбинаціяхъ между собой; въ такомъ случаѣ намъ необходимо имѣть такой рядъ изъ восьми дѣлянокъ. 1) 0 (безъ удобренія) 2) N 3) K 4) P 5) NK 6) NP 7) KP 8) NKP. Если мы хотимъ избѣжать случайныхъ разницъ въ урожаяхъ съ отдѣльныхъ дѣлянокъ, необходимо ставить при самомъ грубомъ опытѣ по меньшей мѣрѣ двѣ одинаковыхъ дѣлянки; итакъ, число ихъ при означенной схемѣ возрастаетъ уже до 16; лучше же взять по 3 или болѣе одноименныхъ дѣлянокъ, но тогда приходится имѣть дѣло съ 24 или 32 дѣлянками, т.-е. рѣшиться на значительный



— 344 —

— 345 —

лосы); кромѣ формы полосы, къ этому побуждаетъ здѣсь и неоднородность условій роста на томъ и другомъ скатѣ (т.-е. если бы мы расположили дѣленіемъ напр. въ два ряда, то одинъ рядъ оказался бы на сѣверномъ, другой на южномъ, или западномъ и восточномъ скатахъ; если же каждый участокъ захватываетъ всю ширину полосы, то участки будутъ болѣе сравнимы другъ съ другомъ).

На полосахъ не столь узкихъ, обработанныхъ ровно (или включающихъ нѣсколько загоновъ) возможно (но не обязательно) многорядное расположеніе дѣлянокъ; оно является обычнымъ, если дѣлянки не очень удаляются отъ квадратной формы; но при очень узкихъ и длинныхъ дѣлянкахъ онѣ также и въ этомъ случаѣ пройдутъ насквозь черезъ все поле въ поперечномъ направленіи и расположатся лишь однимъ рядомъ вдоль участка <sup>1)</sup>).

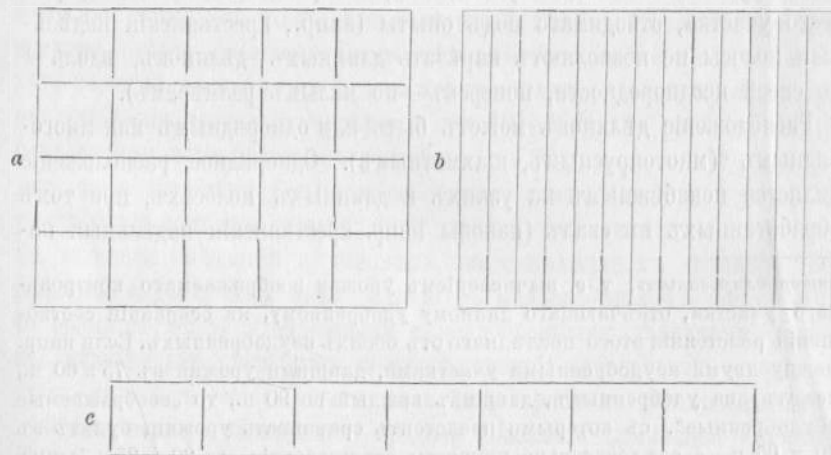


Рис. 73. Разные типы дѣлянокъ: а) квадратныя расположенныя многорядно б) узкія вытянутыя, проходящія черезъ весь участокъ в) близкія къ квадратнымъ дѣлянки, но расположенныя въ одинъ рядъ благодаря формѣ участка (крестьянская полоса).

<sup>1)</sup> См. о разбивкѣ дѣлянокъ и другихъ подробностяхъ въ статьяхъ С. Л. Франкфурта и Б. Н. Рождественскаго (Труды сѣти, сообщеніе 1-е) В. Г. Ротмистрова (Методика полевого опыта, Одесское Оп. поле, ч. IX); въ статьѣ „Полевые опыты“ въ 7-мъ томѣ С. Х. Энциклопедіи, изд. Девриена, въ докладахъ и инструкціяхъ, напечатанныхъ въ Сборникъ имени А. И. Чупрова (Труды московскаго совѣщанія М. 1098); въ отчетахъ объ Екатеринбургскихъ опытахъ (I—III, сост. Рождественскій и Вольфъ), въ отчетахъ опытныхъ станцій (Ивановской, Сумской и др.).

При сравненіи дѣлянокъ квадратныхъ и удлиненныхъ Б. П. Рождественскій <sup>1)</sup> получилъ такого рода данныя:

|                         | Среднія отклоненія. | Крайнія отклоненія. |
|-------------------------|---------------------|---------------------|
| Квадратныя . . . . .    | 8,07%               | 19,96%              |
| Удлиненныя дѣл. . . . . | 3,89%               | 10,51%              |

Дѣлянки не должны быть слишкомъ велики; чѣмъ меньше дѣлянки, тѣмъ болѣе тщательно и одновременно могутъ быть произведены на нихъ всѣ работы; но они не должны быть и слишкомъ малы. Однако, вопросъ о величинѣ дѣлянки не имѣетъ общаго рѣшенія, оно должно вытекать изъ условій и задачи опыта. Этимъ объясняется разнообразіе нормъ которыя пытались установить для размѣра дѣлянокъ; такъ, обычно признаютъ участки въ 60—120 кв. саж. наилучшими, но нѣкоторые берутъ ихъ въ 240 саж. Есть сторонники дѣлянокъ въ 20—25 кв. сажень и даже еще меньшихъ, въ предположеніи, что чѣмъ меньше дѣлянка, тѣмъ точнѣе могутъ быть проведены всѣ операціи по закладкѣ опыта и учету урожая; но очень малыя дѣлянки уже неудобны въ томъ отношеніи, что растеній, занимающихъ значительное пространство (картофель, свекла), приходится мало на этомъ участкѣ и на урожай сильнѣе вліяютъ всякія случайности, напр., нѣкоторое число невзошедшихъ (или поврежденныхъ насѣкомыми) растеній. Правда, предлагали дѣлать въ такихъ случаяхъ арифметическую поправку на недостающее число растеній, увеличивая соотвѣтственно урожай (т. е. допуская, что пропавшія растенія вѣсили бы въ среднемъ каждое столько же, сколько наличныя). Но эта поправка совершенно произвольна <sup>2)</sup> и самое допущеніе, что число погибшихъ растеній только случайно, — совершенно невѣрно въ такой общей формѣ. Число наличныхъ растеній несомнѣнно зависитъ отъ удобренія и состоянія почвы. Для свеклы, напр., по навозному удобренію обнаружено было для одного опыта <sup>3)</sup> въ среднемъ 88% отъ теоретическаго числа растеній, остальные погибли отъ болѣзней и насѣкомыхъ; на удобренной почвѣ—осталось

<sup>1)</sup> См. IV выпускъ „Трудовъ Ивановск. Оп. Ст.“ (им. Харитоненко). Глава: „Приемы увеличивающіе точность полевого опыта“ (Б. Н. Рождественскій).

<sup>2)</sup> Очевидно, что если часть растеній погибнетъ, то оставшіяся пользуются воздухомъ, свѣтомъ, влагой, питательными веществами почвы въ счетъ погибшихъ растеній, поэтому неправильно допущеніе, что средній вѣсъ растеній былъ бы тотъ же самый, если бы всѣ растенія были на лицо.

<sup>3)</sup> См. работу автора „Опыты по физиологіи и культурѣ сах. свекловицы“. Извѣстія Петровской Академіи, 1891 г.



61%, на участкѣ, получившемъ полное минеральное удобрение—88%. Такимъ образомъ, на полнотѣ стоянія растений сказывается несомнѣнно вліяніе удобрения; дѣлая поправку на число недостающихъ экземпляровъ, мы неправильно понижаемъ это вліяніе. Если пытаться различать случайныя вліянія отъ закономерныхъ, то опять внесемъ произволъ; поэтому лучше не прибѣгать къ подобнымъ поправкамъ.

Другое возраженіе, дѣлавшееся противъ малыхъ участковъ, это то что они даютъ урожаи, которые оказываются слишкомъ большими, прямо невѣроятными при пересчетѣ ихъ на десятину. Это получается оттого, что при небольшихъ участкахъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга промежутками, процентъ краевыхъ растений, развивающихся усиленно<sup>1)</sup> благодаря болѣе благоприятнымъ условіямъ, значителенъ, а потому и урожаи получаются преувеличенными (съ краевъ не только растенія лучше освѣщены и пользуются большимъ доступомъ воздуха, но еще и лучше снабжены влагой, что особенно замѣтно въ сухомъ климатѣ). Однако же, когда насъ интересуютъ относительныя числа, то это возраженіе не имѣетъ значенія, если мы будемъ выражать повышение урожая въ %%; а затѣмъ указанная особенность краевыхъ растений устраняется при помощи *защитныхъ полосъ*, которыя засѣваются тѣмъ же растеніемъ, но передъ уборкой опытныхъ дѣлянокъ скашиваются отдѣльно и урожай на нихъ не учитывается.

Установленіе размѣровъ дѣлянокъ еще потому трудно поддается общей нормировкѣ что рѣшеніе этого вопроса является сопряженнымъ съ другими (общій размѣръ опытнаго поля, число дѣлянокъ, характеръ измѣнчивости свойствъ почвы и др.). Въ большинствѣ случаевъ можно сказать, что когда приходится имѣть дѣло съ определенной площадью, отведенной подъ опыты, и дѣлать выборъ между закладкой значительныхъ по размѣрамъ дѣлянокъ, но при меньшемъ числѣ повтореній или же наоборотъ: меньшихъ по размѣрамъ дѣлянокъ, но при большемъ числѣ повтореній, то приходится предпочитать второй исходъ: большая дѣлянка, будучи раздѣлена на нѣсколько мелкихъ и какъ бы распределена въ видѣ этихъ мелкихъ дѣлянокъ по разнымъ частямъ опытной площади, дастъ болѣе устойчивое показаніе<sup>2)</sup>, чѣмъ безъ такого раздѣленія (вслѣдствіе того, что увеличивается шансъ для каждой прежней дѣлянки захватить послѣ раздѣленія разные

<sup>1)</sup> См. характерные снимки въ книгѣ *Marek'a*. Ueber relativen Werth von versch. Phosphaten, 1889.

<sup>2)</sup> См. *Holtmark und Larsen*, Ueber die Begrenzung der Fehler, die bei Feldversuchen durch die Ungleichmässigkeit des Bodens bedingt sind. Bied. Centralblatt 1905, 746.

