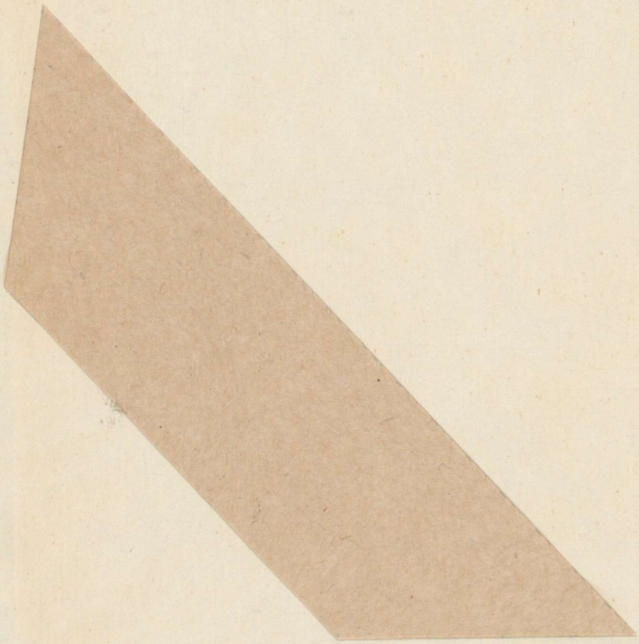
ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ МИКРО-ОРГАНИЗМОВ

П. РАХНО, М. АКСЕЛЬ, Л. СИРП, Х. РИЙС



A-5742

АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОЛОГИИ

П. РАХНО, М. АКСЕЛЬ,
Л. СИРП, Х. РИЙС

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ПОЧВЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВАЛГУС"
ТАЛЛИН 1971

631.8
Д 46

Художественное оформление
Т. АРУ

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Академии наук Эстонской ССР
РИСО № 791

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
260256

4—3—6

ВВЕДЕНИЕ

Первая работа о сезонной количественной динамике почвенных бактерий и основных факторах, обусловливающих эту динамику, была опубликована несколько лет тому назад одним из членов нашего коллектива (Рахно, 1964). В выводах этой работы отмечалось, что многие явления, связанные с динамикой численности только одной части почвенных микроорганизмов, т. е. бактерий, не могут быть полностью поняты и объяснены, пока не будет подробнее исследована динамика размножения остальных почвенных микроорганизмов, т. е. грибов, водорослей и некоторых других групп микрообитателей почвы. С целью заполнения этого пробела были проведены новые исследования, результаты которых будут изложены в данной работе.

Несмотря на то ,что нам пока еще не удалось распространить поиски на почвенные простейшие и бактериофаг, изучение закономерностей развития и размножения почвенных грибов и водорослей позволило пролить свет на некоторые темные стороны проблемы динамики количества основных микрообитателей почвы. Вместе с тем можно надеяться, что недалеко и окончательное разрешение этой проблемы.

В настоящей работе мы старались связать исследования годовой количественной динамики почвенных микроорганизмов с изучением круговорота соединений азота в почве. Теснейшая связь круговорота соединений азота в почве с деятельностью почвенной микрофлоры, по всей вероятности, не требует доказательств.

Вопрос динамики накопления, передвижения и содержания связанного азота в почве является в настоящее время одним из ведущих вопросов не только почвенной микробиологии, но и всей агрономической науки, а также и практики сельскохозяйственного производства. Внесение азота в почву с органическими и минеральными удобрениями не сможет даже в ближайшем будущем обеспечить потребностей развивающегося растениеводства (Мишустин и Петербургский, 1967; Colar and Greenland, 1963). Данные некоторых исследователей (Мишустин, 1965, 1966; Gasser and Peachey, 1964) подтверждают, что довольно зна-

чительная часть азота, вносимого в почву с удобрениями, вследствие денитрификации превращается в молекулярную форму и удаляется из почвы раньше, чем сможет оказать какое-либо влияние на развитие высших растений. С другой стороны, процесс связывания молекулярного азота вследствие деятельности азотфиксирующих микроорганизмов протекает беспрерывно, пополняя запасы доступного растениям азота в почве. В некоторых случаях поступление в почву связанного азота может превысить его потери, хотя гораздо чаще наблюдается обратное явление: потери связанного азота больше, чем поступление его, что ведет к уменьшению запасов азота в почве.

Если по вопросам сезонной динамики почвенных микроорганизмов среди исследователей имеются большие разногласия, то по вопросам круговорота азота в почве разногласий не меньше, а может быть даже еще больше. В частности высказываются прямо противоположные мнения о денитрификации и об условиях и факторах, оказывающих на нее влияние.

Закономерности баланса почвенного азота и факторы, влияющие на динамику содержания в почве связанного азота, до сих пор исследованы явно недостаточно. Большинство соответствующих исследований проведено в течение слишком коротких отрезков времени и притом, обычно только в течение вегетационных периодов развития высших растений. Хотя нет сомнения, что высшие растения в качестве протребителей азота играют немаловажную роль в процессе накопления его в почве, нельзя все же переоценивать эту роль. В сущности высшие растения в процессе круговорота азота в почве только играют роль депо, куда временно поступают и где хранятся соединения азота и откуда они с течением времени снова возвращаются в почву. Удаляемая с урожаем часть азота полностью выходит из общего баланса, а в процессе связывания атмосферного азота и увеличения запасов связанного азота в почве могут участвовать только растения, состоящие в симбиозе с микроорганизмами. Но нельзя забывать, что без этого депо, т. е. без высших растений, процесс денитрификации имел бы еще гораздо большее распространение. Усвоенные растениями соединения азота до конца жизни этих растений становятся недоступными для денитрификации. А после смерти и разложения растений содержащиеся в них соединения азота (растительный белок) могут подвергнуться денитрификации только после процессов аммонификации и нитрификации и дальнейшая судьба этих соединений будет зависеть от присутствия в почве зачатков новых высших растений или микроорганизмов, которые могли бы снова включить их в свои клетки.

Таким образом, при изучении динамики круговорота азота в почве необходимо учитывать значение высших растений в качестве временного депо или резервуара для соединений азота. С другой стороны,

однако, исследование движения азота в почве с растениями значительно усложняет и без того сложный процесс. При наличии в почве высших растений невозможно установить время поступления в их организм фиксированного микроорганизмами молекулярного азота, поскольку во время жизни растений нельзя определить ту часть азота, которая ими усвоена. При уменьшении запасов азота в почве невозможно установить, какая часть утерянного азота усвоена растениями и какая часть подверглась денитрификации. Только в конце вегетационного периода, после смерти растений, мы можем точно установить суммарный баланс за определенный период. Но так как и это не дает возможности установить закономерности динамики движения азота в почве, то соответствующие исследования приходится проводить в почвах без растений. В последнее время соответствующие опыты ведут с применением меченого азота. К сожалению, такие опыты можно проводить только в сосудах, а не в полевых условиях. Если для таких исследований подобрать одинаковые по содержанию химических соединений и микроорганизмов почвы и проводить одновременно анализы проб из них как на содержание соединений азота, так и количества микроорганизмов, участвующих в динамике движения азота в почве, то можно будет подойти к установлению закономерностей этого процесса.

Нельзя также забывать, что такие анализы необходимо проводить в течение всего года. Как нами установлено, деятельность почвенных микроорганизмов в условиях умеренной климатической зоны не прекращается после окончания периода вегетации, и часто в холодное время года в мерзлой почве происходят наиболее интересные изменения и превращения. Далее установлено, что зимой интенсивность деятельности почвенных бактерий снижается, их развитие хотя и замедляется, но не прекращается и в течение долгих зимних месяцев они могут выполнять огромную работу. Относительно почвенных бактерий (Рахно, 1961, 1963, 1964) и грибов (Аксель, 1965) мы уже имели возможность опубликовать некоторые данные, а новые материалы как о только что упомянутых, так и о других группах почвенных микроорганизмов будут изложены в настоящей работе.

Оказывается, что в холодное время года развитие почвенных микроорганизмов не только замедляется в общем, но и происходит неодинаково у различных их представителей. Одновременно со значительным подавлением деятельности одних физиологических групп другие продолжают свою деятельность несколько медленнее, чем в теплые сезоны.

Проведенные до 1964 года исследования позволили установить влияние ряда факторов на развитие почвенных бактерий. Основным из этих факторов является наличие в почве и время поступления в нее веществ, пригодных для питания бактерий. Некоторое значение имела степень влажности почвы и накопление в ней токсичных для бактерий

веществ. О замедляющем влиянии низких температур на развитие почвенных микроорганизмов было уже сказано выше. Все другие известные нам факторы имели или второстепенное значение, или не имели вообще влияния на жизнедеятельность почвенных бактерий. Однако в то же время становилось все более очевидным, что на развитие почвенных микроорганизмов оказывает влияние пока нам неизвестный, но сравнительно мощный фактор.

В 1967 году мы впервые стали исследовать влияние солнечной активности на развитие почвенных водорослей (Рахно, Сирп и Лангсепп, 1967, 1968). В дальнейшем оказалось, что солнечная активность воздействует не только на почвенные водоросли, хотя это воздействие проявляется особенно ярко, но что оно распространяется также на многие другие, возможно даже на все почвенные микроорганизмы. Притом это воздействие проявляется неодинаково во всех группах микроорганизмов, то содействуя, то подавляя развитие и размножение их. Далее выяснилось, что активность Солнца оказывает влияние и на динамику накопления и содержания в почве связанного азота.

В качестве рабочей гипотезы мы вначале принимали, что такое влияние на соединения азота осуществляется посредством почвенных микроорганизмов, в результате деятельности которых происходит связывание, перевод в другие состояния и удаление из почвы соединений азота. Изучению динамики развития этих микроорганизмов и связей ее с динамикой содержания в почве различных форм связанного азота мы уделили особое внимание.

Однако нельзя было отрицать и возможности непосредственного влияния солнечной активности на химические процессы, связанные с динамикой движения азота в почве.

Хотя приведенные в этой работе данные пока еще не дают исчерпывающего ответа на все поставленные вопросы, есть основания все же считать, что уже эти первые результаты могут осветить некоторые малоизученные стороны чрезвычайно важного и интересного раздела почвенной биологии.

Опыты по изучению физиологии и биохимии почвенных микроорганизмов проводятся почти исключительно в лабораторных условиях и в искусственных питательных средах, а это во многих случаях приводит к ошибочным выводам, так как большинство почвенных микроорганизмов ведет себя в искусственных условиях совершенно различно по сравнению с естественной средой обитания, т. е. с почвой. Здесь только немногим может помочь применение субстратов, по возможности приближенных к почвенным условиям (кремнекислый гель и другие). Некоторые факторы оказывают на размножение и развитие почвенных микроорганизмов совершенно различное влияние в почве и в любой питательной среде в лабораторных условиях (температура!). С другой

стороны, естественные почвы как полевые, так и пастбищные, лесные и прочие настолько пестры, что содержание микроорганизмов и соединений азота в пробах, взятых на расстоянии даже нескольких сантиметров друг от друга, может различаться в десятки раз. Это несомненно оказывало влияние на направление проводимых исследований.

Придерживаясь предвзятого мнения, что низкие температуры подавляют размножение почвенных микроорганизмов, только немногие исследователи изучали динамику развития их в течение всего года. Между тем, без данных о содержании микроорганизмов, как и соединений азота в почве в холодные сезоны года, невозможно получить полное представление о динамике их количественного содержания.

В области детальной разработки теоретических основ, в частности по изучению закономерностей размножения, роста и развития почвенных микроорганизмов в их естественной среде обитания почвенная микробиология в настоящее время значительно отстала от других разделов микробиологии. В течение продолжительного времени основное внимание почвенных микробиологов было обращено на разрешение сугубо практических вопросов, особенно на применение так называемых бактериальных удобрений. Однако оказывалось, что во многих случаях рекомендованные в течение десятилетий бактериальные препараты не оправдывают себя, в частности, препараты свободноживущих в почве бактерий, таких как азотобактера, фосфорных и силикатных бактерий. Причина этого заключается в том, что основы применения микробиологических препаратов в земледелии совершенно недостаточно разработаны и их внесение в почву происходит чисто эмпирически, без достаточного учета факторов, обеспечивающих размножение вносимых в почву микроорганизмов. В некоторых случаях вообще нет надобности в искусственном внесении в почву каких-либо микроорганизмов, а вместо этого было бы целесообразнее регулировать некоторые факторы, от которых зависят содержание, количество и дальнейшее развитие таких микроорганизмов. Дело в том, что препараты свободноживущих в почве микроорганизмов могут оказывать влияние на урожаи сельскохозяйственных растений только в почвах, которые содержат природные или так называемые спонтанные штаммы этих микроорганизмов. Если такие микроорганизмы в почве отсутствуют, а это чаще всего является признаком того, что в такой почве нет условий для их развития, то никакое искусственное внесение не сможет обеспечить их развития, если для этого предварительно не будут созданы соответствующие условия.

Если в промышленной микробиологии широко практикуется математическое моделирование микробиологических процессов для оптимизации их, то в почвенной микробиологии не разработаны даже исходные положения для подобного моделирования. Тем не менее это вполне возможно и в скором будущем даже станет совершенно необходимым,

если хотим добиться большей эффективности как от применения бактериальных препаратов, так и от других приемов воздействия на микробиологические процессы в почве.

Для этого прежде всего необходимо выявить значение отдельных факторов воздействия на размножение почвенных микроорганизмов. Оказывается, что в этой области имеется еще слишком много неизвестного и спорного. Очень часто переоценивается значение некоторых факторов воздействия и игнорируется значение других. Авторы настоящей работы сделали попытку внести некоторую ясность в оценку основных факторов влияния на размножение микроорганизмов и динамику содержания азота в почвах Эстонской ССР.

В проведении опытов и анализов, связанных с выполнением этого задания, кроме коллектива авторов монографии, принимали участие и другие научные работники, а также лаборанты сектора микробиологии Института экспериментальной биологии Академии наук Эстонской ССР, в частности тт. А. Лангсепп и А. Кибур, а в проведении статистической обработки экспериментального материала — сотрудники вычислительного центра Института кибернетики Академии наук Эстонской ССР во главе с заведующим вычислительным центром, доктором физико-математических наук И. Петерсеном. Всем им коллектив авторов монографии выражает свою глубокую признательность.

I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В работе П. Рахно (1964) был приведен довольно обширный обзор литературных данных о сезонной динамике количества почвенных бактерий и факторах, обусловливающих эту динамику, а поэтому мы не будем повторять приведенных там данных. В основном в обзоре будут рассмотрены работы о количественной динамике почвенных грибов и водорослей, влиянии солнечной активности на рассматриваемые нами процессы, а затем работы, касающиеся процессов разложения органических веществ в почве и аммонификации, нитрификации, денитрификации и фиксации молекулярного азота.

1. ПОЧВЕННЫЕ ГРИБЫ

Данных литературы о сезонном развитии почвенных грибов значительно меньше, чем о развитии почвенных бактерий, причем эти данные неполны и не отображают общих закономерностей развития этой группы микроорганизмов. Чаще всего эти данные представляют собой итоги кратковременных наблюдений, очень ограниченных как во времени, так и в пространстве.

Наблюдения обычно охватывают период вегетации высших растений в определенных климатических условиях и касаются чаще всего какой-нибудь отдельной группы почвенных грибов.

Круглогодовых и зимних исследований почв северной и умеренной зоны, насколько нам известно, не имеется. Обзорных работ, в которых были бы обобщены разрозненные данные отдельных исследователей, также нет. В этом и заключается одна из причин разнобоя данных и мнений по вопросу сезонной количественной динамики почвенных грибов.

Так как понятия сезона и времен года в разных географических зонах не всегда равнозначны, то это является еще одной из причин различий в выводах по результатам исследований.

Сезонность количественного размножения почвенных грибов отмечают многие авторы, причем количественные максимумы и минимумы согласно данным разных авторов приходятся на разные сезоны.

Большинство авторов описывает количественный максимум почвенных грибов в осенние месяцы. Так, например, осенний максимум дрожжевых грибов наблюдался в исследованиях Супрун (1963) по Московской области и у Мирчинк и Орловой (1962) по Воронежской области. Максимум количества других различных грибов у последних авторов наблюдался в июле, а минимум — в октябре.

Юдж (Hughes, 1962), проводивший свои исследования на Юго-Востоке США, нашел, что максимум количества сапролегниевых грибов с центрическими и субцентрическими ооспорами приходится на осенние и весенние месяцы, а у сапролегниевых с эксцентрическими ооспорами выраженного количественного максимума и минимума не наблюдалось. Точно такие же результаты приводит Дудка (1966) по Киевской области, за исключением только того, что у него весеннего максимума у сапролегниевых с центрическими и субцентрическими ооспорами не было отмечено, но установлен был только осенний максимум.

Кунерт (Kunert, 1966) в Чехословакии установил, что численный максимум различных видов дерматофитов и кератинофильных грибов в луговой почве наблюдается в большинстве случаев осенью, а минимум — весной и летом. Однако наблюдались и отклонения, причем у Trichophyton terrestre максимум был отмечен весной и летом, а минимум — осенью.

Осенний количественный максимум для фикомицетов и несовершенных грибов в лесных почвах Польши установили Бадура и Бадурова (Badura, Badurowa, 1964), однако аскомицеты у них встречались преимущественно летом. Уатсон (Watson, 1966) отмечает в почвах Англии увеличение численности грибов с июля по декабрь, т. е. в течение всей второй половины года. Сходные данные о грибах в почвах штата Мадрас (Индия) — максимум с июля по ноябрь — представляет Раджагопалан и сотр. (Rajagopalan et al., 1963) Мишра (Mishra, 1966) в почвах Варанаси (Индия) отмечает максимум грибов осенью, минимум — с марта по июнь. Индийские исследователи Саксена и Сарбо (Saksena and Sarbhoy, 1963) нашли, что в почвах Аллахабада максимум грибов приходится на зимние месяцы, а минимум — на сухое летнее время года.

Дюпон и сотрудники (Dupont et al., 1967) установили в почвах Мексики наибольшее количество спор грибов в августе—сентябре, а наименьшее — в апреле.

Нихольс и сотрудники (Nichols et al., 1964) выделяли грибы из почв грушевых насаждений Калифорнии чаще всего зимой и ранней весной.

Каламээс (Kalamees, 1966) отмечает для шляпочных грибов в лесах

Эстонии 7 аспектов грибного покрова: ранневесенний, весенний, раннелетний, летний, осенний, позднеосенний и зимний.

Дуорин (Dworin, 1966) изучал содержание в воздухе штата Аризона США спор плесневых грибов и обнаружил наибольшее разнообразие их в воздухе открытых мест летом и зимой, отмечая притом, что ни температура воздуха, ни количество осадков не оказывали влияния на содержание в воздухе спор грибов. Все же наблюдалась некоторая зависимость содержания спор от влажности воздуха, т. е. больше всего спор было при относительной влажности воздуха $>40\%$.

О влиянии влажности почвы на размножение грибов также имеются данные многих авторов.

Кониз (Konyeas, 1964) подразделяет почвенные грибы по их отношению к влажности на 3 группы:

1) гигрофильные — с максимумом развития при влажности выше 95% (Pythium, Mortierella и хищные гифомицеты);

2) ксерофильные — с оптимумом при 95% (Fusarium, Trichoderma и некоторые мукоровые) и

3) мезофильные — хорошо развивающиеся при влажности 84—99% (Penicillium, Aspergillus).

Автор отмечает, что уменьшение влажности до 15—20% приводит к снижению количества бактерий и увеличению количества грибов в почве.

Дюперэ (Duperrex, 1967) установил, что грибы могут развиваться еще при влажности, несколько превышающей точку временного увядания высших растений.

Жданова (1964) отмечает различное отношение почвенных грибов к влажности почвы и большую устойчивость некоторых из них к сухости. При особенно неблагоприятных условиях конидии устойчивых к сухости грибов становятся более светлыми, вытягиваются и суживаются.

Ваартая (Vaartaja, 1964) в песчаной почве Канады, содержавшей после двухлетнего хранения только 0,2% влаги от общего веса, обнаружил представителей родов Pythium, Fusarium и Rhizoctonia.

Бумбьер и Ллойд (Bumbiers a. Lloyd, 1967) отмечают значение влажности для плодородия почвы. Лизис грибных гиф проходит быстрее во влажной, нежели в сухой почве, и вещества, лизирующие гифы, стимулируют рост и деятельность других микроорганизмов, в результате чего получается обогащение почвы.

Положительное влияние влажности на рост и развитие почвенных грибов отметили в своих работах еще Диксон (Dixon, 1928); Чен и Гриффин (Chen a. Griffin, 1966b) и Дэйал и Гупта (Dayal a. Gupta, 1967). Более подробный обзор соответствующих работ, а также работ о влиянии других физических факторов на развитие почвенных грибов приводит Гриффин (Griffin, 1963). В числе прочих факторов рассмат-

ривают влияние влажности на почвенные грибы также Тэйлор и Паркинсон (Taylor a. Parkinson, 1964); Фассатиова (Fassatiova, 1966) и Шмарда (Šmarda, 1967). Все отмеченные авторы констатируют положительное влияние влажности на распространение и развитие почвенных грибов.

Влияние температуры на рост и развитие грибов исследовали Embree (1964), Злотина (1966); на размножение (споруляцию) — Mc Nelly-Ingle a. Frost (1965); на кинетику обмена веществ — Borrow et al. (1964); на антагонистические свойства — Perssoon-Hüppel (1963) и на патогенность — Edgington (1962).

Оптимальной для роста и развития грибов является температура в пределах от 20 до 25° С. Но температурная амплитуда грибов вообще весьма широка; грибы проявляют большую устойчивость к низкой температуре и сохраняют жизнеспособность при отрицательных температурах (до —196°).

В работе Кука и Фурнеля (Cooke a. Fournelle, 1960) приводятся данные по исследованию тундровых почв, в том числе и почв вечной мерзлоты. Из этих почв были выделены грибы, относящиеся к пяти семействам. Авторы считают, что в подобных условиях грибы за короткое время оттаивания почвы могут развиваться и принимать участие в разложении органических веществ.

В работах Хванга (Hwang, 1960—1961) и Куртиса (Curtis, 1967) имеются данные о содержании грибов при низких температурах (—25 и —94°) и сохранении ими жизнеспособности.

Многие авторы приводят данные о благоприятном влиянии низких температур на развитие грибных спор. Паттерсон (Patterson, 1955) сообщает, что внезапное понижение температуры на 10 градусов и более стимулирует образование плодовых тел у культурного шампиньона. Васильков (1966) высказывает предположение, что внезапное понижение температуры осенью стимулирует урожай белого гриба. Пяртельпоэг (1963) пришел к выводу, что оттепели, повторно чередующиеся с морозами, являются непосредственным стимулом роста зимних грибов (Glitocybe brumalis и других) при достаточном количестве осадков и глубоком снеге.

Коколия (1967) показал, что наиболее обильное развитие гриба Leptomitus lacteus в воде Невы наблюдается при пониженной температуре в зимние месяцы, с конца декабря и до конца марта.

Мозер (Moser, 1958) показал экспериментально, что многие штаммы базидиальных грибов из горных местообитаний в отличие от штаммов тех же видов, выделенных в долинах, обладают устойчивостью к длительному пребыванию в замороженном состоянии при —11, —12° и растут при температуре от 0° до +5°.

Мэк (Mack, 1962) приводит данные о том, что предварительное вы-

держивание почвы при —1° снижает вредное действие замораживания на численность грибов.

Пешель (Peschel, 1966) нашел, что Stromatinia gladioli сохраняет жизнеспособность при температуре —19°. По данным Гуза и сотрудников (Goos et al., 1967), большинство обследованных ими грибов могут переносить замораживание при температуре жидкого азота, если последующее отогревание будет быстрым. Гоч (Goth, 1963) сообщает о задержке прорастания хламидоспор Ustilago avenar при пониженных температурах.

Гаскинс (Haskins, 1965) привел данные о защитном действии стеролов при воздействии на грибы Pythium sp. высокими и низкими температурами.

Свет, по данным многих авторов, оказывает влияние главным образом на спороношение, образование конидий и коремиев и их прорастание, причем это влияние может быть различным в зависимости от одновременного воздействия других факторов.

Парметер и Худ (Parmeter a. Hood, 1962) показали, что облучение ультрафиолетовыми лучами чашек Петри с почвенной взвесью снижает кличество грибов в ней в зависимости от продолжительности облучения. Притом грибы с тонкостенными или палевыми спорами более чувствительны к облучению, чем темноспоровые, образующие толстостенные структуры.

Хоуел (Howell, 1964) нашел, что ультрафиолетовый свет способствует началу спороношения у Helminthosporium avenae, но не является необходимым для спороношения у Alternaria tenuis.

Холломон (Hollomon, 1966) установил, что предварительная обработка светом твердых питательных сред угнетала рост и развитие Phytophthora infestans, причем наиболее чувствительным к такой обработке было прорастание спор. На рост других грибов световая обработка не оказывала вредного воздействия.

Коэн (Cohen, 1967) нашла, что для закладки и развития коремии у Paecilomyces farinosus необходим свет по крайней мере в течение восьми дней.

Уозуми и Кребер (Uozumi a. Kröber, 1967) установили, что оптимальное образование конидий у Peronospora tabacina происходит, когда предшествующий спорообразованию период освещения при пониженной влажности длится не менее 13 часов, а затем следует период темноты продолжительностью до 5 часов.

Тусун и Вейнгольд (Toussoun a. Weinhold, 1967) наблюдали, что максимальное образование перитециев у Fusarium sp. происходит при 8—15-дневном воздействии светом. Однако выдерживание на свету культуры гриба в течение 30 суток без предварительной темновой стадии приводит к подавлению этого процесса. Данные этих авторов пока-

зывают значение чередования освещения и затемнения при спорообразовании.

Рау (Rau, 1967) отмечает роль света в синтезе каротиноидов у Fusarium aquaeductum и Neurospora crassa.

Довольно разноречивы высказывания авторов об отношении грибов к реакции почвы и к содержанию в ней минеральных веществ.

Романкова (1953) считает необходимым пересмотреть мнение о положительном влиянии кислой реакции среды на развитие всех грибов, поскольку отдельные группы их значительно лучше развиваются при pH 6,9—7,5.

Коробейников (1960) отмечает, что исключение из среды калия замедляет рост некоторых видов Fusarium, а недостаток фосфора задерживает спороношение у них. Более интенсивные рост и спороношение у этих грибов наблюдались в средах с нитратами, между тем как аммиачные соли угнетали их рост.

Гош и Дутте (Ghosh a. Dutta, 1960) приходят к выводу, что почвы с большим содержанием углерода, общего азота и органических веществ характеризуются большим видовым разнообразием грибов, а содержание нитратного азота, pH и влагоемкость влияют заметно на развитие определенных видов грибов.

Кауфман и сотр. (Kaufman et al., 1964) нашли, что реакция почвы, а также фосфорные и калийные удобрения не оказывают существенного влияния на микофлору. Влияние оказывает азотное удобрение, которое приводит к заметному увеличению числа грибов и изменению количественного содержания ряда видов.

Двиведи (Dwivedi, 1965) считает, что количество грибов не зависит от реакции почвы. Из исследованных автором почв Индии наибольшее количество грибов было обнаружено в почвах с высокой влажностью и высоким содержанием органического вещества.

Пучко (1966) установил, что в почве елового леса Латвийской ССР с pH 4,3—5,5 мукоровые составляют 60% от общего числа грибов, а в лугах с pH 6,0—7,0 их только 13%.

Паркинсон и Баласурия (Parkinson a. Balasooriya, 1967), изучая почву соснового насаждения на песчаных дюнах в Англии, отмечают, что особой чувствительностью к реакции почвы отличаются Trichoderma viride и Cylindrocarpon radicicola, которые при переходе от кислой среды к щелочной исчезали, в то время как Penicillum decumbens на изменения pH не реагировал.

В ряде исследований приводится сравнение количественного и качественного состава микофлоры в разных почвах и биоценозах.

Борут (Borut, 1959) при сравнении количества грибов в аридных почвах Израиля установил наибольшее число их в лёссе и наименьшее — в песчаной почве. Оказалось, что количество грибов зависит

здесь от содержания органического вещества, а не от влажности почвы. 15 исследованных им видов грибов были способны разлагать желатин, крахмал и целлюлозу.

Лугаускас (Lugauskas, 1960) в трех изученных типах почвы больше грибов нашел в супесчаной и торфяной почве, а меньше — в суглинистой.

Корте и Даглио (Corte a. Daglio, 1963) выделили в Антарктике из почвы, мхов, снега и воздуха 107 штаммов грибов, из которых большинство принадлежали к группе Mycelia sterilia. Авторы отмечают, что микофлора Антарктики состоит главным образом из космополитов или из видов, имеющих широкое географическое распространение.

Баррет (Barrett, 1964), исследуя 5 типов почв в штате Луизиана США, выделил наибольшее число грибов из песчаной почвы поймы и наименьшее — из илистой и аллювиальной почв террасы реки Миссисипи.

Андо и Цуцуми (1965) изучали микофлору почв хвойных, смешанных и лиственных лесов, причем наименьшее количество видов было выделено из почв хвойных лесов.

Вишнякова (1966) изучала почвы пробных площадей кедровников Западного Саяна. Наибольшее количество грибов было обнаружено в подстилке A_0 и горизонте A_1, наименьшее — на глубине 80—110 см горизонта B_1C_1.

Мэкэнли и Троуер (Macanley a. Thrower, 1966) исследовали приуроченность грибов к степени минерализации опавшей листвы. Грибы, обнаруженные на опавших листьях Eucalyptus regnans, подразделяются на 3 группы в зависимости от степени минерализации листьев. На свежеопавших листьях преобладали 8 видов грибов (Piggotia и др.), на слабоминерализованных листьях — следующая группа в составе 12 видов (Trichoderma и др.) и наконец на листьях в последнеей стадии минирализации — третья группа в составе более 30 видов, в основном виды Penicillium.

Наим (Naim, 1967) исследовал различие в числе грибов в почвах без растений и в прикорневой почве. Оказалось, что в почве без растений грибов меньше.

Мехтиева (1963) исследовала некоторые почвы Карабахской степи. Наибольшим разнообразием отличались светло-луговые почвы, в которых чаще всего обнаруживали также виды грибов, оцениваемые как показатели положительных качеств почвы (Trichoderma, Cephalosporium, Cladosporium, Chaetomium, Fusarium).

Каневская (1964) приходит к выводу, что видовой состав почвенных целлюлозоразлагающих грибов зависит от состава удобрений и времени года. Торнтон (Thornton, 1965) в различных пунктах Новой Зеландии

выделил 75 видов грибов, ассоциирующих с корнями райграса и белого клевера.

Калпузос и Шталлкнехт (Calpouzos a. Stallknecht, 1965) проводили лабораторное исследование влияния сочетания света и температуры на сухой вес и споруляцию грибов, причем было устанеовлно, что при 15° свет стимулирует спорообразование, а при 30° сильно подавляет его.

Чен и Гриффин (Chen a. Griffin, 1966a) нашли наибольшее разнообразие грибных видов в почве с относительной вланжостью 75—90% и температурой около 30°. Оказалось также, что инкубирование почвы при 56° в течение одного часа приводит к резкому снижению относительной влажности и содержания грибов.

Тен Хак-Мун (1966) заключает, что поскольку факторы влияния на численность микроорганизмов действуют в почве не самостоятельно, а в совокупности, то при раздельном анализе влияния каждого из рассмотренных факторов на численность микроорганизмов достоверная закономерность не может быть установлена.

Бажина и Штина (1967) проводили опыты по взаимному влиянию и зависимости почвенных грибов и водорослей. Ими было установлено, что фильтраты грибов стимулируют рост водорослей, а фильтрат Nostoc muscorum угнетает рост грибов.

Обзор литературы о влиянии различных факторов на численность микрофлоры почвы свидетельствует о противоречивости результатов наблюдений и мнений авторов. Такая разноречивость может быть объяснена различным сочетанием факторов влияния в почве.

Как уже было отмечено в выводах некоторых авторов (Тен Хак-Мун, 1966), факторы влияют не независимо, а в сочетании, причем выделить закономерность влияния какого-нибудь отдельного фактора весьма трудно.

В сложном комплексе почвы может быть бесконечно много сочетаний различных факторов, а следовательно, и проявлений их. Обычно изучают действие одного или двух факторов и результат данного исследования фиксируется выводом, хотя он в действительности не может отображать общей закономерности. Разноречивость мнений авторов говорит о том, что исследования отдельно взятых факторов не дают представления об общих закономерностях влияния и взаимодействия факторов почвы. Для выявления их необходимы комплексные исследования возможно большего числа факторов и их влияния в различных сочетаниях.

2. ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ

Приступая к рассмотрению сезонной динамики количества почвенных водорослей, следует отметить, что она является весьма сложным процессом, который до настоящего времени исследован явно недостаточно, на что в одной из своих работ и указывает Штина (1959), отмечая при этом, что сезонные изменения количества водорослей в почве обусловлены целым комплексом обстоятельств.

На зависимость сезонной количественной динамики почвенных водорослей от температуры и влажности, приемов агротехники, сроков полевых работ, биологических особенностей растений и т. д. указывает Умарова (1962).

К сожалению, до сих пор еще мало внимания уделено исследованию сезонной количественной динамики почвенных водорослей. Несколько больше работ по видовой динамике и распространению водорослей в различных почвах, а также о фиксации ими молекулярного азота (Голлербах, 1953; Штина, 1959, 1964; Куликова, 1965; Носкова, 1968). Распространение различных видов водорослей в почвах Эстонской ССР исследовал Кукк (Kukk, 1959; Kukk, 1960).

В течение последних лет все же появился ряд работ по динамике размножения почвенных водорослей, хотя данные только изредка приводятся за весь год. Динамику размножения водорослей на поле под хлопчатником в Узбекской ССР исследовала Умарова (1962), беря почвенные пробы в течение всего года ежемесячно. Максимальное количество водорослей было обнаружено в конце лета и осенью. Несмотря на достаточную влажность почвы, количество водорослей зимой резко уменьшалось. Весной с повышением почвенной температуры стало увеличиваться и количество водорослей. Летняя высокая температура (от 22,4 до 47,4° С) и низкое содержание воды оказывали на рост водорослей также отрицательное воздействие.

В почвах Голодной степи (Азербайджанская ССР) динамику размножения водорослей исследовал Мусаев (1960, 1965), беря пробы различных почв (залежных, пахотных, лесных, солончаковых и т. д.). В пахотных почвах водоросли развивались в течение всего года более или менее одинаково, с небольшим снижением их численности зимой. Более заметен был зимний минимум в залежных почвах, где максимум наблюдался весной и осенью.

Троицкая (1961, 1965) исследовала развитие водорослей в серо-бурых почвах пустынных растительных формаций юго-западной части Узбекской ССР. Исследования проводились только в течение вегетационного периода, как и у большинства последующих авторов. Максимальное развитие водорослей отмечено весной в серо-бурых песчаных почвах с хорошо развитым эфемерным покровом. Летом их количество

уменьшалось, а осенью опять увеличивалось. В почвах со слабо выраженной эфемерной растительностью максимальное количество водорослей было обнаружено осенью.

По данным, приведенным в вышеуказанных трех работах, оказывается, что в почвах южных районов СССР максимальное количество водорослей наблюдается весной и осенью, с минимумом зимой и отчасти также в засушливое время летом.

Динамику развития водорослей в дерново-карбонатных почвах Кировской области исследовала Штина (1959а). Пробы брали систематически от 3 до 6 раз в течение вегетационного периода, с апреля по октябрь. По данным автора, на динамику развития водорослей, кроме температуры и влажности, оказывают влияние еще и обработка почвы, а также сельскохозяйственные культуры. Динамика развития существенно различается в зависимости от года исследования. В зависимости от метеорологических условий в количественной динамике водорослей может наблюдаться один или два максимума. По данным Носковой (1968), в дерново-карбонатных почвах Кировской области отмечалось два максимума (весной и осенью), которые, по мнению автора, были обусловлены не только лучшими условиями увлажнения почвы, но и массовым развитием видов водорослей, более устойчивых к низким температурам.

Содержание водорослей в почвах лесостепной зоны Украины в течение одного года изучал Потульницкий (1962). Оказалось, что в слабо выщелоченном малогумусном черноземе количество водорослей велико весной, снижается летом и снова возрастает осенью, достигая максимума в декабре. К сожалению, у автора нет данных о колебаниях количества водорослей в зимние месяцы.

Количественную динамику водорослей исследовали и некоторые заграничные альгологи. В почвах средней полосы ГДР такие исследования проводила Титтор (Tittor, 1956) и также установила наличие весеннего и осеннего максимумов и летнего минимума. Данные о зимнем периоде также отсутствуют.

Флоренцано и сотрудники (Florenzano et al., 1963) в течение вегетационного периода изучали развитие водорослей в итальянских почвах, причем максимальное количество водорослей отмечено весной. Авторы считают, что число клеток водорослей и распределение их в профиле почвы зависит от климатических и почвенных условий, а также от покровной культуры.

При культивировании зеленых водорослей в лабораторных условиях при постоянном составе среды, температуры и освещения Шапошников с сотрудниками (1964) в течение двух лет не смогли отметить никакой сезонной периодичности. Этот опыт был поставлен для проверки утверждений Горюновой и Насоновой (1955, 1958) о сезонности развития водо-

рослей в лабораторных условиях, причем эти авторы наблюдали наиболее интенсивное развитие некоторых зеленых водорослей в весенние месяцы и снижение темпа развития их в дальнейшем. К сожалению, Горюнова и Насонова не указывают, в каком году были проведены их исследования. Так как Шапошников и сотр. проводили свои опыты в 1961 и 1962 гг., т. е. в годы «спокойного Солнца», в условиях строго постоянного режима, то на существенные изменения в количестве водорослей трудно было рассчитывать.

Подытоживая данные литературы о сезонной динамике почвенных водорослей, можно отметить, что большинство авторов (Штина, Потульницкий, Носкова, Tittor) наблюдали периоды максимума весной и осенью. Притом в почвах южных районов СССР, где пробы брались и зимой, минимум был установлен в зимние месяцы (Умарова, 1962; Мусаев, 1965). Остальные авторы брали пробы только в течение вегетационного периода, и у них минимумы были зафиксированы летом.

Нами опубликована предварительная сводка данных исследований динамики водорослей в течение полных 1965 и 1966 гг. Максимум количества клеток водорослей в почве мы также наблюдали в весенние месяцы. Однако проведенный дисперсионный анализ полученных данных показал, что как сезоны, так и более конкретные факторы влияния — влажность и температура — оказывали на численность водорослей только незначительное влияние. Единственно достоверные корреляции с количеством почвенных водорослей показала только солнечная активность (Рахно, Сирп и Лангсепп, 1967, 1968).

Стюарт (Stewart, 1967b) отмечает максимум содержания азотфиксирующих водорослей весной и осенью.

Многие авторы исследовали сезонную динамику водорослей в водоемах (Round, 1960, 1961; Денисенко, 1963), а также влияние низких температур на их развитие (Terumoto, 1959; Péterfi, 1967; Reif a. Fine, 1967). Роунд установил в озерах Лейк-Дистрикт в Англии сезонный цикл развития диатомовых и сине-зеленых водорослей. Минимальное развитие наблюдалось с октября по январь (лимитирующими факторами оказались свет и темепература); максимальное — с февраля по июнь и новое снижение — с июля по сентябрь.

Если к водным водорослям применима какая-то «зональная» схема периодичности, то к почвенным водорослям применение такой типичной схемы вряд ли возможно. Процессы, происходящие в почве, значительно сложнее из-за разнообразия встречающихся здесь факторов влияния (Штина, 1959б).

Основными факторами, оказывающими влияние на сезонную количественную динамику почвенных водорослей, большинство авторов считает температуру и влажность почвы. Штина (1959б) отмечает, что влияние этих факторов является самым явным и поэтому понятно, что се-

зонные изменения количества почвенных водорослей связывают прежде всего с ними. Автор считает, что увеличение количества водорослей в почве весной и уменьшение их осенью зависят от колебаний температуры. По мнению автора, температуры ниже нуля затормаживают развитие водорслей, часть из них погибает, часть переходит в состояние анабиоза. Высоких температур, которые могли бы приостановить развитие водорослей, в исследованных автором почвах не встречалось — максимальная температура не превышала 22—23°. В работе отмечается также опосредствованое влияние температуры в связи с изменением физико-химического и биологического режима почвы. Влияние влажности может быть прямым или косвенным, поскольку с влажностью связаны почвенная темпратура, содержание углекислоты и кислорода, реакция почвы и т. д. В опытах автора увеличение влажности почвы не всегда вызывало увеличение количества водорослей, а косвенное влияние проявлялось иногда в лучшей доступности питательных веществ и т. д. Максимальное развитие водорослей происходило при 60% влажности, минимальное при — 100% влажности почвы. Что 100%-ая влажность не содействует развитию всех форм водорослей, отмечает и Хесс (Hess, 1962).

Известно, что почвенные водоросли могут переносить довольно высокие температуры и одновременную засушливость, сохраняя притом способность фиксации атмосферного азота. Это подтверждает ряд работ по развитию водорослей в пустынных и тропических почвах (Голлербах и сотрудники, 1956; Штина и Болышев, 1963; Cameron, 1963; Durrel, 1964; Бут, 1965).

На резистентность водорослей к высыханию обращает внимание Хесс (Hess, 1962). По данным ее исследований, некоторые формы водных водорослей выдерживали высыхание до 500 дней и сохраняли способность к дальнейшему развитию.

Исследована также выносливость водных водорослей в отношении колебаний температуры среды (Лукницкая, 1963). После выдерживания Chlamidomonas в течение 15—20 суток при температуре 2—3° их переносили в комнатную температуру и через 24 часа теплоустойчивость выравнивалась. Отсюда автор заключает, что продолжительное пребывание водорослей при низкой температуре не приводит к возникновению у них устойчивых модификаций. Они обладают способностью к изменению теплоустойчивости в зависимости от температуры окружающей среды.

Милоградова и Бердыкулов (1966) изучали влияние температуры и интенсивности света на фотосинтез синхронной культуры водорослей. С апреля по июль интенсивность фотосинтеза водорослей возрастала, а в дальнейшем стала уменьшаться, что вполне соответствует изменениям температуры и интенсивности света.

Многие авторы, в частности изучавшие их распространение в Антарктике (Holm-Hansen, 1963a; Boyd et al., 1966), в северных районах СССР (Дорогостайская, 1959; Штина и Ройзин, 1966), на земле Франца-Иосифа (Новичкова-Иванова, 1964) и в снегу (Fogg, 1967), отмечают выносливость водорослей к низким температурам.

Краус и Осреткар (Krauss a. Osretkar, 1961) обнаружили рост различных видов водорослей на поверхности льда и в снегу. Они приводят данные Канвишера (Kanwisher, 1956) о росте водорослей при низких температурах на льду в условиях Арктики и о фотосинтезирующей деятельности водорослей, собранных с поверхности льда в течение одной минуты при повышении температуры с —40° до 20° С.

Холм-Хансен (Holm-Hansen, 1963a) исследовал культуры водорослей из почвенных проб Антарктики и штата Висконсин США. На эти культуры воздействовали температурами —10°, —25° и —70°, а потом подвергали оттаиванию при комнатной температуре. Наиболее выносливыми оказались сине-зеленые водоросли. Повторное замораживание и оттаивание водорослей показало наибольшую способность к выживанию у антарктических форм по сравнению с формами из штата Висконсин. Наиболее устойчивой к замораживанию из зеленых водорослей Висконсина оказалась Clorella pyrenoidosa, которая перенесла замораживание до —25°. Культура того же вида при выращивании в открытых бассейнах в Ташкенте имела весьма широкую оптимальную температуру роста — от 30 до 38° (Милоградова и Бердыкулов, 1966).

В Антарктике сине-зеленые водоросли в качестве автотрофных фотосинтезирующих организмов являются ключевыми организмами в круговороте веществ (Boyd et al., 1966). В сухих долинах Антарктики, где средняя влажность почвы не превышает 0,7—0,8%, водоросли и другие микроорганизмы встречаются главным образом на северном склоне, где накапливается талая вода глетчеров. Уже при 20%-ной влажности в почве долин наблюдается большое количество микроорганизмов. Оказывается, в Антарктике вода является самым критическим фактором роста микроорганизмов, в частности водорослей.

Умарова (1962) отмечает, что в Ташкентской области в течение года наблюдаются два максимума численности почвенных водорослей, которые связаны с резкими изменениями температуры и влажности. С температурным и водным режимом почвы связывают сезонные изменения количества водорослей Потульницкий (1962) и Носкова (1968).

При исследовании устойчивости морских водорослей к замораживанию выяснилось, что некоторые виды могут переносить температуру —100° в течение 24 часов (Terumoto, 1959, 1967).

Для синтеза органического вещества водорослями необходим свет, хотя потребность света у отдельных видов различна.

Развития Nostoc muscorum в темноте в минеральной среде без азота

не было отмечено, хотя добавление в среду глюкозы и сахарозы несколько стимулировало их рост (Третьякова, 1966). Содержание сухого вещества при круглосуточном освещении у Nostoc muscorum от 1,5 до 4 раз выше, чем при освещении в течение 14 часов в сутки. В темноте не развивались и культуры водорослей у Таха (1964а). Водоросли имели наивысшую продуктивность при освещении красным светом, наиболее низкая продуктивность наблюдалась при освещении зеленым светом (Горюнова и Насонова, 1958; Таха, 1964а).

При освещении поверхности почвы ультрафиолетовыми лучами было получено многократное увеличение численности и биомассы сине-зеленых водорослей, причем количество других водорослей не изменялось (Бут, 1962).

Влияние длины дня и дневно-ночных температур на темпы роста культур Chlorella ellipsoidea исследовали Тамия и сотр. (Tamiya et al., 1958). Скорость роста оказалась прямо пропорциональной длине дня при коротких днях, а также при длинных днях с низкой интенсивностью света. При длинном дне и сильном свете скорость роста даже уменьшалась с увеличением длины дня.

Таха и сотрудники (Taha et al., 1963а) нашли, что как для скорости роста, так и для фиксации атмосферного азота Nostoc commune оптимальными были: pH от 7 до 8, температура 30—35° и интенсивность света 6000 люкс.

Стимулирующее влияние минеральных и органических удобрений на рост и развитие водорослей отмечали Willson a. Forest, 1957; Умарова, 1961; Третьякова, 1966. Балезина (1967) заметила, что в полевых опытах от внесения минеральных удобрений с известью количество видов водорослей в почве увеличилось почти вдвое. Это увеличение было особенно заметно у зеленых и желто-зеленых водорослей. В то же время количество клеток водорослей увеличивалось в 10—20 раз.

Штина (1956, 1960б, 1961) отмечает, что водоросли лучше развиваются в ризосфере высших растений. При совместном выращивании водорослей и овса урожай последнего повышался от 11 до 27,7%.

Поскольку почвенные водоросли весьма чувствительны к недостатку различных питательных веществ, был разработан метод использования их для оценки плодородия почвы (Tschan, 1956, 1959). Автор метода считает, что большое увеличение роста водорослей при добавлении испытываемого вещества указывает на дефицит его в почве.

Почвенные водоросли в своей жизнедеятельности связаны также с другими почвенными микроорганизмами. Для выявления такой связи Перминова (1964а) проводила опыты по одновременному введению в почву альгологически чистых культур водорослей, в которых содержалось большое количество различных бактерий. В результате этого в

почве значительно увеличивалось содержание бактерий, в частности азотфиксирующих.

Кучкарова и сотрудники в течение трех лет (1968) проводили в Узбекской ССР опыты по совместному применению комплексного препарата сине-зеленых водорослей и азотобактера и получили заметное повышение урожая риса. Сходные данные получила и Перминова (1964б). Паркер и Больд (Parker a. Bold, 1961) при добавлении к лабораторной культуре водорослей гетеротрофных бактерий наблюдали увеличение роста водорослей в 20 раз. При совместном выращивании культур Chlamydomonas и Streptomyces был стимулирован рост обоих компонентов. По мнению авторов, это обусловлено тем, что водоросль и актиномицет взаимно снабжаются веществами, которые они сами не могут образовать.

Однако другие микроорганизмы могут оказывать на водоросли и подавляющее воздействие. Рубенчик и сотрудники (1965) нашли, что для водоросли Anabaena самыми активными антагонистами оказались Bacillus mycoides, Pseudomonas fluorescens и некоторые другие. Виды pp. Mycobacterium и Bacterium, наоборот, образовали вещества, влияющие на развитие Anabaena положительно.

Горюнова (1955) установила, что водоросль Oscillatoria splendida выделяет вещества типа фитонцидов и образует из своих нитей живую «сеть», попадая в которую бактерии, а возможно и другие организмы убиваются фитонцидами и используются водорослями для питания.

Токсическое воздействие сине-зеленых водорослей при их «цветении» установлено в водоемах. Имели место даже случаи смерти лошадей, овец, собак и свиней, пользовавшихся такой водой, не говоря уже о рыбах (Серенков и Пахомова, 1965). Массовое развитие планктонных сине-зеленых водорослей может представлять опасность не только для рыб и животных, но и для человека, так как может вызвать эпидемии гастроэнтерита и других кишечных заболеваний (Иванова, 1965).

Красильников (1954) отметил, что фитопатогенные грибы образуют токсины, подавляющие рост высших растений, а также и микроорганизмов. Штина (1959б) предполагает, что малочисленность водорослей в лесных почвах можно объяснить содержанием в таких почвах большого количества токсических веществ. Как показала Портнова-Перминова (1956), продукты жизнедеятельности Trichoderma lignorum и Penicillium sp. оказывают угнетающее действие на зеленую водоросль Hormidium dissectum. При исследовании обратного действия выяснилось, что и вещества, выделяемые водорослями, угнетают рост почвенных грибов.

Оказывается, многие почвенные грибы и водоросли воздействуют антагонистически друг на друга, что имеет большое значение для их распространения в почвах. Вышеприведенные данные подтверждаются многими точными лабораторными опытами. Штина (1961) показала,

что добавление фильтратов грибов к культуре водорослей подавляет их развитие, а фильтраты водорослей оказывают такое же действие на культуры грибов. Паркер и Болд (Parker a. Bold, 1961) отметили полное разложение и гибель сине-зеленой водоросли Phormidium sp. при совместном выращивании с базидиомицетом. Гибельное действие оказывала только живая культура гриба, стерилизованная же в автоклаве культура не оказывала никакого действия. (См. также Hilton a. Trainor, 1963.)

В последние годы исследовано влияние гербицидов на почвенные водоросли, что представляет особый интерес, поскольку водоросли по своей физиологии близки высшим растениям. Лабораторными опытами установлено, что наибольшей токсичностью в отношении водорослей обладает симазин, отрицательно действуют также крезонит и ТХА-натрий, который, однако, в малых концентрациях оказывает положительное влияние (Балезина, 1967). Однако Пароменская (1967) нашла, что наиболее токсичным является атратон, а наименее — симазин; еще более чувствительными к действию гербицидов оказались виды зеленых водорослей.

Круглов и сотрудники (1968) нашли, что триазиновые гербициды оказывают на водоросли, так же как и на высшие растения, избирательное действие. Имеются как устойчивые, так и чувствительные к гербицидам формы водорослей. Авторами разработан метод использования в качестве тест-культуры весьма чувствительной культуры Chlorella vulgaris для определения остаточных количеств гербицидов в почве.

Общее количество водорослей, отношения между отдельными группами водорослей и видовое разнообразие их зависят в значительной мере от типа почвы. На распространение соответствующих почвенному типу групп водорослей указывал уже Голлербах (1953), отмечая, что отдельные виды водорослей могут служить показателями известных почвенных условий и в конечном итоге показателями плодородия почвы.

Штина (1959б) подтверждает это положение, выдвигая почвенные факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование сообщества водорослей. Среди них отмечаются: водный режим почвы, активная реакция почвенного раствора, количество, состав и степень разложения органического вещества, солевой состав и механический состав почвы. Автор приводит соотношения группировок водорослей с некоторыми почвами СССР. По общему содержанию водорослей (не считая темно-каштановых и солонцовых почв) на первом месте стоят аллювиально-луговые почвы, за которыми следуют дерново-подзолистые. Бедны по общему содержанию водорослей торфяно-болотные и подзолистые почвы.

При исследовании альгофлоры почвенных разностей Белорусской ССР было установлено, что наиболее богатыми по общему содержанию водорослей являются аллювиально-луговые почвы, наиболее бед-

ными — торфяно-болотные, а дерново-подзолистые занимают среднее положение (Ваулина, 1958). При исследовании автором видового состава водорослей тех же почв была отмечена существенная противоположность: на первом месте по разнообразию видов оказалась торфяно-болотная почва, на последнем — аллювиально-луговая. Такие же различия между количественным и видовым распределением водорослей в почве отмечают также Штина (1959б) и Матвиенко (1956, 1958).

Одним из факторов, оказывающих влияние на содержание и распространение водорослей в почвах, является реакция почвы. По данным Носковой (1968), в целинной дерново-карбонатной почве Кировской области явно преобладают сине-зеленые водоросли. Автор отмечает совпадение своих данных с данными многих авторов (Голлербах, 1936; Schelhorn, 1936; Lund, 1947, 1962; Rebel, 1959; Rosa, 1962; Schwabe, 1963), которые считают, что массовое развитие сине-зеленых водорослей является показателем щелочной или нейтральной реакции почвы.

Штина (1959б) ссылается на Шелхорна (Schelhorn, 1936), который отметил, что показателем кислых почв является отсутствие сине-зеленых и диатомовых водорослей, а показателем щелочных почв — преобладание сине-зеленых. Тем не менее Штина считает, что значение реакции почвы нельзя переоценивать и выделять из целого комплекса условий окружающей среды. Нельзя забывать, что водоросли сами в результате своей жизнедеятельности значительно изменяют реакцию почвы в сторону щелочности. Известкование почвы (Штина, 1960; Amma et al., 1966; Балезина, 1967) увеличивает как общее содержание водорослей в почве, так и изменяет отношения между отдельными группами водорослей. В известкованной почве заметно возрастает количество сине-зеленых водорослей.

Можно сказать, что зеленые водоросли лучше сине-зеленых переносят кислую реакцию почвы (Штина, 1965а, Обух и сотрудники, 1966). На рисовых полях Индии они обитают даже при pH 3,6—4,3 (Amma et al., 1966). Диатомовые и сине-зеленые водоросли приспособлены к существованию на нейтральных или щелочных почвах (Flint, 1958; Штина, 1959б).

Различия в численности клеток и видовом составе водорослей между целинными и окультуренными почвами изучали в дерново-подзолистых почвах Штина (1957 и 1959а) и Носкова (1968). Авторы показали, что в окультуренных почвах водоросли образуют больше биомассы, проникают в более глубокие слои и распределены более равномерно в пахотном слое. Одним из наиболее характерных свойств окультуренных почв является увеличение количества сине-зеленых и желто-зеленых водорослей. Это отмечено как в дерново-карбонатной (Носкова, 1968), так и в торфяно-болотной почве (Куликова, 1965б). По данным последнего автора, при окультуривании торфяно-болотных почв общая масса водо-

рослей в них увеличивается в 2—3 раза. Поциене (Pociene, 1963) отмечает наряду с увеличением количества водорослей в окультуренных почвах Литовской ССР также стимулирующее влияние высших растений на рост водорослей. Штина (1965б) отмечает, что наиболее беден по содержанию водорослей бессменный пар, где преобладают одноклеточные зеленые водоросли.

По данным Дутта и Венкатарамана (Dutta a. Venkataraman, 1958), в щелочных почвах Индии явно преобладают сине-зеленые водоросли. Учитывая данные литературы, авторы делают вывод, что в почвах умеренных зон зеленые водоросли преобладают над сине-зелеными, тогда как в почвах тропиков это соотношение обратно пропорционально. Этим подтверждается увеличение значения сине-зеленых водорослей по направлению с севера на юг, а также значительная зависимость плодородия почвы от альгофлоры.

На основании приведенных литературных данных можно заключить, что на развитие почвенных водорослей воздействуют те же факторы, влияние которых отмечено и на другие микроорганизмы почвы, причем особенно выдвигать можно только значение почвенных особенностей. Некоторые авторы отмечают наличие антагонистических отношений между водорослями и грибами. Чаще всего установлено максимальное развитие водорослей весной и осенью.

3. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЗЕМНЫЕ ПРОЦЕССЫ

При статистической обработке данных по корреляции микробиологических процессов и сопутствующих им факторов обычно получается довольно значительное остаточное число, указывающее на существование еще каких-то неизвестных факторов, не учтенных нами. Чем больше новых факторов влияния удается включить в анализ, тем меньше станет это остаточное число, хотя ликвидировать его полностью вряд ли когда-нибудь удастся.

После учета основных факторов влияния — влажности, температуры, реакции среды и содержания в окружающей среде химических соединений и питательных веществ — можно принять во внимание еще влияние аэрации и света, взаимное воздействие других членов биоценоза и значение адсорбции микроорганизмов почвенными частицами. Этим, казалось бы, исчерпываются все возможные факторы влияния. Однако и в таком случае остаточное число факторов влияния будет еще значительно больше, чем это можно обосновать.

В связи с этим приходится предполагать, что, кроме обычных факторов влияния, должны быть еще какие-то другие, трудно уловимые,

но сравнительно мощные. К таким факторам должны быть причислены так называемые космические факторы, из которых на первом месте оказывается солнечная активность (Эйгенсон и сотр., 1948; Эйгенсон, 1957).

Солнечной активностью называется периодически изменяющаяся величина корпускулярных и электромагнитных излучений Солнца. Имеется ряд периодических циклов солнечной активности, начиная от 27-дневных (время оборота Солнца вокруг своей оси) до 1800-летних (Рубашев, 1964). Основными циклами считаются 11- и 22-летние циклы. В продолжительности циклов могут встречаться колебания, так у 11-летнего цикла от 7,26 до 17,46 лет (Павельев и Павельева, 1965). В течение каждого цикла повторяются годы «спокойного» и «возмущенного» Солнца (последний «спокойный» год был 1964/65, а «возмущенный» — 1968/69).

Причиной солнечной активности считают термоядерные процессы в недрах Солнца, которые передаются на поверхность, а причиной их цикличности — приливное воздействие планет, в том числе и Земли (Nemeth, 1966). Так как циклы солнечной активности относительно постоянны, то их можно предвидеть, хотя прогнозы их пока еще не всегда точны. В настоящее время для этого приходится пользоваться только эмпирико-статистическими методами прогноза (Витинский, 1963).

Одним из наиболее простых показателей солнечной активности считают количество солнечных пятен, которое принято выражать так называемым «числом Вольфа» (W) (Гневышев, 1966). Однако имеются и другие предложения. Так, Шульц (1964) считает более удобным и точным показателем солнечной активности площадь солнечных пятен (S). Цимахович (1967) вместо числа Вольфа рекомендует пользоваться данными по солнечным излучениям радиоволн порядка 200 мгц. Отмечено, что мощность радиоизлучения Солнца довольно хорошо коррелируется с количеством солнечных пятен (Hauge, 1960; Слыш, 1968). Новикова и сотрудники (1967) рекомендуют и в дальнейшем пользоваться количеством солнечных пятен, однако не по всему диску Солнца, а отношением площади пятен в определенной узкой зоне к площади пятен на всем диске Солнца. Обычно все же пользуются только числом Вольфа, в основном из-за наибольшей доступности этого показателя для исследователей, не связанных непосредственно с астрономическими наблюдениями.

Хотя в последнее время появилось очень много работ о различных аспектах влияния солнечной активности на различные земные процессы, пока механизм этого влияния не установлен. Раньше считали, что причиной влияния солнечной активности, в частности на биологические объекты, должен быть особый вид излучения (Чижевский, 1964) и что такое влияние должно быть направлено непосредственно на земные объекты (Berg, 1957). Были высказаны предположения о влиянии рентгеновского

излучения Солнца, но потом было доказано, что все приходящие из космоса электромагнитные излучения с длиной волны короче 2900 ангстрем полностью поглощаются земной атмосферой (Мандельштамм, 1967). Затем некоторые астрофизики выдвинули гипотезу, согласно которой воздействие солнечной активности на Землю бывает двояким. Непосредственное, обусловленное в основном корпускулярным излучением Солнца, оказывает влияние на процессы в верхней атмосфере Земли. И только через них на другие процессы. Такое воздействие вызывает магнитные бури, полярные сияния и явления нарушения радиосвязи. Влияние солнечной активности на нижнюю атмосферу Земли является опосредствованным, за исключением случаев, когда воздействие солнечной активности охватывает всю толщу земной атмосферы. Опосредованное влияние происходит при передаче возмущений из верхней атмосферы в тропосферу и через природные электромагнитные поля Земли (Mitchell a. Murray, 1965; Витинский, 1966, 1968; Дорман, 1968; Жулин и Пушков, 1968; Мустель, 1968; Новицкий, 1968; Пресман, 1968).

Причиной воздействия солнечной активности Сытинский (1966) считает увеличение потенциальной энергии атмосферы Земли вследствие усиления корпускулярного излучения Солнца.

Так как астрофизикам пока не удалось открыть какого-либо особого излучения, связанного с влиянием солнечной активности на земные явления, то приходится придерживаться подразделения на непосредственные и опосредствованные воздействия солнечной активности. К первым можно причислить влияние на геомагнитные возмущения (Gleissberg, 1964; Афанасьева, 1964; Афанасьева и сотр., 1964), полярные сияния (Петухов, 1954; Gleissberg, 1965), радиосвязь (Finke, 1962) и на некоторые другие явления, где непосредственное воздействие солнечной активности точно установлено и в настоящее время не вызывает серьезных возражений.

Опосредствованное влияние солнечной активности обнаружено при различных физических явлениях, например, на интенсивность свечения ночного неба (Фишкова, 1955); яркость пепельного свечения луны (Dubois, 1955); космические лучи (Forbush, 1957); атмосферное давление (Rangarajan, 1954); общую циркуляцию атмосферы (Ракинова, 1955); летние дожди и грозы (Cagapiperis, 1954); колебания уровней морей (Fairbridge, 1961); колебания в стоке рек (Логинов, 1967; Смирнов, 1968); неравномерности ротационного режима Земли и палеоклиматические изменения (Эйгенсон, 1953); погоду (Faust, 1964) и на ряд других явлений.

Что же касается вопроса влияния солнечной активности на биологические процессы, то для исследования их возникла даже особая отрасль науки — гелиобиология, основоположником которой считают А. Л. Чижевского, который уже в 1915 году опубликовал первые данные

своих исследований, согласно которым между солнечными циклами и различными биологическими явлениями существует тесная связь (Голованов, 1967). Вообще Чижевским на русском и иностранных языках опубликовано свыше восьмидесяти работ по вопросам гелиобиологии, в том числе сводная монография (1930). Несколько позднее С. Т. Вельховер открыл связь изменений метахромазии коринебактерий (микобактерий) с процессами солнечной активности (Вельховер, 1935). Это явление стали называть эффектом Чижевского-Вельховера и для его объяснения была выдвинута гипотеза о существовании z-излучения Солнца. Предполагалось воздействие z-излучения на белково-коллоидные системы крови и на нервную систему человека (Чижевский, 1964). Сходные взгляды высказали Таката, а также Киепенхеу и Сиедентопф (Berg, 1957). По мнению Таката, «... природа этого таинственного излучения должна быть сходна с нейтринным излучением активного Солнца» (Чижевский и Шишина, 1969, стр. 81).

Большое количество работ посвящено влиянию солнечной активности на сердечно-сосудистые заболевания (Рывкин, 1966; Рывкин и сотр., 1966а, 1966б, 1967; Серов и Королева, 1966; Сосинов и Маник, 1966; Гневышев и Новикова, 1966; Подшибякин и сотр., 1968; Алябовский и Бабенко, 1968). Одной из основных причин этого Рожденственская и Новикова (1968) считают нарушение соответствия между свертывающей и фибринолитической системами крови под влиянием солнечной активности. Имеются также данные о влиянии солнечной активности на сыворотку крови и численность белых кровяных телец (Шульц, 1960, 1964); на динамику функциональных лейкопений (Сенгищева и Криковцова, 1960); на эпизоотии инфекционного энцефаломиелита и туляремии (Дорофеев, 1964, 1965); на эпидемиологию гриппа и клещевого энцефалита (Ягодинский и Александров, 1956; Александров и Ягодинский, 1966). На тесную связь солнечной активности и большинства пандемий и эпидемий в XVI и XVII веках указывал в своих первых работах уже Чижевский. Работ по влиянию солнечной активности на другие биологические явления значительно меньше. Уже в конце прошлого столетия было обращено внимание на цикличность роста деревьев (Шведов, 1892) с указанием на связь этого явления с аналогичными циклами засушливых лет. В последние годы стали снова изучать это явление, причем уже связывали цикличность роста деревьев с циклами солнечной активности (Elwert et al., 1952; Мензел, 1963; Бакдаи и сотр., 1964; Костин, 1968). Однако выводы исследователей не всегда совпадают. Данные о влиянии солнечной активности на урожаи ржи и картофеля на опытных полях Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева приводят Долотов (1967) и Шмидт (1968), причем приходят к противоположным выводам.

Минкевич и сотр. (1969) приводят данные анализа связи развития

ряда массовых болезней сельскохозяйственных культур с цикличностью солнечной активности.

Имеются также данные о влиянии солнечной активности на массовое размножение различных насекомых (саранчи, хлопковой совки), паука каракурта, мышевидных грызунов, рыб, коралловых полипов (Шербиновский, 1952, 1964). В общем все же можно отметить, что наиболее полно изучено влияние Солнца на ход различных заболеваний, а по другим разделам биологии данные сравнительно малочисленные.

Все авторы отмечают увеличение сердечно-сосудистых заболеваний и летальных исходов от них именно в годы высокой солнечной активности. Совпадают также и все данные об увеличении эпидемических инфекций в годы «возмущенного» Солнца. Отсюда делают выводы о влиянии солнечной активности на белково-коллоидные системы крови, лимфы и клеточную протоплазму через изменение способности коагуляции коллоидов, в результате чего происходит обострение патологических явлений. В связи с тем упоминают, что для резкого уменьшения стабильности дисперсной фазы некоторых коллоидных жидкостей достаточно очень небольшого количества электромагнитной энергии. Можно напомнить, что во время грозы молоко свертывается особенно быстро, причем такое ускорение не связано с усилением микробиологических процессов. Ускорение свертывания получено и экспериментально при воздействии на молоко короткими волнами причем установлено, что повышения температуры при этом не происходит. Подобные же опыты проведены и с различными гелями и эмульсиями, причем получены сходные результаты (Чижевский, 1964).

Наиболее обширные, длительные и систематические исследования влияния солнечной активности и электромагнитных явлений на некоторые химические реакции проводит профессор физической химии Флорентинского университета Джорджио Пиккарди (Piccardi, 1955, 1962, 1967) начиная с 1951 года. Уже через год после начала этих исследований во Флоренции их стали проводить параллельно в очень многих странах (в последнее время в 15) и на всех континентах. По октябрь 1960 года было проведено более 250 000 опытов, которые показали бесспорную зависимость скорости осаждения хлористого висмута при гидролизе от солнечной активности, солнечных извержений и магнитных бурь. С 1960 года были начаты новые опыты по полимеризации акрилонитрила. На основании этих исследований Пиккарди пришел к выводу, что космические факторы, в частности солнечная активность, оказывают существенное влияние на коллоидные системы и на воду.

Данные опытов Пиккарди были проанализированы некоторыми другими авторами. Так, Беккер (Becker, 1955), Буркард (Burkard, 1955)

и Мозетти (Mosetti, 1955) сообщают о получении сходных результатов в опытах с коллоидами.

Чижевский поставил опыты по влиянию солнечной активности на бактерии, клетки растений, кусочки раковых опухолей и семена растений в толстостенных свинцовых камерах и нашел, что под защитой толстых свинцовых стен рост и размножение растительных клеток и микроорганизмов заметно ускорились. Сходные опыты проводились преподавателем Томского медицинского института П. М. Нагорским, который также нашел, что ограничение притока солнечной радиации усиливает жизнедеятельность микроорганизмов и простейших (Чижевский и Шишина, 1969, стр. 61—68).

Хотя первые наблюдения по влиянию солнечной активности были сделаны на микроорганизмах (Чижевский, 1930; Вельховер, 1935), в дальнейшем соответствующие исследования почти не проводились. Нам известны лишь некоторые работы Бортельса (Bortels, 1964), который пришел к выводу, что на развитие бактерий имеет влияние не столько солнечная активность, сколько колебания атмосферного давления, причем не только при росте бактерий на питательных средах, но особенно во время изготовления этих питательных сред. В литературе встречаются еще некоторые общие замечания о влиянии солнечной активности на развитие водорослей в воде (но не в почве), которые были высказаны уже Чижевским, затем Щербиновским (1964) и Делепином (Delepine, 1967). Результаты 10-летних наблюдений за циклами развития ламинарий в прибрежных водах Шотландии приводит Уолкер (Walker, 1956). По этим данным активность Солнца резко стимулирует развитие водорослей. По влиянию Солнца на почвенные грибы или водоросли нам не удалось найти никаких данных.

Между тем трудно предполагать, что солнечная активность, оказывая влияние на численность кровяных телец и на развитие бактерий в лабораторных условиях или в организме человека, не оказывала бы влияния на развитие микроорганизмов в почве. Это заставило нас заняться исследованием данного вопроса.

4. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

Этот раздел обзора литературы мы будем рассматривать в связи с данными по микробиологическим процессам в почве, которые имеют отношение к различным изменениям в содержании связанного азота. Для большего удобства в обзоре динамики содержания в почве связанного азота целесообразно выделить несколько подразделов.

А. Разложение в почве органических веществ и аммонификация

Процессы разложения органических веществ и аммонификации являются первыми в цикле изменений белкового азота, а также и других органических соединений почвы. Данный раздел круговорота веществ разработан наиболее полно и поэтому приведем здесь сведения в основном о работах, опубликованных в течение последних 10—15 лет.

Теплякова (1955) исследовала смену групп целлюлозоразлагающих микроорганизмов в течение вегетационного периода в светло-каштановых почвах Средней Азии. Весной процесс разложения целлюлозы проводили в основном вибрионы, затем первое место занимали грибы и в конце лета — микобактерии. В условиях опыта увеличение количества гнилостных бактерий вызывало уменьшение количества целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Хаас и сотрудники (Haas et al., 1957) приводят данные об уменьшении содержания общего азота в почвах США при бессменном выращивании зерновых культур.

Бирш (Birch, 1958а и б) провел лабораторные опыты по разложению гумуса и органических веществ в почвах Кении (Африка). Оказалось, что разложение задерживается при введении в почву активного угля.

Славина (1960) при лабораторном исследовании луговых черноземных почв Томской области нашла наибольшее содержание аммиака (28 мг на 1 кг) при влажности в 40% от полной влагоемкости после 30 суток разложения органического вещества почвы.

Друино (Drouineau, 1960) установил, что преобладание в почве аммиака или нитритов зависит от почвенно-климатических условий: в поверхностных горизонтах, особенно летом, в почве преобладают нитриты, во влажных, кислых и содержащих много органики — аммиак. Автор приводит примеры вымывания и передвижения вниз нитритов во время дождей и о передвижении их вверх в засушливые периоды.

Эбер (Hebèrt, 1960), проводя еженедельные определения общего, аммиачного и минерализуемого азота в течение двух лет на севере Франции, установил, что содержание азота в почве сильно колеблется — до 50 кг/га за 1 день! — особенно летом и осенью.