части площади, въ которыхъ можно предполагать извѣстное различіе свойствъ).

Такъ какъ вопросы о числѣ повторныхъ дѣлянокъ, величинѣ отдѣльной дѣлянки и площади всего опытнаго участка являются вопросами сопряженными, то необходимо взвѣсивши значеніе каждаго фактора выбрать затѣмъ нѣкоторый оптимальный комплексъ ихъ, обуславливающий возможно большую точность отвѣта для данныхъ условій.

Наиболѣе существенное увеличеніе достовѣрности средняго достигается обычно путемъ увеличенія числа дѣлянокъ. По теоріи вѣроятностей средней размѣръ погрѣшности уменьшается пропорціонально корню квадратному изъ числа показаній, т.-е. при 2-хъ показаніяхъ погрѣшность уменьшится въ отношеніи  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71$ , при 4-хъ показаніяхъ — въ отношеніи  $\frac{1}{\sqrt{4}} = 0,50$ , и т. д.

При проверкѣ этихъ отношеній примѣнительно къ условіямъ полевого опыта *Holtmark* и *Larsen* наблюдали близкія къ вычисленнымъ измѣненіямъ, именно:

|                                             |           |            |
|---------------------------------------------|-----------|------------|
| При среднемъ изъ . . . . .                  | 1 : 2     | 4 дѣлянокъ |
| Среднія размѣры погрѣшн. относятся какъ . . | 1 : 0,658 | 0,418 "    |
| Вычисленіе же даетъ: . . . . .              | 1 : 0,71  | 0,50 "     |

На дѣлѣ сокращеніе размѣра погрѣшности оказалось даже выше предсказываемаго теоріей вѣроятностей, что объясняется такъ: погрѣшности въ показаніяхъ отдѣльныхъ дѣлянокъ на самомъ дѣлѣ не вполнѣ случайны (какъ это допускается при теоретическомъ построеніи), они являются отчасти какъ бы общими или болѣе близкими для цѣлыхъ группъ дѣлянокъ, такъ какъ обычно плодородіе почвы мѣняется не беспорядочными скачками отъ одной дѣлянки къ другой, а болѣе постепенно въ томъ или другомъ направленіи (это констатировано и въ опытахъ *Larsen'a*); поэтому, когда мы увеличиваемъ число повторныхъ дѣлянокъ, мы еще выигрываемъ и на распределеніи ихъ по площади, свойства которой оказываются тогда лучше представленными въ нѣсколькихъ дѣлянкахъ, разбросанныхъ въ разныхъ частяхъ опытнаго участка (затѣмъ, что характеръ измѣнчивости свойствъ почвы можетъ быть въ разныхъ случаяхъ въ той или иной мѣрѣ неодинаковымъ).

Величина дѣлянки также можетъ способствовать повышенію точности показанія, но не въ тѣхъ предѣлахъ, какъ это нерѣдко думаютъ лица, не имѣвшія дѣла съ постановкой опытовъ; вотъ примѣръ изъ того же изслѣдованія *Larsen'a*:

|                                  |       |       |       |       |               |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Величина дѣлянки .               | 6,25  | 12,50 | 25    | 50    | 100 кв. метр. |
| Средній размѣръ погрѣшности: . . | 17,4% | 15,8% | 14,6% | 12,7% | 11,5% » »     |

Такимъ образомъ здѣсь крупное (16-кратное) увеличеніе затраты площади на каждую дѣлянку понизило размѣръ погрѣшности почти лишь

въ томъ же отношеніи, какъ если бы мы только удвоили число самыхъ малыхъ дѣлянокъ ( $\frac{17,4}{\sqrt{2}} = 12,3\%$ ).<sup>1)</sup>

Различіе между удвоеніемъ (или вообще умноженіемъ) числа дѣлянокъ и увеличеніемъ площади дѣлянки видно уже изъ того, что при удвоеніи площади захватываются только сосѣднія части, которыхъ погрѣшность обычно близка къ тому же типу; при удвоеніи же числа дѣлянокъ (или одновременномъ увеличеніи площади и раздробленіи прежней дѣлянки на части разбросанныя въ разныхъ мѣстахъ участка) мы захватываемъ разныя части площади, съ разными размѣрами погрѣшностей, и такимъ образомъ лучше учитываемъ послѣдніе).

Если увеличеніе числа дѣлянокъ повышаетъ точность въ большей мѣрѣ чѣмъ увеличеніе ихъ площади, то слѣдовательно можно повысить точность, если вмѣсто одной крупной дѣлянки взять нѣсколько мелкихъ, въ суммѣ равныхъ ей по площади; при такомъ раздробленіи дѣлянки больше выиграется въ точности отъ увеличенія числа дѣлянокъ, чѣмъ будетъ утрачено отъ уменьшенія площади каждой дѣлянки, общая же площадь при этомъ останется прежней.

Насколько можно понизить размѣръ погрѣшности такимъ раздробленіемъ дѣлянокъ можно видѣть изъ слѣдующихъ данныхъ Larsen'a: 20 дѣлянокъ по одному ару каждая (100 кв. м.) дали средній урожай сѣна въ 74.85 килограмма, при среднемъ отклоненіи въ 12%; параллельно съ этимъ на той же площади луга было образовано разбросанныя дробныя дѣлянки по  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  и  $\frac{1}{16}$  ара, которыя при учетѣ образовали въ суммѣ дѣлянки тоже по одному ару, по двадцать такихъ суммарныхъ дѣлянокъ въ каждой серіи; при этомъ получились такія отклоненія.

Серіи по 20 аровъ:

|                          | Дѣлянки цѣльныя<br>(по 1 ару) | Дѣлянки раздробленныя. |                        |                        |                          |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
|                          |                               | $2 \times \frac{1}{2}$ | $4 \times \frac{1}{4}$ | $8 \times \frac{1}{8}$ | $16 \times \frac{1}{16}$ |
| Среднее отклоненіе . . . | 12,02%                        | 8,06%                  | 5,30%                  | 4,02%                  | 3,33%                    |
| Наибольшее отклоненіе .  | 32,14                         | 22,11                  | 16,10                  | 8,62                   | 8,63                     |

При подобномъ опытѣ на Ивановской опытной станціи (им. Харитоненко) Б. П. Рожественскій наблюдалъ такія отклоненія (при 8 элементарныхъ дѣлянкахъ, по 30 кв. саж. каждая, занятыхъ свекловицей). Дробныя дѣлянки (8) расположены:

|                                             | Въ 1-мъ | 2-мъ  | 4-хъ  | 8 мѣстахъ <sup>2)</sup> |
|---------------------------------------------|---------|-------|-------|-------------------------|
| Среднее отклоненіе . . .                    | 5,16%   | 4,08% | 3,07% | 2,72%                   |
| Крайнія отклоненія при этомъ уменьшились съ | 13,69%  | до    | 6,07% |                         |

<sup>1)</sup> При подобномъ сравненіи на Сумской опытной станціи М. А. Егоровымъ получены такія величины:

| Размѣръ дѣлянки . . .  | 1    | 3   | 5   | 10  | 20  | 40  | 60 кв. саж. |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| Средній % отклоненія . | 7,3% | 5,7 | 5,0 | 3,8 | 3,9 | 2,8 | 2,8%        |

Повидимому, для данныхъ условий повышеніе точности показанія отъ увеличенія размѣра дѣлянки прекращалось при приближеніи къ площади въ 40 саж., или можетъ быть даже ранѣе (такъ какъ для промежуточныхъ площадей (20—40) нѣтъ данныхъ; см. Журналъ Опытной Агрономіи, 1909).

<sup>2)</sup> Или: большая дѣлянка въ 240 саж. разбита на 2, 4, 8 меньшихъ, расположенныхъ въ разныхъ частяхъ опытнаго участка.

Въ вышеупомянутомъ опытѣ на Сумской станціи дробленіе 20-ти саженокъ дѣлянокъ на двѣ и четыре меньшихъ (по 10 и 5 саженокъ) дало пониженіе погрѣшности въ такомъ отношеніи: 2, 4:1, 6:0, 8).

Увеличеніе числа дѣлянокъ безъ уменьшенія ихъ размѣровъ повлекло бы за собой увеличеніе общей площади, занятой даннымъ опытомъ; такое увеличеніе не только встрѣчаетъ обычно препятствія вишнія, но за известными предѣлами оно можетъ быть нежелательно по существу, такъ какъ оно влечетъ за собой увеличеніе разстояній между крайними дѣлянками, а при большихъ разстояніяхъ можно ожидать большихъ различій въ свойствахъ почвы, чѣмъ на малыхъ, а значитъ и большихъ размѣровъ погрѣшностей въ показаніяхъ дѣлянокъ.

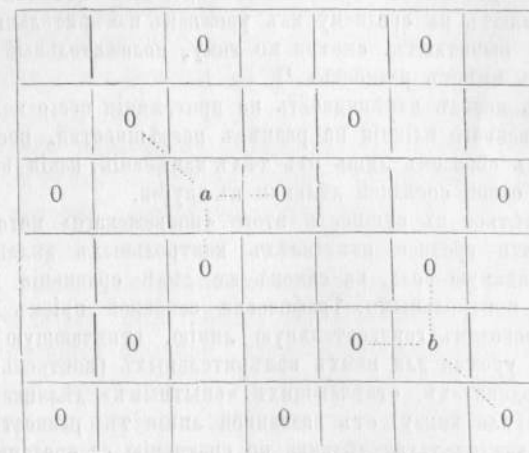


Рис. 74.

Чтобы противодѣйствовать этому возрастанію погрѣшностей при увеличеніи общей площади опытнаго поля Holstmark и Larsen предлагаютъ пользоваться методомъ, который въ теченіе ряда лѣтъ съ успѣхомъ примѣнялся на опытныхъ поляхъ въ Норвегіи и который они обозначаютъ въ своемъ нѣмецкомъ сообщеніи<sup>1)</sup> какъ «Maszparzellenmethode», т. е. «методъ измѣрительныхъ дѣлянокъ» (который сводится къ извѣстному способу размѣщенія контрольных дѣлянокъ (если угодно «пробныхъ площадей») и пользованія ими для учета дѣйствія того или иного испытываемаго приѣма (какъ вліянія удобренія, такъ и сравненія сортовъ и пр.). На общемъ фонѣ шахматно расположенныхъ квадратныхъ дѣлянокъ располагаются дѣлянки измѣрительныя, рядами параллельными діагоналямъ; если же мы будемъ двигаться по горизонтальнымъ (или вертикальнымъ) рядамъ, что черезъ каждыя двѣ «опытныя» дѣлянки будемъ встрѣчать одну измѣрительную (контрольную), такъ что на послѣднія приходится  $\frac{1}{3}$  всей площади оп. поля (см. рис. 74).

<sup>1)</sup> Landw. Versuchsstationen, Bd. LXV, 1906. (Первое сообщеніе сдѣлано Larsen'омъ на с.-х. конгрессѣ въ Стокгольмѣ въ 1897 г.)



При такомъ расположении каждая дѣлянка (напр. *a* или *b* на нашемъ чертежѣ) имѣетъ по сосѣдству съ собой три измѣрительныхъ дѣлянокъ (0), которыми и пользуются для того, чтобы «вмѣсто фактическихъ полученныхъ урожаевъ на сравниваемыхъ дѣлянкахъ употреблять для сравненія такъ сказать «идеальные» урожаи, которые высчитываются слѣдующимъ образомъ:

«Вычисляють средний урожай трехъ ближайшихъ къ сравниваемой измѣрительныхъ дѣлянокъ и опредѣляютъ разность между этой средней величиной и урожаемъ соответственной (сравниваемой) дѣлянки. Это дѣлается для всѣхъ дѣлянокъ, входящихъ въ опытъ. Далѣе вычисляють средний урожай всѣхъ измѣрительныхъ дѣлянокъ на данномъ полѣ, и въ концѣ концовъ для каждой сравнительной дѣлянки отвѣчающую ей разность прибавляютъ къ среднему изъ урожаевъ измѣрительныхъ дѣлянокъ или изъ него вычитаютъ, смотря по тому, положительный или отрицательный знакъ имѣетъ разность» <sup>1)</sup>.

При такомъ методѣ измѣнчивость на протяженіи всего поля не оказываетъ существеннаго вліянія на размѣръ погрѣшностей, послѣдній зависитъ главнымъ образомъ лишь отъ тѣхъ измѣненій, какія возможны при переходѣ отъ одной сосѣдней дѣлянки къ другой.

Если взглянуть въ сущность этого «норвежскаго» метода, то легко обнаружить, что среднее изъ всѣхъ контрольных дѣлянокъ играетъ здѣсь лишь видимую роль, на самомъ же дѣлѣ сравненіе производится съ сосѣдними контрольными. Графически основной приѣмъ можно выразить такъ: проводимъ горизонтальную линію, отвѣчающую уровню общаго среднего урожая для всѣхъ измѣрительныхъ (контрольных) дѣлянокъ, и на ординатахъ, отвѣчающихъ «опытнымъ» дѣлянкамъ, откладываемъ кверху (или книзу) отъ названной линіи тѣ разности урожаевъ, которыя дала каждая такая дѣлянка по сравненію съ среднимъ урожаемъ *трехъ сосѣднихъ* контрольных дѣлянокъ. Слѣдовательно, въ концѣ концовъ сравниваются эти послѣднія разности, только послѣ приведенія (чисто формальнаго) къ нѣкоторому общему уровню <sup>2)</sup>.

Весьма большое значеніе при постановкѣ полевого опыта имѣетъ правильный *выборъ схемы*. Такъ какъ сложныя схемы при необходимости повторныхъ участковъ дѣлаютъ опытъ трудно исполнимымъ, то лучше избѣгать усложненія задачи; но ограничивши задачу опре-

<sup>1)</sup> Landw. Vers. Stat. Bd. LXV, стр. 19—20.

<sup>2)</sup> Эти замѣчанія мы дѣлаемъ не ради возраженія противъ «норвежскаго способа», но ради выясненія его значенія. Нельзя не отмѣтить, что многое въ немъ близко съ неоднократно намѣчавшимся и въ нашей литературѣ: тамъ «идеальный урожай», здѣсь «воображаемая контрольная дѣлянка» В. Н. Рождественскаго; тамъ расчетъ на основаніи трехъ сосѣднихъ, здѣсь—двухъ. Своеобразно въ норвежскомъ способѣ самое размѣщеніе контрольных дѣлянокъ, позволяющее имѣть по сосѣдству съ каждой удобренной три неудобренныхъ дѣлянки при отведеніи всего лишь одной трети площади подъ послѣднія; это представляетъ несомнѣнную положительную сторону, однако осуществимую только при многорядномъ (шахматномъ) расположеніи дѣлянокъ квадратной (или близкой къ послѣдней) формы.

дѣленными рамками, въ этихъ предѣлахъ требовать отъ схемы полнаго и точнаго выясненія поставленнаго вопроса. Первый вопросъ, съ которымъ приходится сталкиваться при началѣ изслѣдованія неизвѣстной намъ почвы путемъ полевого опыта, будетъ слѣдующій: реагируетъ ли данная почва на внесеніе питательныхъ веществъ вообще и какія именно изъ питательныхъ веществъ вызываютъ наибольшее повышеніе урожая? Лишь послѣ того, какъ опытъ дастъ отвѣтъ на эти вопросы, можно идти далѣе и узнавать: въ какой формѣ и въ какихъ количествахъ слѣдуетъ вносить недостающія вещества, чтобы достигнуть наибольшихъ урожаевъ? гдѣ лежитъ предѣлъ рентабельности? Если бы мы задались цѣлью сразу рѣшить всѣ эти вопросы, то пришли бы къ схемамъ невѣроятной сложности, которыя если бы и были осуществимы, то съ затратой значительной части труда понапрасну (напр., мы рисковали бы испытывать разныя количества и разныя формы азотистой и калийной пищи на почвѣ, которая реагируетъ только на фосфоръ).

Но и при постановкѣ опытовъ по вопросамъ первой категоріи (*въ какихъ веществахъ нуждается почва*) приходится также ограничиваться испытаніемъ тѣхъ веществъ, потребность въ которыхъ является обычной, часто встрѣчающейся. Какъ правило, наблюдается испытаніе на отзывчивость къ тремъ главнѣйшимъ (съ точки зрѣнія наиболѣе выраженной потребности) веществамъ: азоту, фосфору и кали. Однако, для испытанія отношенія къ этимъ веществамъ недостаточно было бы такой схемы:

1) O    2) N    3) K    4) P

такъ какъ, если почвѣ одновременно недостаетъ двухъ изъ нихъ, то ни одно вещество порознь не подѣйствуетъ (законъ минимума); поэтому необходимо добавить комбинаціи этихъ удобреній по 2; а такъ какъ по мѣрѣ удовлетворенія потребности въ двухъ недостающихъ элементахъ можетъ проявиться свое дѣйствіе и третій, то необходимо ввести дѣлянку, которая получитъ всѣ три удобрения; такъ мы приходимъ къ неизбѣжной *восьмерной* *схемѣ*:

1) O    2) N    3) K    4) P    5) NK    6) NP    7) KP    8) NKP <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Эта наиболѣе обычная схема осуществляется путемъ разбивки и отвѣшиванія удобрений на каждую дѣлянку въ отдѣльности; иногда же поступаютъ такъ: площадь В, отведенную подъ опытъ, дѣлятъ пополамъ линіи ZM (см. рис. 75-й) и рассыпаютъ на одной половинѣ (AJZM) напр. селитру; далѣе дѣлятъ пополамъ линіей EF и рассыпаютъ на правой половинѣ (EFJK) напр. калийную соль; третье удобреніе (фосфорнокислосое)

Если схема эта повторяется при закладкѣ опыта не многократно, а всего напр. лишь два раза, то необходимо увеличить по крайней мѣрѣ число контрольных дѣлянокъ, чтобы съ помощью ихъ слѣдить за степенью измѣчивости почвы на протяженіи опытной полосы; если приходится ограничивать число дѣлянокъ и нельзя рядомъ съ каждой удобренной поставить неудобренную, то вставляютъ неудобренныя послѣ каждыхъ двухъ удобренныхъ; тогда «восьмерная» схема осуществляется при одиннадцати (resp. 22) дѣлянкахъ:

$O, N, K, O, P, NK, O, NP, KP, O, NKP.$

Если восьмерная схема оказывается трудно осуществимой, то приходится подумать, какъ ее сократить съ наименьшимъ ущербомъ; сокращеніе возможно лишь въ томъ случаѣ, если мы пожертвуемъ полнотой отвѣта и придадимъ меньшее значеніе одному изъ элементовъ, напр. заранее рѣшимъ, что вопросъ о калийныхъ удобренияхъ

разсыпается по площади CDGH, равной тоже половинѣ участка, но расположенной посрединѣ его, на разстояніяхъ отъ того и другого края на одну четверть длины. Этими тремя операціями мы получаемъ восемь различныхъ комбинацій по удобрению, согласно приведенной схемѣ, кото-

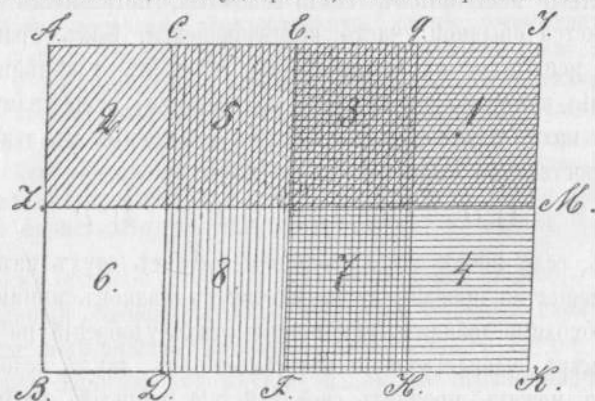
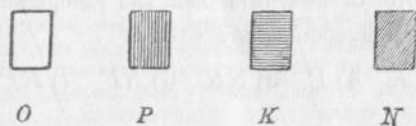


Рис. 75-й.



рая должна дать отвѣтъ на вопросъ, какъ относится почва къ тремъ важнейшимъ категоріямъ удобрений — азотистымъ, фосфорнокислымъ, калийнымъ (см. Вѣстникъ С. Х., 1901. № 74-й). Но эти (и подобныя) комбинаціи не осуществимы на узкихъ полосахъ, вспаханныхъ загонами (какъ напр., крестьянскія надѣльныя полосы), и вообще менѣе употребительны.