Бирш и Фрэнд (Birch a. Friend, 1961), исследуя влияние частого попеременного увлажнения и высушивания почвы экваториальной Африки, нашли, что только после 204 подобных обработок в почве было минерализовано 63,5% органического углерода, 46,4% органического азота и весь органических фосфор; почва потеряла структуру и pH увеличился с 6,0 до 7,9.

Линке (Linke, 1961), проводя попеременно увлажнение и высушивание в течение 10—20 дней при 40—50°, установил усиление минерали-

зации органического вещества в различных почвах, кроме свободной от карбонатов лессовидной глины.

Яманэ и Сато (Yamane a. Sato, 1961) изучали влияние температуры на образование газов и аммиачного азота в затопленной почве рисовых полей Японии. Максимальное образование аммиака и выделения углекислоты отмечалось при 40°, при дальнейшем повышении температуры оно резко снижалось.

Бобрицкая (1963) на основании опытов, проведенных в течение четырех лет в лизиметрах с дерново-подзолистой суглинистой почвой, на фоне умеренных доз удобрений установила незначительную убыль азота под разными культурами растений, которая покрывалась внесением азота с атмосферными осадками. На почвах, не занятых растительностью, могут иметь место потери азота.

Мэк (Mack, 1963) нашел, что одно- и двукратное замораживание почвы Канады увеличивали минерализацию азота и повышали урожай проса, особенно в более влажных почвах. При низких температурах количество грибов уменьшалось, а количество бактерий увеличивалось.

Кононова и сотрудники (1964) установили снижение содержания гумуса в мощном черноземе Сумской области после столетнего сельскохозяйственного использования с восьми до пяти процентов, а в орошаемых сероземах после пятилетнего использования — с 3,1 до 1,1%.

Логинов и Касчуяк (Loginow i Kaszuhiak, 1964) определяли в Польше в течение вегетационного периода, с апреля по октябрь, еженедельно содержание различных фракций азота. Авторы отмечают значительные колебания содержания азота в почве, причиной которых они считают влияние температуры и влажности.

Хиросе и Кумада (Hirose a. Kumada, 1964) инкубировали почвы рисовых полей Японии, причем при повышении влажности было обнаружено увеличение минерализации азота.

Наплекова (1964) в лабораторных условиях изучала интенсивность аэробного разложения целлюлозы в различных почвах горного Алтая. Внесение минеральных азотных удобрений содействовало разложению целлюлозы.

Тамм и Кржиш (Tamm u. Krzysch, 1965) в Западном Берлине исследовали выделение CO_2 из почвы с октября 1963 года по май 1964 года. Выделение углекислоты возрастало при повышении температуры, при температуре же, близкой к нулю, выделение CO_2 резко снижалось.

Б. Фиксация молекулярного азота

Здесь по самым различным деталям основного вопроса имеются самые различные мнения и гипотезы. Так, по вопросу первого продукта фиксации азота предлагали несколько гипотез.

Виноградский (1894) и Костычев и сотрудники (1926) считали первым продуктом фиксации аммиак, Блом (Blom, 1931) и Виртанен (Virtanen, 1947) — гидроксиламин, Федоров (1945) и Бах (Bach, 1957) — гидразин.

Нихолас (Nicholas, 1963) в сводке достигнутых результатов исследований по фиксации атмосферного азота отметил, что ферменты азотфиксации, полученные от Clostridium Pasteurianum, находятся в клетке бактерии в растворенном виде. Выделено два комплекса ферментов, из которых один активирует молекулярный азот, а другой связан с мобилизацией водорода. Был обнаружен новый железосодержащий протеин — ферроксан, который участвует в выделении водорода. У Clostridium Pasteurianum ферменты азотфиксации сосредоточены в частицах, являющихся компонентами клеточных мембран. Оказалось, что гидразин и гидроксиламин не являются промежуточными продуктами при образовании аммиака из молекулярного азота. Установлено участие Mo и Fe в этих процессах.

Дхар и Банерье (Dhar a. Banerjee, 1961) предполагают, что в тропических почвах возможен процесс фиксации азота при помощи фотохимических реакций. Сходные данные приводят также Эскена (Eschena, 1955) на основании лабораторных исследований, затем Бхаттачария и Авасти (Bhattacharya a. Avasthi, 1957), которые нашли, что фотохимическая фиксация азота усиливается при внесении в почву угля, а также Мур и Абаелу (Mooge a. Abaelu, 1959), которые исследовали несимбиотическую фиксацию азота в почвах тропических лесов Нигерии.

Помимо фотохимических реакций, фиксация молекулярного азота без участия микроорганизмов возможна еще при помощи атмосферного электричества во время гроз и выпадения связанного азота с осадками. По данным Лага (Låg, 1963), в Норвегии в 1955 году этим путем выпадало от 0,8 до 6 кг азота на 1 га; по данным Дроуера и Баррет-Леннарда (Drower a. Barrett-Lennard, 1956), в Западной Австралии в 1952—1955 гг. — от 0,7 до 4,1 кг/га, а по данным Бобрицкой (1963), в различных географических пунктах СССР — от 2,95 до 5,45 кг/га в год.

Из азотфиксирующих микроорганизмов наиболее известны виды азотобактера, Clostridium Pasteurianum и в симбиозе с бобовыми растениями клубеньковые бактерии. Но такая же способность давно была выявлена у многих других микроорганизмов. Эти микроорганизмы стали называться олигонитрофильными и в последнее время список их значительно пополнился.

Паркер (Parker, 1954—1957) установил, что Clostridium bytyricum в анаэробных условиях может фиксировать до 27 мг азота на 1 г глюкозы.

Андерсон (Anderson, 1955) в США выделил азотфиксирующую бактерию, названную им Pseudomonas azotocolligans. Приблизительно в то же время нами был выделен термофильный азотфиксатор, названный Thermobacillus azotofigens (Рахно и Тохвер, 1957).

Меткалф с сотрудниками (Metcalfe et al., 1954) выделили из почвы дрожжевые грибки, способные фиксировать атмосферный азот. Из 116 образцов почв северо-восточного Китая Чжан Сянь-у и сотрудники (1957) выделили ряд культур бактерий, фиксирующих азот, из которых четыре культуры обладали высокой активностью.

Новак и Дворжакова (Novak i Dvoržakova, 1955) приводят данные о связывании атмосферного азота актиномицетами, причем количество фиксированного ими азота колебалось от 2,8 до 14,6 мг на 1 г глюкозы.

Клуивер и Бекинг (Kluyver a. Becking, 1955) сообщают о способности фиксации атмосферного азота некоторых штаммов Beijerinckia, выделенных из почв о. Явы.

Бонд (Bond, 1959), перечисляя азотфиксирующие микроорганизмы, упоминает, кроме азотобактера и клостридия, еще свободноживущие бактерии из шести родов и некоторые сине-зеленые водоросли. Из симбиотических азотфиксаторов автор упоминает, кроме клубеньковых бактерий, микроорганизмы, развивающиеся на корнях древесных растений.

Федоров и Ильина (1959) сообщают, что из двухсот культур актиномицетов, выделенных ими из дерново-подзолистой почвы, 10% фиксировали азот в пределах 0,1—1,44 мг на 25 мл среды. Федоров и Калининская (1960) выделили из смешанных азотфиксирующих культур несколько видов бактерий в чистом виде. Те же авторы (Федоров и Калининская, 1961) сообщают о выделении многих новых видов азотфиксирующих бактерий, отмечая при этом, однако, что большинство из них относится к очень слабым фиксаторам азота.

Об открытии новых видов и форм свободноживущих азотфиксаторов в различных почвах имеется еще много данных. Отметим из них только: Jensen, 1940; Jensen at al., 1960; Meiklejohn, 1955; Proctor a. Wilson, 1958; Hino a. Wilson, 1958; Pratt a. Frenkel, 1959; Paul a. Newton, 1961; Moore, 1963; Moore a. Becking, 1963; Smyk et Ettlinger, 1963; Davis et al., 1964.

Кроме вышеупомянутых, следующие советские исследователи приводят данные о новых азотфиксаторах:

Рыбалкина (1960) сообщает о способности к азотфиксации некоторых маслянокислых бактерий, которые связывают 8—16 мг азота на 1 г сахара;

Калининская (1963) и Львов (1963) приводят данные о высокой

азотфиксирующей способности различных микобактерий. Авторы считают, что процесс азотфиксации проводится микобактериями в тесной связи с некоторыми другими почвенными микроорганизмами, например с Pseudomonas radiobacter, Ps. subluteum, Ps. fluorescens и т. д.

Курдина (1963) сообщает о фиксации азота Bac. Truffauti.

Карагуишнева (1967) полагает, что в целинных почвах основную роль в фиксации азота играют олигонитрофильные бактерии, в частности анаэробы.

Семенова (1967) определила в сероземной почве и ризосфере риса, хлопчатника и люцерны множество олигонитрофильных бактерий.

Наплекова (1968) установила, что у 25 культур актиномицетов продуктивность азота составляла от 0,3 до 1,2 мг на 1 г целлюлозы, а у 10 культур грибов была заметно выше — от 10 до 18 мг на 1 г целлюлозы.

Пресман (1968) нашла в различных почвах Молдавии до 10—12 млн. олигонитрофильных микроорганизмов на 1 г сухой почвы и установила у некоторых из них способность к азотфиксации (1—3 мг азота на 1 г углерода).

Скалон (1968) с помощью изотопа N^{15} впервые установил или подтвердил у многих культур бактерий и актиномицетов способность к азотфиксации.

Ряд исследований посвящен условиям, содействующим лучшему связыванию азота в почве.

Карнахан и Кастл (Carnahan a. Castle, 1958) приводят данные о потребности азотфиксаторов в биотине и железе. Чойер (Chojer, 1959) сообщает о влиянии молибдена и вольфрама на интенсивность фиксации атмосферного азота.

Доммерг и Мутафчиев (Dommergues et Mutaftschiev, 1965) нашли, что смешанная культура может фиксировать в 5—8 раз больше азота, чем чистая.

Бердж и Броадбент (Burge a. Broadbent, 1961) приводят данные о значении органического вещества почвы в фиксации аммония.

Рубенчик (1961) рассматривает данные о фиксации молекулярного азота бесклеточными экстрактами различных бактерий и сине-зеленых водорослей.

Хюзер (Hüser, 1963) при изучении азотфиксирующих микроорганизмов в лесных почвах нашел увеличение содержания азота в таких почвах, равное только 1,5 кг/га.

Мало и Пурвис (Malo a. Purvis, 1964) при исследовании различных минеральных почв показали, что почва может поглощать значительное количество аммиака из воздуха (приблизительно 23—91 г аммиака на акр в день).

Хинман (Hinmán, 1964) считает, что большая часть азота в минеральных почвах Канады является фиксирванным аммонием.

Кновлес (Knowles, 1965), Чанг и Кновлес (Chang a. Knowles, 1965) на основании своих опытов заключают, что большая часть фиксированного азота в полевых условиях имеет анаэробное происхождение. В анаэробных условиях было связано азота от 140 до 259 кг в год на 1 га. В аэробных условиях фиксация наблюдалась только при добавлении глюкозы.

В последнее время многие исследователи обращают особое внимание на фиксацию молекулярного азота почвенными водорослями. Применение тяжелого изотопа азота подтвердило способность сине-зеленых водорслей фиксировать атмосферный азот (Штина, 1965а; Mayland et al., 1966; Stewart, 1967a, 1967b), а также доступность связанного ими азота для высших растений (Штина, 1963; Stewart, 1963). Исследование азотфиксирующих сине-зеленых водорослей проводится весьма интенсивно и список водорослей-азотфиксаторов все время пополняется. Штина (1967, 1968) перечисляет 84 вида и формы сине-зеленых водорослей, способных фиксировать молекулярный азот, из них в почвах СССР 34 вида. Большинство из них относится к классу Hormogoneae и (за исключением Chlorogloea Fritschii) к порядкам Nostocales и Stigonematales. К космополитным видам азотфиксирующих сине-зеленых водорослей относятся Anabaena cylindrica, A. variabilis, Cylindrospermum licheniforme, Tolypothrix tennis и ряд других (Мишустин и Шильникова, 1968).

Фогг и Стюарт (Fogg a. Stewart, 1965) при изучении механизма азотфиксации у сине-зеленых водорослей нашли, что эти процессы такие же, что и у бактерий, за исключением того, что энергия для восстановления и углеродная основа у водорослей создается обычно процессом фотосинтеза, а у бактерий — гетеротрофными процессами.

Активность фиксации азота чистыми культурами водорослей, по данным многих авторов, колеблется в широких пределах — от 1,2—6,8 мг на 100 мл среды за 60 дней до 9,59 мг за 30 дней (Перминова, 1964; Третьякова, 1965; Кучкарова и сотр., 1965; Коган, 1966; Смирнова и сотр., 1966; Дарзниек, 1967). По данным Коптевой и Танцюренко (1968), культуры сине-зеленых водорослей в зависимости от продолжительности культивирования могут связать от 8,14 до 19,64 мг азота на 100 г питательной среды, а сине-зеленые водоросли в совместных культурах с азотобактером фиксировали от 7,6 до 26,35 мг азота на 100 г среды.

Основными факторами, оказывающими влияние на фиксацию азота, являются: реакция почвы, интенсивность света, температура, источники фотосинтеза, концентрация минеральных солей и микроэлементов (Mo, Na, Ca, B, Co и др.) (Cobb et al., 1964; Pankow, 1964; Fay, 1965; Cox,

1966; Феоктистова, 1967; Laporte et Pourriot, 1967; Смирнова, 1968). Спорным остался вопрос влияния связанного азота на фиксацию азота водорослями, и здесь данные отдельных авторов противоречивы (данные Allen, 1958 и Панкратовой, 1967, с одной стороны, и Таха, 1964б и Коптевой, 1967 — с другой).

У некоторых видов водорослей при фиксации азота свет не является существенным фактором. Так, например, Anabaenopsis circularis и Chlorogloea Fritschii фиксировали азот в темноте, питаясь при этом гетеротрофно (Fay, 1965; Watanabe a. Yamamoto, 1967).

Как показывают данные авторов различных стран, особое значение имеют азотфиксирующие водоросли в почвах рисовых полей (Штина, 1963, 1965а; Кучкарова и сотр., 1965; Коган, 1966; Байрамова, 1967; Okuda a. Yamaguihi, 1955, 1959; Nishigaki a. Shioiri, 1959; Watanable a. Kiyohara, 1960; Dutta a. Venkataraman 1958; Subrahmanyan a. Sahay, 1964, 1965; Gupta, 1966; Таха, 1963б; Taha et al., 1963). Некоторые авторы указывают на применение водорослей для удобрения почв, так называемую «альгализацию» (Venkataraman, 1966; Кучкарова и сотр., 1968). Влияние водорослей на плодородие почвы повышается от содержания в их клетках биологически активных веществ — витамина B_{12} и ауксиноподобных соединений (Venkataraman a. Neelakantan, 1967).

Хотя в настоящее время для альгализации применяют только сине-зеленые водоросли, по-видимому, для этого пригодны и зеленые водоросли, так как они могут стимулировать развитие гетеротрофных азотфиксирующих микроорганизмов (Перминова, 1964; Штина, 1967; Штина и сотр., 1967; Османова, 1967).

В СССР в основном изучают распространение азотфиксирующих водорослей в почвах хлопчатниковых полей и их влияние на урожаи хлопка. По данным Умаровой (1968), применение водорослей приводит к увеличению урожая хлопка в среднем на 16%.

В вегетационных сосудах получены данные о лучшем воздействии введения в почву смеси водорослей по сравнению с введением отдельных видов (Гружево, 1966; Мусаев и Умарова, 1967; Османова, 1967).

По распространению азотфиксирующих сине-зеленых водорослей в дерново-подзолистых почвах СССР имеется ряд исследований. Наиболее обычными являются в этих условиях виды родов Amorphonostoc, Anabaena, Cylindrospermum (Перминова, 1964, 1967). Автор предполагает, что в северных почвах в азотфиксации участвуют обычно другие виды сине-зеленых водорослей. Штина (1965а) отмечает, что пока нет конкретных данных о значении водорослей в обогащении азотом почв умеренной климатической зоны.

В. Динамика нитрификации

Виноградский уже в 1890 году впервые показал, что процесс нитрификации осуществляется двумя группами бактерий, выделил чистую культуру этих бактерий и доказал, что обе группы являются автотрофами (Виноградский, 1952).

Процесс нитрификации можно изобразить двумя формулами:

1) $2N_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O + 79$ Kcal;
2) $HNO_2 + {}^1/_2 O_2 = HNO_3 + 21{,}6$ Kcal.

На обоих этапах реакции выделяется теплота, используемая в качестве источника энергии нитрифицирующими бактериями, поскольку они не способны к использованию органических веществ в качестве источника энергии (Meiklejohn, 1958).

Шмидт (Schmidt, 1954) сообщает, что в процессе нитрификации может участвовать и гриб Aspergillus flavus. Этот гриб был выделен из почвы штата Миннесота США, и реакция образования нитратов из органического азота была изучена в жидкой и агаровой средах.

Данные Шмидта подтверждаются лабораторными исследованиями Сингха и сотрудников (Singh et al., 1960), которые нашли, что Penicillium может образовывать нитраты в средах с нитритами, а Aspergillus главным образом на пептоне образовывать как нитриты, так и нитраты.

Некоторые авторы приводят данные о небиологической нитрификации, в основном в тропических почвах.

Гхилдиал (Ghildyal, 1964) сообщает, что Дхар уже в 1933 году утверждал, что в почвах Индии аммоний может фотохимическим путем окисляться до нитратов. Гхилдиал сам проводил соответствующие опыты и нашел, что от 2 до 90% использованного аммония окислялись до нитратов, причем за счет N_2O и NO потери азота составляли от 30 до 68%. Автор считает, что такой процесс в условиях тропиков может идти за счет солнечного тепла.

Раппе (Rappe, 1952—1953) изучил нитрификацию в восьми различных полевых почвах Швеции и нашел, что реакция и влажность почвы были всегда в отрицательной корреляции с содержанием в почве нитратов. Энергия нитрификации достигала максимума зимой (в декабре—январе), второй максимум наступал летом (в июне—июле), третий — в марте и четвертый — в сентябре.

Лазарев (1953) нашел, что содержание нитратов в черноземах Каменной степи было наиболее высоким летом, а в засушливый 1951 год — весной. Интенсивность нитрификации была выше на распаханных полях, ниже — на залежи и под лесом.

Холопов (1954) обнаружил в серых оподзоленных лесных почвах Сибири высокое содержание общего азота, но довольно мало аммиака и

нитратов, что, как он считает, зависит от кислой реакции почвы. Лучшая обработка почвы вызывает увеличение содержания нитратов, так же как и внесение извести, что подавляет притом еще и процессы аммонификации.

Кузнецова (1957, 1959) изучала процессы азотонакопления в почвах Южного Урала. Она считает, что низкие темпертуры способствуют сохранению до весны накопленного еще до наступления морозов аммиака и нитратов.

Сольберг и Брадли (Solberg a. Braadlie, 1957) в течение трех лет на опытной станции Лёкке (Норвегия) исследовали динамику содержания нитратов в почвах с растениями и без растений. В почвах без растений максимум содержания нитратов приходился на лето, с июня до конца августа, причем содержание нитратов было значительно выше, чем в почвах с растениями. В почвах с растениями содержание нитрато во время вегетационного периода, особенно летом, было в общем низкое. В почвах без удобрений содержание нитратов было несколько меньше, чем в почвах, удобренных азотом.

Колдер (Calder, 1957), изучая почвы Уганды, нашел, что наиболее подходящая для накопления нитратов влажность в тропических почвах составляет 22—23% полевой влагоемкости. Автор предполагает, что накопление нитратов происходит за счет аммония, накопленного в плазме азотфиксирующих микроорганизмов.

Фредерик (Frederick, 1957) проводил опыты по нитрификации в трех видах почв, добавляя аммиачные удобрения и проводя определения степени нитрификации при различных температурах, от 2 до 35°. В одной почве нитрификация началась уже в первые дни опыта при температуре 2°, в двух остальных нитраты появились только при температуре выше 15°, причем нитрификация началась спустя несколько дней после заложения опыта. Причиной различий процесса нитрификации автор считает неодинаковый состав микроорганизмов почвы.

Бирш (Birch, 1958, 1960) изучал влияние высушивания на нитрификацию в почвах Кении. Оказалось, что при увлажнении сухих почв и инкубации их резко усиливаются процессы разложения гумуса и нитрификации. Причиной этого автор считает активизацию деятельности микроорганизмов при прорастании спор. Содержание нитратов в почвах с удлинением периода предварительного просушивания их возрастало.

Гринленд (Greenland, 1958), работая с почвами Ганы, нашел также, что в тропических почвах содержание нитратов увеличивается с наступлением дождей, после сухого сезона.

Бухман (1958) приводит данные о минерализации азотсодержащих органических веществ в торфяных почвах Карелии. Минерализация проходит медленно, почвы бедны усвояемыми формами азота, нитрификационные процессы либо отсутствуют, либо протекают очень вяло. Свой-

ства почвы можно улучшить известкованием, внесением P и K с удобрениями, навозом и хорошо окультуренной почвой.

Бурлакова (1957) при изучении микробиологических процессов в черноземно-луговой и серой лесной почвах Томской области нашла наибольшее развитие процесса нитрификации в паровом поле. Интенсивность накопления нитратов оказалась в черноземно-луговой почве значительно выше, чем в серой лесной.

Рудина (1958) изучала динамику содержания подвижного азота в дерново-луговых почвах поймы реки Москвы и установила наименьшее содержание его в середине вегетационного периода.

Шаповалов (1959) нашел, что в почве необработанной залежи Новосибирской области доступный растениям азот находится в основном в аммиачной форме, нитратов очень мало, иногда только следы. Через 2 месяца после обработки залежи количество нитратного азота повысилось до 30—40 мг на 1 кг почвы, а содержание аммиака осталось прежним. Отношение аммиачного азота к нитратному увеличивалось во влажные годы и уменьшалось в засушливые.

Тайлер и сотр. (Tyler et al., 1959) изучали влияние низких температур на нитрификацию в четырех аллювиальных почвах Калифорнии. Авторы вводили различные дозы аммиачных удобрений при 25, 37 и 42° С. Активность нитрификации уменьшалась при понижении температуры от 42 до 25°. Оказалось, что к воздействию низких температур нитрификация чувствительнее, чем аммонификация, причем особенно чувствителен Nitrobacter. Низкая температура и щелочная реакция почвы способствуют аккумуляции нитратов из аммиачных удобрений.

Славнина (1960) установила, что наибольшее количество нитритов накапливается в светло-серой лесной почве Томской области при влажности от 40 до 60%, а нитратов — при 60%. При более низкой или высокой влажности процесс нитрификации в этих почвах замедляется.

Опыты Андерсона (Anderson, 1960; Anderson et al., 1965) показали, что нитрификация была выше при 11° С по сравнению с более низкими температурами. Значительно медленнее протекала нитрификация при 3,9—5,6° С. Кроме температуры, скорость нитрификации зависит также от механического состава почвы: в суглинистых почвах она протекает намного медленнее, чем в глинистых. Добавление в почву NH_4NO_3 подавляет нитрификацию. Ангидрид аммония нитрифицируется значительно быстрее, чем соли аммония, причиною чего автор считает повышение pH почвы. В результате нитрификации pH почвы снижается.

Домеркэ (Dommergues, 1960), исследуя различные почвы Западной Африки, при высыхании почвы обнаружил прекращение нитрификации раньше аммонификации.

Дронино (Dronineau, 1960) изучал динамику содержания нитратов и аммиака в почвах Франции и заключает, что такая динамика зависит

от климатических условий. В поверхностных слоях почвы и летом преобладают нитраты, а в переувлажненных, плохо аэрируемых, кислых и содержащих много органики почвах преобладает аммиак. С увеличением выпадения осадков увеличивается вымывание нитратов, а данные опытов в Северной Африке подтверждают передвижение нитратов вверх в засушливые периоды.

Сайферт (Seifert, 1961, 1964) установил, что в почвах Чехословакии интенсивность нитрификации при 2° довольно значительна и часто равняется величине нитрификации при 20°. С увеличением агрегатных частиц почвы нитрификация снижается из-за использования кислорода бактериями в поверхностных слоях почвы.

Гадэ и сотр. (Gadet et al., 1961) наблюдали в полевых почвах Франции возможность значительной аккумуляции нитратов у самой поверхности почвы, в зоне, подвергающейся наибольшему высушиванию. Нитраты поступают сюда из нижележащих горизонтов вместе с капиллярной водой.

Шевлягин (1961) изучал в полевых и лабораторных условиях влияние уплотнения почвы на нитрификацию и пришел к выводу, что уплотнение почвы почти не оказывает влияния на процесс нитрификации и не снижает интенсивности биологических процессов.

Ишизава и Мацугуши (Yshizawa a. Matsuguchi, 1962) проводили исследования влияния температуры, pH и влажности на нитрификацию мочевины в почвах Японии. Оказалось, что в более ранние сезоны низкая влажность и pH не оказывали влияния на нитрификацию, но в поздние сезоны при 28° нитрификация снижалась в почвах с более низкими показателями pH и влажности независимо от количества нитрифицирующих бактерий в почве. Однако в общем интенсивность нитрификации все же зависела от количества нитрифицирующих бактерий.

Паркер и Ларсон (Parker a. Larson, 1962) изучали в лабораторных условиях влияние температуры и влажности на нитрификацию при температуре от 16 до 20° (т. е. соответствующих почвенной температуре во время вегетационного периода). При изменении температуры в пределах 2° уже было заметно влияние на нитрификацию: при повышении температуры увеличивалось количество нитратов в почве. Влажность оказывала на нитрификацию меньше влияния. В полевых опытах излишняя влажность вызывала вымывание и денитрификацию, но не оказывала воздействия на процесс нитрификации.

Чандра (Chandra, 1962) установил стопроцентную нитрификацию из раствора $(NH_4)_2SO_4$, добавленного в почву, после инкубирования при 27° С в течение 24 дней. В тех же условиях при 16 и 5° нитрификация происходила соответственно на 58 и 29%. Оказалось, что при постепенно снижающейся температуре нитрификация полностью не прекращается.

Мэк (Mack, 1962) установил, что при выдерживании контейнера с

почвой в жидком азоте (при —196°) в течение 10 минут и дальнейшей инкубации при +24° происходит увеличение нитратного азота с 26,5 до 40,3 мг/кг. Автор считает, что промораживание делает органическое вещество почвы более доступным для микроорганизмов.

Скайринг (Skyring, 1962) изучал интенсивность нитрификации черноземов Австралии в нижних горизонтах почвы до 120 см. Уже на глубине 75 см нитрификация стала незначительной. Наблюдаемое в полевых условиях накопление нитратов в нижних горизонтах, очевидно, связано с вымыванием их из верхних горизонтов. После предварительного высушивания и дальнейшего увлажнения почвы интенсивность нитрификации увеличивалась.

Данилевичиус (Danilevičius, 1962) исследовал динамику содержания нитратов и аммиака в литовских почвах. Ранней весной содержание нитратов в почве было минимальным, увеличивалось к лету и снова снижалось в конце лета.

Улехлова (Ulehlova, 1963a, 1963b) отмечает унгетающее влияние внесенного нитратного азота на процесс нитрификации в почве. В сильно увлажненной почве генеративный период клетки нитробактера наименьший, а в рыхлой почве — наибольший.

Хардинг и Росс (Harding a. Ross, 1964) нашли, что замораживание почвы при —20° и последующее оттаивание приводит к увеличению содержания нитратов и аммиака в почве. Содержание минерального азота было тем выше, чем больше была влажность замороженной почвы. Количество нитрифицирующих микроорганизмов уменьшалось после шестимесячного хранения в замороженном состоянии.

Колье (Collier, 1964) изучал динамику минерального азота французских почв в лизиметрах. В верхнем 20-сантиметровом слое почвы пара ежегодно отмечали 2—3 максимума минерального азота. В сухие периоды содержание минерального азота увеличивается, а после сильных дождей уменьшается. Максимум вымывания нитратов наблюдается после засушливых летних месяцев. Культура растений резко снижает вымывание.

Эбер и сотр. (Hebèrt et al., 1965) определили динамику содержания нитратов в парующих почвах Франции на глубине до 60 см и 1. Установлена зигзагообразная кривая содержания нитратов, отражающая смену аккумуляции и превращения их. Авторы пришли к выводу, что снижение содержания нитратов приводит к усилению минерализации, а внесение азота извне ослабляет этот процесс.

Простаков и Герасимов (1965) проводили сравнение нитрификации в орошаемых и неорошаемых почвах Волгоградской области. Они установили, что в орошаемых почвах процесс нитрификации проходит более энергично, но содержание нитратов там ниже, так как нитраты сразу

же захватываются растениями, и вследствие этого урожаи там почти вдвое выше, чем на неорошаемых почвах.

Фаллер (Faller, 1965) нашел, что содержание нитратов в луговых почвах Югославии выше всего в летний период, до сентября месяца. В глубоких горизонтах содержание нитратов было низким. При увеличении количества осадков нитраты вымывались в более низкие горизонты.

Балаболин (1965) установил, что содержание нитратов в дерново-подзолистой почве Иркутской области после перепашки вико-овсяной смеси составляло в июле 2—3 мг/кг, а в октябре оно возросло до 32—36 мг/кг. В почве чистого пара нитратов в июле было 31 мг/кг, а в октябре — 41 мг/кг. Автор полагает, что нитраты сохраняются в почве при ранних осенних заморозках до весны.

Несмотрова (1965) нашла, что количество подвижного азота в почве Болгарии под пшеницей летом меньше, чем весной.

Гехю и Гхестем (Gehu et Ghestem, 1965) инкубировали почвы дюн и засоленных лугов Франции при 25° для исследования минерализации органического азота, с определнием количеств выделяющихся нитратов и аммония. Наиболее интенсивная минерализация азота была установлена в песчаных почвах дюн.

Икпит и Корнфёльд (Ekpete a. Cornfield, 1966) представляют данные о влиянии изменения влажности от воздушно-сухой до переувлажненной почвы пара без удобрения в течение 12 недель при температуре 28°. При увеличении влажности до 40—50% содержание нитратов увеличивалось, при дальнейшем повышении стало снижаться, доходя в переувлажненной почве до потерь нитратов из почвы.

Махендраппа и сотр. (Mahendrappa et al., 1966) исследовали влияние климатических условий на нитрифицирующие микроорганизмы в почвах западных штатов США. Они нашли прямую корреляцию между скоростью нитрификации, температурой инкубации и накоплением в почве нитратов. Нитриты накапливаются в почве в больших количествах при температурах, менее благоприятных для нитрификации. Авторы объясняют это тем, что окислитель нитритов Nitrobacter является более чувствительным к влиянию внешней среды (температура, влажность, содержание аммония), чем окислитель аммония Nitrosomonas.

Мальцев (1966) обнаружил в неудобренной дерново-подзолистой почве Иркутской области под пшеницей уменьшение содержания нитратов с весны до конца вегетационного периода. В почве черного пара содержание нитратов осенью увеличивается.

Абашеева и Ракшаина (1966) нашли при исследовании различных почв Бурятской АССР в целинных каштановых почвах в течение вегетационного периода только следы нитратов. В пахотном слое полевой почвы и в лесных почвах содержание нитратов уменьшается от весны к

осени. В той же почве под паром количество нитритов повышается в июне и снижается в сентябре.

Дараселия (1968), исследуя микробиологические процессы в условиях субтропического влажного климата Западной Грузии в красноземных почвах, нашла, что внесение минеральных удобрений, особенно в сочетании с органическими, вызывает заметное увеличение содержания нитрифицирующих бактерий.

Мы видим, что многие авторы при обосновании процесса нитрификации, опираясь на данные определения нитратов и других соединений азота, не проводят одновременно параллельных микробиологических анализов на содержание нитрифицирующих, аммонифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов. Одно только увеличение содержания нитратов в почве не может быть показателем увеличения интенсивности нитрификации, поскольку это может быть обусловлено, например, временным торможением процесса денитрификации и т. д.

Мало проведено исследований динамики содержания нитратов в течение более продолжительного времени и почти совсем не изучена динамика содержания нитратов в промерзших почвах. Некоторые авторы на основании своих осенних и весенних анализов делают заключения о том, что содержание азота в почве зимой не изменяется, что опровергают другие исследователи, которые, однако, также не проводили анализов зимой. Зачастую проводят химические анализы без параллельных микробиологических и на основании результатов первых делают заключения о влиянии какого-либо фактора на питание микроорганизмов и т. д.

Г. Динамика денитрификации

Дальнейшая судьба нитратов, образованных в процессе нитрификации или попавших в почву извне, различна. Часть из них используется высшими растениями, часть вымывается осадками в более глубокие почвенные горизонты, часть используется некоторыми микроорганизмами для синтеза протоплазмы. Другие микроорганизмы, использующие кислород нитратов для окисления минеральных или органических веществ, проводят процесс денитрификации. В результате некоторых химических реакций могут образоваться также соединения, в которых азот находится в менее окисленной форме, чем NO_3(NO_2, NO, N_2O и N_2).

Биологическое восстановление нитратов в почве было открыто уже более ста лет тому назад Шенбеком. Конечным продуктом этого процесса является молекулярный азот. Восстановление проводится обычно денитрифицирующими бактериями, чаще всего Bact. denitrificans, Achromobact, Stutzerii, Pseudom. fluorescens, Pseudom. pyocyanes и другими.

Возможна также химическая денитрификация при реакции нитратов с аминокислотами.

На начальных этапах химической денитрификации в процессе могут участвовать микроорганизмы, которые восстанавливают нитраты до нитритов или разлагают белковые веществе до аминокислот. В дальнейшем происходит уже чисто химическая реакция.

В более ранние периоды исследования процесса денитрификации занимались главным образом вопросом восстановления нитратов. Такое восстановление чаще всего происходит в почвах, где микроорганизмам не хватает кислорода, т. е. практически почти только в переувлажненных почвах.

В течение последних десяти — пятнадцати лет стали больше интересоваться потерями летучих форм азота. Неожиданным оказалось открытие, что такие потери встречаются весьма широко и в обычных, хорошо аэрируемых полевых почвах. Аллисон (Allison, 1955) составил обзор многолетних опытов, проведенных в США, и с тех пор стал применяться новый термин «аэробная денитрификация», при которой потери азота встречаются паралелльно с нитрификационным процессом, когда обеспечено присутствие кислорода.

Было дано несколько различных объяснений механизма образования летучих форм азота из нитритов.

Герретсен и Хууп (Gerretsen a. Hoop, 1957) считали в кислых и хорошо аэрируемых почвах возможной реакцию нитритов с образующимися при процессе нитрификации аммиачными соединениями и аминокислотами по схеме Ван-Слайка: $RNH_2 + HNO_2 \rightarrow ROH + H_2O + N_2$. Это наиболее близко и к объяснению Аллисона.

Смит и Кларк (Smith a. Clark, 1960) исследовали с помощью газовой хроматографии и анализов на минеральный азот факторы, содействующие реакции аммиака с ионами нитрита в почвах и в растворе. Они не нашли никаких доказательств наличия реакции по схеме Ван-Слайка, которая могла бы вызвать потери азота при pH выше 5. В присутствии кислорода нитриты имели в 3—4 раза более сильную тенденцию превращения в нитраты химическим путем, чем реакции с аммиаком.

Кларк и сотр. (Clark et al., 1960) показали, что известные компоненты органического вещества почвы способствуют малой стабильности нитритов и увеличивают потери летучего азота.

Кларк (Clark, 1962) считает, что потери азота при процессе нитрификации неизбежны. Устранение их возможно только подавлением процесса нитрификации или обеспечением таких условий нитрификации, при которых не будут образовываться нитриты.

Горинг (Goring, 1962) предлагает для устранения аэробной денитри-

фикации препятствовать течению процесса нитрификации и применять для этого соответствующие химические реактивы.