насъ меньше интересуетъ въ виду того, что кали, если и бываетъ нужно, то обыкновенно не въ первую очередь (что не для всѣхъ типовъ почвъ и не для всѣхъ культуръ сохраняетъ одинаковую вѣроятность); при этомъ предположеніи можно выбросить дѣлянки съ однимъ К, а также НК и РК, оставивши лишь кали въ присутствіи N и P; тогда схема изъ восьмерной превратится въ пятерную и приметъ такой видъ.

$O, N, P, NP, NKP$

ли со вставкой повторныхъ контролей:

а)  $O, N, P, O, NP, NKP, O$

б)  $N, O, P, O, NP, O, NKP.$

Нерѣдко встрѣчается другой способъ сокращенія восьмерной схемы въ пятерную, это выбрасываніе тѣхъ дѣлянокъ, гдѣ удобрения вносятся по одиночкѣ; остается слѣдующее:  $O, NK, NP, KP, NKP$ ; при этомъ о дѣйствіи cadaго элемента приходится судить, сравнивая дѣлянку NKP съ той, гдѣ данный элементъ отсутствуетъ. Этотъ способъ сокращенія болѣе уместенъ въ интенсивныхъ хозяйствахъ Западной Европы, гдѣ наклонны примѣнять всѣ три рода удобрений; дѣйствительно, ихъ относительная важность при этомъ способѣ скажется. Но въ хозяйствахъ болѣе экстенсивномъ, гдѣ приходится искать пока хотя бы одного экономически-выгоднаго рода удобрения, нельзя обойтись безъ дѣлянокъ съ одиночными удобрениями; поэтому для насъ первый способъ сокращенія является болѣе допустимымъ, съ тѣмъ конечно, что на роль третьестепеннаго элемента не всегда попадаетъ К, а иногда и N (напр. на лугахъ, гдѣ представлены бобовыя, на торфяникахъ и др.).

Когда выяснено, въ какихъ веществахъ нуждается почва, тогда можно отыскивать подходящую форму и количество удобрений, напр., сравнивая фосфоритъ, томасовъ шлакъ, кость съ суперфосфатомъ, установить относительное дѣйствіе cadaго удобрения. Отсюда видно, насколько нераціональны простыя пробы отдѣльныхъ удобрений, которыя дѣлались такъ часто, когда могло казаться, что, для рѣшенія вопроса о пригодности того или иного удобрения достаточно имѣть лишь двѣ категоріи участковъ (съ даннымъ удобрениемъ и безъ него); но сдѣлать раціональный выводъ изъ такого опыта, напр., при опытѣ съ фосфоритомъ очевидно нельзя, такъ какъ мы не можемъ тогда разобраться въ причинахъ того или иного результата: можетъ быть почва, въ случаѣ отрицательнаго результата опыта, не нуждается совсѣмъ въ фосфорной кислотѣ; можетъ быть она нуждается



въ ней, но форма удобрения непригодна для данной почвы; можетъ быть, наконецъ, почва нуждается въ фосфорной кислотѣ и данная форма ея подходитъ къ условіямъ опыта, но одновременно не хватаетъ, напр., азота и безъ него дѣйствіе  $P_2O_5$  не проявляется.

Такимъ образомъ, кромѣ названныхъ двухъ дѣлянокъ приходится непременно ставить еще дѣлянки съ растворимой фосфорной кислотой, тогда получаемъ простѣйшую схему: 1) безъ удобрения 2) фосфоритъ 3) суперфосфатъ. Если бы мы были увѣрены, что другія вещества, кромѣ фосфора, заведомо находятся въ достаточномъ количествѣ, то можно было бы ограничиться для данного случая повторной закладкой только такой схемы. Но если такая увѣренность не можетъ быть распространена на каждый отдѣльный пунктъ, гдѣ производятся опыты, то лучше добавить также дѣлянки съ кали и азотомъ. Тогда опытъ принимаетъ такое расположение: 1) безъ удобрения 2) фосфоритъ 3) суперфосфатъ 4) селитра+калійная соль 5) селитра+калійная соль+фосфоритъ 6) суперфосфатъ+селитра+калійная соль (не считая необходимыхъ повтореній).

То, что здѣсь сказано примѣнительно къ опытамъ съ фосфоритомъ, относится (съ соотвѣтственной подстановкой) и къ другимъ опытамъ по испытаніи формы внесенія того или иного питательнаго вещества.

При постановкѣ опытовъ по сравнительной оцѣнкѣ удобрений необходимо правильно устанавливать размѣръ удобрения: не все равно, вносить ли при совершенно однородныхъ участкахъ большее или меньшее количество удобрения, такъ какъ при большомъ количествѣ испытываемыхъ удобрений происходитъ сглаживание разницъ между различными удобрениями, при малыхъ, наоборотъ, разницы подчеркиваются болѣе рельефно.

Пусть, напр., мы сравниваемъ суперфосфатъ и какой-нибудь шлакъ, у котораго коэффициентъ использованія = 50%. Пусть на данной почвѣ способны произвести наибольшій эффектъ 3 пуда  $P_2O_5$  на десятинѣ. Не зная этого, мы вносимъ 6 пуд.  $P_2O_5$  въ формѣ суперфосфата и шлака и не получаемъ никакой разницы, потому что 3 п.  $P_2O_5$  изъ 6 п. въ суперфосфатѣ не будутъ дѣйствовать, какъ избыточные, а 6 п.  $P_2O_5$  томова шлака дѣйствуя на половину, производятъ такой же эффектъ, какъ и 3 пуда фосфорной кислоты суперфосфата. Разница между этими удобрениями вполнѣ обнаружится, если мы возьмемъ половинныя количества. Такимъ образомъ, лучше въ подобныхъ случаяхъ предварительно устанавливать извѣстную градацию, испытывая одиночное, полуторное, двойное количество удобрения, и брать въ концѣ концовъ настолько малыя количества, чтобы всегда вносимый факторъ былъ въ положеніи минимума.

При разбрасываніи удобрения необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы благодаря неосторожности или вѣтру удобрения не попадали на соседнія полосы (устройство промежуточныхъ «защитныхъ» полосъ помогаетъ парализовать невольное перенесеніе удобрения при боронованіи); если удобрение сильно пылить (шлаки, цианъ-амидъ) или вообще желаютъ увеличить вѣсъ разбрасываемой массы ради болѣе равномернаго ея распределенія, то смѣшиваютъ удобрение съ небольшимъ количествомъ земли.

При заделкѣ удобрений должно быть обращено вниманіе на то, чтобы они заделывались на одинаковую глубину и одинаковыми приемами, а на участкѣ неудобренномъ такая же вспашка, какая необходима для заделки, всетаки была произведена, въ противномъ случаѣ различіе можетъ происходить отъ неодинаковой обработки. Точно также и при посѣвѣ необходимо соблюдать общее условіе — одной и той же густоты посѣва и однѣхъ и тѣхъ же операций при заделкѣ сѣмянъ и одновременности ихъ выполненія.

Во время роста желателей надзоръ за опытными участками, такъ какъ (помимо охраны и предупрежденія потравъ) иногда во время сдѣланное наблюденіе открываетъ причину послѣдующихъ незаконномѣрныхъ различій; особенно важенъ осмотръ озимыхъ весной, съ тѣмъ чтобы отмѣтить вымочки и выключить поврежденные мѣста или же совершенно забраковать опытъ.

Передъ уборкой выкашиваютъ защитныя полосы такъ чтобы осталась лишь площадь подлежащая учету, удаляютъ хлѣбъ, снятый съ защитныхъ полосъ (во избѣжаніе риска смѣшенія), и затѣмъ убираютъ самыя дѣлянки. Въ виду возможности смѣшенія копенъ при перевозкѣ<sup>1)</sup>, молотбѣ, риска поврежденій при храненіи и проч. весьма существенно взвѣсить весь урожай еще въ полѣ, чтобы по крайней мѣрѣ по суммарному вѣсу зерна и соломы судить о дѣйствиіи удобрений; кромѣ того, возможно опредѣлять и урожай зерна до общаго обмолота, путемъ учета по *пробнымъ снопамъ*<sup>2)</sup>. Для этого

<sup>1)</sup> См. о нѣкоторыхъ мѣрахъ предосторожности у В. Г. Ротмистрова, Методика полевого опыта (оттиски изъ отчета Одесскаго оп. поля, годъ IX).

<sup>2)</sup> См. В. В. Винеръ, Методъ среднихъ образцовъ при производствѣ полевыхъ опытовъ (Журн. Оп. Агрономіи, 1901); А. Н. Венеровскій, учетъ урожая по методу среднихъ образцовъ (Вѣстникъ С.-Х. 1907, №№ 30, 31, 33; статьи А. Г. Дояренко, М. Н. Вонзбейна, и протоколы московскаго совѣщанія—въ Сборникъ имени А. Н. Чупрова. (Москва 1908) см. также I-й томъ Екатеринославскихъ „Трудовъ сѣти etc.“.

снопы кладутся сначала несвязанными, изъ каждого снопа берется горсть (о предосторожностяхъ при взятіи этой горсти см. въ статьяхъ цитированныхъ въ примѣчаніи), изъ этихъ горстей составляется пробный снопокъ, который взвѣшивается одновременно съ взвѣшиваньемъ остальной массы урожая на участкѣ, (связанной въ снопы вслѣдъ за взятіемъ пробы); одновременное взвѣшивание существенно, особенно въ нечерноземной полосѣ, гдѣ колебанія во влажности (въ зависимости отъ измѣненія температуры въ разные часы дня) способны существенно повліять на вѣсъ соломы (и тѣмъ вызвать невѣрность въ опредѣленіи урожая зерна). Пробные снопы кладутся затѣмъ въ нумерованные мѣшки, увозятся въ сухое помѣщеніе, гдѣ по высушиванью еще разъ взвѣшиваются и обмолачиваются; зная вѣсъ зерна съ каждого пробного снопа и отношеніе вѣса пробного снопа къ общей массѣ урожая съ дѣлянки (при одинаковыхъ условіяхъ влажности), нетрудно опредѣлить вѣсъ зерна на дѣлянкѣ (а такъ какъ извѣстна потеря въ вѣсѣ пробного снопа при высыханіи, то можно и весь валовой урожай пересчитать на сухой вѣсъ, что можетъ представлять интересъ для болѣе правильнаго опредѣленія вѣса соломы и отношенія вѣсовъ зерна и соломы).