Вульштейн и Гилмоур (Wullstein a. Gilmour, 1964) исследовали неферментативные потери газообразного азота в почве и глине. Оказалось, что результаты существенно не изменились при проведении опыта на стерильном или нестерильном субстратах. Почвы экстрагировали для удаления из них меди и марганца, причем заметно снижались неферментативные потери газового азота. Авторы предполагают, что механизм потерь нитритов выражается формулой $Mn^{++} + NO_2 + 2H^+ \rightarrow Mn^{+++} + NO + H_2O$.

Картер и Аллисон (Carter a. Allison, 1960) на основании своих опытов предполагают, что денитрификация происходит менее интенсивно в почвах с равномерной аэрацией, что, однако, в полевых условиях встречается очень редко.

Тюрин и сотрудники (1962) установили следующие потери азота из дерново-подзолистых почв Московской области за 5 лет:

в чистом неудобренном пару: 455 кг/га;

в чистом пару с NPK: K 40—380 кг/га;

в чистом пару с навозом и NPK : K 40—198 кг/га;

под различными однолетними культурами за 3 года 85—238 кг/га.

Патрик и Виатт (Patrick a. Wyatt, 1964) наблюдали за потерями азота при перемежающихся поливах и высушивании рисовых полей и пришли к выводу, что такие циклы вызывают большие бесполезные потери азота внесенных удобрений и самой почвы. Такие же потери могут иметь место и на обычных полях при временном переувлажнении сильным дождем.

Мак-Гарити (McGarity, 1962) исследовал влияние замораживания почвы на денитрификацию и нашел, что замораживание при любой температуре и в любых условиях, а также и высушивание увеличивают денитрификацию и что, следовательно, активность денитрификации изменяется сезонно в зависимости от природного замерзания и высыхания почвы.

Шефер (Schaefer, 1964) установил также, что денитрификация не прекращается при 0°. Если температура постоянна, то денитрификация ускоряется при повышении температуры. Чем чаще происходит изменение температуры и чем больше амплитуда ее колебания, тем активнее будет денитрификация. Не бывает такого накопления аммиака или нитратов в почве, которые могли бы приостановить денитрификацию.

Икпит и Корнфельд (Ekpete a. Cornfield, 1965) установили увеличение потерь азота от денитрификации при обильном внесении в почву нитратов и органических удобрений, даже при низкой влажности и при реакции почвы от pH 4,7 до 8,0.

Бремнер и Шоу (Bremner a. Shaw, 1958) нашли увеличение денитри-

фикации при щелочной реакции, замедление ее по мере снижения pH и затухание при pH 3,6. Скорость денитрификации возрастала также при повышении температуры от 2 до 25°, а затем снова снижалась. При влажности почвы ниже 60% почти не было денитрификации, по мере увеличения влажности ускорялась и денитрификация. Количество органического вещества в почве также влияет на ускорение денитрификации.

Дхар и Гупта (Dhar a. Gupta, 1961), исследуя разложение органических удобрений (жмыхов) при доступе и при отсутсвии света, нашли, что при таком разложении образуется промежуточный продукт NH_4NO_2, который под влиянием света подвергается следующим фотохимическим превращениям:

а) $2\,NH_4NO_2 \rightarrow O_2 \rightarrow 2\,NH_4NO_3$ и

б) $NH_4NO_2 \rightarrow N_2 \rightarrow 2\,H_2O + 718$ ккал.

Последняя реакция более вероятна и является ,по мнению авторов, основной причиной потерь азота. При добавлении к жмыхам фосфатов и соломы потери азота значительно уменьшаются.

Левенштейн (Loewenstein, 1955) отметил при внесении в почву азотных удобрений некоторое усиление денитрификации, которое затем сменяется стабилизацией. Предположение, что стабилизация вызывается возможной потерей азота в виде окислов, опытами не подтвердилось.

Рой и Мукхерье (Roy a. Mukherjee, 1961), основываясь на своих опытах, считают щелочную реакцию основной причиной улетучивания азота.

Мартин и Кокс (Martin a. Cox, 1956), анализируя в течение 25 лет содержание общего азота в черноземах Австралии, установили, что ежегодные потери азота после распашки составляют около 0,8% или 19 мг на 1 кг пахотного слоя почвы. Причиной потерь азота они считают вымывание.

Хокк и Мелстед (Hauck a. Melsted, 1956) нашли в лабораторных условиях, что через 4 дня после начала инкубации из известкованной почвы выделялось вдвое больше N_2O, чем из контрольных. Прибавление к почве глюкозы резко усиливало денитрификацию, а в присутствии растений денитрификация ослабевает.

Дхар и Саньял (Dhar a. Sanyal, 1961) установили увеличение потерь азота при внесении азотных удобрений, тогда как добавление соломы сокращало эти потери на 15—20% при использовании минеральных азотных удобрений и на 20—30% — при внесении органических удобрений.

Гаде и Субье (Gadet et Soubies, 1962) в своих многолетних опытах, проведенных в лизиметрах, нашли, что внесение минерального азота в почву сопровождается потерей азота, однако, по мнению авторов, эти потери, за исключением потерь при вымывании, меньше, чем обычно полагают.

Шоу (Shaw, 1962), изучая причины потерь азота в полевых условиях, считает основной причиной вымывание нитратов, причем в песчаных почвах нитраты размещались по всему 60-сантиметровому слою, а в тяжелых глинистых почвах исчезли из этого слоя, благодаря наличию в почвах трещин.

Многие авторы исследовали влияние почвенного типа и различных почвенных условий на денитрификацию (De a. Digar, 1954; Yamane, 1957; Schaefer, 1961; Vine, 1962; Boswell a. Anderson, 1964; Гуревич и Баронин, 1965; Ханжиев, 1966; Лупіновіч и Меяроускі, 1966; Mahendrappa a. Smith, 1967).

Чао и Кронтье (Chao a. Kroontje, 1964) наблюдали увеличение потерь аммиака при более легком механическом составе почвы.

Вухрер и Одинцов (1958) также наблюдали потери азота при внесении в почву $(NH_4)_2SO_4$ или нитратов не только из-за восстановления нитратов, но и аммиака.

Макаров (1965) изучал потери азота нитритами в 1963—1964 годах. При отсутствии света количество нитритов уменьшалось в два раза по сравнению с почвами на свету. На удобренном пару потери были на 20—30% выше. При заделке азотных удобрений на глубину 15 см улетучивание нитритов почти полностью прекратилось.

Кэди и Бартоломью (Cady a. Bartholomew, 1963) нашли, что одним из первых продуктов денитрификации является NO, который возникает при химическом разложении нитритов. Вслед за NO в газовой фазе появился N_2O и наконец N_2, количество которого составляло 83—95% меченого нитрата.

Купер и Смит (Cooper a. Smith, 1963) исследовали влияние реакции почвы на денитрификацию. Оказалось, что в щелочных почвах первые этапы денитрификации ($NO_3 \rightarrow NO_2$) протекают очень интенсивно, а дальнейшее превращение $NO_2 \rightarrow N_2O$ медленно. В кислых почвах интенсивность отдельных этапов обратная. Этап $N_2O \rightarrow N_2$ протекает интенсивно во всех почвах.

Можно отметить также еще некоторые исследования денитрифицирующих микроорганизмов: Barjac, 1954; Степанова, 1958; Михалева и Лупанова, 1964; Kessler et Czygan, 1963. Степанова обнаружила стимуляцию денитрифицирующим Pseudomonas denitrificans развития и азотфиксаций азотобактера и Clostridium Pasteurianum.

Михалева и Лупанова (1964) приводят данные по аммонифицирующей способности некоторых денитрифицирующих бактерий.

Кеслер и Сциган нашли сезонную изменчивость способности зеленой водоросли Ankistrodesmus Braunii восстанавливать нитраты. Эта способность оказалась, по их данным, летом (в июне—июле) на 75% выше, чем осенью (в октябре—ноябре).

Мы рассмотрели довольно большое количество данных литературы

о различных вопросах количественной динамики микроорганизмов почвы и по круговороту соединений азота в ней. Между данными отдельных авторов в любом разделе имеются некоторые расхождения и противоречия. По поводу различных данных в области денитрификационного процесса можно повторить то же, что было уже сказано при разборе литературного обзора по нитрификации. Различие данных зависит в основном от различия климатических, почвенных и прочих условий, в которых проведены исследования.

Затем как по денитрификации, так и по нитрификации и по фиксации молекулярного азота некоторыми авторами проведены только химические анализы и на основании их сделаны заключения о микробиологических процессах, без проведения количественных анализов на численность почвенных микроорганизмов или же такие анализы проведены только в течение вегетационного периода высших растений.

Нам кажется, что, несмотря на некоторые противоположные данные, большинство исследователей установило огромную роль свободноживущих азотфиксаторов в накоплении связанного азота в почве. Однако как накопленный азотфиксаторами, так и переработанный из органических веществ нитрифицирующими микроорганизмами азот легко может быть снова восстановлен денитрификаторами, если при накоплении азота в почве нет достаточного количества потребителей азота, высших растений и гетеротрофных микроорганизмов.

Часто денитрификация протекает в почве параллельно с нитрификацией и связыванием молекулярного азота, ввиду чего нельзя отметить никакого накопления связанного азота в почве, хотя микробиологические процессы по преобразованию различных форм азота в ней протекают очень энергично. Нельзя отрицать некоторую обоснованность мнения тех авторов, которые считают, что предотвратить убыль азота из почвы вследствие денитрификации можно только устранением его поступления.

Задача почвенных микробиологов состоит в урегулировании этих процессов так, чтобы добиться увеличения плодородия почвы, другими словами: в лучшем снабжении культурных растений питательными веществами. Это возможно, однако, только при условии, если мы научимся полностью разбираться в сложных микробиологических и агрохимических процессах, которые протекают в почве.

Для этого совершенно необходимо установить хотя бы самые основные закономерности как количественной динамики развития почвенных бактерий, актиномицетов, грибов и водорослей, так и преобразования различных форм азота, от молекулярного до самых окисленных. Все это потребует серьезных усилий еще от целого поколения исследователей.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

I. МЕТОДИКА

Исследование годовой количественной динамики почвенных микроорганизмов и ее влияния на круговорот азота в почве является продолжением проводившегося с 1954 по 1963 год исследования сезонной количественной динамики почвенных бактерий и обусловливающих ее факторов (Рахно, 1964). Хотя в результате этого исследования и был разрешен ряд дискуссионных вопросов о закономерностях развития и размножения почвенных бактерий, тем не менее оказалось, что некоторые стороны проблемы количественной динамики не только почвенных микроорганизмов вообще, но и почвенных бактерий могут быть окончательно раскрыты только при наличии соответствующих сведений о всех видах почвенных микроорганизмов. Вследствие этого исследования были распространены на новые группы почвенных микроорганизмов, а именно на почвенные грибы и водоросли.

В основном во всей работе были применены те же методические приемы, которые были использованы и при вышеуказанной первой части работы.

По почвенным грибам в этой работе было уже намечено начало исследований и проведены первые анализы. Эти анализы охватили, однако, только небольшую часть (всего 164 анализа) и были начаты в самом конце всей серии исследования. Поэтому нельзя было сделать более точных выводов о развитии почвенных грибов.

По почвенным водорослям приступили к проведению анализов впервые только в 1965 году.

Одновременно было начато также исследование вопроса, наиболее тесно связанного с развитием почвенной микрофлоры, вопроса динамики содержания в почве различных форм связанного азота. В первой части работы были сделаны только предварительные попытки определения соединений азота в почвах некоторых биометров, на основании которых был сделан вывод о том, что свободноживущие азотфиксаторы способны

TRÜ Raamatukogu

обогащать почву азотом больше, чем это обычно считается, и денитрифицирующие микроорганизмы способны восстанавливать накопленный азотфиксаторами азот до молекулярного в тех случаях, когда в почве нет зеленых растений, потребляющих азот.

В настоящей работе приводятся результаты микробиологических и химических анализов проб почв, взятых из биометров. В первой части работы вначале пытались анализировать пробы почв полевых участков, специально для этого подобранных, однако через некоторое время оказалось, что состав этих почв настолько пестр как по содержанию микроорганизмов, так и по агрохимическим свойствам, что исследование динамических изменений в них совершенно безнадежно. Принципы применения и подробное описание биометров приведены как в первой части работы (Рахно, 1964), так и в отдельных статьях (Рахно, 1968; Rahno, 1968), так что повторение этих данных здесь излишне.

Биометры представляют собой бетонные ящики без дна размером 2×2 метра, заполненные 50-сантиметровым слоем соответствующей просеянной через сито и тщательно перемешанной почвы, изолированной от нижних слоев почвы слоем щебня толщиной 10 см. Почвы для заполнения биометров были привезены на автомашинах из мест их расположения, иногда с расстояния в несколько десятков или даже сотен километров. В первой серии опытов пробы брали из двух слоев глубиной в 5 и 25 см, во второй серии опытов пробы брали только из 5-сантиметрового слоя в трех параллелях, причем анализы проб проводили раздельно. При наиболее существенных различиях между данными анализов параллельных проб различающиеся пробы выбраковывались (в среднем 1—2 процента от общего числа проб). Из незамерзших почв пробы брались лопатой, из промерзших — электрическим буром.

Исследования годовой сезонной динамики количества и видового состава почвенных грибов было начато нами в ноябре 1962 года. В задачи исследования входило выяснение влияния температуры, в частности низкой, влажности, органических веществ и времени их попадания в почву на количество и состав почвенных грибов.

Пробы для анализов в первой серии опытов брали из четырех биометров, наполненных одной и той же просеянной и тщательно перемешанной перегнойно-карбонатной почвой с опытного поля Института экспериментальной биологии АН ЭССР в Харку. В каждом из биометров создавались несколько различные условия для получения сравнительных данных о влиянии определенных факторов.

В первый биометр в начале зимы, в декабре 1962 г., вносили в качестве органического удобрения искусственный навоз из расчета 4 кг на 1 м^2 (1,25 кг бобовой муки (донника) на 2,75 кг свежего коровьего помета).

Второй биометр был контрольным.



Рис. 1. Взятие пробы из промерзшей почвы при помощи пешни.

В третий биометр вносили те же удобрения, что и в первый, но только осенью (в октябре 1962 г.).

Четвертый биометр закрывался на время осадков и на зиму передвижной съемной крышей.

Почвенные пробы для анализов брали в течение всего года, регулярно два раза в месяц, из каждого биометра по четыре пробы: по спирали с противоположных двух точек и двух горизонтов (5 и 25 см).

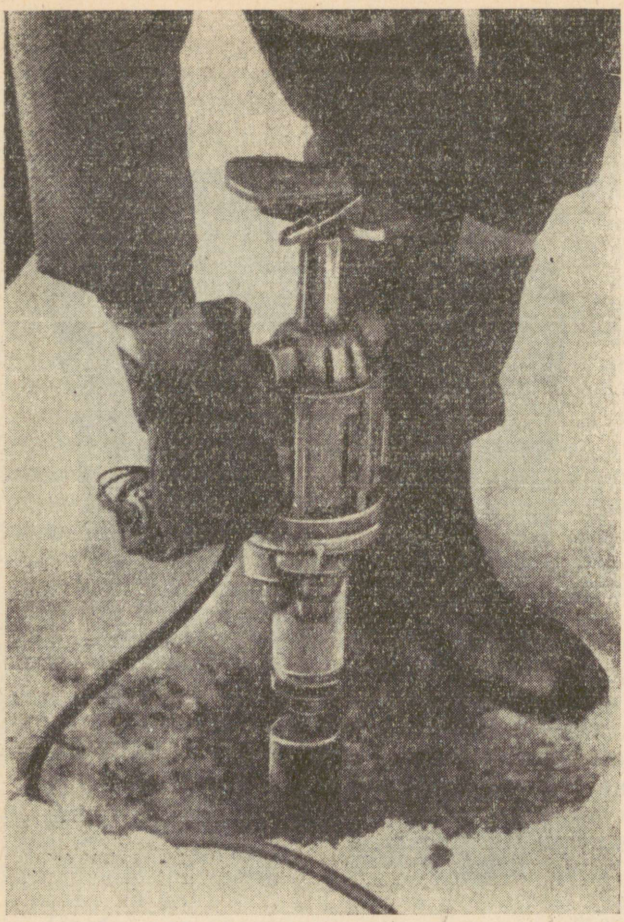


Рис. 2. Взятие пробы из промерзшей почвы при помощи электрического бура.

Количество грибов определялось счетом колоний в агаровой среде Чапека и сусло-агаре методом разливок по 0,2 мл второго и третьего разведения почвенной суспензии в трех повторностях.

Для задержания роста бактерий на 1 литр среды добавляли 0,5 мг стрептомицина (Ластинг и Гурфель, 1956).

Первая серия исследований продолжалась до ноября 1964 года и за это время было проанализировано всего 615 почвенных проб. Так как по данным этих анализов существенных различий в количестве грибов двух горизонтов не отмечалось, то в дальнейшем стали брать пробы для анализов только с верхнего 5-сантиметрового горизонта.



Рис. 3. Электрический бур и взятая им проба из промёрзшей почвы.

С января 1965 года по апрель 1968 года проводили новую серию опытов, с целью сравнения годовой динамики грибов в различных почвах и взаимозависимости развития грибов и содержания азота в почве.

Для этого были заложены опыты в пяти биометрах, заполненных разными почвами:

первый биометр — дерново-карбонатной почвой суглинистого механического состава (местная, с поля Института экспериментальной биологии АН ЭССР в Харку);

второй биометр — дерново-карбонатной супесчаной почвой (из Вазалемма, Харьюского района);

третий биометр — дерново-подзолистой супесчаной почвой (из Тартуского района);

четвертый биометр — торфяной почвой низинного болота (из совхоза Рийзипере, Харьюского района) и

пятый биометр — той же почвой, что и в первом биометре, покрытой передвижной крышкой (с июля 1967 года покрытой медной жестью).

Во второй серии опытов удобряли только почву второго биометра один раз в январе 1966 года тем же искусственным навозом, что и в первой серии опытов.

Как и в первой серии опытов, пробы брали также 2 раза в месяц, но только с верхнего 5-сантиметрового горизонта из трех точек биометра.

Анализы грибов проводили тем же методом разливок, как и в первой серии. В конце опытов, в апреле 1968 года, данные всех проведенных 1005 микробиологических и химических анализов были подвергнуты корреляционному анализу в вычислительном центре Института кибернетики АН ЭССР.

Анализы для выяснения количественной динамики почвенных водорослей стали проводить регулярно из тех же биометров с января 1965 года. Эти анализы проводили методом разведений и посевом в жидкие и агаровые среды Данилова. Пробирки и чашки Петри с посевами затем помещали в инкубационную камеру, освещенную восьмью лампами дневного света по 40 ватт каждая, и выдерживали при температуре 27—28° С. Посевы в жидкие среды делали вначале из 3-го по 6-е разведение, потом, когда оказалось, что в 6-м разведении определение иногда представляло трудности (из-за большого содержания клеток водорослей), из 4-го по 7-е разведение; посевы на агаровые среды делали из второго разведения.

Через месяц выдерживания в камере определяли по колониям в твердой среде наличие отдельных систематических групп и доминирующие виды водорослей, а через 2—2,5 месяца — количество водорослей по их росту в жидкой среде.

Вначале, еще в 1964 году, были сделаны попытки произвести учет

общего количества почвенных водорослей по методу Штины (прямой счет под микроскопом). Признавая несомненные достоинства этого метода, в дальнейшем нам пришлось проводить счет количества водорослей все же с помощью метода разведений, так как определение количества водорослей по методу прямого счета одновременно в пятнадцати почвенных пробах (по 3 параллельных пробы из 5 биометров) требовало больше времени и труда, чем мы смогли выделить для этого, тем более что разведения для счета других микроорганизмов пришлось все же делать.

Проводили также химические анализы тех же почвенных проб на содержание общего, подвижного, аммиачного и нитратного азота. Как и микробиологические анализы, определение азота проводили из свежих, непросушенных почвенных проб сразу после их взятия.

Определение общего азота проводили сжиганием по Кьельдалю из навесок по 10 г.; подвижный азот определяли перманганатным методом (Турчин, 1960) по модификации Кристджи и Меркис из навесок по 20 г почвы; аммиачный азот — колориметрически, реактивом Несслера, причем аммиак отделяли от других компонентов диффузным методом и нитратный азот — колориметрически при помощи салицилата натрия. Для определения аммиачного и нитратного азота брали также навески по 20 г.

Кроме описанных выше анализов на грибы, водоросли и четыре формы связанного азота из тех же проб, определяли также количество бактерий шести физиологических групп: аммонифицирующие (общее количество), нитрифицирующие, денитрифицирующие, аэробные целлюлозоразлагающие, азотобактер и Clostridium Pasteurianum также методом разведений согласно методике, утвержденной Всесоюзной конференцией почвенных микробиологов в 1953 году. При определении бактерий использовали обычные питательные среды, за исключением аммонифицирующих, для анализа которых применяли питательную среду X_3 следующего состава: пептона 10,0, агара — 20,0, воды — 1 л, Na_2HPO_4 — 2,0, $MgSO_4$ — 0,5, $FeCl_3$ — 0,005, $CaCO_3$ — 0,1, KH_2PO_4 — 0,1; $CaCl_2$ — 1,0 (Рахно, 1964).

Кроме обычных факторов влияния, в настоящей работе с 1965 года стали учитывать влияние одного нового фактора, а именно — солнечной активности. Так как не было данных о методике применения этого фактора, то в ходе работы пришлось выработать методику самим.

Прежде всего требовалось подобрать наиболее подходящий показатель солнечной активности. Чаще всего в качестве такого показателя используют так называемое «число Вольфа» — относительную численность солнечных пятен. Кроме того, предлагают также применение показателей солнечной радиации с длиной волн около 200 мгц. Мы решили использовать оба упомянутых показателя. Данные по изменению чисел

Вольфа и радиоволн в 204 мгц были взяты из бюллетеня «Солнечные данные».

Далее потребовалось определить время воздействия солнечной активности на изучаемые явления. Мы считали, что солнечная активность не может воздействовать моментально на изменения в количестве клеток микроорганизмов и на содержание соединений азота в почве, а поэтому не было смысла учитывать показания чисел Вольфа и радиоволн в день взятия почвенных проб. По-видимому, нужно было иметь эти данные в течение некоторого времени перед взятием проб, пока солнечная активность могла оказывать воздействие. Так как отсутствовали данные о возможной продолжительности такого периода воздействия, пришлось подобрать продолжительность таких периодов или произвольно, или на основании соответствующих сравнительных испытаний.

Вначале было испытано влияние солнечной активности на основании показателей чисел Вольфа в течение 14 суток перед взятием почвенных проб, причем были получены вполне удовлетворительные корреляции с количеством клеток водорослей (Рахно, Сирп и Лангсепп, 1967, 1968). Затем сравнивали данные корреляционного анализа между количеством нескольких групп микроорганизмов и числами Вольфа и радиацией Солнца в течение 3, 5, 7, 14 и 28 суток перед взятием проб. Вполне ясного различия между такими периодами не отмечалось, сравнительно несколько лучше была корреляция при периоде в 7 суток перед взятием проб, который и был взят за основу при окончательном корреляционном анализе полученных данных.

Все математические анализы полученных данных были проведены в вычислительном центре Института кибернетики Академии наук Эстонской ССР на ЭВМ «Минск-2».

При корреляционном анализе оказалось, что корреляции между температурой почвы и количеством микроорганизмов или содержанием соединений азота почти повсюду ничтожны. В то же время коэффициенты корреляции между отдельными компонентами анализа во многих случаях существенно различаются в промерзших и незамерзших почвах. Подобные расхождения особенно рельефно выступают, например, при средней корреляции: грибов — с аммиачным азотом, водорослей — с радиоизлучением Солнца, количества аммонифицирующих бактерий — с аэробными целлюлозоразлагающими и нитрифицирующими бактериями и содержанием аммиачного азота, содержания аммиачного азота с влажностью почвы, между соедержанием общего и подвижного азота и т. д. Еще более резко такие различия выступают между корреляциями в промерзших и незамерзших почвах отдельных биометров, так, например, между количеством аммонифицирующих бактерий и аэробных целлюлозоразлагающих бактерий в пятом биометре, с количеством нитри-

фицирующих бактерий в первом и втором биометрах, с количеством азотобактера и содержанием аммиачного азота в первом биометре и т. д.

Если все данные корреляционного анализа суммировать, то такие различия между корреляциями в промерзших и незамерзших почвах взаимно покрываются, и в результате мы получим или полное отсутствие корреляций, или незначительные корреляции, не соответствующие действительности. Поэтому мы решили представить и разобрать все данные корреляционного анализа в соответствующих таблицах раздельно по промерзшим и незамерзшим почвам.

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ГОДЫ АНАЛИЗОВ И НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ДАННЫЕ

Проведенные с 1954 по 1963 год исследования показали, что так называемая сезонность не может считаться конкретным фактором влияния на развитие почвенных бактерий. Если и намечается какое-либо влияние сезонов на количество почвенных бактерий, то оно на самом деле зависит от других, действительно конкретных факторов, которые часто связаны с сезонами. Сюда можно отнести температуру, влажность и токсичность почвы, содержание в почве и время поступления в нее питательных веществ и т. д. Только в сравнительно немногих случаях сезоны могут иметь и непосредственное влияние на количественную динамику почвенных бактерий. Так, например, при наступлении морозов влияние температуры может отличаться от ее влияния после продолжительных холодов.

Все, что сказано о сезонности количественной динамики почвенных бактерий, можно отнести также и к сезонности развития других почвенных микроорганизмов. При этом, конечно, для отдельных групп микроорганизмов некоторые конкретные факторы влияния (температура, влажность и т. д.) могут иметь различное значение. Для иных групп микроорганизмов может преобладать значение какого-либо одного фактора, для других — другого, причем все основные группы микроорганизмов оказывают друг на друга взаимное влияние.

Казалось бы, что можно вообще не учитывать сезонов в качестве факторов влияния на количественную динамику почвенных микроорганизмов. Однако в литературе применение «сезонности» в качестве показателя количественной динамики микроорганизмов почвы прочно укоренилось, хотя только в немногих случаях считается необходимым исследование такой динамики в течение всех сезонов года. Притом сезоны все же настолько связаны с конкретными факторами влияния, что приобретают значение комплекса подобных факторов. Так, не имея точных данных о наличии какого-либо такого фактора, можно все же составить

Основные метеорологические показатели по сезонам в Таллине с 1963/64 по

Годы	Осень				Зима			
	Температура воздуха, 0°С			Сумма осадков, мм	Температура воздуха, 0°С			Сумма осадков, мм
	средняя	максимум	минимум		средняя	максимум	минимум	
1963/64	7,3	20,9	—7,7	161,5	—3,9	3,2	—16,4	72,6
1964/65	7,3	15,0	—5,6	148,1	—3,7	6,4	—18,7	143,1
1965/66	5,5	16,8	—13,6	200,2	—8,6	1,2	—25,3	149,4
1966/67	5,9	14,0	—4,6	230,5	—6,5	6,8	—26,4	122,1
1967/68	8,4	19,6	—5,7	225,8	—7,5	4,4	—22,6	159,6
Среднее за 5 лет	6,9	17,3	—7,4	193,2	—6,0	4,4	—21,9	129,4
					Средние температуры			
1963/64	8,3	16,6	0,6	—	—0,5	0,3	—1,8	—
1964/65	8,2	14,2	1,5	—	данных нет			
1965/66	8,0	15,0	1,2	—	—0,5	1,3	—0,4	—
1966/67	7,0	14,2	1,6	—	—0,4	1,7	—1,8	—
1967/68	9,4	16,0	0,8	—	0,5	0,8	0,1	—
Среднее за 5 лет	8,2	15,0	1,1	—	—0,2	1,0	—1,0	—

представление о нем, если будет упомянут сезон. Достаточно, например, сказать, что анализ проведен зимой, как станет ясно наличие низкой температуры и т. д. Таким образом, использование сезонов остается оправданным в качестве определенного комплекса показателей различных конкретных условий.

Как и при исследовании количественной динамики почвенных бактерий, мы делили год на четыре сезона: осень — сентябрь, октябрь, ноябрь; зима — декабрь, январь, февраль; весна — март, апрель, май и лето — июнь, июль, август. Как было отмечено в работе Рахно (1964), такое подразделение не является единственно возможным, но тем не менее оно больше всего соответствует местным климатическим условиям. Температурные отношения отдельных сезонов и в данной серии опытов оставались прежними: самые высокие температуры летом, затем —осенью, весной и самые холодные — зимой. Также по-прежнему наибольшие колебания средних температур как воздуха, так и почвы наблюдались весной, наименьшие летом (рис. 4).

Таблица 1

1967/68 г. по данным Таллинской Метеорологической обсерватории

Весна				Лето			
Температура воздуха, 0° С			Сумма осадков, мм	Температура воздуха, 0° С			Сумма осадков, мм
средняя	максимум	минимум		средняя	максимум	минимум	
2,4	11,6	—15,5	55,0	15,0	23,1	10,2	202,8
2,7	11,3	—16,1	41,2	14,5	20,2	9,8	208,2
2,7	17,6	—10,0	115,1	16,0	22,7	8,9	187,6
4,7	15,2	—2,0	127,2	15,1	21,5	7,0	234,2
3,8	13,2	—6,9	99,7	16,0	22,8	12,1	149,7
3,3	13,8	—10,1	87,6	15,1	22,1	9,6	196,5
почвы на глубине 20 см							
2,6	11,4	—2,3	—	14,8	17,7	10,9	—
			—	15,1	17,8	11,2	—
3,0	12,4	—0,1	—	15,5	18,5	9,2	—
4,3	13,0	—1,7	—	15,0	18,5	10,1	—
4,2	12,1	0,2	—	15,6	18,1	12,6	—
3,5	12,0	—1,0	—	15,2	18,1	10,8	—

Кроме распределения по четырем сезонам, некоторые данные по динамике количества микроорганизмов и содержания соединений азота распределены еще по состоянию почвы, отдельно в промерзших и незамерзших почвах.

Основные метеорологические показатели по данным Таллинской Гидрометеорологической обсерватории за годы исследований с 1963 по 1968 г. приведены в табл. 1 и рис. 4. Таблица содержит средние, максимальные и минимальные температуры воздуха и почвы на глубине 20 см по сезонам, а также количество осадков в мм. Так как Таллинская гидрометеорологическая обсерватория располагает только данными о температуре почвы на глубине 20 см, прилагаются также данные о температуре почвы на глубине 5 см за те же годы, полученные нами, но только в дни взятия почвенных проб (табл. 2 и рис. 5). К сожалению, у Таллинской гидрометеорологической обсерватории данных о температуре почвы за первое полугодие 1965 г. нет.

Хотя продолжительность наблюдений в данном случае сравнительно

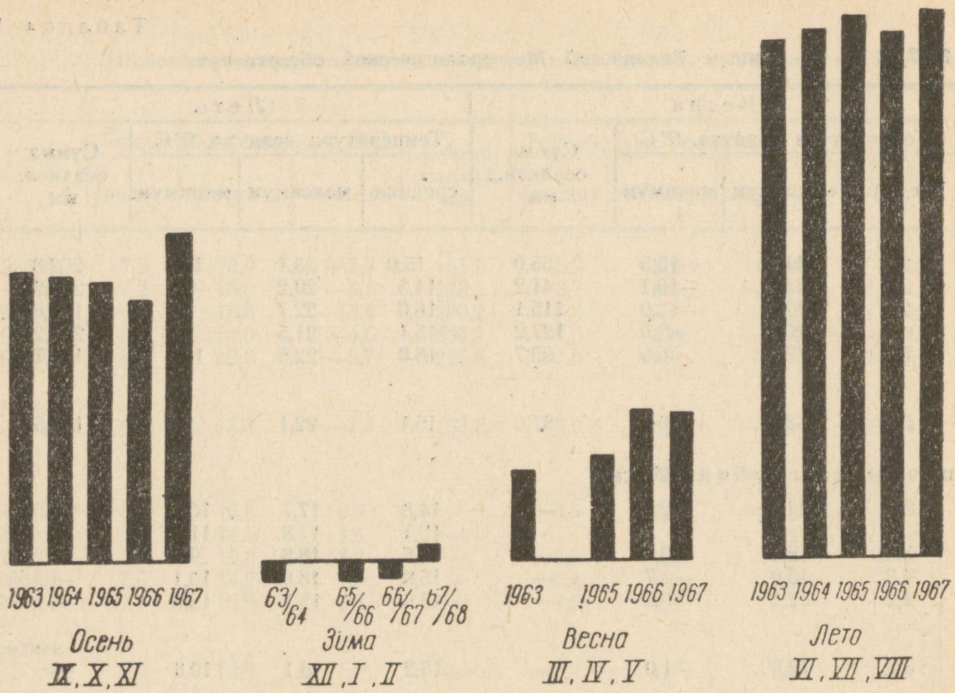


Рис. 4. Средние температуры почвы на глубине 20 см по данным таллинской агрометслужбы по сезонам в течние наших исследований.

Таблица 2

Средняя температура в градусах по Цельсию верхнего (5 см) горизонта почвы с 1963 по 1967 год по измерениям в биометрах Института экспериментальной биологии АН ЭССР в Харку по годам и сезонам

	1963	1964	1965	1966	1967	Средняя температура за 5 лет	Амплитуда колебаний
Осень	6,6	6,0	5,3	6,0	8,4	6,5	3,1
Зима	—1,4	—2,4	0,0	—2,2	—2,1	—1,6	2,4
Весна	—1,3	—1,1	7,2	3,8	4,1	2,6	8,5
Лето	14,9	15,4	14,9	15,1	14,5	15,0	0,9

Таблица 3

Содержание гумуса и pH почв в биометрах за 1965, 1966 и 1968 гг. (Анализы проведены кафедрой почвоведения и агрохимии Эстонской сельскохозяйственной академии)

Биометры	Содержание гумуса в процентах									pH								
	1965 г.			1966 г.			1968 г.			1965 г.			1966 г.			1968 г.		
	Анализы 1	2	Среднее	Анализы 1	2	Среднее	Анализы 1	2	Среднее	Анализы 1	2	Среднее	Анализы 1	2	Среднее	Анализы 1	2	Среднее
I	5,0	5,1	5,0	5,0	5,1	5,0	5,1	5,4	5,2	7,1	7,2	7,1	7,3	7,4	7,3	7,0	7,0	7,0
II	2,8	2,8	2,8	2,4	2,5	2,4	3,0	3,0	3,0	7,1	7,1	7,1	7,4	7,4	7,4	7,0	7,1	7,0
III	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	5,3	5,3	5,3	6,3	6,3	6,3	5,4	5,4	5,4
V	5,6	5,4	**5,5**	5,3	5,2	5,2	5,4	5,3	5,3	7,0	7,0	7,0	7,4	7,4	7,4	6,9	6,9	6,9
IV	62,6	—	—	64,2	—	—	64,6	—	—	6,2	6,2	6,2	6,4	6,4	6,4	6,2	6,5	6,3

Примечание. В торфяной почве четвертого биометра вместо содержания гумуса определены потери от прокалывания почвы.