Затѣмъ производится по мѣрѣ возможности тщательный обмолотъ и взвѣшиваніе урожая зерна съ цѣлыхъ дѣлянокъ. Иногда этого произвести не удастся (при «летучихъ» опытныхъ участкахъ, разбросанныхъ въ разныхъ хозяйствахъ), тогда приходится довольствоваться учетомъ по пробнымъ снопамъ. Опытъ показываетъ, что при этомъ достигается степень точности, могущая конкурировать съ точностью при уборкѣ цѣлыхъ дѣлянокъ при обычныхъ условіяхъ хозяйства и даже ее превосходить; что только при очень тщательномъ обмолотѣ и внимательномъ исполненіи всѣхъ остальныхъ операций уборка всего урожая представляетъ достаточныя гарантіи точности. Если же экспериментаторъ вынужденъ предоставить уборку и обмолотъ опытныхъ участковъ лицамъ, не имѣющимъ спеціальнаго навыка въ учетѣ, исполняющимъ эти работы среди другихъ хозяйственныхъ работъ, то ему лучше [полагаться на тщательный и самый произведенный учетъ по пробнымъ снопамъ].

Тамъ же, гдѣ возможно, слѣдуетъ примѣнять оба способа одновременно въ цѣляхъ накопленія матерьяла для сравненія ихъ между собой.

Полученныя цифры для одноименныхъ дѣлянокъ могутъ дать матерьялъ для вывода общихъ среднихъ, если большихъ измѣненій въ свойствахъ почвы не замѣчается; въ противномъ же случаѣ лучше

сравнивать каждую удобренную дѣлянку съ ближайшими неудобренными, какъ это было говорено выше.

Иногда предлагаютъ не довольствоваться «эмпирическимъ методомъ» и вычислять тотъ урожай, который «долженъ бы быть, если бы» поствъ былъ идеально равномернымъ, если бы не было пропавшихъ растений, если бы уцѣлѣвшія растенія развились вполне «нормально». Подобныя попытки дѣлались и на Западѣ лѣтъ 25 тому назадъ, но по справедливости были отвергнуты <sup>1)</sup>.

Въ большей мѣрѣ умѣстно «выключеніе» части площади дѣлянки еще до уборки, если на ней произошло поврежденіе мѣстнаго характера, завѣдомо не связанное съ дѣйствіемъ удобрения, напр., поправа или вымочка; но и здѣсь нужна значительная осторожность, напр., для засушливыхъ мѣстностей рекомендуется выключать не только мѣста, пострадавшія отъ вымочки, но и прилежащую къ вымочкѣ часть по той причинѣ, что растенія, окружающія вымочку, бываютъ развиты сильнѣе остальныхъ, такъ какъ пользуются влагой съ тѣхъ мѣстъ, гдѣ растенія погибли. Упоминаемъ объ этомъ, чтобы отмѣтить, какъ иногда пріемъ, казалось бы вполне законный, можетъ повлечь за собой незамѣтное для экспериментатора измѣненіе показанія въ ту или другую сторону <sup>2)</sup>.

Выше мы касались преимущественно такихъ препятствій къ успѣшному проведенію полевого опыта, которыя лежатъ въ неоднородности отдѣльныхъ дѣлянокъ; но кромѣ упомянутыхъ, есть еще рядъ хотя бы и равномерно дѣйствующихъ причинъ, но тѣмъ не менѣе измѣняющихъ результаты полевыхъ опытовъ. какъ, напр., погода: засуха можетъ подавлять дѣйствіе удобрения какъ и излишняя влажность; нападеніе насѣкомыхъ, пораженіе паразитными грибами

<sup>1)</sup> Paul Wagner писалъ по поводу подобныхъ предложеній слѣдующимъ образомъ: „Mayer sagt, wir sollen diejenigen Pflanzen zur Erntnahme auswählen, welche „für die Parzelle normal sind“. Welche Pflanzen sind denn nun „für die Parzelle normal“? Selbstverständlich diejenigen, deren Ausbildung der Wirkungsgrösse der gegebenen Düngung entspricht. Und welche ist die Wirkungsgrösse der gegebenen Düngung? Die wollen wir erst finden Und wie finden wir sie? Durch Wägung der Pflanzen, „welche für die Parzelle normal sind“.

Da haben wir uns im Kreise herumgedreht und selbst Adolf Mayer, so sehr er sonst ein Meister in der Logik ist, wird keinen Ausweg wissen. (Landw. Jahrbücher 1883, стр. 735).

<sup>2)</sup> Подробнѣе о выключеніи см. напр. въ I томѣ Екатеринославскихъ отчетовъ (Труды сѣти коллект. опытовъ).



можетъ повредить опыту <sup>1)</sup>, даже если предположить полную равномерность въ распредѣленіи поврежденій. Для того чтобы парализовать вліяніе этихъ случайностей повторяютъ опыты изъ года въ годъ по одному плану въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ или даже десятилѣтій какъ, напр., въ Ротамстедѣ.

Другой приемъ — это массовое повтореніе опытовъ одновременно во многихъ мѣстахъ, съ цѣлью парализовать вліяніе случайныхъ причинъ; значеніе этого приема различно, смотря по выбору района. Такъ, Меркеръ ставилъ такіе опыты по одному плану въ цѣломъ рядѣ хозяйствъ въ разныхъ частяхъ Германіи и сводилъ всѣ данныя къ концу года. Однако суммарныя данныя, полученные при различныхъ почвенныхъ и иныхъ условіяхъ, имѣютъ меньшее значеніе для отдѣльныхъ хозяйствъ, чѣмъ опыты производимые при условіяхъ однообразныхъ, хотя они и не лишены значенія въ цѣляхъ выясненія значенія какого-либо удобрительнаго вещества для цѣлой страны; другое дѣло если выбираются мѣстности съ общими климатическими почвенными условіями, тогда результаты такихъ *коллективныхъ опытовъ* обладаютъ значительною степенью общей приложимости для всего района; при такой постановкѣ коллективные опыты являются заключительнымъ звеномъ въ общей работѣ опытныхъ учреждений, позволяющимъ въ обычныхъ хозяйственныхъ условіяхъ испытать размѣръ дѣйствія тѣхъ приемовъ, положительное вліяніе которыхъ было предварительно изучено на постоянныхъ станціяхъ и поляхъ.

Въ цѣляхъ опредѣленія сравнительнаго достоинства различныхъ удобрений и изученія условій ихъ дѣйствія примѣняется еще другой методъ, при которомъ дѣйствительно можно создать для сравниваемыхъ случаевъ обстановку совершенно тождественную — это культура растений въ искусственной обстановкѣ, въ сосудахъ (*методъ вегетационный*). Къ методу этому пришли постепенно, стремясь уменьшить площадь дѣлянокъ и повысить точность опытовъ путемъ *смѣшенія почвы* въ цѣляхъ созданія вполне однородной среды. Первые шаги въ этомъ направленіи принадлежатъ Ганаманну, который употреблялъ для своихъ опытовъ участки земли площадью въ 1 кв. метръ, отдѣленные другъ отъ друга цементными стѣнками и безъ дна, такъ что

<sup>1)</sup> Иногда бываютъ случаи и обратные, что вліяніе неблагоприятнаго фактора утрированно подчеркиваетъ дѣйствіе удобрения; это можетъ наблюдаться напр., при поврежденіи свекловичной плантаціи долгоносикомъ; при этомъ сохраняется лишь демонстративное значеніе опыта, цифры же учета будутъ нетипичными.

почва этихъ участковъ (тщательно перемѣшанная) не теряла связи съ подпочвой. Ганаманнъ былъ настолько увѣренъ въ своемъ методѣ, что даже не установилъ размѣровъ погрѣшностей. Когда Вагнеръ сталъ повторять эти опыты, то нашелъ, что одноименныя дѣлянки и въ этихъ условіяхъ не даютъ тождественныхъ показаній. Вагнеръ <sup>1)</sup> такъ описываетъ свои опыты по провѣркѣ этого метода: снимался слой почвы и подпочвы на 12 вершк., то и другое равномерно перемѣшивалось порознь и помѣщалось въ клѣтки съ цементными стѣнками (безъ дна); необходимое удобрение распредѣлялось возможно тщательно, выбирались равные по вѣсу клубни для посадки, точно также по вѣсу отбирались зерна высѣваемого ячменя; всѣ работы по уходу, уборкѣ, взвѣшиванію урожая производились съ возможной тщательностью, но въ результатѣ опытовъ все-таки оказалась разница между одинаковыми дѣлянками въ 15—20% урожая. При изученіи причинъ этого явленія между прочимъ оказалось, что вліяніе на урожай оказывали сосѣдніе съ опытными участки почвы, такъ какъ употребленный цементъ оказался водопроницаемымъ. Вагнеръ тщательно перемѣшалъ и сосѣдную почву, перемѣнилъ цементъ, окружилъ участки поѣвами ячменя, но опять колебанія были до 15% при среднихъ отклоненіяхъ въ 5%.

Причина этихъ колебаній заключалась, какъ оказалось впоследствии, въ томъ, что участки эти не имѣли дна и на урожаяхъ сказывалось вліяніе подпочвы, неодинаково влажной, такъ какъ уровень грунтовыхъ водъ былъ неодинаковъ въ различныхъ концахъ вытянутой полосы участковъ. Кромѣ того, строеніе почвы въ различныхъ мѣстахъ участковъ было неодинаково: середина дѣлянокъ была плотнѣе, потому что при наполненіи участковъ земля, выбрасываемая изъ тачекъ и разравниваемая послойно граблями все-таки ложилась плотнѣе въ срединѣ; благодаря этому здѣсь были лучшія условія доставленія влаги и нитратовъ, и растенія въ срединѣ развивались лучше. Вагнеръ дренировалъ участки, для того чтобы парализовать дѣйствіе грунтовыхъ водъ, но ниже 10% колебанія отдѣльныхъ показаній не спускались. Тогда онъ рѣшилъ перейти къ сосудамъ и избралъ размѣръ ихъ 50 ст. высоты и 25 ст. въ діаметръ (а затѣмъ частью и меньшаго размѣра). Цинковые сосуды внизу получали гравій, который служилъ и для дренажа и для уравниванія вѣса; сосуды наполнялись почвой не сразу, а послойно при одинаковой степени уплотненія, причемъ одновременно отбирались пробы для опредѣле-

<sup>1)</sup> Landw. Jahrbücher 1883; Journal für Landwirtschaft 1880.