Средние данные по количеству почвенных бактерий и содержанию

№ биометров	Количество анализов	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца	Количество на 1 г абс.		
						Аммонифицирующие бактерии, млн.	Аэробные целлюлозоразлагающие, лог	Нитрифицирующие бактерии, лог
						В промерзших		
I	47	—1,5	29,2	92 ± 23	16 ± 7	11,9 ± 3,8	3,8 ± 0,4	4,5 ± 0,5
	40	—1,6	29,2	104 ± 29	17 ± 7	—	—	—
II	52	—1,6	31,2	96 ± 23	16 ± 7	11,3 ± 4,7	3,7 ± 0,6	4,5 ± 0,6
	46	—1,7	31,7	105 ± 29	17 ± 7	—	—	—
III	45	—1,6	31,3	95 ± 23	15 ± 7	7,0 ± 1,8	3,3 ± 0,5	3,8 ± 0,6
	40	—1,8	31,4	103 ± 29	16 ± 7	—	—	—
V	40	—1,9	24,6	103 ± 30	17 ± 7	13,7 ± 4,2	3,8 ± 0,4	4,5 ± 0,4
Среднее минеральн. почв	184	—1,7	29,1	97	16	11,0	3,7	4,3
	126	—1,7	30,8	104	17	—	—	—
(торф) IV	42	—1,4	74,7	105 ± 30	17 ± 7	19,7 ± 7,5	4,1 ± 0,6	4,9 ± 0,4
						В незамерзших		
I	82	8,8	22,6	67 ± 28	11 ± 3	9,4 ± 2,3	4,1 ± 0,4	4,2 ± 0,4
	59	8,7	22,3	85 ± 35	11 ± 4	—	—	—
II	75	9,6	19,1	67 ± 28	10 ± 3	10,2 ± 4,2	4,3 ± 0,5	4,3 ± 0,4
	53	9,0	19,4	85 ± 35	14 ± 4	—	—	—
III	87	9,2	15,7	69 ± 28	11 ± 3	5,9 ± 1,9	3,2 ± 0,9	3,5 ± 0,8
	63	8,8	16,1	86 ± 35	12 ± 5	—	—	—
V	89	8,9	20,4	91 ± 30	11 ± 4	9,4 ± 2,9	3,8 ± 0,4	4,1 ± 0,4
	64	8,1	20,6	116 ± 29	12 ± 4	—	—	—
Среднее минеральн. почв	333	9,1	19,5	74	11	8,7	3,9	4,0
	239	8,7	19,6	93	12	—	—	—
(торф) IV	70	8,5	65,5	70 ± 28	11 ± 4	20,4 ± 15,9	4,0 ± 0,6	4,9 ± 0,4
	59	7,9	65,4	79 ± 33	11 ± 4	—	—	—

Таблица 4

соединений азота в почвах биометров с 1965 по 1968 гг.

сухой почвы				Содержание			
Денитрифицирующие бактерии, лог	Азотобактер, един.	Clostridium Pasteurianum, лог	Водоросли, лог	Общего азота, %	Нитратного азота,	Аммиачного азота,	Подвижного азота,
					мг на 100 г абс. сухой почвы		
почвах:							
5,1 ± 0,4	665 ± 214	—	21 ± 3,2	—	—	—	—
—	—	4,5 ± 0,4	—	0,32 ± 0,02	2,9 ± 1,3	2,8 ± 1,2	26 ± 3,6
5,7 ± 0,4	319 ± 91	—	12 ± 3,1	—	—	—	—
—	—	4,6 ± 0,4	—	0,20 ± 0,02	1,7 ± 1,3	2,2 ± 0,8	24 ± 4,2
4,7 ± 0,4	—	—	22 ± 3,6	—	—	—	—
—	—	4,4 ± 0,5	—	0,09 ± 0,01	3,5 ± 1,4	1,8 ± 0,8	17 ± 1,8
5,1 ± 0,4	584 ± 117	5,3 ± 0,5	22 ± 2,6	0,37 ± 0,02	3,5 ± 1,2	10,1 ± 4,2	31 ± 1,3
5,2	523	—	19	—	—	—	—
—	—	4,7 ±	—	0,25	2,9	4,2	25
6,0 ± 0,5	204 ± 81	4,6 ± 0,6	23 ± 2,3	2,7 ± 0,3	10,0 ± 5,5	20,0 ± 8,4	196 ± 36,0
почвах:							
5,4 ± 0,4	702 ± 146	—	20 ± 2,9	—	2,9 ± 1,1	5,4 ± 2,4	—
—	—	5,2 ± 0,4	—	0,36 ± 0,01	—	—	31 ± 2,3
5,8 ± 0,4	356 ± 68	—	18 ± 2,9	—	2,7 ± 1,0	4,7 ± 2,6	—
—	—	5,0 ± 0,4	—	0,18 ± 0,01	—	—	22 ± 1,9
5,1 ± 0,9	—	—	20 ± 7,4	—	2,5 ± 1,6	2,3 ± 1,5	—
—	—	4,6 ± 0,7	—	0,08 ± 0,01	—	—	15 ± 1,1
5,1 ± 0,4	614 ± 188	—	21 ± 2,6	—	3,0 ± 1,0	8,1 ± 2,6	—
—	—	5,0 ± 0,4	—	0,36 ± 0,01	—	—	30 ± 2,6
5,4	557	—	19	—	2,8	5,1	—
—	—	5,0		0,25	—	—	25
6,2 ± 0,4	274 ± 94	—	16 ± 2,3	—	7,2 ± 3,6	17,7 ± 9,7	—
—	—	4,7 ± 0,3	—	2,8 ± 0,16	—	—	199 ± 13,0

небольшая, на основании приведенных данных можно все же отметить большую изменчивость местных метеорологических условий.

В наших опытах не было предусмотрено проведения исследований по динамике содержания гумуса и реакции почвы. Чтобы получить общее представление о содержании гумуса и реакции исследуемых почв из почвенных проб, взятых для микробиологических и агрохимических анализов, были выделены средние пробы, которые сохраняли высушенными и направляли для соответствующих анализов на кафедру почвоведения и агрохимии Эстонской сельскохозяйственной академии. Анализы проводили в 1965, 1966 и 1968 годах, каждый раз в двух повторностях. Данные этих анализов приведены в табл. 3.

Приведенные в табл. 3 данные показывают некоторые различия между определениями в различные годы, причем, однако, нельзя установить какую-либо закономерность в этих колебаниях. Можно только отметить, что в исследуемых нами максимально однородных минеральных почвах без растений в течение четырех лет не отмечается снижения и содержании гумуса. Некоторое влияние на полученные результаты могло оказать продолжительное сохранение почвенных проб перед анализом.

Средние данные всех микробиологических анализов (кроме анализов на количество почвенных грибов, которые приводятся отдельно в следующем разделе), а также по определению содержания в почвах биометров соединений азота приводятся в табл. 4.

Таблица 5

Максимальное и минимальное количество грибов в отдельные годы исследования

Сезоны	Максимальное количество грибов	Минимальное количество грибов
Осень	6 раз	6 раз
Зима	6 раз	5 „
Весна	3 раза	3 раза
Лето	5 раз	6 раз

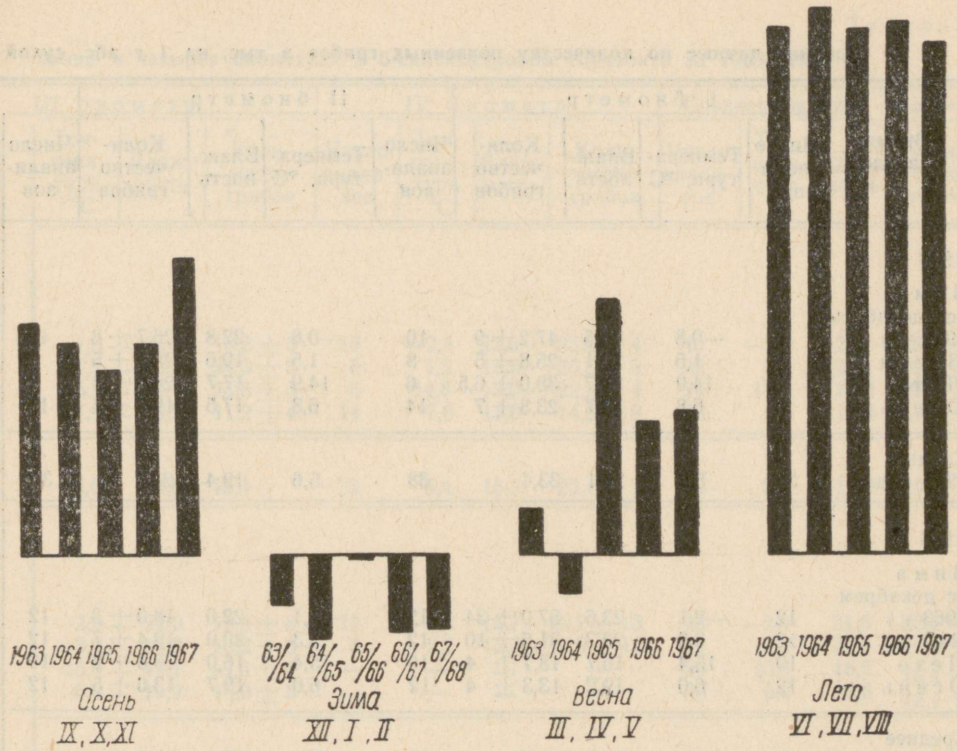


Рис. 5. Средние температуры почвы на глубине 5 см по нашим измерениям.

3. ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ

В течение пяти лет исследования наблюдались довольно резкие различия в количестве почвенных грибов. Хотя и не удалось установить общей закономерности сезонного развития грибов, привлекают все же внимание некоторые приводимые ниже факты. Во-первых, большое число случаев максимального количества грибов — 6 из 20 — приходится на зимний сезон, притом все эти 6 случаев падают на холодные зимы — 1963, 1964, 1966 и 1967 гг. с температурой почвы ниже 0°. Наоборот, в мягкую зиму 1965 года наблюдались минимальные количества грибов в двух биометрах (табл. 6 и 17).

Во-вторых, два максимума количества грибов из трех отмечены вес-

Средние данные по количеству почвенных грибов в тыс. на 1 г абс. сухой

Время анализов	I биометр				II биометр				
	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов
1963 г.									
Зима (с декабрем 1962 г.)	10	—0,8	25,5	47,2 ± 9	10	—0,8	22,8	26,7 ± 8	10
Весна	8	1,5	26,1	25,8 ± 5	8	1,5	19,6	22,1 ± 5	8
Лето	6	14,9	17,7	38,0 ± 6,5	6	14,9	17,7	24,6 ± 4	6
Осень	14	6,8	18,7	23,8 ± 7	14	6,8	17,5	19,5 ± 4	14
Среднее 1963 года	38	5,6	22,1	33,4	38	5,6	19,4	23,2	38
1964 г.									
Зима (с декабрем 1963 г.)	12	—2,1	23,6	57,0 ± 34	12	—2,1	22,0	18,0 ± 3	12
Весна	12	3,3	23,3	31,6 ± 10	12	3,3	20,0	12,4 ± 7	12
Лето	10	15,4	16,7	18,7 ± 4	10	15,4	16,0	16,3 ± 2	10
Осень	12	6,0	19,2	13,3 ± 4	12	6,0	19,7	13.0 ± 5	12
Среднее 1964 года	46	5,6	20,6	30,1	46	5,6	19,4	14,9	46
Среднее двух лет	84	5,6	21,4	31,8	84	5,6	19,4	19,1	84

ной, причем оба приходятся на почвы из биометров под крышей. Весной в биометрах под крышей процент влажности был всегда несколько выше и здесь максимум количества грибов совпадает с более высокой влажностью почвы в этих биометрах.

В 1963 и 1964 гг. максимальное количество грибов было зафиксировано летом в третьем биометре, где почва была удобрена осенью. Здесь влажность была обычно немного выше, чем в других биометрах, причем более заметной эта разница становилась в сухое время года, летом.

Осенью 1965 и 1966 гг. было отмечено максимальное содержание грибов в первом биометре, где в это время по сравнению с другими биометрами влажность была выше.

Таблица 6

почвы в четырех биометрах в 5-сантиметровом горизонте за 1963—1964 гг.

III биометр			IV биометр				Среднее четырех биометров			
Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов
—1,6	21,7	13,2 ± 5	10	—2,4	22,6	25,6 ± 4	40	—1,4	23,2	28,2 ± 8
1,2	20,3	24,3 ± 5	8	1,2	18,6	26,5 ± 5	32	1,3	21,1	24,7 ± 5
15,1	19,1	24,8 ± 6	6	14,8	13,0	22,0 ± 4	24	14,9	16,9	27,3 ± 5
7,0	20,9	11,2 ± 4	14	7,0	11,0	14,5 ± 6	56	6,9	17,0	17,2 ± 5
5,6	20,5	18,4	38	5,4	16,3	22,1	152	5,6	19,6	24,4
—2,6	27,0	12,8 ± 8	12	—2,6	14,7	15,2 ± 13	48	—2,4	21,8	23,2 ± 15
3,9	29,0	10,2 ± 6	6	—2,7	15,3	15,5 ± 12	42	1,9	20,4	17,4 ± 8
15,4	17,1	13,6 ± 4	—	—	—	—	30	15,4	16,6	16,2 ± 3
6,0	19,9	10,0 ± 8	—	—	—	—	36	6,0	19,6	12,1 ± 5
5.7	21,7	11,6	18	—2,6	15,0	15,3	156	5,2	19,6	17,2
5,6	21,1	15,0	56	1,4	15,7	18,7	308	5,4	19,6	20,8

Из случаев снижения численности грибов следует отметить сухую осень 1963 года (влажность почвы 17%), когда численность грибов резко упала во всех четырех биометрах, и летом 1966 года (влажность почвы 17,5%), когда было отмечено снижение численности грибов в четырех биометрах, кроме пятого, который был покрыт крышей, где минимальное количество грибов было отмечено осенью.

По 615 почвенным пробам из четырех биометров первой серии опытов за период с декабря 1962 года по ноябрь 1964 года было отдельно проведено распределение средних данных анализов по биометрам (табл. 6 и 7).

При распределении приведенных в табл. 6 и 7 всех данных из обоих

Средние данные по количеству почвенных грибов в тыс. на 1 г абс. сухой

Время анализов	I биометр				II биометр				
	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов
1963 г.									
Зима (с декабрем 1962 г.)	10	—0,7	22,0	45,1 ± 10	10	—0,7	21,1	26,1 ± 9	10
Весна	8	2,1	25,4	19,7 ± 6	8	2,1	22,6	20,0 ± 4	8
Лето	6	15,2	17,8	22,3 ± 7	6	15,2	17,4	22,7 ± 3	6
Осень	14	7,5	17,5	18,5 ± 6	14	7,5	18,7	17,2 ± 6	14
Среднее 1963 года	38	6,0	20,0	26,4	38	6,0	19,9	21,5	38
1964 г.									
Зима (с декабрем 1963 г.)	12	—2,3	22,5	44,0 ± 26	12	—2,3	20,1	17,9 ± 3	12
Весна	12	2,8	22,6	22,7 ± 10	12	2,8	20,6	12,8 ± 7	12
Лето	10	15,7	16,9	17,5 ± 3	10	15,7	16,1	16,8 ± 3	10
Осень	12	6,0	19,6	14,5 ± 3	12	6,0	19,8	12,4 ± 2	12
Среднее 1964 года	46	5,5	20,4	24,7	46	5,5	19,1	14,9	46
Среднее двух лет	84	5,7	20,2	25,5	84	5,7	19,5	18,2	84
Средние всех данных по обоим горизонтам	168	5,7	20,8	28,7	168	5,7	19,5	18,7	168

горизонтов по сезонам и по влажности почвы получены отношения, которые приводятся в табл. 8.

Сравнение количества грибов по сезонам указывает на наибольшее количество их зимой — 25,7 тыс. на 1 г абс. сухой почвы. Затем идут весна и лето и, наконец, на последнем месте осень — с количеством грибов только 14,5 тыс. на 1 г. В то же время сравнение среднего количества грибов в течение всего года по влажности почвы дает почти

Таблица 7

почвы в четырех биометрах в 25-сантиметровом горизонте за 1963—1964 гг.

III биометр			IV биометр				Среднее четырех биометров			
Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Число анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов
—0,4	20,2	17,0 ± 5	10	—0,4	19,9	21,5 ± 3	40	—0,5	20,8	27,4 ± 7
1,8	22,4	24,0 ± 5	8	1,8	21,2	25,1 ± 8	32	1,9	22,9	22,2 ± 6
15,2	17,9	20,5 ± 3	6	15,2	14,0	19,0 ± 4	24	15,2	16,8	21,1 ± 4
7,5	19,9	18,0 ± 6	13	7,5	16,2	13,7 ± 2	55	7,5	18,1	17,0 ± 5
6,0	20,0	20,0	37	6,0	17.8	19,8	151	6,0	19,6	21,9
—1,6	22,6	14,6 ± 9	12	—1,6	15,3	13,7 ± 5	48	—1,9	20,1	22,3 ± 11
3,0	21,5	11,2 ± 6	6	—4,2	19,3	9,4 ± 3	42	1,1	21,0	14,0 ± 6
15,7	16,6	14,5 ± 3	—	—	—	—	30	15,7	16,5	16,2 ± 3
6,0	20,4	10,0 ± 5	—	—	—	—	36	6,0	19,9	12,3 ± 3
5,7	20,2	12,6	18	—2,9	17,3	11,5	156	5,2	19,4	16,2
5,8	20,1	16,3	55	1,5	17,6	15,6	307	5,1	19,5	19,0
5,7	20,6	15,7	111	1,4	16,7	17,2	615	5,3	19,6	20,0

прямую связь: чем выше процент влажности, тем больше и среднее количество грибов. Некоторое отклонение отмечается только при влажности выше 30%, когда количество грибов снова снижается. Однако количество анализов при таком содержании влажности слишком мало для сравнения с другими группами влажности почвы.

Затем оказывается, что влажность 25—30% является характерной в исследуемых почвах биометров для зимы и весны. Из всех 64 случаев

Таблица 8

Средние данные количества почвенных грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы), распределенные по сезонам и по влажности почвы

Сезоны	Процент влажности									
	10—20		20—25		25—30		30—40		Среднее	
	Число анализов	К-во грибов	Число анализов	К-во грибов	Число анализов	К-во грибов	Число анализов	К-во грибов	Число анализов	К-во грибов
Осень	118	15,4	57	12,9	8	13,0	—	—	183	14,5
Зима	59	19,7	81	28,0	31	31,1	5	26,3	176	25,7
Весна	53	20,4	69	18,9	23	23,7	3	15,2	148	20,1
Лето	104	20,1	2	17,7	2	21,5	—	—	108	20,1
Среднее за год	334	18,4	209	20,8	64	25,9	8	22,1	615	20,0

с такой влажностью 54 приходятся на эти сезоны: 31 — на зиму и 23 — на весну. Кроме того, и все пробы с влажностью выше 30% также взяты зимой и весной.

Интересно отметить, что количество грибов оказалось наиболее высоким при влажности почвы 25—30%, т. е. в таком интервале влажности, где количество бактерий обычно снижается и в среднем доходит до минимума по сравнению с другими интервалами влажности (Рахно, 1964). Возможно, что это и является основной причиной снижения количества бактерий, так как при такой влажности создаются особенно благоприятные условия для развития почвенных грибов, которые оказывают подавляющее влияние на бактерии. Припомним, что при дальнейшем увеличении влажности численность бактерий вновь возрастает и достигает максимума. Отсюда можно заключить, что причина подавления количества бактерий не в самой влажности, а в сопутствующем факторе, т. е. в антагонистическом воздействии грибов. Дальнейшие исследования подтверждают это предположение.

Дальше приводится распределение тех же данных первой серии анализов по взаимному соотношению температуры и влажности на количество почвенных грибов (табл. 9) и по влиянию влажности в различных биометрах, т. е. в несколько измененных почвенных условиях (табл. 10).

При сочетании влажности и температуры интересно отметить, что наибольшее количество грибов зафиксировано при низких температурах — от —9 до 0° С.

Таблица 9

Средние данные по количеству почвенных грибов в первой серии опытов в тыс. на 1 г абс. сухой почвы, распределенные по температуре и влажности почвы

Влажность, %	Температура почвы, °С													
	от —9 до —5		от —5 по 0		0—5		5—10		10—15		> 15		Среднее	
	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов
10—20	4	33,0	49	18,6	70	16,6	58	17,5	89	18,7	64	19,8	334	18,4
20—25	10	12,7	87	24,2	64	20,2	35	16,3	13	19,1	—	—	209	20,8
25—30	6	30,6	41	27,4	10	22,6	3	14,0	4	20,9	—	—	64	25,9
30—40	—	—	7	24,5	1	5,0	—	—	—	—	—	—	8	22,1
Среднее	20	25,1	184	23,4	145	18,5	96	16,9	106	18,8	64	19,8	615	20,0

Таблица 10

Средние данные о количестве почвенных грибов в тыс. на 1 г абс. сухой почвы в отдельных биометрах при различной влажности

Биометры	Влажность в процентах									
	10—20		20—25		25—30		30—40		Среднее	
	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов
I	79	21,5	59	32,9	27	36,9	3	21,2	168	28,5
II	105	18,3	49	18,1	14	19,3	—	—	168	18,3
III	65	15,9	76	12,6	18	15,2	5	4,3	164	13,9
IV	85	17,5	25	21,9	5	22,8	—	—	115	18,7
Среднее	334	18,4	209	20,7	64	25,5	8	10,6	615	20,0

Так как нельзя предполагать, что именно низкие температуры благоприятствуют росту и размножению почвенных грибов, то приходится считать, что здесь также имеет значение подавление грибами развития каких-либо конкурирующих организмов. По-видимому, почвенные грибы наиболее приспособлены к жизнедеятельности при довольно низких температурах.

Как уже отмечалось, в первой серии опытов исследовали пробы из четырех биометров, наполненных одной и той же почвой. Различие между почвами биометров было создано внесением удобрения, а также различными сроками его внесения. Это оказывало влияние на режим влажности почвы и вследствие этого и на динамику количества грибов, как это и показывают данные табл. 11.

В первый биометр вносили удобрение в начале зимы — в декабре. Здесь численность грибов была значительно выше, чем во всех других биометрах.

Особенно высокой была численность грибов в первом биометре зимой, т. е. после внесения удобрений. Притом и влажность почвы в этом биометре была также несколько выше, чем в других биометрах, особенно зимой и весной (табл. 12).

Во втором, контрольном, биометре количество грибов было значительно ниже, чем в первом, в почву которого были внесены удобрения, но общий характер годовой динамики численности грибов был аналогичен: в обоих максимум отмечался зимой, а минимум — осенью и вес-

Таблица 11

Средние данные о количестве грибов в тыс. на 1 г абс. сухой почвы, распределенные по годам и сезонам

Сезоны	Биометры								Среднее биометров	
	I		II		III		IV			
	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов
1963 г.										
Зима	20	46,2	20	26,4	20	15,1	20	23,7	80	27,8
Весна	16	22,8	16	21,1	16	24,2	16	25,8	64	23,5
Лето	12	30,2	12	23,7	12	22,7	12	20,5	48	24,1
Осень	28	21,2	28	18,4	28	14,6	27	14,1	111	17,1
Среднее 1963 г.	76	29,9	76	22,4	76	19,2	75	21,0	303	23,2
1964 г.										
Зима	24	50,1	24	18,0	24	13,7	24	14,5	96	22,8
Весна	24	27,2	24	12,6	24	10,7	12	12,5	84	15,7
Лето	20	18,1	20	16,6	20	14,1	—	—	60	16,2
Осень	24	13,9	24	12,7	24	10,0	—	—	72	12,2
Среднее 1964 г.	92	27,4	92	16,6	92	12,1	36	13,4	312	16,7
Среднее двух лет	168	27,8	168	18,9	168	15,4	111	17,7	615	20,0

ной (за исключением первого биометра в 1964 году, когда минимумы были осенью и летом).

В почву третьего биометра удобрение вносили осенью. Здесь в 1963 году количетсвенная динамика грибов отличалась от других биометров: максимум был перемещен на весну. Содержание и динамика влажности сходны с первым биометром.

Качественный состав грибов в третьем биометре отличался от состава грибов в других биометрах. Здесь происходило интенсивное развитие мукоровых грибов, особенно осенью, после внесения удобрения. Быстрый рост мукоровых задержал здесь развитие других грибов, вслед-

Таблица 12

Средние данные о влажности (в %) почвы в биометрах в сезоны 1963 и 1964 гг.

Сезоны	Биометры				Средняя влажность биометров
	I	II	III	IV	
1963 г.					
Зима	23,70	21,93	20,95	21,87	21,96
Весна	25,73	21,10	21,33	19,90	22,00
Лето	17,73	17,55	18,49	13,50	16,80
Осень	18,70	18,10	20,38	13,60	17,69
Средняя года	20,94	19,70	20,12	17,07	19,60
1964 г.					
Зима	23,03	20,58	24,80	15,00	20,90
Весна	22,97	20,30	22,24	17,30	20,85
Лето	16,77	16,05	16,80	—	16,54
Осень	19,40	19,76	20,20	—	19,70
Средняя года	20,55	19,17	21,01	16,15	19,49
Средняя двух лет	20,74	19,43	20,56	16,17	19,53

ствие чего в третьем биометре общее количество грибов было ниже, чем в других биометрах.

Четвертый биометр был покрыт подвижной крышей, зимой постоянно, летом — во время дождей и поэтому здесь влажность была ниже, чем в других биометрах. В этом биометре опыты были закончены весной 1964 года, так что данные имеются только за один полный год (всего 6 сезонов). Этих данных для выводов недостаточно, и можно только отметить, что в 1963 году динамика количества грибов совпадала с динамикой третьего биометра: максимум наблюдался весной, минимум — осенью.

Первая серия проведенных опытов позволяет сделать некоторые выводы о влиянии органического удобрения и сроков его внесения на численность и качественный состав почвенных грибов и влажности почвы, а именно:

1. Влажность удобренной почвы в первом и третьем биометрах была выше влажности неудобренной почвы остальных биометров. Влажность 30—40% и выше имела только удобренная почва.

2. Самое большое количество грибов в течение всего года наблюдалось в первом биометре, почву которого удобряли зимой.

3. В почве третьего биометра, удобренной осенью, в течение всего периода анализов было установлено заметно больше мукоровых грибов, чем в почве других биометров.

С осени 1964 года была начата новая серия опытов по исследованию почвенных грибов, которые проводили параллельно с исследованием других почвенных микроорганизмов, в частности водорослей, а также динамики связанного азота в почве. Для этого летом 1964 года были заложены 5 новых биометров, заполненных различными почвами, типичными для Эстонской ССР. Данные о почвах этих пяти биометров приведены в главе о методике.

Опыты этой новой серии проводили с сентября 1964 года по апрель 1968 года. За это время была взята и проанализована 971 почвенная проба. Как и в первой серии опытов, пробы брались в течение всего года два раза в месяц. Поскольку между количеством и особенно качественным составом грибов двух горизонтов существенных различий в первой серии опытов не отмечалось, то пробы стали брать только из верхнего горизонта с глубины 5 см, но с трех параллелей.

Целью исследования в новой серии опытов было сравнение годовой количественной динамики микроорганизмов и содержания азотистых соединений в разных почвах и выявление взаимосвязей и зависимостей их с разными факторами внешней среды, а также между количеством микроорганизмов и содержанием азота.

Общие данные о количестве почвенных грибов по годам и сезонам приведены в табл. 13. Средние данные о количестве грибов, распределенные по сезонам за все годы исследования, представлены в табл. 14.

Отдельно от данных, полученных из других биометров, рассмотрены данные по четвертому биометру с торфяной почвой, где количество грибов и влажность почвы были значительно выше. Из данных сводной табл. 14 выпущены данные первых трех анализов (летом 1965 года), когда количество грибов было почти в три раза выше среднего содержания их в дальнейшем. По-видимому, это было обусловлено усиленной аэрацией почвы при заполнении биометров. Дальнейшее высокое содержание грибов можно отнести за счет особенно благоприятных условий для их развития — повышенной влажности и высокого содержания органических веществ.

Минеральные почвы четырех биометров расположены по количеству грибов в следующем порядке:

Больше всего грибов — 17,3 тыс. на 1 г абс. сухой почвы — было

Средние данные анализов температуры и влажности почвы, а также количества гри-

Годы, сезоны	I биометр				II биометр				III биометр			
	Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов
1964/65												
Осень	4	10,8	23,0	19,0 ± 3	4	10,8	18,2	10,7 ± 1	4	10,8	15,8	9,3 ± 2
Зима	8	0,2	23,7	18,0 ± 7	8	0,2	22,3	11,0 ± 3	8	0,2	21,9	8,6 ± 2
Весна	12	6,4	26,1	18,2 ± 5	12	6,4	22,2	10,6 ± 5	12	6,9	21,9	9,0 ± 2
Лето	12	14,9	21,2	21,7 ± 9	12	14,9	16,2	15,6 ± 11	12	14,9	13,2	14,3 ± 13
Среднее года	36	8,0	23,5	19,2	36	8,0	19,7	11,9	36	8,1	18,2	10,3
1965/66												
Осень	18	5,6	23,5	23,7 ± 8	18	5,6	17,8	15,7 ± 10	18	5,6	16,1	10,8 ± 4
Зима	18	—2,3	29,1	20,6 ± 6	18	—2,3	30,8	14,8 ± 5	18	—2,1	29,2	15,5 ± 4
Весна	18	3,5	29,1	21,0 ± 8	18	3,5	26,6	16,3 ± 5	16	4,4	24,9	13,8 ± 7
Лето	12	15,1	17,5	15,5 ± 3	12	15,1	19,2	10,0 ± 2	12	15,1	17,8	9,0 ± 2
Среднее года	66	5,4	24,8	20,2	66	5,4	23,6	14,2	64	5,7	22,0	12,2
1966/67												
Осень	15	6,0	24,6	21,6 ± 3	15	6,0	21,4	12,6 ± 3	15	6,0	14,0	9,0 ± 3
Зима	18	—2,1	28,0	10,8 ± 4	18	—2,1	30,0	9,9 ± 2	18	—2,1	30,8	8,1 ± 3
Весна	18	4,1	24,6	11,8 ± 5	18	4,1	21,8	8,3 ± 2	15	4,1	17,4	6,7 ± 2
Лето	12	14,5	19,0	13,5 ± 2	12	14,5	15,2	8,4 ± 2	12	14,5	11,1	7,1 ± 1
Среднее года	63	5,6	24,1	14,4	63	5,6	22,1	9,8	60	5,6	18,3	7,7
1967/68												
Осень	18	8,4	23,2	12,9 ± 2	18	8,4	20,1	10,8 ± 2	18	8,4	17,2	7,3 ± 1
Зима	12	—0,4	28,6	15,5 ± 3	12	—0,4	33,0	12,0 ± 3	12	—0,4	32,0	8,5 ± 2
Весна	9	1,0	27,0	17,3 ± 2	9	1,0	28,0	10,0 ± 2	9	1,0	27,0	7,3 ± 3
Среднее года	39	3,0	26,2	15,2	39	3,0	27,0	10,9	39	3,0	25,4	7,7
Среднее четырех лет	204	5,5	24,6	17,3	204	5,5	23,1	11,7	199	5,6	20,9	9,5

Таблица 13

бов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) по сезонам и биометрам во второй серии опытов

V биометр				Средние четырех биометров				IV биометр			
Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов	Количество анализов	Температура, °С	Влажность	Количество грибов
4	10,8	21,4	14,0 ± 2	16	10,8	19,6	13,2	—	—	—	—
—	—	—	—	24	0,2	22,6	12,5	—	—	—	—
9	9,6	23,3	13,2 ± 4	45	7,2	23,4	12,7	—	—	—	—
12	15,0	19,2	13,1 ± 7	48	14,9	17,4	16,1	3	17,0	61,0	59,0 ± 5
25	11,8	21,3	13,4	133	8,3	20,7	13,6	3	17,0	61,0	59,0
18	4,9	18,8	14,3 ± 3	72	5,3	19,1	16,1	18	4,9	66,7	28,3 ± 6
18	—2,1	22,1	14,6 ± 4	72	—2,2	27,7	16,4	18	—2,1	70,5	28,3 ± 6
18	4,4	25,6	16,3 ± 4	70	3,8	26,5	16,8	18	4,4	71,6	24,0 ± 9
12	15,1	19,2	13,2 ± 2	48	15,1	17,5	11,9	12	15,1	63,0	16,2 ± 4
66	5,7	21,4	14,6	262	5,5	22,6	15,3	66	5,7	67,9	24,3
15	6,0	18,6	12,2 ± 4	60	6,0	20,6	13,8	15	6,0	67,8	20,4 ± 6
18	—2,1	22,4	10,3 ± 2	72	—2,1	27,8	9,8	18	—2,1	75,9	24,5 ± 5
18	4,1	22,7	10,6 ± 2	69	4,1	21,6	9,4	18	4,1	69,4	21,0 ± 13
12	14,5	17,1	12,0 ± 2	48	14,5	15,6	10,0	12	14,5	58,9	13,5 ± 2
63	5,6	20,2	11,2	249	5,6	21,4	10,7	63	5,6	68,0	19,9
18	8,4	20,4	13,2 ± 3	72	8,4	20,2	11,0	18	8,4	65,3	17,5 ± 6
12	—0,4	24,1	9,6 ± 5	48	—0,4	29,4	11,4	12	—0,4	72,0	26,0 ± 12
9	1,0	28,0	15,0 ± 2	36	1,0	27,5	12,4	9	1,0	74,0	22,7 ± 5
39	3,0	24,1	12,6	156	3,0	25,7	11,6	39	3,0	70,4	22,1
193	6,5	21,7	12,9	800	5,6	22,6	12,8	171	7,8	66,8	22,1

Таблица 14

Среднее количество грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) по биометрам и сезонам за 4 года исследования

Сезоны	Биометры и почвы				Среднее четырех биометров (минеральные почвы)	Четвертый биометр (торфяная почва)
	I дерново-суглинистая	II карбонат-супесчаная	III подзолистая	V карбонатная (под крышей)		
Осень	19,3	12,4	9,1	13,4	13,5	22,2
Зима	16,2	11,9	10,2	11,5	12,4	26,3
Весна	17,0	11,3	9,2	13,8	12,8	22,6
Лето	16,9	11,3	10,1	12,8	12,7	14,9
Среднее за год	17,3	11,7	9,5	12,9	12,8	22,1

в дерново-карбонатной почве суглинистого механического состава, а затем в покрытом крышей варианте той же почвы — 12,9 тыс. на 1 г. Несколько меньше — 11,7 тыс. на 1 г — было грибов в супесчаной дерново-карбонатной почве второго биометра. И, наконец, в супесчаной дерново-подзолистой почве третьего биометра грибов было только 9,5 тыс. на 1 г абс. сухой почвы.

В сезонной динамике количества грибов в различных минеральных почвах выявляются также некоторые различия. В суглинистых почвах первого и пятого биометров максимальное количество грибов обнаружено осенью и весной, а минимальное — зимой. В супесчаной дерново-карбонатной почве второго биометра сезонные колебания количества грибов весьма незначительны, с постепенным снижением от максимального содержания осенью до продолжающегося минимума весной и летом. В супесчаной подзолистой почве третьего биометра чередуются два максимума — зимой и летом, с двумя минимумами — осенью и весной.

Интерес может представить также амплитуда колебаний численности грибов, приведенная в табл. 15.

Данные, приведенные в табл. 13, показывают, что более заметные колебания численности грибов как по средним данным сезона, так и по отдельным анализам, происходили в дерново-карбонатной почве первого биометра. Ограждение почвы в пятом биометре от попадания осадков крышей, по-видимому, оказывает выравнивающее влияние на количество грибов по отдельным анализам, вследствие чего пятый биометр в этом отношении находится на последнем месте. В дерново-подзолистой

Таблица 15

Колебания численности грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) в различных почвах

Биометры	Средние данные сезонов			Отдельные пробы		
	максимум	минимум	амплитуда колебаний	максимум	минимум	амплитуда колебаний
I	19,3	16,2	3,1	60,0	3,3	56,7
V	13,8	11,5	2,3	25,0	7,0	18,0
II	12,4	11,3	1,1	26,0	3,7	22,2
III	10,2	9,1	1,1	46,0	3,1	42,9

Таблица 16

Средние данные о количестве грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) в биометрах с дерново-карбонатной суглинистой почвой обеих серий опытов за весь период исследования

	Первая серия опытов		Вторая серия опытов			Среднее кол-во во всех опытах
	1962/63 г.	1963/64 г.	1964/65 г.	1965/66 г.	1966/67 г.	
	Второй биометр		Первый биометр			
Годовое среднее количество	29,8	27,4	19,2	20,2	14,4	22,2
	Четвертый биометр		Пятый биометр (под крышей)			
среднее количество	20,95	13,4	13,4	14,6	11,2	14.7
Среднее двух биометров	25,35	20,2	16,3	17,4	12,8	18,5

почве третьего биометра, где численность грибов была самой низкой, колебания численности по сезонам были также небольшими, но по отдельным анализам, однако, амплитуда колебаний была довольно значительной.

Из биометров второй серии первый и пятый заполнены той же дерново-карбонатной суглинистой почвой без удобрений, взятой с тех же харкуских полей, которой были заполнены второй и четвертый биометры первой серии опытов. Поэтому на примере этих биометров можно проследить годовую динамику грибов в суглинистой дерново-карбонат-

ной почве за пять лет (с декабря 1962 по апрель 1968 года). Соответствующие сравнительные данные приведены в табл. 16.

Средние годовые количества грибов как в открытой, так и в закрытой крышей почве биометров показывают последовательное снижение за все время исследования. В 1965/66 году отмечается небольшое увеличение, но затем в следующем, 1966/67 году снижение продолжалось особенно резко и дошло до минимума. Весь этот процесс снижения наблюдался вполне равномерно в обоих биометрах.

Подобный параллелизм колебаний средней численности грибов при наблюдении в течение пяти лет дает основание предполагать какую-то причинную обусловленность этого явления, хотя ни один из рассмотренных нами вначале исследования факторов влияния (температура, влажность, сезоны) не может считаться его причиной. Нельзя также предполагать, что причиной снижения количества грибов может быть постепенное обеднение почвы питательными веществами, так как в таком случае это должно было отозваться на численности и других групп почвенных микроорганизмов, что, однако, не было установлено. Причина снижения количества грибов с 1962 по 1967 год была установлена в результате дальнейших анализов.

Необходимо еще отметить, что численность грибов в покрытых крышей биометрах, где влажность была несколько ниже, в обеих сериях опытов была в среднем приблизительно на 40% меньше, чем в открытых.

Как уже отмечалось выше, общих закономерностей годовой динамики грибов нам не удалось установить. В зависимости от различий в метеорологических условиях и по некоторым другим причинам годовая динамика грибов в отдельные годы была различной. Подъемы — максимумы и спады — минимумы численности грибов приходились на разные сезоны (табл. 17).

Динамика количества грибов в 1962/63 и 1963/64 годах, когда численность грибов была высокой, достаточно ясна: максимумы количества их в почве из первого и второго биометров совпадают с низкой температурой и приходятся на зиму, а из третьего биометра — на лето. За исключением одного случая (из второго биометра), все минимумы количества грибов приходятся на осень. Гораздо разнороднее выглядит количественная динамика грибов во второй серии опытов в 1964/65 и 1966/67 годах в биометрах с разными почвами.

Данные, приведенные в табл. 17, покадывают, что динамика количества грибов во второй серии опытов в одном биометре, т. е. в одной и той же почве, различается в зависимости от года исследования.

В 1964/65 году средняя численность грибов была низкая — 13,6 тыс. на 1 г абс. сухой почвы. Максимальные их количества с небольшим превышением по сравнению с другими сезонами в трех биометрах с минеральными почвами отмечались летом (в отличие от первой серии

Таблица 17

Максимальные и минимальные средние количества грибов в биометрах по годам и сезонам

Годы	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	Всего
Сезоны	Максимумы в биометрах					
Осень	—	—	—	I, IV	I, II, III, V	6
Зима	I, II	I, II	—	III	IV	6
Весна	IV	—	—	II, V	—	3
Лето	III	III	I, II, III	—	—	5
	Минимумы в биометрах					
Осень	I, II, III, IV	I, III	—	—	—	6
Зима	—	—	I, III	—	I, V	4
Весна	—	II	II	—	II, III	4
Лето	—	—	—	I, II, III, IV, V	IV	6

опытов, где большинство максимумов совпало с зимой). Здесь, наоборот, зимой преобладали минимальные количества.

В 1965/66 году среднее количество грибов было немного выше, чем в предыдущем году, — 15,3 тыс. на 1 г абс. сухой почвы. По особенности этого года интересно отметить, что минимумы всех почв в пяти биометрах приходятся на лето, а максимумы — на другие сезоны, кроме лета. Причина такого снижения количества грибов летом этого года в первое время исследования осталась невыясненной, к ней нам придется возвратиться в дальнейшем. Во всяком случае, на этот раз причина снижения не может состоять ни в температуре, ни во влажности, поскольку как средняя температура, так и влажность почвы летом 1966 года по сравнению с летом предыдущего года почти идеально совпадают.

Однако некоторые другие данные позволяют считать, что влажность почвы может оказать влияние на количество грибов. В наших исследованиях имели место два случая, когда минимальные количества грибов в почвах из всех биометров приходились на один и тот же сезон. Это осень 1963 года (все четыре биометра первой серии опытов) и разбираемый выше случай — лето 1966 года (все пять биометров). В обоих случаях средняя влажность почвы была около 17%. Отсюда можно заключить, что влажность все же может быть одной из причин, оказывающих влияние на развитие почвенных грибов.

В 1966/67 году численность грибов в почвах всех биометров резко снизилась до среднего количества в одной пробе 10,7 тыс. на 1 г абс. сухой почвы. В этом году максимум количества грибов во всех минеральных почвах совпал с осенью 1966 года, когда влажность почвы была

несколько выше, чем осенью предыдущих лет. Особенно хорошо это было заметно в почве первого биометра. В торфяной почве максимум количества грибов, как и влажности, был отмечен зимой. Данные по торфяной почве (четвертого биометра) рассматривались повсюду отдельно, поскольку здесь как численность грибов, так и влажность почвы были значительно выше, чем в других биометрах (табл. 18).

При высокой влажности торфяной почвы и в более засушливые годы и сезоны, изменения влажности в ней также связаны с динамикой содержания грибов, пожалуй, даже больше, чем в минеральных почвах. Притом средние годовые количества грибов в торфяной почве за все годы исследования подчинены тем же закономерностям, что и в минеральных почвах: в 1965/66 году количество грибов было больше (24,3 тыс. на 1 г), в 1966/67 году — меньше (19,9 тыс. на 1 г).

Особенно показательны колебания численности грибов в дерново-карбонатной почве. Данные имеются в первом (открытом) биометре второй серии опытов и во втором биометре первой серии, а также в соответствующих покрытых крышей биометрах за все пять лет опытов. Сравнение этих данных изображено на графике рис. 6. График показывает неравномерность количества грибов в отдельные годы.

Больше всего грибов было в обоих биометрах первой серии в 1962/63 году. В следующем, 1963/64 году наблюдается снижение численности грибов, причем настолько резкое, что минимум 1962/63 года оказывается выше максимума 1963/64 года.

В 1964 году были заложены новые опыты, причем соответствующие биометры заполнялись той же почвой, с харкуских полей, которая применялась и в первой серии опытов.

Таблица 18

Сравнение средних данных о количестве грибов и влажности почвы в минеральных и торфяной почвах

Биометры и годы	Влажность почвы	Количество грибов в тыс. на 1 г
Минеральные почвы I, II, III, V биометры за 3 года (с 1964/65 по 1966/67 гг.)	21,6	13,2
Торфяная почва IV биометр за 2 года (1965/66 и 1966/67 гг.)	67,9	22,1

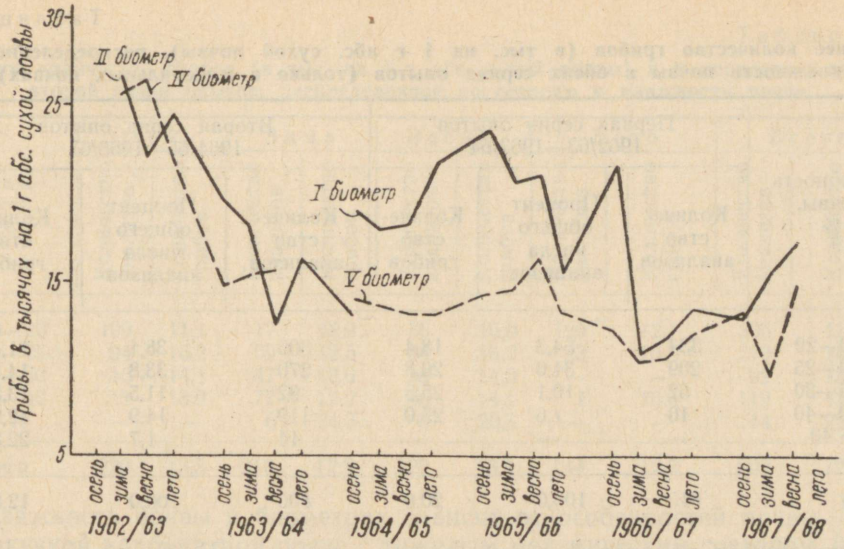


Рис. 6. Динамика количества грибов в дерново-карбонатных почвах в открытом и закрытом крышей вариантах II-го и IV-го биометров I-ой серии опытов и I-го и V-го биометров II-ой серии опытов.

Количество грибов в 1964/65 году было выше, чем в предыдущем 1963/64 году, причем наблюдается постепенное повышение численности грибов, которое достигает максимума к осени 1965/66 года.

После этого начинается постепенное снижение численности грибов, которое продолжается до осени 1966/67 года. Зимой этого же года наблюдается резкое снижение и далее в течение всего 1967 года численность грибов остается крайне низкой.

Количество грибов в покрытых крышей биометрах в течение всего периода опыта (за исключением весны и лета 1963 года) было ниже, чем в открытых. Кривая динамики количества грибов в покрытых крышей биометрах в основном повторяет характер кривой динамики открытых биометров.

Как данные, полученные в первой серии, так и данные 800 почвенных проб второй серии распределены по влиянию сезонов, влажности и температуры на микофлору в исследуемых почвах. В табл. 19 приведены данные о количестве грибов и влажности почвы во второй серии опытов по сравнению с первой.

Во второй серии опытов количество анализов с высокой влажностью (выше 25%) значительно больше, чем в первой серии. Однако коли-

Таблица 19

Среднее количество грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы), распределенное по влажности почвы в обеих сериях опытов (только в минеральных почвах)

Влажность почвы, %	Первая серия опытов 1962/63—1963/64			Вторая серия опытов 1964/65—1966/67		
	Количество анализов	Процент общего числа анализов	Количество грибов	Количество анализов	Процент общего числа анализов	Количество грибов
10—20	334	54,3	18,4	305	38,1	11,4
20—25	209	34,0	20,8	270	33,8	14,3
25—30	62	10,1	25,5	92	11,5	13,8
30—40	10	1,6	25,0	119	14,9	12,9
> 40	—	—	—	14	1,7	22,8
Всего	615	100,0	20,0	800	100,0	12,8

чество грибов во второй серии меньше, чем в первой, и колебания в количестве их по отдельным группам влажности менее выражены.

Хотя больше всего грибов было в пробах с влажностью выше 40%, но так как проб с такой влажностью было только 14, то достоверность этих данных небольшая. Несколько выше численность грибов при влажности от 20 до 25%.

Данные о среднем количестве грибов, распределенные по сезонам и влажности, приведены в табл. 20.

Оказывается, что грибов по данным второй серии опытов несколько больше осенью и весной, но различия как по сезонам, так и по группам влажности совершенно незначительны и могут считаться случайными.

Как и в первой серии опытов, при распределении количества грибов по температуре почвы (табл. 21) оно сочеталось с самой низкой температурой (от —9 до —12° С). К сожалению, число анализов при такой температуре было маленьким, поэтому достоверность этих данных сравнительно низкая.

В общем данные о температуре и влажности почвы не показывали каких-либо явных закономерностей по их взаимному влиянию на численность грибов. Это дает основание предполагать о наличии еще каких-то неучтенных факторов влияния.

О взаимовлиянии влажности и температуры можно лишь сказать, что при очень низкой влажности (10—20%) грибов также мало, их количество снижается при повышении температуры до +15°, и лишь при 15° наблюдается небольшое увеличение количества грибов.

Таблица 20

Среднее количество грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) в минеральных почвах второй серии опытов, распределенное по сезонам и влажности почва

Влажность, %	Осень		Зима		Весна		Лето		Всего	
	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов	Количество анализов	Количество грибов
10—20	109	11,1	17	12,9	59	10,0	120	12,1	305	11,4
20—25	94	16,2	69	12,5	84	13,2	23	16,6	270	14,3
25—30	16	14,1	47	13,0	29	14,9	—	—	92	13,8
30—40	1	18,0	77	12,2	40	14,1	1	16,0	119	12,9
>40	—	—	6	24,3	8	20,5	—	—	14	22,8
Всего	220	13,5	216	12,9	220	13,1	144	12,8	800	12.8

Влажность почвы в биометрах зависит от особенностей почвы. Так, в харкуской карбонатной почве с тяжелым механическим составом (первый биометр) больше всего проб почвы было с влажностью 20—25% — около половины, затем следовали пробы с влажностью в 25—30%. Большинство проб с влажностью в 20—25% было и в пятом биометре, покрытом крышей (табл. 22).

Большинство анализов карбонатной почвы с легким механическим составом из второго биометра и особенно подзолистой почвой из третьего биометра имели низкую влажность — 10—20%.

Количество грибов было самым большим при влажности >40%, и хотя небольшое число анализов проб почвы с такой влажностью снижает достоверность этого заключения, совпадение результатов при любой почве и любой температуре позволяет все же считаться с этими данными.

На основании всех вышеприведенных данных можно сказать, что влажность почвы имеет все же некоторое влияние на количественную динамику почвенных грибов. В дальнейшем мы увидим, что такое заключение находит подтверждение в данных корреляционного анализа по взаимосвязи различных факторов влияния. Притом оказывается, что связь количества почвенных грибов с влажностью почвы более тесная в промерзших почвах.

Однако все эти данные все же не позволяют утверждать, что влажность является основным фактором влияния на количественную динамику почвенных грибов.

Исследования динамики соединений почвенного азота, к которым мы приступили в 1964 году, дали возможность сравнить содержание та-

Таблица 21

Среднее количество грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) в минеральных почвах второй серии опытов, распределенное по температуре и влажности почвы

Температура, °С	Влажность, %										Среднее	
	10—20		20—25		25—30		30—40		>40			
	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов
—12 до —9	—	—	3	18,0	1	23,0	4	14,2	1	32,0	9	18,4
— 9 до —5	1	12,0	3	10,7	—	—	8	9,2	—	—	12	9,8
— 5 до 0	6	13,8	52	11,7	60	11,7	82	12,1	8	23,4	208	12,4
0— 5	62	11,8	98	14,8	17	18,3	19	16,6	5	18,2	201	14,4
5—10	44	11,1	40	15,0	10	16,4	1	12,5	—	—	95	13,3
10—15	117	10,2	63	14,4	4	17,0	4	17,1	—	—	188	11,9
>15	75	12,8	11	20,0	—	—	1	16,0	—	—	87	13,7
Среднее	305	11,4	270	14,3	92	13,8	119	12,9	14	22,1	800	12,8

Таблица 22

Среднее количество грибов (в тыс. на 1 г абс. сухой почвы) в минеральных почвах второй серии опытов, распределенное по биометрам и влажности почвы

Биометры	Влажность, %										Среднее	
	10—20		20—25		25—30		30—40		>40			
	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов	Число анализов	Количество грибов
I	27	16,3	100	17,1	41	17,2	31	15,0	5	27,4	204	17,3
II	90	11,6	52	12,1	21	10,5	35	12,7	6	19,7	204	11,7
III	126	9,5	17	9,3	12	7,8	41	11,0	3	18,3	199	9,5
V	62	12,7	101	13,6	18	13,9	12	14,8	—	—	193	12,9
Среднее	305	11,4	270	14,3	92	13,8	119	12,9	14	22,1	800	12,8

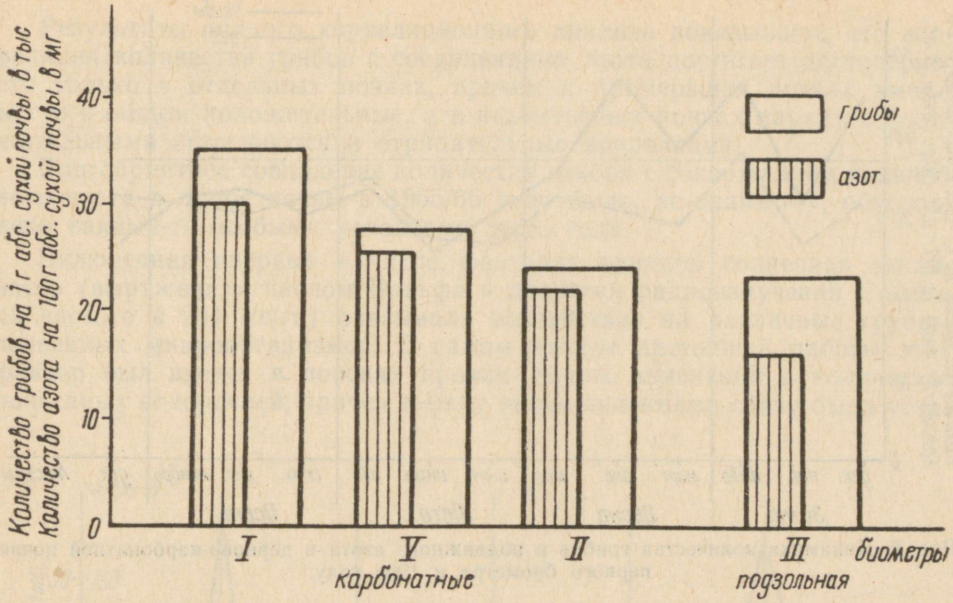


Рис. 7. Среднее количество грибов и среднее содержание подвижного азота в почвах биометров в 1966 году.

ких соединений с динамикой размножения грибов. Оказалось, что между этими величинами существует прямая связь: чем больше количество почвенных грибов, тем больше в такой почве азота. (см. рис. 7).

Сравнение количественной динамики почвенных грибов с динамикой содержания соединений азота показывает наиболее тесную связь грибов с подвижным азотом в опытах 1965/66 года. Особенно ясно проявилась эта связь в почве первого биометра (см. рис. 8).

Предварительный корреляционный анализ также подтвердил наличие такой связи. В табл. 23 приведены коэффициенты корреляции 270 анализов между количество почвенных грибов и содержанием подвижного азота в промерзших и незамерзших почвах по отдельным биометрам.

Предварительный корреляционный анализ показал, что наличие наиболее тесной связи наблюдается в промерзших карбонатных почвах, причем корреляция в закрытых биометрах как в промерзшей, так и в незамерзшей почве почти отсутствует, а в торфяной почве как в промерзшей, так и в незамерзшей имеется незначительная отрицательная корреляция.

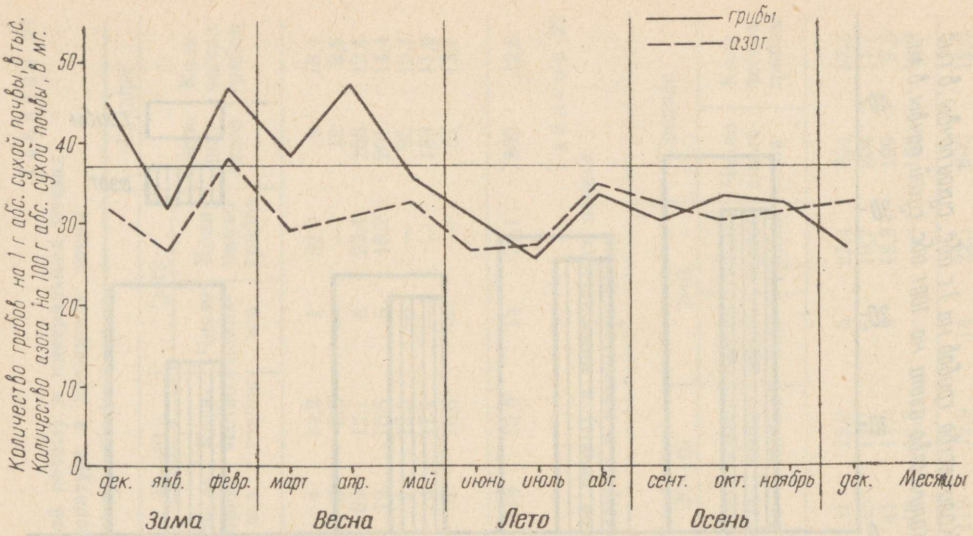


Рис. 8. Динамика количества грибов и подвижного азота в дерново-карбонатной почве первого биометра в 1966 году.

Таблица 23

Корреляция между количеством грибов и содержанием подвижного азота в пробах почвы из отдельных биометров в 1965/66 году

Биометры и почвы	Коэффициенты корреляции	
	Промерзшие почвы, 60 анализов (Предел достоверности = 0,25)	Незамерзшие почвы, 210 анализов (Предел достоверности = 0,14)
I карбонатная суглинистая почва	0,41	—0,04
II карбонатная супесчаная почва	0,44	0,30
III подзолистая супесчаная почва	0,33	0,32
IV торфяная почва	—0,03	—0,13
V карбонатная суглинистая почва под крышей	0,03	0,08
Среднее	0,30	0,16

В дальнейшем был проведен полный корреляционный анализ по 629 почвенным пробам, коэффициенты которого приведены в табл. 24. Как показывают данные этой таблицы, корреляции количества почвенных грибов с содержанием подвижного азота в почве нет.

Результаты полного корреляционного анализа показывают, что корреляция количества грибов с соединениями азота достигает достоверности только в отдельных почвах, причем в промерзших почвах имеют место в общем положительные, а в незамерзших почвах наряду с положительными встречаются и отрицательные корреляции.

Благоприятное совпадение количества грибов с содержанием подвижного азота в пробе почвы в 1965/66 году было, по-видимому, обусловлено какими-то особыми условиями этого года.

Включенная впервые в число факторов влияния солнечная активность (выраженная числом Вольфа и данными радиоизлучения Солнца на частоте в 204 мг/гц) оказывала воздействие на различные группы почвенных микроорганизмов. В самом начале настоящей работы этот фактор был введен в поисках причин резких изменений в количестве почвенных водорослей, причем между этими явлениями сразу была уста-

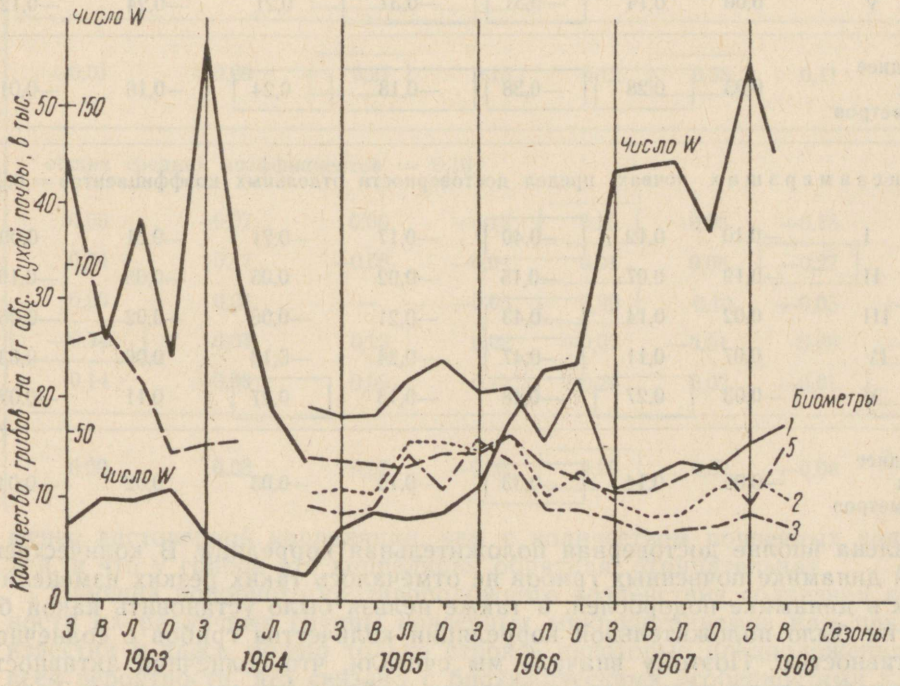


Рис. 9. Сравнение динамики количества грибов и солнечной активности (число W). (Количество грибов первой серии опытов в 1-ом и 4-ом биометрах; Количество грибов второй серии опытов в 1, 2, 3 и 5 биометрах.)

Корреляция между количеством грибов и другими данными анализов (факторами

№ биометра	Температура, °С	Влажность, %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца, 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
В промерзших почвах; предел достоверности отдельных коэффициентов = 0,30;							
I	0,13	0,26	—0,59	—0,31	0,17	—0,11	0,03
II	0,27	0,29	—0,45	—0,30	0,39	0,06	—0,13
III	—0,05	0,29	—0,38	—0,21	0,28	0,09	0,31
IV	—0,21	0,40	—0,18	—0,31	0,15	—0,58	—0,15
V	0,00	0,14	—0,31	—0,37	0,21	—0,24	—0,12
Среднее всех биометров	0,03	0,28	—0,38	—0,18	0,24	—0,16	—0,01
В незамерзших почвах; предел достоверности отдельных коэффициентов = 0,25;							
I	—0,10	0,12	—0,40	—0,17	—0,21	—0,01	0,00
II	—0,19	0,07	—0,15	—0,02	0,05	—0,05	—0,10
III	0,02	0,14	—0,43	—0,21	—0,06	—0,02	—0,06
IV	0,07	0,11	—0,47	—0,24	—0,18	0,06	0,03
V	—0,03	0,27	—0,18	—0,13	0,27	0,11	—0,07
Среднее всех биометров	—0,05	0,14	—0,33	—0,15	—0,03	0,02	—0,04

новлена вполне достоверная положительная корреляци. В количественной динамике почвенных грибов не отмечалось таких резких изменений, как в динамике подорослей, а также нельзя было установить какой бы то ни было положительной корреляции количества грибов с солнечной активностью. Поэтому вначале мы считали, что солнечная активность не оказывает на количество почвенных грибов никакого влияния. Только при дальнейших более подробных анализах было установлено, что солнечная активность состоит с количеством почвенных грибов в несколько

Таблица 24

влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений азота)

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижный азот
общих средних коэффициентов = 0,18							
0,03	—0,14	0,41	0,09	0,00	0,09	0,11	0,14
—0,14	0,22	0,24	—0,03	0,00	0,27	0,02	0,12
—0,09	—0,15	—	0,12	0,31	0,69	0,12	0,17
0,08	—0,20	—0,10	—0,02	0,25	0,06	0,00	0,14
0,05	—0,16	0,33	0,60	0,03	0,27	0,28	—0,04
—0,01	—0,09	0,27	0,15	0,12	0,28	0,11	0,11
общих средних коэффициентов = 0,16							
0,05	—0,07	0,06	—0,18	0,55	—0,08	—0,15	0,13
0,14	0,17	—0,08	—0,04	0,01	0,08	—0,27	0,09
0,00	0,02	—	—0,05	0,29	0,10	—0,03	—0,22
—0,34	0,04	0,23	0,02	—0,07	—0,01	0,08	—0,10
0,14	—0,03	0,09	0,12	0,24	0,02	—0,01	0,26
0,00	0,03	0,07	—0,03	0,20	0,02	—0,08	0,03

менее достоверной корреляции, чем с количеством почвенных водорослей, и что у грибов эта корреляция обратная, отрицательная.

Причина подобного противоположного воздействия солнечной активности на различные группы почвенных микроорганизмов нам пока неизвестна и здесь можно только строить некоторые предположения. По всей вероятности, это связано с биохимическими особенностями клеток организмов. Общеизвестно, что даже обычный солнечный свет оказывает различное влияние на различные организмы.

Отрицательная связь солнечной активности и количественной динамики почвенных грибов представлена наглядно на диаграмме рис. 9.

Отрицательная корреляция измерения количества грибов отмечается не только с числом Вольфа, но и с данными по радиоизлучению Солнца на частоте 204 мггц, причем такая корреляция в промерзших почвах даже более достоверна, чем у почвенных водорослей.

Основным фактором, влияние которого отражается на загадочном снижении количества почвенных грибов с 1965 по 1967 гг., является, как и у почвенных водорослей, влияние солнечной активности. Воздействие этого фактора на почвенные микроорганизмы до настоящего времени не отмечалось в литературе ни одним исследователем, как нам удалось выяснить. Причина выявления нами этого фактора состоит главным образом в том, что наши исследования по количественной динамике почвенных микроорганизмов проводились как раз в те годы, когда активность Солнца претерпевала наиболее резкое изменение: сравнительно быстрый переход от глубокого минимума в 1964—1965 гг. в один из наиболее резко выраженных максимумов 1966—1968 гг. Можно припомнить, что упомянутый максимум является не только максимумом обычного 11-летнего цикла, но, кроме того, еще максимумом 80—90-летнего, 400 и 600-летнего, а также предполагаемого 1800-летнего циклов солнечной активности (Рубашев, 1964). Это, конечно, должно было обнаружиться в особой интенсивности проявлений активности Солнца.

Следующая причина установления нового фактора влияния на развитие микроорганизмов почвы состоит в том, что наши исследования проводились в течение ряда лет и в течение всего года. Отдельными анализами, проводимыми притом только в течение вегетационного периода, совершенно невозможно фиксировать подобные явления и тем не менее установить их закономерность. Ясно, что их нельзя было установить и при исследовании пестрых полевых почв, где колебания в численности микроорганизмов не вызывают удивления ни у кого.

По качественному составу доминирующей группой грибов во всех биометрах была Penicillium, процент их от общего числа всех грибов колебался от 30 до 90, в среднем около 60%. Они же определяли кривую динамики грибов по годам, сезонам и биометрам.

Вслед за Penicillium из группы Imperfecti наиболее часто встречались грибы из родов:

1. Acremonium;
2. Torula;
3. Trichoderma;
4. Verticillium;
5. Fusarium;
6. Oidium;
7. Stachybotrys;
8. Botrytis;
9. Volutella;
10. Monilia;

11. Pestalozzia;
12. Stysanus;
13. Scopulariopsis и некоторые другие.

По годам встречаемость их изменялась, так, например, в биометрах первой серии опытов в 1962/63 и 1963/64 гг. на первом месте по количеству были Acremonium, затем Torula, Trichoderma и Verticillium; Monilia, Pestalozzia и Stysanus не вошли в первый десяток по встречаемости. В новых биометрах второй серии опытов (с 1964/65 до 1966/67 г.) на первом месте по количеству оказалась Torula, затем Acremonium, Verticillium, Fusarium и Trichoderma. Stachybotrys и Verticillium в 1966/67 году не вошли в первый десяток, зато в это время было много Monilia, Pestalozzia и Stysanus.

Роды Torula и Acremonium по частоте встречаемости занимают первые места во всех биометрах (за исключением, конечно, Penicillium). Сезонная динамика их в разные годы различна и установить в ней закономерность не удалось.

Род Verticillium чаще всего встречается в карбонатных почвах и особенно с тяжелым механическим составом, т. е. в почвах первого и пятого биометров. Меньше грибов из рода Verticillium было в подзолистой почве третьего и в торфяной почве четвертого биометров.

Грибов из рода Fusarium было по отношению к другим грибам больше в третьем биометре. В торфяной почве четвертого биометра заметно чаще, чем в других биометрах, встречались колонии Pestalozzia. Динамика Pestalozzia по годам в зависимости от метеорологических условий изменялась: в 1965/66 году ее было много весной и осенью, в 1966/67 году особенно много зимой, весной ее почти не наблюдалось, а вновь она появилась в конце лета и к осени ее количество возросло.

В течение всего времени нашего исследования во всех биометрах наблюдались то подъемы, то спады численности Monilia. Так, например, весной 1965 года Monilia почти не встречалась, летом ее было мало, а осенью того же года численность Monilia резко возросла, зимой 1965/66 года ее численность оставалась высокой, весной 1966 года наблюдался спад, который доходил до минимума летом. Осенью 1966 года и зимой 1966/67 года наметился вновь небольшой подъем, а весной 1967 года резкий скачок и массовое появление Monilia во всех биометрах, а затем опять спад. В 1968 году Monilia не была зафиксирована вообще.

Trichoderma в почвах биометров была одним из часто встречающихся грибов. В течение 1964/65 и 1966/67 годов численность ее относительно других грибов возрастала. Trichoderma больше встречалась в торфяной почве третьего и затем в подзолистой почве четвертого биометров; меньше ее было в карбонатных почвах второго и особенно первого биометров. Связь Trichoderma с сезонами проявлялась в разные годы по-разному, так:

в 1964/65 г. численный максимум ее наблюдался зимой;
„ 1965/66 г. „ „ „ летом;
„ 1966/67 г. „ „ „ осенью.

Общую закономерность ее сезонной динамики установить не удалось.

Встречаемость Stachybotrys по сезонам в течение всего года относительно равномерная; чаще встречается в карбонатной почве с тяжелым механическим составом первого и пятого биометров, т. е. в открытом и покрытом крышей вариантах карбонатных суглинистых почв.

Таковы некоторые общие замечания относительно качественного состава почвенных грибов в почвах наших биометров и закономерностей их годовой динамики.

В дальнейшем необходимо провести наиболее глубокие исследования по отдельным видам почвенных грибов для выявления закономерностей их развития и взаимосвязей между ними.

4. ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

В течение трех с половиной лет было определено количество почвенных водорослей всего в 629 пробах почвы. По данным этих анализов количество водорослей в почвах наших биометров колебалось от 1,0 до 1800,0 тысяч клеток на 1 г абсолютно сухой почвы. Максимальные и минимальные содержания водорослей в отдельные годы и в различных почвенных типах сильно различаются (табл. 25).

К количественным анализам содержания водорослей приступили в январе 1965 года. До этого в 1964 году было проведено несколько ориентировочных анализов на количество водорослей, с помощью которых были разработаны методы, приемы и питательные среды для дальнейшей работы. Данные этих ориентировочных анализов в сводках по общим средним данным не показываются.

Так как в анализах других микроорганизмов было использовано разделение года на четыре сезона равной продолжительности начиная с осени, то для получения сравнимых данных такое же распределение по сезонам пришлось применить и при анализе водорослей. За сезоны были приняты: осень — сентябрь, октябрь, ноябрь; зима — декабрь, январь, февраль; весна — март, апрель, май; лето — июнь, июль, август. Таким образом, зима 1965 года состоит только из двух месяцев, год кончается летом, а 1965/66 год начинается в сентябре 1965 года. Такое же расчленение года на сезоны было использовано и в предыдущей работе одного члена нашего авторского коллектива (Рахно, 1964).

В неполном 1965 году обнаружено наиболее равномерное количество водорослей с ясно выраженным минимумом летом и одинаковым средним количеством зимой и весной.

В 1965/66 году отмечается постепенное увеличение количества водорослей, причем максимум наблюдается в летний сезон, т. е. как раз противоположно данным предыдущего года. Некоторые отклонения были отмечены только в торфяной почве и почве из покрытой крышей биометров — в IV и V, где максимум численности клеток водорослей был весной. В общем увеличение численности водорослей было довольно значительным, среднее их количество летом 1966 года было почти в 15 раз выше, чем летом 1965 года.

Постепенное и постоянное увеличение количества водорослей продолжается и в следующие годы, превышая весной 1968 года почти в шестьдесят раз их количество, отмеченное летом 1965 года.