нія влажности. Такимъ образомъ, вѣсъ почвы является всюду одинаковымъ и точно опредѣленнымъ, одинаковымъ всюду является ея составъ и строеніе; во время опыта влажность почвы регулируется точно по вѣсу, такъ что можно экспериментировать при различныхъ и опредѣленныхъ степеняхъ влажности. Распредѣлить удобрения можно весьма совершенно; можно имѣть строго одинаковое число растений во вѣхъ сосудахъ. Вліяніе односторонняго освѣщенія устраняется такъ, что окружаютъ опытные сосуды сосудами съ тѣмъ же растеніемъ, не идущими въ счетъ при учетѣ результатовъ опыта (тоже достигается чередованіемъ положенія сосудовъ, путемъ передвиженія краевыхъ въ средину и наоборотъ).

Дальше при этомъ способѣ легко увеличить число сосудовъ, гораздо легче чѣмъ число участковъ въ полѣ. При постановкѣ опытовъ такимъ путемъ Вагнеру удалось добиться того, что % погрѣшности въ наиболѣе совершенныхъ опытахъ не превышалъ въ среднемъ 1%. При этомъ устранялось вліяніе погоды; насѣкомыя и паразитные грибки если не устранились совсѣмъ, то въ значительной мѣрѣ облегчалась борьба съ ними: поврежденія легко могутъ быть замѣчены и соответствующія культуры забракованы, что позволяетъ учесть роль почвы гораздо совершеннѣе, чѣмъ при полевыхъ опытахъ. Различныя почвы возможно испытывать при однихъ и тѣхъ же условіяхъ влажности, свѣта, и тепла, и такимъ образомъ лучше учесть роль почвы, чѣмъ это возможно въ опытѣ полевомъ. При помощи

На измѣненіе условій указываетъ и то обстоятельство, что въ сосудахъ урожаи получаются гораздо выше, чѣмъ въ полѣ; если пересчитать урожай надземныхъ частей на десятину, то получается масса въ 1000 пудовъ и болѣе; слѣдовательно, и потребность въ питательныхъ веществахъ здѣсь иная.

Послѣдовательнѣе будетъ поэтому разъ навсегда признать, что опытъ вегетаціонный есть непременно опытъ въ искусственной обстановкѣ, что передъ нами всегда лежитъ дилемма: или создать дѣйствительно одинаковую во вѣхъ случаяхъ среду путемъ смѣшенія почвы, регулировать влажность и другіе факторы роста, жертвуя естественностью обстановки, или, если мы хотимъ работать въ условіяхъ тождественныхъ съ условіями полевой культуры, то и должны вернуться изъ теплицы въ поле, гдѣ будемъ неизбежно имѣть дѣло съ неоднородностью участковъ и стремиться парализовать ея вліяніе другими средствами (многократное повтореніе одноименныхъ дѣлянокъ).

Сообразно съ этимъ и задачи, рѣшаемыя тѣмъ и другимъ методомъ, нетождественны: вегетаціонный методъ позволяетъ лучше изолировать отдѣльные факторы и изучить ихъ вліяніе при болѣемъ постоянствѣ и опредѣленности остальныхъ условій; полевой опытъ, наоборотъ, лучше позволяетъ учесть суммарный эффектъ, конечную равнодѣйствующую условій, осуществляющихся на данномъ полѣ въ данный годъ, при данныхъ условіяхъ хозяйства.

Такъ, вегетаціонные опыты даютъ возможность лучше изучить растеніе въ смыслѣ его требованій къ различнымъ влобненіямъ при



питательныхъ веществъ при опытахъ въ сосудахъ (вслѣдствіе болѣе обильнаго развитія растений) нельзя допустить, чтобы накопленіе питательныхъ веществъ въ усвояемой формѣ оказалось повышеннымъ въ одинаковой мѣрѣ для каждаго изъ нихъ въ отдѣльности; легко можетъ случиться напр., что нитрификація будетъ повышена въ болѣе мѣрѣ, чѣмъ освобожденіе фосфорной кислоты въ усвояемой формѣ или же наоборотъ; тогда почва, въ полевомъ опытѣ проявившая потребность прежде всего въ одномъ веществѣ, въ вегетационномъ опытѣ можетъ оказаться нуждающейся въ первую очередь въ другомъ<sup>1)</sup>.

Точно также вегетационный методъ въ томъ видѣ, какъ онъ былъ разработанъ Вагнеромъ, не можетъ служить точнымъ средствомъ для опредѣленія плодородія различныхъ типовъ почвъ, такъ какъ просѣиваніе и смѣшеніе почвы, конечно, неодинаково измѣнитъ свойства разныхъ почвъ (очевидно тяжелая глинистая почва больше выиграетъ отъ этихъ операций, чѣмъ песчаная). Если же исключить операцию смѣшенія (вырѣзать цѣлые цилиндры), то это значитъ выбросить основную черту Вагнеровскаго метода, гарантирующую однородность почвы въ разныхъ сосудахъ; тогда придется искать, чѣмъ замѣнить эту гарантію; очевидно придется обратиться къ тому же средству, какъ въ полевомъ опытѣ, т. е. къ значительному умноженію числа дѣлянокъ (сосудовъ) и къ опредѣленію размѣровъ погрѣшности; можетъ быть такимъ путемъ и удастся добиться извѣстныхъ результатовъ для характеристики почвенныхъ типовъ<sup>2)</sup>, но это есть новая версія, требующая разработки, и если она потерпитъ неудачу, то неправильно будетъ дѣлать изъ этого выводъ о несовершенствѣ вегетационнаго метода вообще.

Остановимся вкратцѣ на техникѣ постановки вегетационныхъ опытовъ<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> См. напр. статью В. И. Сазонова, „Пригодность вегетационнаго метода для опредѣленія потребности почвы въ питательныхъ веществахъ“ (Журн. Оп. Агрономіи, 1907, стр. 129).

<sup>2)</sup> См. докладъ г-жи Домрачевой на 2-мъ совѣщаніи почвовѣдовъ въ Москвѣ (1908).

<sup>3)</sup> Подробности смотри во II томѣ отчетовъ СПб. с. х. лабораторіи („Описаніе метода“, статья П. С. Коссовича), въ Извѣстіяхъ С. Х. Института 1902 г. (статья Н. К. Недокучаева „Вегетационный методъ въ агрономіи“), и въ брошюрѣ А. Д. Дояренко: „Краткое руководство къ постановкѣ вегетационныхъ опытовъ“ (1912). См. также статью „Вегетационные опыты“ въ Энциклопедіи Девриена, написанную С. Л. Франкфуртомъ, статьи Dafert'a, Mitscherlich'a въ Landw. Jahrbücher 1903, Lemmermann'a въ Journal für Landwirtschaft, Band 51 и 53; К. К. Гедройца (къ методикѣ вегетационныхъ опытовъ въ VI вып. трудовъ СПб. с.-х. лабораторіи и пр.

Сосуды для опытовъ берутся чаще всего цинковые и стеклянные; стеклянные цѣнны своей прозрачностью, значительной стойкостью (въ смыслѣ сопротивленія разъядающему дѣйствію растворовъ солей); кромѣ того, они дешевы, если дѣло идетъ о сосудахъ небольшихъ размѣровъ (напр. сосуды 15 сант. діаметромъ 30 с. высотой стоятъ около 75 к.). Но стоимость стеклянныхъ сосудовъ быстро растетъ при увеличеніи діаметра, такъ что при діаметрѣ въ 20—25 сант. уже цинковые сосуды оказываются выгоднѣе; за то ихъ непрозрачность мѣшаетъ слѣдить непосредственно за развитіемъ корней и состояніемъ влажности въ сосудѣ; во избѣжаніе разъяданія и образованія вредныхъ для растений солей цинка внутри приходится покрывать стѣнки сосудовъ лакомъ (Dammalack).

Размѣръ потребныхъ сосудовъ зависитъ отъ рода культуръ; такъ, для хлѣбныхъ растений при песчаныхъ культурахъ достаточны сосуды 15×25 или 15×30 ст., вмѣщающіе 4—6 kgr. песку; но для почвенныхъ культуръ, гдѣ разницы не столь рѣзки и гдѣ желателенъ учетъ болѣе точный, желателенъ болѣе діаметръ сосудовъ, чѣмъ 15 ст., чтобы имѣть возможность помѣстить большее число растений на сосудѣ. Понятно, что для картофеля, свеклы и подобныхъ растений нужны сосуды большаго діаметра и болѣе высоты; тутъ могутъ быть пригодны глиняные сосуды, покрытые кислотоупорной глазурью, особенно если требуется значительная высота; въ такого рода сосудахъ, около 70 ст. высоты, производилъ свои опыты со свеклой Hellriegel<sup>1)</sup>.

Для защиты сосудовъ отъ нагрѣванія или красятъ ихъ снаружи бѣлой краской (цинковые сосуды) или же надѣваютъ на нихъ деревянные картонные чехлы (стеклянные сосуды).

На днѣ сосудовъ обычно создается извѣстнаго рода дренажъ, куда бы могъ стекать избытокъ воды при поливкѣ сверху, или гдѣ могъ бы сосредоточиться извѣстный запасъ воды, до поступленія ея въ почву (при поливкѣ снизу). Этого достигаютъ или насыпая къ одной сторонѣ сосуда (горкой) гравій, въ который погружается конецъ

<sup>1)</sup> Есть еще дешевый матеріалъ для изготовленія сосудовъ, которымъ кажется, можно бы чаще пользоваться, чѣмъ до сихъ поръ дѣлается, особенно въ деревенской обстановкѣ, это листовое желѣзо; въ частности, намъ приходилось въ 1891 г. не безъ успѣха производить нѣкоторые несложные опыты надъ хлѣбами и отчасти свекловицей, выращивая растения въ обыкновенныхъ желѣзныхъ ведрахъ (ихъ также лучше покрывать изнутри лакомъ или параффиномъ, если желаютъ избѣжать вліянія ржавчины, напр., на растворимые фосфаты).