Ясно, что при таких темпах увеличения численности водорослей приходится предполагать наличие какого-то мощного фактора влияния на размножение водорослей, интенсивность которого претерпевает значительные изменения в течение сравнительно короткого периода исследований. Также ясно, что при постоянном увеличении количества водорослей нет оснований предполагать, что это результат влияния не только сезонности, но и прочих обычных факторов, которые в какой-то мере всегда связаны с сезонами. Выведение каких-либо закономерностей по сезонной количественной динамике почвенных водорослей совершенно невозможно, поскольку количество водорослей в одной и той же предельно равномерной почве и при относительно постоянных условиях постоянно изменяется в сторону увеличения, причем максимумы и минимумы содержания водорослей приходятся на различные сезоны.

Если количество бактерий в почве зависит в основном от времени попадания в почву питательных веществ, то на водоросли как фототрофные организмы это не оказывает существенного влияния. Так, внесение органического удобрения в январе 1966 года в почву второго биометра не оказало заметного влияния на численность водорослей в почве этого биометра.

Проведенный предварительный дисперсионный анализ данных двух лет о количестве водорослей показал, что на численность водорослей не оказывает существенного влияния ни один из известных нам пока факторов, т. е. ни сезоны, ни температура, ни влажность и т. д.

В то же время наблюдалось постоянное увеличение количества водорослей из года в год. По сравнению со средним количеством водорослей в течение трех сезонов 1965 года это количество увеличилось: в 1965/66 году — в 7 раз, в 1966/67 году — в 17 раз и за три сезона 1967/68 года — почти в 28 раз.

Единственный возможный вывод при сопоставлении фактов одновременного регулярного увеличения количества водорослей при неизменности всех известных нам факторов влияния может быть только тот, что на развитие водорослей в почве оказывает воздействие какой-то

Средние данные анализов по количеству почвенных водорослей в тысячах на 1 г абс.

Годы и сезоны	Средняя температура °С	Средняя влажность %	Биом					
			I			II		
			1	2	3	1	2	3
1965								
Зима (I—II)	0,0	23,4	4	30	25	3	14	25
Весна (III—V)	7,2	23,4	8	28	37	9	33	37
Лето (VI—VIII)	14,9	17,4	9	8	19	9	8	19
Среднее года	7,4	21,4	21	20	27	21	19	27
1965/66								
Осень (IX—XI)	5,3	19,0	13	46	20	9	28	20
Зима (XII—II)	—2,2	27,7	15	76	25	14	73	25
Весна (III—V)	3,8	26,5	10	158	45	11	106	45
Лето (VI—VIII)	15,1	17,5	7	438	75	8	194	75
Среднее года	5,9	22,7	45	142	41	42	95	41
1966/67								
Осень (IX—XI)	6,0	20,6	9	211	73	8	122	73
Зима (XII—II)	—2,1	27,8	12	308	141	13	414	141
Весна (III—V)	4,1	21,6	12	553	134	11	369	134
Лето (VI—VIII)	14,5	15,6	7	853	97	7	519	97
Среднее года	5,6	21,4	40	455	111	39	360	111
1967/68								
Осень (IX—XI)	8,4	20,2	13	495	109	12	410	109
Зима (XII—II)	—0,4	29,4	7	455	151	9	229	151
Весна (III—IV)	1,0	27,5	3	925	135	4	1412	135
Среднее года	3,0	25,7	23	539	131	25	505	131
Среднее всех анализов	5,5	23,4	129	290	79	127	245	79

1 = Количество анализов; 2 = количество водорослей в тыс. на 1 г абс. сухой почвы;

Таблица 25

сухой почвы и числу Вольфа по отдельным биометрам, годам и сезонам

етры									Среднее всех биометров		
III			IV			V					
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	27	25	—	—	—	—	—	—	10	24	25
9	19	35	—	—	—	7	13	39	33	24	37
8	18	17	2	39	0	10	28	15	38	18	14
20	19	25	2	39	0	17	25	27	81	21	25
14	45	20	13	43	21	13	20	21	62	37	20
11	136	26	13	106	31	14	80	31	67	92	27
12	247	44	13	193	44	13	149	44	59	172	44
7	360	75	9	124	78	7	94	78	38	235	76
44	173	41	48	116	43	47	87	43	226	121	41
11	500	73	10	170	73	10	87	73	48	228	73
11	179	141	12	233	142	12	190	142	60	268	141
11	416	134	10	575	134	13	178	134	57	409	134
10	439	97	6	178	97	9	221	97	39	463	97
43	382	111	38	298	111	44	169	111	204	331	111
13	364	109	12	227	109	11	308	109	61	364	109
8	518	151	8	175	151	6	1017	151	38	445	151
4	1083	135	4	666	135	4	890	135	19	999	135
25	528	131	24	283	131	21	621	131	118	492	131
132	285	78	112	212	87	129	193	82	629	245	79

3. = среднее число Вольфа за 7 дней, предшествующих анализу.

фактор, изменяющийся приблизительно в таком же темпе, как и численность водорослей при наших анализах.

При сравнении данных этих анализов с основным показателем солнечной активности, т. е. числом Вольфа, были обнаружены весьма интересные совпадения (см. табл. 25).

Оказывается, что число Вольфа в течение периода наших анализов увеличивается почти в таком же темпе, как и количество водорослей. Именно это совпадение навело нас на мысль искать объяснение некоторых непонятных пока отклонений при развитии почвенных микроорганизмов во влиянии солнечной активности.

Корреляция между числом Вольфа и количеством водорослей оказалось довольно значительной, хотя, конечно, она не могла быть абсолютной, поскольку некоторое влияние имеют все же и другие факторы. Отношения между количеством почвенных водорослей и числом Вольфа изображены графически на рис. 10, где численность водорослей логарифмирована из-за больших колебаний их в отдельных анализах. В дерново-карбонатных почвах первого, второго и пятого биометров количество водорослей при числе Вольфа в 50—70 резко увеличивается, при 80—100 несколько снижается и затем снова увеличивается, достигая максимума при 100—140. При дальнейшем увеличении числа Вольфа количество водорослей опять снижается и увеличивается снова при повышении числа Вольфа выше 200.

В дерново-подзолистой и торфяной почвах колебания количества водорослей несколько отличалось от вышеописанного.

При сравнении динамики количества водорослей в первом и пятом биометрах, заполненных одной и той же дерново-карбонатной суглинистой почвой с тем лишь различием, что пятый биометр был покрыт сверху подвижной крышей, защищающей почву от осадков и прямых солнечных лучей, наблюдались некоторые особенности. В июле 1967 год эту крышу покрыли медной жестью, которая по некоторым данным литературы (Piccardi, 1962, 1967 и др.). может изменять влияние солнечной активности. По данным Пиккарди, под металлическим, особенно медным, экраном осаждение хлористого висмута при гидролизе протекает более интенсивно. В наших опытах покрытие почвы медным экраном должно было привести к увеличению количества водорослей.

По нашим данным (табл. 26) в пятом биометре среднее количество водорослей до лета 1967 года было только 45% от количества в первом (непокрытом) биометре. С осени 1967 года, т. е. сразу после покрытия медной жестью, в пятом биометре началось увеличение количества водорослей. Уровень численности водорослей в первом биометре был достигнут в декабре 1967 года, а в январе и феврале 1968 года водорослей в пятом биометре по сравнению с первым биометром было 223%. Однако весной 1968 года количество водорослей в первом биометре увеличилось

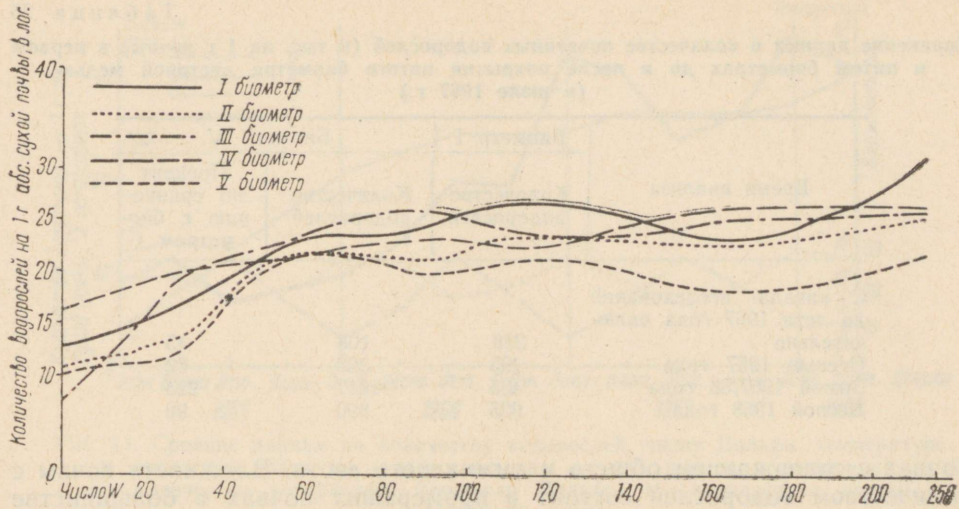


Рис. 10. Колебания численности почвенных водорослей в связи с изменением солнечной активности (числа Вольфа) по биометрам.

почти в два раза и несколько превысило их численность в пятом биометре. По-видимому, покрытие медной жестью пятого биометра все же оказало на динамику размножения водорослей положительное влияние, хотя для более точных выводов приведенных данных пока недостаточно. Сравнение вышеприведенных данных представлено в табл. 26.

Для получения более точного обзора о влиянии различных факторов был проведен корреляционный анализ всех имеющихся данных отдельно в промерзшей и незамерзшей почвах. Одним из показателей солнечной активности наряду с числом Вольфа был введен еще показатель радиоизлучения Солнца на частоте 204 мггц. Данные этих анализов приведены в табл. 27 и 28.

Из данных табл. 27 и 28 видно, что корреляция факторов влияния и количество водорослей в промерзшей и незамерзшей почвах различается. Единственно вполне достоверной корреляцией во всех почвах оказывается корреляция между численностью водорослей и числом Вольфа, которая притом несколько яснее выявляется в незамерзшей почве. Кроме того, в незамерзшей почве встречается положительная корреляция еще и с радиоизлучением Солнца, которая совершенно отсутствует в промерзшей почве. Все другие положительные связи являются достоверными только в отдельных пробах почв. Отрицательные связи имеются в некоторых промерзших почвах с Clostridium Pasteurianum и в незамерзших

Таблица 26

Сравнение данных о количестве почвенных водорослей (в тыс. на 1 г почвы) в первом и пятом биометрах до и после покрытия пятого биометра листовой медью (в июле 1967 г.)

Время анализа	Биометр I	Биометр V	
	Количество водорослей	Количество водорослей	Процент по сравнению с биометром I
С начала исследований до лета 1967 года включительно	236	108	45
Осенью 1967 года	495	308	62
Зимой 1967/68 года	455	1017	223
Весной 1968 года	925	890	96

почвах с содержанием общего и аммиачного азота. Влажность почвы с количеством водорослей состоит в промерзших почвах в большинстве случаев в положительной корреляции (за исключением первого биометно в незамерзших почвах преобладают отрицательные корреляции.

В условиях опыта температура и влажность почвы находятся в обратных отношениях, что хорошо видно на рис. 11, где соответствующие

Корреляции между количеством почвенных водорослей и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура почвы °С	Влажность почвы %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мгтц	Общее количество бактерий	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
1	+0,05	—0,10	+0,51	+0,06	+0,09	—0,06	—0,03
2	—0,13	+0,12	+0,34	—0.05	+0,19	+0,05	—0,22
3	0,00	+0,19	+0,41	—0,09	+0,41	—0,01	—0,30
4	—0,02	+0,50	+0,30	+0,09	—0,03	—0,10	—0,01
5	—0,20	+0,47	+0,54	—0,02	+0,35	—0,28	—0,20
Среднее всех биометров	—0,06	+0,24	+0,42	0,00	+0,20	—0,08	—0,15

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей = 0,15.

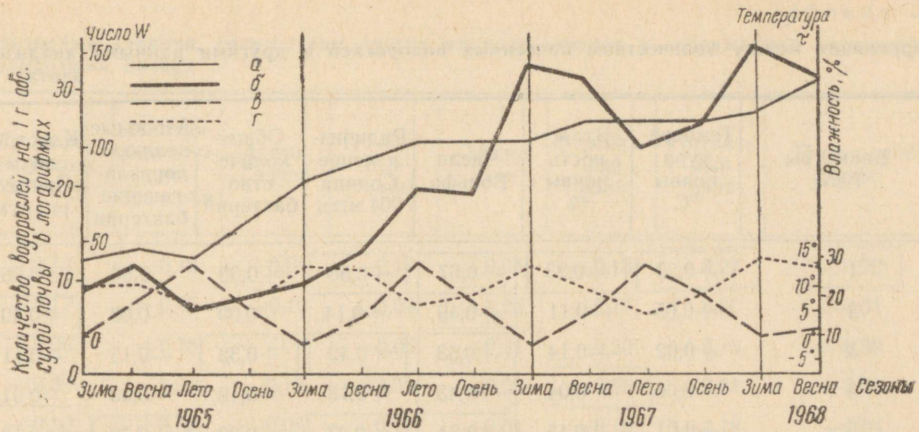


Рис. 11. Средние данные по количеству водорослей, числу Вольфа, температуре и влажности почвы по годам и сезонам за весь период исследований.
а = количество водорослей; б = число Вольфа; в = температура почвы; г = влажность почвы.

Таблица 27

(факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений промерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
—0,03	+0,21	0,00	+0,09	—0,26	+0,07	+0,01	—0,57
—0,14	+0,22	—0,20	—0.03	—0,19	—0,14	—0,16	—0,32
—0,03	+0,04	—	+0,12	—0,26	—0,03	—0,05	—0,16
+0,20	—0,29	—0,08	—0,02	+0,09	—0,11	+0,02	+0,16
+0,29	—0,04	+0,41	+0,60	—0,13	+0,26	+0,24	+0,03
+0,06	+0,04	+0,03	+0,15	—0.15	+0,01	+0,01	—0,15

Корреляция между количеством почвенных водорослей и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура почвы °С	Влажность почвы %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Общее количество бактерий	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
1	+0,23	—0,23	+0,67	+0,55	+0,09	0,00	+0,06
2	+0,05	—0,11	+0,49	+0,14	0,00	—0,08	+0,40
3	+0,02	—0,14	+0,53	+0,42	+0,32	—0,13	—0,11
4	—0,06	+0,04	+0,43	+0,18	—0,10	—0,03	—0,01
5	+0,01	+0.15	+0,34	+0,27	+0,20	+0,32	+0,18
Среднее всех биометров	+0,05	—0,07	+0,49	+0,31	+0,03	+0,02	+0,10
Предел достоверности отдельных показателей = 0,22; общих средних показателей = 0,12.							
Среднее всех почв и биометров:	+0,05	+0,08	+0,46	+0,16	+0,11	—0,03	—0,03

показатели приведены по годам и сезонам, как и отношения между количеством водорослей и числом Вольфа.

По росту колоний водорослей на твердой среде Данилова было определено количество водорослей по группам сине-зеленых, зеленых и диатомовых водорослей. Данные по подразделению водорослей по этим основным группам начиная с весны 1967 года приведены в табл. 29.

Данные, приведенные в табл. 29, показывают, что в исследуемых дерново-карбонатных почвах непокрытых биометров (биометры I и II с pH 7,0) количество сине-зеленых и зеленых водорослей приблизительно одинаково. В дерново-подзолистой почве (биометр III с pH 5,4) количество зеленых водорослей в среднем превышает количество сине-зеленых. В разложившейся торфяной почве количество водорослей в общем ниже, чем в других почвах, причем и здесь преобладают зеленые водоросли. Также в покрытой крышей дерново-карбонатной почве больше зеленых водорослей. Можно предполагать, что преобладание зеленых водорослей в дерново-подзолистой почве обусловлено повышенной кислотностью почвы, а на количество водорослей в покрытой крышей почве пятого биометра сказывается затемнение.

Таблица 28

(факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений незамерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
+0,15	—0,12	+0,06	—0,18	+0,05	—0,13	+0,22	+0,22
+0,17	+0,03	—0,10	—0,04	—0,25	—0,17	0,00	—0,01
+0,06	+0,18	—	—0,05	—0,11	—0,20	—0,15	—0,09
+0,02	+0,02	—0,13	+0,02	—0,20	—0,25	+0,01	+0,04
+0,30	+0,06	—0,06	+0,12	—0,01	—0,10	—0,18	—0,04
+0,14	+0,03	—0,06	+0,03	—0,10	—0,17	—0,02	+0,02
—0,02	+0,10	+0,03	+0,06	—0,12	—0,08	0,00	—0,06

Полученные данные в общем совпадают с данными других исследователей (Голлербах, 1953; Ваулина, 1958; Штина, 1959б; Носкова, 1968).

Максимум содержания зеленых водорослей во всех почвах отмечается осенью, причем особенно высоко их количество в дерново-подзолистой почве. Интересно отметить, что численность зеленых водорослей в дерново-карбонатных почвах остается на уровне осеннего максимума и зимой, в других почвах зимой снижается, но остается все же заметно выше летнего.

Высокое содержание водорослей осенью отмечает в своих работах также большинство других исследователей, например Титтор (Tittor, 1956), Умарова (1962), Потульницкий (1962), Мусаев (1965), Троицкая (1965) и Носкова (1968).

В противоположность данным о численности зеленых водорослей максимумы количества сине-зеленых водорослей встречались как летом, так и весной, а в первом биометре даже зимой.

Количество диатомовых водорослей во всех почвах относительно низкое, при посеве встречаются только единичные колонии на чашках Петри. Несколько больше диатомовых в дерново-карбонатных и торфя-

Таблица 29

Среднее количество водорослей по основным группам в тысячах на 1 г абс. сухой почвы по данным анализов 1967 и 1968 гг.

Сезоны	Биометр 1			Биометр 2			Биометр 3			Биометр 4			Биометр 5		
	Сине-зеленые	Зеленые	Диатомовые	Сине-зеленые	Зеленые	Диатомовые	Сине-зеленые	Зеленые	Диатомовые	Сине-зеленые	Зеленые	Диатомовые	Сине-зеленые	Зеленые	Диатомовые
Весна 1967 г.	22,5	4,5	4,8	32,1	7,6	1,5	34,8	17,4	2,0	17,6	9,4	1,0	18,1	8,8	0,5
Лето 1967 г.	24,5	28,0	1,7	34,7	26,7	2,5	36,2	39,0	0,7	15,2	19,2	3,4	15,5	25,2	1,0
Осень 1967 г.	24,1	36,5	2,1	29,5	42,5	4,3	30,3	66,8	0,7	9,8	32,6	1,0	11,3	41,1	0,7
Зима 1967/68 г.	31,5	36,7	1,2	27,2	42,0	3,0	25,0	45,0	0,7	12,2	22,7	5,0	16,7	35,5	0,6
Весна 1968 г.	25,6	23,6	1,2	28,3	30,3	1,2	17,0	53,6	0,9	5,3	24,0	—	12,6	13,3	0,6
В среднем:	25,3	25,0	2,4	30,6	29,9	2,7	29,6	44,8	1,0	12,7	21,9	2,3	14,9	25,3	0,7

ных почвах первого, второго и четвертого биометров, очень мало в дерново-подзолистой и в покрытой крышей дерново-карбонатной почвах третьего и пятого биометров.

Параллельно с количественными анализами почвенных водорослей были определены и доминирующие роды и отдельные виды водорослей. Из сине-зеленых водорослей доминировали:

из порядка Nostocales:

Amorphonostoc punctiforme (Kütz.) Elenk.;
Amorphonostoc punctiforme f. populorum (Geitl.) Hollerb.;
Stratonostoc Linckia (Roth) Elenk.;
Anabaena variabilis Kütz.;
Cylindrospermum muscicola Kütz.;
Cylindrospermum michailovskoense Elenk.;

из порядка Oscillatoriales:

Phormidium molle (Kütz.) Gom.;
Phormidium tenue (Menegh.);
Phormidium autumnale (Ag.) Gom.;
Phormidium corium (Ag.) Gom.;
Phormidium foveolarum (Mont.) Gom.;
Lyngbya Lagerheimii (Möb.) Gom.;
Lyngbya aerugineo-coerulea (Kütz.) Gom.

Из зеленых водорослей основными были виды рода Chlorella, затем — представители рода Chlorococcum, которых было несколько меньше. Из нитчатых форм Ulothrix и Trentepohlia.

Из желто-зеленых водорослей чаще встречались Chloridella и Botrydiopsis.

Настоящее исследование является первой попыткой изучения количественной динамики почвенных водорослей в течение нескольких лет не только в нашей республике, но, поскольку нам известно, вообще. На полученные результаты оказало существенное влияние то обстоятельство, что исследование было начато в последние годы так называемого «спокойного» Солнца (минимум цикла солнечной активности был в 1964 году) и продолжалось в годы «возмущенного» Солнца до максимальных показателей солнечной активности (максимум 11-летнего и более продолжительных циклов был в 1968 году). Это обстоятельство представило идеальную возможность для вовлечения в орбиту наших исследований нового фактора влияния.

Притом именно данные количественных анализов почвенных водорослей заставили обратить внимание на этот фактор. Хотя потом оказалось, что солнечная активность оказывает влияние на многие почвен-

ные микроорганизмы, это влияние могло все же остаться незамеченным, если бы не было чрезвычайных изменений в количестве водорослей, которые не могли остаться незамеченными. В этом смысле вышеприведенные результаты исследования количественной динамики почвенных водорослей представляют особый интерес.

С другой стороны, такие большие изменения количества водорослей, возникшие от воздействия одного особенно мощного фактора, могли скрыть более слабое влияние других факторов. Возможно, что это было причиной недостаточно четкого влияния влажности (в незамерзших почвах) и отсутствия влияния температуры. Дальнейшие исследования несомненно внесут ясность в эти вопросы.

5. ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА АММОНИФИЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ПРОЦЕССОВ АММОНИФИКАЦИИ В ПОЧВЕ

Определение численности аммонифицирующих бактерий было начато в январе 1965 года. Количество аммонифицирующих бактерий в течение первого года анализов было относительно постоянным, существенных различий в их количестве ни по сезонам, ни в промерзших или незамерзших почвах не было отмечено. Среднее количество их колебалось между пятью и шестью миллионами на 1 г абс. сухой почвы, что вообще можно считать невысоким содержанием. В более плодородных карбонатных почвах первого и пятого биометров и в торфяной почве четвертого биометра аммонифицирующих бактерий было несколько больше, чем в более бедных органическим веществом почвах второго и третьего биометров (рис. 12).

С января 1966 года численность аммонифицирующих бактерий стала резко возрастать и доходила в среднем до 15—16 млн. на 1 г почвы. Количество бактерий оставалось высоким в течение всего 1966 года, особенно в торфяной почве.

В почву второго биометра 12 января 1966 года был внесен измельченный искусственный навоз из расчета 3 кг на 1 м^2 (30 т/га), в результате чего содержание аммонифицирующих бактерий в пробах почвы из этого биометра увеличивалось до июня месяца.

В пробах, взятых 27 октября 1966 года из четвертого и пятого биометров, количество аммонифицирующих бактерий было в сотни раз выше, чем в предыдущих пробах. Эта вспышка продолжалась только в течение очень короткого времени, затем количество бактерий снова снизилось. Причина вспышки пока не совсем ясна, раньше подобные кратковременные увеличения количества бактерий были отмечены только ранней весной, сразу после таяния снега (Рахно, 1964, 91—95). В про-

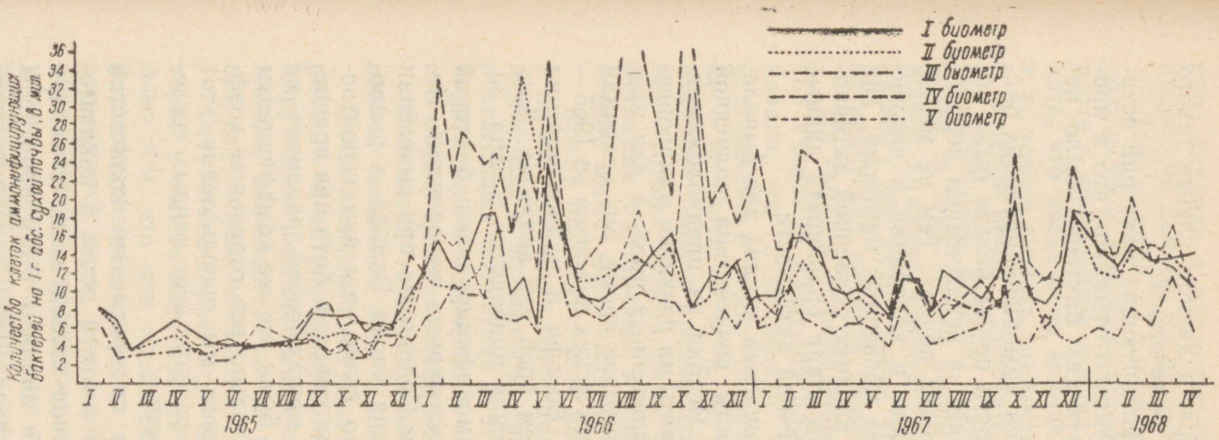


Рис. 12. Средние количества аммонифицирующих бактерий в млн. на 1 г абс. сухой почвы по биометрам и годам.

Таблица 30

Корреляционные коэффициенты различных периодов, предшествовавших взятию почвенных проб для анализа на содержание аммонифицирующих бактерий для сравнения с показателями солнечной активности

Число дней предшествующих анализу	I биометр			II биометр			III биометр			IV биометр			V биометр		
	B	P	K	B	P	K	B	P	K	B	P	K	B	P	K
3	0,48	0,45	0,53	0,36	0,56	0,56	0,52	0,49	0,58	0,42	0,46	0,51	0,56	0,61	0,67
5	0,46	0,38	0,46	0,45	0,54	0,55	0,52	0,42	0,52	0,45	0,30	0,45	0,61	0,52	0,62
7	0,43	0,46	0,48	0,56	0,64	0,65	0,48	0,46	0,50	0,51	0,39	0,51	0,66	0,59	0,67
14	0,40	0,38	0,45	0,68	0,44	0,69	0,37	0,13	0,38	0,47	0,23	0,47	0,62	0,35	0,62
28	0,37	0,27	0,38	0,76	0,68	0,82	0,44	0,15	0,45	0,45	0,22	0,45	0,63	0,45	0,65

Обозначение: B = число Вольфа;
P = радиоизлучение Солнца на частоте 204 мгц;
K = комбинация коэффициентов B и P.

Предел достоверности коэффициентов = 0,38.

бах, взятых на день раньше, т. е. 26 октября, в данном случае такого резкого увеличения количества бактерий не отмечалось.

В течение 1967 года количество аммонифицирующих бактерий оставалось на уровне предыдущего 1966 года. Можно отметить, что в промерзших почвах содержание аммонифицирующих бактерий было несколько выше.

При сопоставлении динамики размножения аммонифицирующих бактерий с изменениями температуры и влажности почвы нельзя было обнаружить их влияния на количество бактерий, за исключением небольшого увеличения в зимнее время в промерзших почвах. Тем не менее, отмечались довольно существенные изменения и колебания в численности как аммонифицирующих, так и других почвенных бактерий. Так как к этому времени уже было обнаружено влияние солнечной активности на количество почвенных водорослей, то стали сравнивать данные о количестве бактерий с показателями солнечной активности.

Был проведен предварительный корреляционный анализ для выявления периода оптимальной продолжительности воздействия солнечной активности на почвенные микроорганизмы. Исходя из предположения, что активность Солнца не может воздействовать на развитие микроорганизмов моментально, в самый день взятия почвенных проб, а для проявления такого воздействия необходимо некоторое время, мы сравнили данные наших микробиологических и агрохимических анализов за 1965—1966 гг. со средними показателями чисел Вольфа и радиоизлучения Солнца за 3, 5, 7, 14 и 28 дней перед взятием проб для анализов. Данные корреляционного анализа такого сравнения приводятся в табл. 30.

Оказалось, что между количеством аммонифицирующих бактерий и числом Вольфа существуют наиболее достоверные корреляции. Несколько хуже корреляция с радиоизлучением Солнца, но при выведении комбинированной корреляции общего влияния числа Вольфа и радиоизлучения достоверность корреляции обычно выше, чем при использовании только одного показателя солнечной активности. Хотя при сравнении предшествовавших анализу периодов между собой различия не особенно значительны, более равномерными были все же коэффициенты при периоде в 7 дней, где притом исключительно все отдельные коэффициенты были достоверными. В дальнейшем мы использовали этот период при математических анализах для сравнения всех данных исследования с показателями солнечной активности.

Окончательный корреляционный анализ по сравнению количества микроорганизмов и содержания соединений азота в почве с показателями солнечной активности охватывает период исследования с января 1965 года по апрель 1968 года, причем эти анализы были проведены раздельно в промерзших и незамерзших почвах. Данные корреляцион-

ного анализа в промерзших почвах приведены в табл. 31, а соответствующие данные по незамерзшим почвам — в табл. 32.

Данные табл. 31 показывают вполне достоверную корреляцию между количеством аммонифицирующих бактерий и содержанием аммиачного азота в промерзших почвах всех биометров. Отсюда приходится заключить, что увеличение количества аммонифицирующих бактерий связано, т. е., точнее сказать, вызывает увеличение содержания аммиачного азота в мерзлой почве. Следовательно, аммонифицирующие бактерии способны проводить активно процесс аммонификации зимой в промерзшей почве. К тому же мы имеем дело с неудобренными почвами, где содержание аммиака достигает иногда значительных размеров — до 11 мг на 100 г абс. сухой почвы. Источником азота здесь может быть или азот органических веществ почвы, или азот биологически связанный.

На кафедре почвоведения и агрохимии Эстонской сельскохозяйственной академии ежегодно проводились анализы, результаты которых показали, что в почвенных пробах содержание гумуса не снижалось. С осадками в наших условиях может попадать в почву в течение года до 5 кг азота на 1 га, но для промерзших почв это не может иметь значения. Можно предполагать, что при внесении в почву органических или азотных минеральных удобрений корреляция между аммонифицирующими бактериями и содержанием аммиачного азота в замерзших почвах может быть еще значительнее.

Кроме положительной корреляции с содержанием аммиачного азота в почве, аммонифицирующие бактерии состоят в положительной корреляции еще с почвенными грибами и водорослями, влажностью почвы и в отдельных биометрах с денитрифицирующими и т. д. Однако все эти корреляции в промерзших почвах непостоянны и даже при достоверности общих средних коэффициентов с ними трудно считаться.

Несколько иная картина получается от корреляционного анализа данных анализов проб в незамерзших почвах (табл. 32).

Здесь аммонифицирующие бактерии находятся в положительной корреляции с нитрифицирующими, целлюлозоразлагающими и денитрифицирующими бактериями, в отдельных случаях и в среднем еще с общим азотом, влажностью почвы и числом Вольфа. Достоверная отрицательная корреляция имеется с содержанием нитратов.

Отсутствие корреляции между количеством аммонифицирующих бактерий и аммиачным азотом в незамерзшей почве может быть обусловлено тем, что при повышенной температуре как биологические, так и ферментативные процессы протекают значительно интенсивнее, чем в промерзшей почве при отрицательных температурах. Вследствие этого образующиеся соединения аммиачного азота поглощаются различными микроорганизмами или же подвергаются нитрификации. Образующиеся нитраты затем точно так же поглощаются аммонифицирующими, аэроб-

Корреляция между количеством аммонифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум	Нитрифицирующие бактерии
I	—0,04	0,13	0,19	0,19	0,10	0,11	—0,03
II	—0,06	—0,15	0,07	0,19	—0,18	—0,40	—0,08
III	0,32	0,33	—0,10	—0,12	0,11	0,01	0,07
IV	0,05	0.33	—0,20	0,06	0,03	—0,02	0,18
V	—0,05	0,40	0,27	0,20	—0,25	0.08	0,43
Среднее всех биометров	0,04	0,21	0.05	0,10	—0,04	—0,04	0,11

Предел достоверности отдельных показателй = 0,30; общих средних показателей = 0,15.

Корреляция между количеством аммонифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум	Нитрифицирующие бактерии
I	—0,15	0,15	0,26	0,10	0,39	0,25	0,45
II	—0,09	0,27	0,09	0,04	0,27	—0,07	0,40
III	—0,02	—0,07	0,08	—0.03	0,12	0,14	0,39
IV	—0,04	0,01	0,21	—0,05	0,22	0,07	0,39
V	—0,09	0,34	0,20	0,01	0.52	0,06	0,44
Среднее всех биометров	—0,08	0,14	0,17	0,07	0,30	0,09	0,41

Предел достоверности отдельных показателей = 0,225; общих средних показателей

Таблица 31

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием промерзших почвах

Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
—0,06	0,52	0,17	0,09	—0,12	0,75	0,10	—0,11
0,35	0,05	0,39	0,19	—0,25	0,36	—0,36	—0,12
—0,18	—	0,28	0,19	—0,02	0,34	0,19	0,25
0,31	0,01	0,15	—0,03	0,16	0,60	0,69	0,15
0,38	0,23	0,21	0,35	0,03	0,36	0,03	0,30
0,16	0,20	0,24	0,20	—0,04	0,48	0,13	0,09

Таблица 32

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием незамерзших почвах

Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,34	—0,22	—0,21	0,09	—0,15	—0,10	—0,23	—0,07
0,21	0,8	0,05	0,00	0,38	—0,02	—0,19	—0,09
—0,30	—	—0,06	0,32	—0,10	—0,39	—0,29	0,21
0,24	0,07	—0,18	—0,10	0,22	0,03	0,31	0,09
0,22	0,07	0,27	0,20	0,29	0,00	—0,21	0,30
0,14	0,00	—0,03	0,10	0,13	—0,10	—0,25	0,10

= 0,12.

ными целлюлозоразлагающими и денитрифицирующими бактериями и перерабатываются в соединения органического азота или в молекулярный азот, который улетучивается. При повышении в почве количества азотфиксирующих микроорганизмов еще более увеличивается содержание общего азота.

Фактором, способствующим увеличению количества аммонифицирующих бактерий, является влажность почвы. Достоверность этого фактора выступает особенно в промерзшей почве, но выявляется и в некоторых незамерзших почвах.

Корреляция количества аммонифицирующих бактерий с показателями солнечной активности по сравнению с данными предварительных корреляционных анализов в конечном итоге значительно снизилась, т. е. дошла до предела статистической достоверности. Такое снижение корреляции является результатом очень резкого повышения солнечной активности в 1967 и 1968 годах. Оказывается, очень высокая солнечная активность (при числе Вольфа выше ста) начинается уже подавлять развитие аммонифицирующих бактерий. Лучшая корреляция между количеством аммонифицирующих бактерий и показателями солнечной активности была в 1966/67 г., когда актичность Солнца еще не достигла уровня следующих лет. Влияние различных значений солнечной активности на количество аммонифицирующих бактерий наглядно представлено на рис. 13.

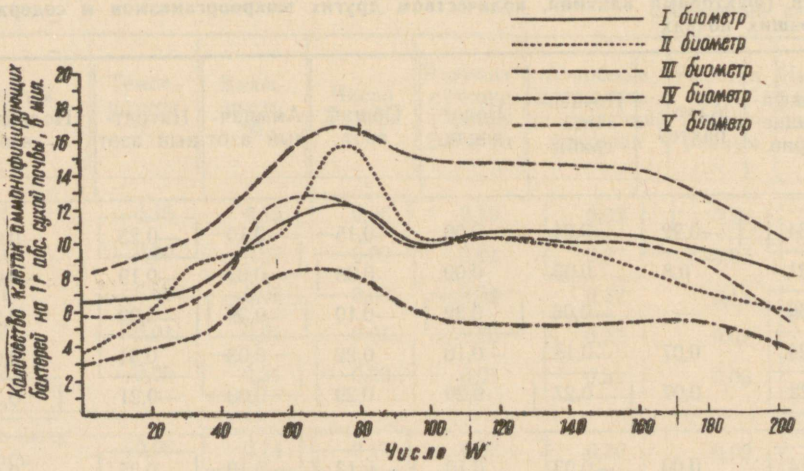


Рис. 13. Влияние солнечной активности (по числу Вольфа) на количество аммонифицирующих бактерий.