трубки для поливки (рис. 76-й), или вводя цинковый желобъ, обращенный внизъ (Вагнеръ), или же, какъ это практикуется у насъ по предложенію В. В. Винера, создавая кольцообразное пространство (рис. 77-й и 78-й) путемъ введенія полуконуса <sup>1)</sup>.

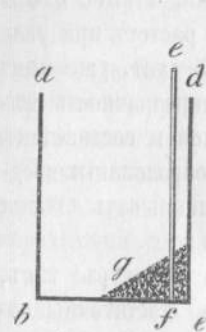


Рис. 76.

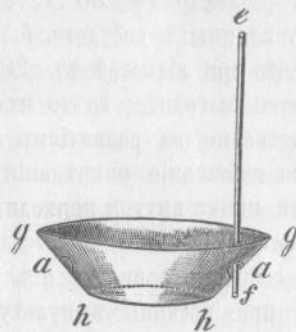


Рис. 77.

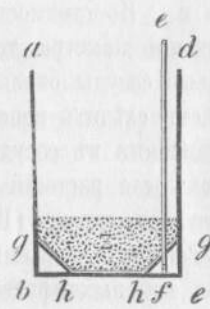


Рис. 78.

Средой для культуръ является или почва или песокъ или растворы необходимыхъ солей непосредственно въ дистиллированной водѣ.

$H_2O$ ; безъ промыванія «предѣльные» растенія обнаруживаютъ замѣтно болѣйшій ростъ, чѣмъ послѣ промыванія.

Прокаливанье много затруднительнѣе, чѣмъ промыванье, оно необходимо лишь въ специальныхъ опытахъ по азотистому питанію при небольшихъ количествахъ употребляемаго песка; для опытовъ съ фосфатами и калийными минералами оно не нужно.

Помимо химическаго состава имѣетъ значеніе крупность частицъ песка; при излишней крупности онъ не проводитъ влаги на достаточную высоту, при излишней мелкости онъ сплывается и не обеспечиваетъ доступа воздуха къ корнямъ.

Соли удобно имѣть растворенными порознь, въ болѣе крепкихъ растворахъ (1%) и лишь при смѣшеніи съ пескомъ (передъ наполненіемъ сосудовъ) отмѣренные объемы растворовъ солей разбавлять соотвѣтственно водой. Что касается количества солей, то Гелльригель пользовался при своихъ опытахъ слѣдующими нормами: на 1 kgr. песка берется 1 эквив.  $KH_2PO_4$  (0,136 gr.), 3 экв.  $Ca(NO_3)_2$  (0,492 gr.),  $\frac{1}{2}$  экв.  $MgSO_4$  (0,060 gr.), 1 экв.  $KCl$  (0,075 gr.) и (0,025 gr.),  $Fe_2Cl_6$  (или  $FePO_4$ ); этотъ расчетъ относится къ безвод-



Сосуды съ растеніями помѣщаются обычно на вагонеткахъ, которыя при дурной погодѣ и на ночь задвигаются подъ стеклянные навѣсы, за которыми, если они снабжены стѣнами, упрочилось нехарактерное названіе «теплицъ», оранжерей; нехарактерны эти названія потому, что въ этихъ неотапливаемыхъ сооруженіяхъ (вегетационныхъ домикахъ) приходится заботиться не о теплѣ, а о свѣтѣ; съ излишнимъ же тепломъ отъ солнечнаго нагрѣва приходится бороться путемъ вентилированія; поэтому названіе предложенное Ф. Б. Яновичкомъ («свѣтлица») лучше выражало бы сущность задачъ преслѣдуемыхъ устройствомъ этого вида оранжерей, чѣмъ слово «теплица».

Если рельсы теплицы направлены съ востока на западъ, то вагончикамъ удобно придавать согласно предложенію проф. П. С. Коссовича видъ какъ бы двухъ ступенъ лѣстницы обращенной на югъ, чтобы растенія въ сосудахъ обращенныхъ къ югу, не затѣняли растеній сѣверной (возвышенной) половины вагончика.

Поливка въ сосудахъ съ удобствомъ регулируется по вѣсу, причемъ доводятъ ежедневно влажность до 50 — 60% отъ наибольшей влагоемкости почвы или песка (по С. М. Богданову расчетъ влажности ведется нѣсколько иначе: исключается «мертвый запасъ» влаги, отъ остальной влаги содержащейся при наибольшей влагоемкости берется 50%).

Кромѣ поливки по вѣсу возможна поливка съ доведеніемъ до постоянного уровня, если примѣняется вышеописанный полуконусъ. Съ перваго взгляда кажется, что поливка по вѣсу представляетъ способъ давать растеніямъ определенное количество воды, между тѣмъ какъ на самомъ дѣлѣ она только даетъ возможность, во-первыхъ, избѣжать избытка воды при поливкѣ, во-вторыхъ, учесть количество потребляемой воды; что же касается размѣровъ потребленія, то онъ зависитъ отъ энергіи развитія растеній, ибо чѣмъ больше растеніе понизитъ влажность почвы противъ нормы, тѣмъ больше мы дадимъ ему воды при слѣдующей поливкѣ, доливая по вѣсу до нормы, слѣд. и этотъ способъ какъ и поливка по уровню въ сущности приближается къ снабженію растеній водой *по мѣрѣ потребности* (въ отличіе отъ условій полевой культуры гдѣ растенія получаютъ равныя количества воды на различныхъ дѣлянкахъ).

Обычно поливка ведется снизу, но рекомендуютъ по временамъ поливать и сверху, чтобы избѣжать скопленія солей у поверхности. Кромѣ поливки уходъ состоитъ въ прорѣживаньи, поддержкѣ растеній (проволочн. каркасы, стеклянныя палочки).

При уборкѣ растенія срѣзаются обычно у поверхности почвы, просушиваются съ предосторожностями <sup>1)</sup> противъ потерь (напр. въ мѣшечкахъ изъ бумаги), затѣмъ взвѣшиваньемъ опредѣляется общій урожай; зерна взвѣшиваютъ по обмолотѣ, вѣсъ соломы и мякины опредѣляется обычно по разности. Если нужно, то корневая система также отмывается подъ струей воды, высушивается и взвѣшивается.

Примѣрныя формы бланковъ, для записей урожаевъ приложены въ вышеупомянутыхъ статьяхъ П. С. Коссовича, Н. К. Недокучаева и А. Г. Дояренко. Относительно обработки данныхъ и выведенія среднихъ здѣсь сохраняетъ силу большая часть сказаннаго раньше по поводу данныхъ полевого опыта.

<sup>1)</sup> Если плоды наклонны осыпаться (какъ у гречихи) то иногда приходится до общей уборки снимать отдѣльныя зерна и помѣщать въ пакетики, занумерованные соответственно номерамъ сосудовъ.

Дополнение къ стран. 344—352.

Примѣры для условий Московской губерніи (сообщено А. Г. Дояренко).

I. На крестьянской надѣльной полосѣ (общая площадь 192 кв. саж., произведенъ учетъ урожая на каждой квадратной сажени; если затѣмъ группировать эти элементарныя дѣлянки въ то или иное число большихъ дѣлянокъ различной площади, то получаются такіе размѣры погрѣшности:

| Площадь дѣлянки <sup>1)</sup> . | Средній размѣръ отклоненія въ ‰. | Наибольшее отклоненіе (въ одну сторону). | Амплитуда колебаній. |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| 1 кв. саж.                      | —                                | 59,0‰                                    | 103,0‰               |
| 4 " "                           | 11,1‰                            | 23,5 "                                   | 37,5 "               |
| 12 " "                          | 4,3 "                            | 9,8 "                                    | 18,4 "               |
| 24 " "                          | 3,1 "                            | 6,2 "                                    | 10,2 "               |
| 48 " "                          | 0,9 "                            | 2,5 "                                    | 4,1 "                |

Здѣсь мы очевидно имѣемъ благоприятный случай значительной однородности свойствъ почвы вдоль полосы, позволяющей достигнуть большой устойчивости путемъ увеличенія площади дѣлянки, при условіи, что послѣдняя вырѣзается во всю ширину полосы, чтобы парализовать вліяніе вспашки въ свалѣ (большая толщина почвеннаго слоя на гребнѣ, вліяніе направленія ската на распредѣленіе тепла, влаги и пр.); если же взять дѣлянки тоже по 48 кв. саж., но вытянутыя по нѣскольکو параллельно длинѣ полосы, то получается амплитуда колебаній 86,9‰.

II. Также крестьянская полоса (тоже значеніе цифръ; общая площадь—128 кв. саж.).

|            |       |        |        |
|------------|-------|--------|--------|
| 1 кв. саж. | —     | 54,0‰  | 82,0‰  |
| 6 " "      | 6,6‰  | 14,4 " | 22,5 " |
| 12 " "     | 4,4 " | 8,6 "  | 13,7 " |
| 24 " "     | 2,7 " | 5,6 "  | 10,2 " |

Если же дѣлянки нарѣзать вытянутыми вдоль полосы, то получается, на примѣръ, слѣдующее:

|             |       |        |        |
|-------------|-------|--------|--------|
| 16 кв. саж. | 9,0‰  | 20,2‰  | 35,4‰  |
| 32 " "      | 6,9 " | 11,6 " | 18,8 " |

III. Бывшее поле фермы, отошедшее подъ опытное поле (пл. 5 дес.).

| Размѣръ дѣлянки. | Вѣсъ массы (среднее на 1 кв. саж.). | Крайнія отклоненія въ ‰. |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 2 кв. саж.       | 3,0 —16,0‰                          | 75‰ 80‰                  |
| 12 " "           | 6,5 —10,2 "                         | 14 " 26 "                |
| 256 " "          | 8,10—10,2 "                         | 9 " 14 "                 |

Здѣсь при большей площади (а слѣд. при значительномъ удаленіи ея частей другъ отъ друга и большей разнородности условій) не удается путемъ увеличенія площади дѣлянки понизить размѣръ погрѣшности въ той мѣрѣ какъ въ предыдущихъ случаяхъ, но если разбить эту большую площадь на нѣсколько опытныхъ участковъ, то возможно придать имъ такую форму и размѣръ, что внутри каждаго изъ нихъ можно достигнуть большей однородности условій.

<sup>1)</sup> Число дѣлянокъ здѣсь мѣняется обратно пропорціонально площади каждой дѣлянки.

## Важнѣйшія руководства по ученію объ удобреніи.

Густавсонъ. Двадцать лекцій агрономической химіи. 1889.

Костычевъ. Ученіе объ удобреніи. 1893.

Его же. Обработка и удобреніе чернозема.

Трухановскій. Ученіе объ удобреніи. 1897.

Ад. Майеръ. Ученіе объ удобреніи. 1897.

Гейденъ. Ученіе объ удобреніи. 1870.

Вагнеръ. Примѣненіе искусственныхъ удобреній. 1901.

Вагнеръ. Удобреніе азотомъ. 1894.

Будринъ. Искусственныя, преимущественно азотистыя удобренія. 1888.

Вараковъ. Курсъ общаго земледѣлія ч. II.

Grandean. Chimie et Physiologie, appliquées à l'agriculture et sylviculture 1879. (содержитъ лучшій историческій очеркъ по развитію агрономической химіи).

Sachsse. Lehrbuch der Agrikulturchemie 1888.

Ad. Mayer. Lehrbuch der Agrikulturchemie (рядъ изданій).

Déherain. Chimie agricole (2-е изд.).

Müntz et. Girard. Les engrais 3 тома (1889).

Maereker. Kalidüngung 1892.

Schucht. Fabrikation des Superphosphats (3-е изд.).



# Важнѣйшія изъ замѣченныхъ опечатокъ:

| Стр. | Строка:                    | Напечатано:                                                              | Слѣдуетъ читать:                                                           |
|------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 19   | 9 снизу                    | $(\text{CaNO})^{23}$                                                     | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$                                                 |
| 49   | 10 "                       | 40.4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                         | 40.3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                           |
| 65   | 1 сверху                   | $\text{CaCO}_3$                                                          | $\text{CaCO}_3$                                                            |
| 74   | 13 снизу                   | 5,0 и 0,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                    | 0,5 и 0,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                      |
| 113  | 3 сверху                   | $2\text{HNO}_2 = \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$           | $2\text{HNO}_2 = \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$             |
| 126  | 5 сл. въ примѣч.           | $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_2$                                         | $\text{CN}_2\text{H}_2$                                                    |
|      |                            | $\text{N}-\text{Ca}-\text{OH}$                                           | $\text{N}-\text{Ca}-\text{OH}$                                             |
| 129  | 3 сверху                   | $\text{C}$                                                               | $\text{C}$                                                                 |
|      |                            | $\text{N}-\text{Ca}-\text{OH}$                                           | $\text{N}-\text{Ca}-\text{OH}$                                             |
| 127  | 3 сл. формула              | $\text{CN}_2\text{H}_2$                                                  | $\text{CN}_2\text{H}_2$                                                    |
| "    | 1 "                        | $\text{NH}_3 \cdot \text{HCl}$                                           | $\text{NH}_3 \cdot \text{HCl}$                                             |
| 166  | 1 въ таблицѣ               | > 0. <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                         | > 0.2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>                                          |
| 167  | 1 сл. въ примѣч.           | <sup>0</sup> / <sub>0</sub> раствора NaOH                                | 1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> раствора NaOH                                |
| 182  | 8 снизу                    | управленіемъ                                                             | уравниеніемъ                                                               |
| "    | 5 "                        | "                                                                        | "                                                                          |
| 183  | 15 "                       | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                                             | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                                               |
| 185  | 16 сл. въ примѣч.          | 95.38 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$             | 65.38 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$             |
| 193  | 9 сверху                   | + $\text{Ca}_3(\text{P}_2\text{O}_7)_2$                                  | + $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                                             |
|      |                            | $\text{P}(\text{OH})_4$                                                  | $\text{P}(\text{OH})_4$                                                    |
| 194  | 1 сл. въ примѣч.           | $\text{O}$                                                               | $\text{O}$                                                                 |
|      |                            | $\text{P}(\text{OH})_4$                                                  | $\text{P}(\text{OH})_4$                                                    |
| 214  | подъ рисункомъ             | $\text{KH}_2\text{PO}_3$                                                 | $\text{KH}_2\text{PO}_4$                                                   |
| 217  | 11 снизу                   | $\text{Ca}_3\text{PO}_4$                                                 | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                                               |
| 118  | подъ рисункомъ             | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$                                     | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$                                       |
| 237  | обозначенія къ рисунку     | вверху—люпинъ<br>внизу—злаки, т. е.<br>люпинъ гречиха<br>горохъ<br>злаки | вверху—злаки,<br>внизу—люпинъ, т. е.:<br>злаки<br>горохъ<br>люпинъ гречиха |
| 239  | 1 стр. таблицы             | $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$                                            | $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$                                              |
| 262  | рис. 60 3 сосуда<br>стѣва. | зола соломы                                                              | зола еловая                                                                |
| 299  | 5 сверху                   | навозъ консерв. вещ.                                                     | навозъ безъ консерв. вещ.                                                  |
| 311  | 4 снизу                    | теперь                                                                   | потерь                                                                     |

## ОГЛАВЛЕНІЕ.

| Введеніе.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Стр.    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Отношеніе настоящаго курса къ смежнымъ отдѣламъ. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1—4     |
| Ученіе объ удобреніи въ прошломъ и настоящемъ. Тэеръ, Либихъ, Буссенго, Геллеригель. Роль опытныхъ станцій въ разработкѣ вопроса о минеральномъ питаніи растений. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                          | 5—33    |
| Почва, какъ посредникъ между растеніемъ и удобреніемъ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |
| Поглотительная способность почвы. Поглощеніе основаній и кислотъ въ зависимости отъ концентрации и другихъ условій. Участіе отдѣльныхъ составныхъ частей почвы въ явленіяхъ поглощенія; общее значеніе послѣднихъ. . . . .                                                                                                                                                                                                         | 34—57   |
| Органическія вещества почвы; ихъ свойства, въ связи съ условіями образованія. Органо-минеральная теорія. Азотъ органическаго вещества; переходъ къ амміаку и нитратамъ, приходъ и расходъ послѣднихъ въ почвѣ. . . . .                                                                                                                                                                                                             | 58—91   |
| Обзоръ матеріаловъ служащихъ для удобренія.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |
| Удобренія одностороннія.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |         |
| А. Азотистыя удобренія.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |
| Чилийская селитра, ея происхожденіе и составъ. Отношеніе къ почвѣ. Дѣйствіе на различныя растенія (высота урожая, составъ его, соотношеніе въ развитіи органовъ). Норвежская селитра и ціанъ амидъ кальція. . . . .                                                                                                                                                                                                                | 92—137  |
| Сѣрнокислый амміакъ, его полученіе; отличія отъ селитры и по отношенію къ почвѣ и дѣйствию на растенія. Гуано, его составъ прежде и теперь. Рыбное гуано, другіе отбросы животнаго происхожденія (кровяная и роговая мука, шерстяные отбросы). Жмыхи какъ азотистое удобреніе. Быстрота разложенія этихъ матеріаловъ въ почвѣ и ихъ сравнительная оцѣнка. Зеленое удобреніе, его значеніе и способъ примѣненія. Нитрагинъ. . . . . | 137—164 |
| В. Фосфорнокислыя удобренія.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |
| Ихъ общее значеніе. Фосфориты, ихъ характеристика и распространеніе въ Россіи, обработка (механическая). Значеніе фосфоритнаго удобренія. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 165—182 |
| Приготовленіе суперфосфатовъ; основная реакція; составъ продукта. Двойной суперфосфатъ. Явленія ретроградаци и ихъ значеніе. Осажденный фосфатъ (преципитатъ). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                             | 182—195 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Томасовъ шлакъ, его происхождение и составъ. Кости, ихъ составъ и способы переработки . . . . .                                                                                                                                         | 196—215 |
| Удобрительное достоинство различныхъ фосфатовъ въ связи съ особенностями почвъ, растений и сопутствующихъ удобрений. Примѣненіе фосфатовъ (количества, время внесенія, способъ распредѣленія и заделки). Дѣйствіе на растенія . . . . . | 215—253 |

### С. Калийныя удобрения.

Растенія потребляющія много кали и растенія отзывчивыя къ калийному удобрению; несовпаденіе этихъ группъ. Зола, какъ калийное удобрение. Стассфуртскія соли, составъ важнѣйшихъ продуктовъ. Отношеніе различныхъ культуръ къ стассфуртскимъ солямъ. Нѣкоторые калийные силикаты, какъ источникъ  $K_2O$  . . . . .

254—276

### Удобрения полныя.

Навозъ и его ингредиенты. Составъ твердыхъ и жидкихъ экскрементовъ; сравненіе состава смѣси экскрементовъ съ составомъ корма. Матеріалы служащія подстилкой, ихъ физическія и химическія особенности. Составъ навоза. Количество его . . . . .

277—284

Первыя фазы разложенія его; потери азота въ видѣ углекислаго амміака. Условія разложенія навоза, превращеніе безазотистыхъ и азотистыхъ частей при болѣе продолжительномъ храненіи. Общій характеръ измѣненія въ составѣ навоза при его перепрѣваніи. Устройство гноища и уходъ за навозомъ на гноищѣ. Храненіе подъ скотомъ. Консервирующія средства . . . . .

284—300

Дѣйствіе навоза (химическая, физическая и биологическая сторона). Количество питательныхъ веществъ, вносимыхъ съ навознымъ удобрениемъ. Усвояемость азота навоза. Явленія „денитрификаціи“. Вывозка и распредѣленіе навоза. Удобрения толокой, условія его примѣненія . . . . .

300—317

Компостъ, его приготовленіе и употребленіе. Городскіе отбросы, ихъ составъ въ связи съ способами удаленія. Примѣненіе въ необработанномъ видѣ: Пудреты. Сточныя (канализаціонныя) воды . . . . .

317—325

### Удобрения косвеннаго дѣйствія.

Поваренная соль. Известь, способы ея примѣненія, дѣйствіе на органическія и минеральныя составныя части почвы. Мергель. Дефекаціонная грязь. Гипсъ и его употребленіе. Существующія объясненія его дѣйствія на почву и растенія . . . . .

326—340

### Постановка опытовъ по удобрению въ полѣ и въ искусственной обстановкѣ.

Задачи полевого опыта; приемы устраненія погрѣшностей. Вегетационный методъ, его задачи и особенности . . . . .

341—369