Наиболее благоприятное влияние на размножение аммонифицирующих бактерий оказывает солнечная активность, выраженная числом Вольфа около 100. При числе Вольфа больше ста наблюдается неблагоприятное воздействие солнечной активности на аммонифицирующие бактерии. В годы спокойного Солнца — в последнем цикле в 1964—1965 гг. — число Вольфа колебалось в пределах от 0 до 30. В 1964 г. среднее число Вольфа было 13, в 1965 г. — 20, в 1966 г. — 61, в 1967 г. — 133 и в 1968 г. при максимуме солнечной активности — около 150. Показатели радиоизлучения Солнца также коррелируются с числом Вольфа, коэффициент корреляции между числом Вольфа и радиоизлучением Солнца на частоте 204 мггц по нашим данным был 0,56. Однако корреляция между количеством аммонифицирующих бактерий и радиоизлучением Солнца была ниже корреляции с числом Вольфа и аммонифицирующими бактериями.

Состояние магнитного поля Земли находится также в зависимости от солнечной активности, однако при сравнении показателей магнитного поля Земли с количеством аммонифицирующих бактерий, коэффициент корреляции был ниже, чем при корреляции с числом Вольфа.

Все же нельзя считать и число Вольфа идеальным показателем солнечной активности при выявлении связей с биологическими процессами (Наиде, 1960; Шульц, 1964; Новикова и сотр., 1967; Слыш, 1968 и др.). Последние подчинены, по-видимому, не только влиянию магнитных полей пятен Солнца, но и хромосферным вспышкам, появлению флоккул, протуберанцев и волокон. Необходимы дальнейшие более тщательные исследования, чтобы выработать более надежную методику и возможно оптимальные показатели этого мощного воздействия, оказываемого Солнцем на земные логические биопроцессы.

При изучении динамики содержания связанного азота в почве оказалось, что среднее содержание соединений азота в течение всего исследования существенно не различалось. Однако в течение отдельного года можно было отметить большие колебания в содержании этих соединений азота. Хотя в предельно однородные почвы не было внесено никаких удобрений, содержание аммиачного азота в торфяной почве четвертого биометра колебалось от 0,5 мг до 25 мг на 100 г абс. сухой почвы, а в более плодородных карбонатных почвах первого и пятого биометров — от 0,5 мг до 11 мг на 100 г почвы. Максимальные содержания аммиачного азота отмечали чаще в зимние месяцы в промерзших почвах. Минимальное содержание аммиачного азота наблюдалось весной, в апреле и мае. Годовая и сезонная динамика содержания аммиачного азота представлена на рис. 14.

Из диаграммы 14 видно, что зимой в мерзлой почве накапливается аммиачный азот. Имеются данные и других авторов об аммонификации

Корреляция между содержанием аммиачного азота и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %%	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мгц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающее бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,19	0,49	—0,59	0,00	0,75	0,20	0,29
II	0,24	0,30	—0,55	—0,03	0,36	0,01	0,17
III	0,01	0,32	—0,65	—0,06	0,34	—0,09	0,23
IV	—0,01	0,36	—0,64	—0,02	0,60	0,00	0,24
V	—0,09	0,17	—0,70	—0,13	0,36	—0,24	0,11
Среднее всех биометров	0,07	0,33	—0,63	—0,05	0,48	—0,02	0,21

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между содержанием аммиачного азота и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %%	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мгц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,14	0,04	—0,49	—0,27	—0,10	—0,14	—0,24
II	0,21	0,07	—0,47	—0,32	—0,02	0,18	—0,03
III	0,10	0,18	—0,47	—0,25	—0,39	0,11	—0,20
IV	0,26	0,09	—0,35	—0,15	0,03	—0,01	0,00
V	0,18	—0,01	—0,47	—0,23	0,00	—0,08	0,09
Среднее всех биометров	0,18	0,07	—0,45	—0,24	—0,10	—0,03	—0,08

Предел достоверности отдельных показателей = 0,22; общих средних данных = 0,12.

Таблица 33

(факторами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений промерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Нитратный азот	Подвижной азот
—0,15	0,00	0,44	0,09	—0,07	0,01	0,24	—0,09
—0,14	0,00	0,29	0,27	—0,14	0,10	—0,07	0,20
—0,05	—0,44	—	0,69	—0,03	0,16	0,11	0,39
0,39	0,13	0,09	0,06	—0,11	0,46	0,70	0,09
0,09	0,04	0,26	0,27	0,26	0,01	0,09	0,06
0,03	—0,05	0,27	0,28	0,01	0,15	0,21	0,13

= 0,15.

Таблица 34

(факторами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений незамерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Нитратный азот	Подвижной азот
—0,18	0,02	0,10	—0,08	—0,13	—0,16	0,10	—0,04
—0,26	—0,05	0,03	0,08	—0,17	—0,02	0,10	—0,28
—0,52	0,23	—	0,10	—0,20	0,08	0,21	—0,18
0,02	0,08	0,33	—0,01	—0,25	0,18	0,20	—0,21
—0,08	0,00	0,12	0,02	0,10	0,13	0,35	—0,08
—0,20	0,06	0,14	0,02	—0,17	0,04	0,19	—0,16

в мерзлых почвах и об увеличении содержания аммония при низких температурах (Дадыкин, 1951 и др.).

Соответствующие корреляционные анализы по данным содержания аммиачного азота в почве были также проведены раздельно по данным анализов проб промерзших и незамерзших почв всех биометров. Коэффициенты этих анализов приведены в табл. 33 и 34.

Как показывают данные обеих таблиц, основным фактором, оказывающем влияние на динамику содержания аммиачного азота в почве, является солнечная активность, выраженная числом Вольфа. В анализах проб, взятых во время повышения солнечной активности, содержание аммиачного азота ниже и, наоборот, при меньшей активности Солнца содержание аммиачного азота выше. В промерзших почвах (табл. 33) в положительной корреляции с содержанием аммиачного азота состоят аммонифицирующие бактерии, затем почвенные грибы (особенно в кислой почве третьего биометра), что позволяет предполагать, что грибы в фиксации атмосферного азота в некоторых случаях могут иметь большее значение, чем это до сих пор предполагали. Дальше можно еще отметить склонность к положительной корреляции с солнечной активностью у Clostridium Pasteurianum и азотобактера. Из других соединений азота аммиачный азот имеет положительную корреляцию в некоторых почвах с нитратным и общим азотом, а из других факторов влияния — с влажностью почвы.

В незамерзшей почве вполне достоверная отрицательная корреляция сохраняется только с показателями солнечной активности, особенно с числом Вольфа. По этой корреляции составлена диаграмма, приведенная на рис. 15.

Из всех других корреляций достоверной является только положительная с азотобактером в четвертом биометре, с содержанием нитратного азота в пятом биометре и температурой в четвертом биометре. Во всех отмеченных случаях достоверны также средние положительные корреляции.

Из отрицательных корреляций можно отметить такую с нитрифицирующими бактериями (особенно во втором и третьем биометрах), с подвижным азотом (особенно во втором биометре) и с водорослями (особенно в четвертом биометре). В этих случаях имеются и достоверные средние отрицательные корреляции с содержанием аммиака. В одном случае (в третьем биометре) наблюдалась отрицательная корреляция с аммонифицирующими бактериями.

Таким образом в незамерзших почвах, кроме вполне достоверной отрицательной корреляции с солнечной активностью, с другими факторами как положительные так и отрицательные корреляции или отсутствуют, или находятся на границе достоверности.

Можно предполагать, что это обусловлено тем, что в теплые сезоны

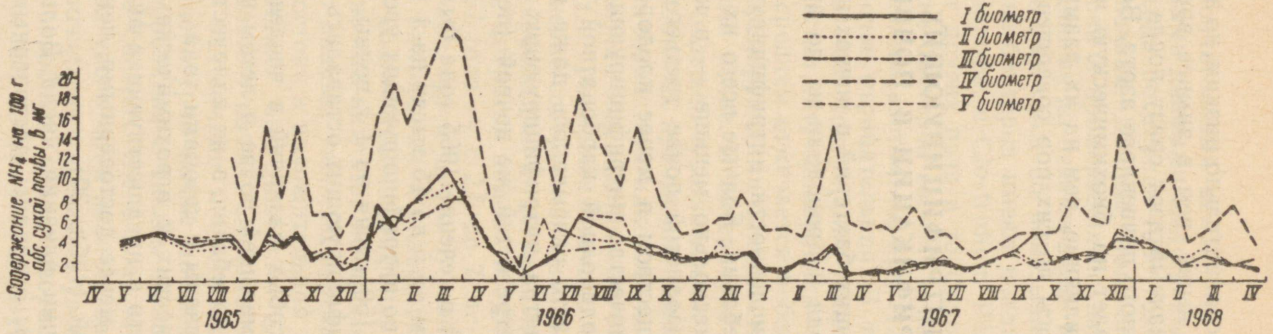


Рис. 14. Среднее содержание аммиака в мг на 100 г абс. сухой почвы по годам и биометрам.

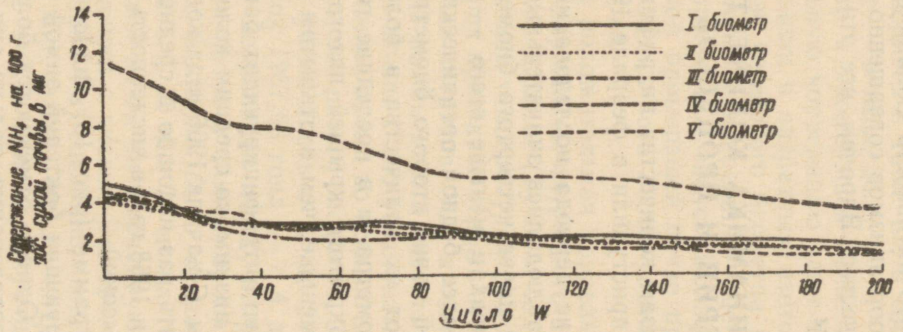


Рис. 15. Корреляция между содержанием в почвах биометров аммиака и показателем солнечной активности (числом Вольфа).

количество микроорганизмов может быть сравнительно низким, но активность их жизнедеятельности значительно выше, чем в зимнее время в мерзлых почвах. В результате этого аммиачный азот сразу после образования переходит в другие формы связанного почвенного азота. Весьма возможно, что активность Солнца оказывает на биохимическую активность микроорганизмов совершенно иное влияние, чем на их размножение и количество. Впрочем, все эти вопросы до сих пор совершенно не исследованы.

6. ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА НИТРИФИЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ПРОЦЕССОВ НИТРИФИКАЦИИ В ПОЧВЕ

К анализам количества нитрифицирующих бактерий в почвах наших биометров приступили в феврале 1965 года и проводили их до апреля 1968 года.

В течение периода исследований в численности нитрифицирующих бактерий наблюдались значительные колебания. Больше всего их было в торфяной почве четвертого биометра, несколько меньше — в карбонатных почвах и меньше всего — в подзолистой почве третьего биометра. В более бедной органическим веществом и менее плодородной карбонатной почве второго биометра количество нитрифицирующих не отставало от их количества в более плодородной карбонатной почве первого биометра, а в последние годы часто оказывалось даже выше. В почве покрытого крышей пятого биометра нитрифицирующих было несколько меньше, чем в открытом биометре с той же почвой (первого биометра).

Количество нитрифицирующих бактерий в течение 1965 года было относительно низким, со средним колебанием от 5 до 15 тысяч на 1 г абс. сухой почвы. С начала 1966 года количество нитрифицирующих увеличилось в десять раз и дошло в среднем до 150 тысяч на 1 г почвы. В течение 1967 и 1968 годов численность нитрифицирующих оставалась относительно высокой.

На диаграмме (рис. 16) видно, что особых различий в численности нитрифицирующих бактерий зимой в промерзшей почве и летом не наблюдается. Однако отмечаются большие колебания в их количестве во все годы исследования, только они не связаны с сезонами года.

При сравнении данных микробиологических и агрохимических анализов с показателями солнечной активности в предшествующие анализу дни коэффициенты корреляции оказались менее достоверными, чем в то же время у аммонифицирующих бактерий (табл. 30).

Только при комбинировании корреляции влияния числа Вольфа и радиоизлучения Солнца все коэффициенты оказались достоверными.

Окончательный анализ по корреляции нитрифицирующих бактерий с другими данными был проведен за все время исследования, с февраля 1965 года по апрель 1968 года, раздельно по промерзшим и незамерзшим почвам. Данные этого анализа по корреляции нитрифицирующих бактерий в промерзших почвах приводятся в табл. 35, а соответствующие данные по незамерзшим почвам — в табл. 36.

Данные табл. 35 показывают, что в промерзшей почве нитрифицирующие бактерии имеют положительную корреляцию чаще всего с числом Вольфа, с Clostridium Pasteurianum и нитратным азотом. В отличие от других почв в торфяной почве четвертого биометра нитрифицирующие бактерии состоят в положительной корреляции еще с общим и аммиачным азотом, но при этом корреляция с числом Вольфа в торфяной почве отрицательная. В торфяной промерзшей почве при высоких показателях содержания общего и аммиачного азота увеличивается и количество нитрифицирующих бактерий.

В среднем отмечается небольшая положительная корреляция между нитрифицирующими бактериями и содержанием нитратного азота в промерзшей почве. В литературе имеются данные (Tyler et al., 1959), что ввиду большей чувствительности к низким температурам Nitrobacter, чем Nitrosomonas, при низких температурах протекает первый этап нитрификации, содействуя накоплению в почве нитритов. Мы, к сожалению, не определяли содержания нитритов и не можем ничего сказать о содержании их в промерзших почвах. Однако можно было установить некоторое повышение содержания нитратов в зимнее время во всех почвах, особенно в карбонатной почве покрытого крышей пятого биометра. Здесь содержание нитратов зимой 1965/66 года увеличилось с 11 до 24 мг, зимой 1966/67 года — с 2,5 до 7 мг и зимой 1967/68 года — с 4 до 13 мг на 100 г абс. сухой почвы. В этой почве корреляция между нитрифицирующими бактериями и содержанием нитратов в зимнее время отсутствовала; количество нитрифицирующих бактерий было одинаковым при содержании нитратов во время зимы в 7, 13 или 24 мг на 100 г почвы.

По данным табл. 36 в незамерзшей почве нитрифицирующие бактерии состоят в положительной корреляции с числом Вольфа, аммонифицирующими бактериями, с Clostridium Pasteurianum, водорослями и влажностью почвы. Отрицательная корреляция между нитрифицирующими бактериями и азотобактером, аммиачным и нитратным азотом и температурой почвы наблюдается в незамерзшей почве.

Корреляция с числом Вольфа у нитрифицирующих бактерий значительно больше, чем с влажностью и температурой почвы.

При увеличении количества нитрифицирующих бактерий в незамерзших почвах одновременно увеличивается и количество аммонифицирующих, аэробных целлюлозоразлагающих, Clostridium Pasteurianum и водорослей, которые используют для своей жизнедеятельности как со-

Корреляция между количеством нитрифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мгц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,17	—0,05	0,22	—0,07	—0,03	0,02	0,48
II	0,12	—0,10	0,43	0,19	—0,08	—0,03	—0,04
III	0,23	—0,12	0,25	—0,26	0,07	0,17	0,13
IV	0,20	0,22	—0,22	—0,15	0,18	—0,22	0,32
V	—0,23	0,18	0,43	0,26	0,43	—0,14	0,15
Среднее всех биометров	0,10	0,03	0,22	0,00	0,11	—0,04	0,21

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между количеством нитрифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мгц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	—0,36	0,28	0,47	0,19	0,45	0,34	—0,08
II	—0,32	0,28	0,45	0,16	0,40	0,08	0,26
III	—0,11	—0,01	0,54	0,17	0,39	0,15	0,36
IV	—0,12	0,06	0,31	—0,14	0,39	0,34	0,33
V	—0,25	0,05	0,21	—0,08	0,44	0,44	0,20
Среднее всех биометров	—0,23	0,13	0,40	0,06	0,41	0,27	0,21

Предел достоверности отдельных показателей = 0,22; общих средних показателей

Таблица 35

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием промерзших почвах

Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,07	0,07	0,03	—0,03	0,00	—0,15	—0,01	—0,10
—0,07	0,06	—0,14	—0,14	0,11	—0,14	0,16	0,20
—0,12	—	—0,09	—0,03	—0,16	—0,05	0,36	—0,01
0,07	0,00	0,08	0,20	0,37	0,39	0,29	0,29
0,15	0,30	0,05	0,29	0,07	0,09	0,00	0,13
0,02	0,11	—0,01	0,06	0,08	0,03	0,16	0,10

= 0,15.

Таблица 36

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием незамерзших почвах

Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,13	—0,30	0,05	0,15	0,13	—0,18	—0,34	0,09
0,15	—0,13	0,14	0,17	0,18	—0,26	—0,13	0,11
—0,33	—	0,00	0,06	0,15	—0,52	—0,37	0,43
0,31	—0,24	—0,34	0,02	0,06	0,02	—0,03	—0,23
0,29	—0,14	0,14	0,30	—0,12	—0,08	—0,38	0,11
0,11	—0,20	0,00	0,14	0,08	—0,20	—0,25	0,10

= 0,12.

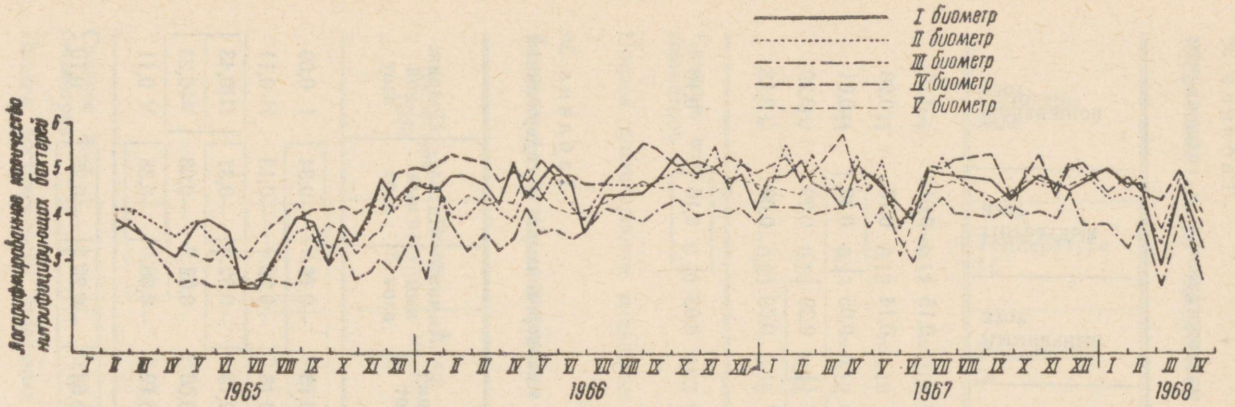


Рис. 16. Среднее логарифмированное количество нитрифицирующих бактерий по биометрам, годам и месяцам.

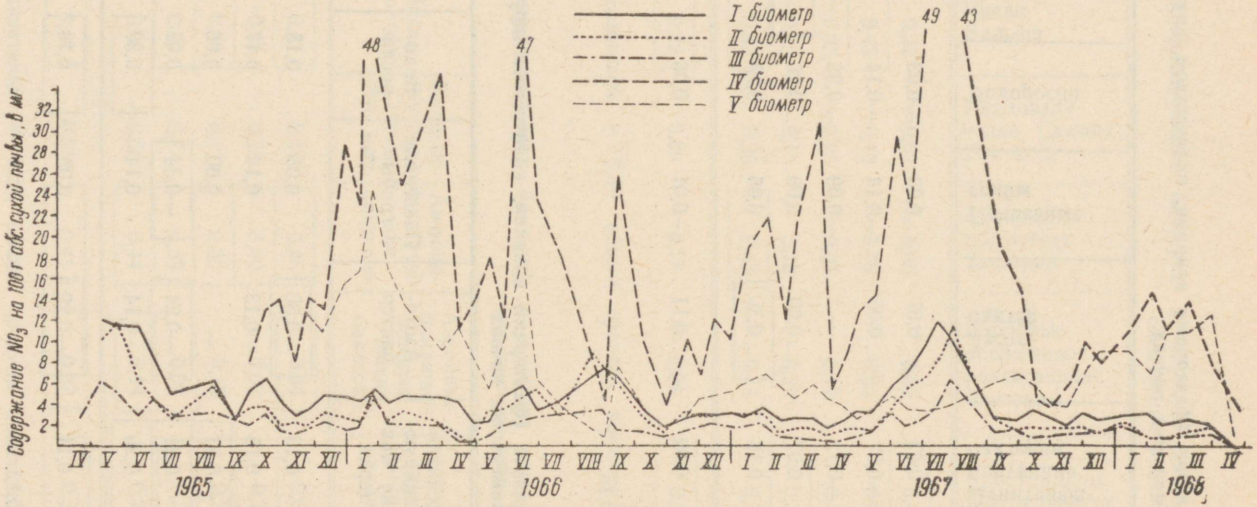


Рис. 17. Динамика содержания нитратов в почвах биометров по годам и месяцам.

державшийся в почве аммиак, так и цитраты. По-видимому, это является одной из причин отрицательной корреляции между количеством нитрифицирующих бактерий и содержанием нитратов в незамерзшей почве. Когда количество нитрифицирующих бактерий доходит до максимума, содержание нитратов идет уже на убыль. Можно еще отметить, что, как и у аммонифицирующих бактерий, численность микроорганизмов не всегда совпадает с интенсивностью их жизнедеятельности. Это особенно проявляется при сравнении количества микроорганизмов в зимнее и летнее время, в промерзших и незамерзших почвах. Количество большинства микроорганизмов выше в холодные сезоны, между тем известно, что в это время все жизненные процессы этих микроорганизмов существенно замедляются.

Содержание в почве нитратов в течение периода анализов подвергалось большим колебаниям. Хотя в почву не вносили никаких удобрений (за исключением внесения навоза в почву второго биометра в январе 1966 года) и почвы содержались все время без растительности, количество нитратов колебалось в первом биометре от 1 до 12 мг на 100 г абс. сухой почвы. В покрытом крышей пятом биометре с той же почвой содержание нитратов колебалось от 1 до 25 мг на 100 г почвы. Больше всего нитратов было в торфяной почве, т. е. от 2 до 48 мг на 100 г почвы. Во втором биометре содержание нитратов заметно не отличалось от содержания их в первом биометре. Меньше нитратов было в подзолистой почве третьего биометра.

На диаграмме (рис. 17) приведена динамика содержания нитратов в исследуемых почвах. Отсюда видно, что во всех открытых биометрах, несмотря на агрохимические различия почв этих биометров, кривые динамики нитратов довольно хорошо совпадают. Только динамика содержания нитратов в почве покрытого крышей пятого биометра несколько отличается от других.

В первом, 1965 году, исследования содержания нитратов в открытых биометрах после весеннего максимума было одинаково низко. В почве же четвертого биометра содержание нитратов увеличилось к концу 1965 года (в декабре) и достигло максимума в январе 1966 года. В почвах первого, второго и третьего биометров также наблюдался максимум содержания нитратов в конце января 1966 года. Второй максимум содержания нитратов в почвах этих трех биометров был летом, в августе 1966 года, а в торфяной почве четвертого биометра — несколько раньше, в июне. Минимальное содержание нитратов в почвах первого, второго и третьего биометров было в апреле и в конце октября 1966 года, а в торфяной почве — в августе и в конце октября того же года.

В 1967 году содержание нитратов в почвах первых трех биометров было немного выше в конце января с максимумом в июле. Этот максимум в пять раз превышал среднее содержание нитратов в этом году.

Первый минимум содержания нитратов в почвах этих биометров в 1967 году был в конце марта, а второй минимум — в ноябре-декабре. В торфяной почве время максимумов совпадало с первыми тремя биометрами, первый минимум был также в марте, а второй — в октябре.

Зимой 1968 года содержание нитратов во всех открытых биометрах оставалось на сравнительно низком уровне, некоторое увеличение отмечалось только в торфяной почве. В апреле 1968 года содержание нитратов снизилось до минимума.

В среднем за все время исследования максимальное содержание нитратов в почвах всех открытых биометров наблюдалось в летние месяцы. К таким же выводам пришли Солберг и Брэдли (Solberg and Bradlie, 1957), исследовавшие в течение трех лет в Норвегии динамику нитратов в неудобренных почвах без растительности.

В почве покрытого крышей пятого биометра содержание нитратов было в общем значительно выше, чем в открытых биометрах, и годовые максимумы содержания нитратов отмечались не в летние, как в открытых биометрах, а в зимние месяцы. Особенно высоким содержание нитратов было здесь в январе — феврале 1966 года ив феврале — марте 1968 года. Минимумы содержания нитратов, так же как и в первом биометре, отмечались в апреле и ноябре 1967 и 1968 гг.

Если в открытых биометрах минимальное содержание нитратов обусловливалось вымыванием осадками, то в почве пятого биометра возможность вымывания была устранена покрывающей биометр крышей. В этом биометре почву умеренно поливали только при заметном ее высыхании.

В почвах открытых биометров несомненно имело место вымывание нитратов, причем нитраты, вымытые дождевой водой (нижние горизонты), в летнее время снова поднимались восходящим током воды в поверхностные горизонты почвы и были вторично определены нами. Количество нитратов, вымытых дождевой водой и поднявшихся снова при засухе, в наших опытах нельзя было установить, но соответствующие данные имеются в литературе (Gadet et al., 1961).

Следует отметить, что совершенно различающиеся по своим свойствам почвы, как, например, кислая подзолистая почва в третьем биометре, торфяная и дерново-карбонатные почвы, имеют вполне сходную динамику содержания нитратов в любое время года.

Данные корреляционного анализа содержания нитратов с различными другими факторами приведены по промерзшим почвам в табл. 37 и по незамерзшим почвам — в табл. 38.

Наиболее четко выражены корреляции между содержанием в почве нитратов и показателями солнечной активности, числом Вольфа и радиоизлучением Солнца, причем корреляция является отрицательной как и при содержании аммиачного азота в почве.

В промерзшей почве все другие коэффициенты корреляции показывают большое значение почвенных особенностей для содержания нитратов. В положительной корреляции с содержанием нитратов находятся аммонифицирующие бактерии в торфяной почве, а в супесчаной карбонатной почве второго биометра даже в отрицательной корреляции. Затем имеются еще положительные корреляции с целлюлозоразлагающими во втором биометре, с клостридием и нитрифицирующими бактериями — в подзолистой почве третьего биометра и с азотобактером — в карбонатной суглинистой почве первого биометра. С увеличением содержания нитратов совпадает и увеличение содержания общего и аммиачного азота, особенно в торфяной почве. Небольшая положительная корреляция в промерзшей почве имеется также между содержанием нитратов и влажностью и температурой почвы (при снижении температуры снижается и содержание нитратов).

В незамерзшей почве имеется отрицательная корреляция между содержанием нитратов и влажностью, а с температурой — положительная. К подобным же выводам пришел и Раппе (Rappe, 1952—1953), который исследовал нитрификацию в полевых почвах Швеции. Паркер и Ларсон (Parker a. Larson, 1962) также пришли к выводу, что содержание нитратов увеличивается при повышении температуры и что излишняя влажность почвы может вызвать вымывание нитритов и денитрификацию, в результате чего содержание нитратов уменьшается.

Почву в покрытом крышей пятом биометре мы увлажняли только искусственно и притом весьма умеренно, чтобы предупредить возможность вымывания нитратов и в то же время излишнее высыхание почвы.

Содержание нитратов находится в отрицательной корреляции с аммонифицирующими бактериями, затем в несколько меньшей мере с аэробными целлюлозоразлагающими и нитрифицирующими бактериями.

Наиболее загадочной является отрицательная корреляция между количеством нитрифицирующих бактерий и содержанием нитратов в почве. На этом вопросе мы уже останавливались при разборе корреляции у нитрифицирующих бактерий. К этому можно еще добавить, что не исключена возможность, что и в наших почвах может иметь место небиологическая (фотохимическая) нитрификация, которая пока не выявлена в почвах умеренной климатической зоны, но о существовании которой в тропических почвах имеются данные (Ghildyal, 1964). Затем предполагают, что в наших почвах может иметь место аэробная денитрификация, при которой вначале образуются нитриты, которые, однако, до дальнейшей нитрификации в хорошо аэрируемых почвах снова реагируют с аммиачными соединениями по схеме Ван-Слайка, так что нитраты вообще не образуются, хотя имела место первая стадия процесса нитрификации (Allison, 1955; Gerretsen a. Hoop, 1957).

Содержание нитратов находится еще в положительной корреляции

Корреляция между содержанием нитратного азота и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,12	0,21	—0,54	—0,19	—0,10	0,11	0,20
II	0,14	0,26	—0,22	—0,30	—0,36	0,36	0,27
III	0,27	0,27	—0,21	—0,31	0,19	—0,14	0,31
IV	0,24	0,28	—0,43	0,02	0,69	0,21	—0,04
V	0,18	0,05	—0,42	—0,46	0,03	—0,14	—0,09
Среднее всех биометров	0,19	0,21	—0,36	—0,25	0,13	0,08	0,13

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между содержанием нитратного азота и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,40	—0,25	—0,15	—0,07	—0,23	—0,27	0,30
II	0,25	0,09	—0,16	—0,14	—0,19	—0,03	0,33
III	0,47	—0,37	—0,04	0,06	—0,29	—0,15	—0,23
IV	0,58	—0,41	—0,09	0,10	—0,31	—0,07	0,06
V	—0,07	0,12	—0,53	—0,23	—0,21	—0,32	—0,17
Среднее всех биометров	0,42	—0,23	—0,19	—0,06	—0,25	—0,17	0,06

Предел достоверности отдельных показателей = 0,22; общих средних показателей

Таблица 37

(факторами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений промерзшей почве

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Подвижной азот
—0,01	0,09	0,37	0,11	0,01	0,14	0,24	0,04
0,16	—0,11	0,14	0,02	—0,16	0,02	—0,07	—0,08
0,36	0,12	—	0,12	—0,05	0,23	0,11	—0,02
0,29	0,28	0,18	0,00	0,02	0,32	0,70	0,29
0,00	0,08	—0,01	0,28	0,24	0,11	0,09	—0,06
0,16	0,09	0,17	0,11	0,01	0,16	0,21	0,03

= 0,15.

Таблица 38

(факторами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений незамерзшей почве

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Подвижной азот
—0,34	0,04	0,09	—0,15	0,22	—0,09	0,10	0,03
—0,13	—0,17	0,21	—0,27	0,00	0,06	0,10	—0,04
—0,37	0,12	—	—0,03	—0,15	—0,06	0,21	—0,17
—0,03	—0,04	0,12	0,08	0,01	0,23	0,20	—0,04
—0,38	—0,29	0,13	—0,01	—0,18	0,33	0,35	—0,09
—0,25	—0,07	0,14	—0,08	—0,02	0,09	0,19	—0,07

= 0,12.

как в незамерзшей, так и в промерзшей почве, с аммиачным азотом. Такую корреляцию установил в своей работе и Данилевичиус (Danilevičius, 1962) при исследовании почв Литовской ССР. Корреляция содержания нитратов с солнечной активностью в незамерзших почвах несколько меньше, чем в промерзших почвах.

7. О ПОТЕРЯХ АЗОТА В ПОЧВАХ БЕЗ РАСТЕНИЙ

Можно предполагать, что потеря азота почвой должна отражаться прежде всего на потерях общего азота.

Нами проведены корреляционные анализы содержания общего азота, результаты которых приведены в табл. 39 (по промерзшим почвам) и 40 (по незамерзшим почвам).

К анализам по определению содержания общего азота мы приступили в январе 1965 года, причем до октября 1965 года анализу подвергали высушенные пробы почвы. Затем было установлено, что содержание азота в высушенных почвах ниже, чем при определении в свежих почвах, и поэтому в дальнейшем стали определять содержание общего азота в свежих почвенных пробах; результаты же анализов на содержание азота, проведенных до октября 1965 года, не были учтены в сводках и не использованы при корреляционном анализе. Корреляционный анализ по содержанию общего азота был проведен по данным агрохимических анализов с ноября 1965 года по апрель 1968 года.

Согласно результатам, приведенным в табл. 39, в мерзлых почвах достоверных данных по всем почвам не имеется. Наиболее достоверны отдельные и общие средние коэффициенты по корреляции между содержанием общего азота и подвижным азотом и влажностью почвы. Эти корреляции положительные, как и некоторые другие, средние коэффициенты которых приближаются к достоверности (с клостридием, нитратами, аммиаком и азотобактером).

В пробах из незамерзших почв (табл. 40) отмечается отрицательная корреляция между содержанием общего азота и числом Вольфа, которая в отдельных почвах и в среднем является достоверной. Небольшая положительная корреляция имеется между содержанием общего азота и количеством аэробных целлюлозоразлагающих бактерий и почвенных грибов. В общем все данные корреляционного анализа о содержании общего азота как в незамерзших, так и в промерзших почвах недостаточно определенны и ясны. Однако из них можно сделать один вполне определенный вывод: для содержания в почве общего азота почвенные различия имеют большее значение, чем все остальные факторы.

Данные о содержании общего азота в почвах различных биометров приведены в диаграмме рис. 18.

Мы видим, что в течение периода исследований в почвах биометров произошли довольно значительные колебания в содержании общего азота.

Первый минимум содержания общего азота в почвах первого, второго и третьего биометров был отмечен в январе 1966 года, а в почвах четвертого и пятого биометров — в феврале того же года, т. е. на месяц позже. Это доказывает, что азот может исчезнуть, улетучиться и в зимнее время из промерзшей почвы. Мы наблюдали быстрое снижение содержания общего азота в незамерзших почвах под снежным покровом, после же замерзания почвы содержание в ней общего азота восстанавливалось спустя несколько недель. На возможность денитрификации при нулевой температуре указывают и другие авторы (Schaefer, 1964).

Следующее заметное снижение содержания общего азота в почвах всех наших биометров отмечалось весной, в апреле и мае 1966 года. В данном случае потерю общего азота в почвах нельзя объяснять вымыванием, поскольку снижение содержания общего азота произошло в то время, когда воды от таяния снега уже до предыдущего анализа исчезли и почва успела согреться и просохнуть. Притом снижение содержания общего азота наблюдалось и в почве покрытого крышей пятого биометра, где вымывания не могло быть. Здесь потерю общего азота следует отнести за счет денитрификации вследствие повышения почвенной температуры при относительно высокой влажности почвы, что несомненно могло содействовать денитрификации.

В 1966 году можно было отметить еще и третий случай потери общего азота, который произошел в октябре — ноябре. На этот раз причиной снижения содержания общего азота могла быть как денитрификация, так и вымывание нитратов.

В январе 1967 года было снова отмечено снижение содержания общего азота в почвах всех биометров. В конце марта этого же года содержание общего азота резко снизилось в почвах первого, второго, третьего и пятого биометров и оставалось на низком уровне в течение всего лета. В торфяной почве четвертого биометра содержание общего азота хотя и претерпело в конце марта снижение, но летом (в июне—июле) восстановилось и снова снизилось в феврале 1968 года.

В почвах первого и второго биометров еще в октябре и ноябре 1967 года наблюдалось некоторое снижение содержания общего азота. Следующий минимум в этих почвах был отмечен в конце марта 1968 года.

В почве пятого биометра (под крышей) содержание общего азота заметно увеличилось в течение осенних месяцев 1967 года и сильно снизилось в конце января 1968 года.

В литературе об изменениях содержания общего азота в почве

Корреляция между содержанием общего азота и другими данными анализов (факто-
в промерзших

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	—0,14	0,09	—0,03	0,03	—0,12	0,01	0,18
II	0,24	0,46	—0,16	—0,04	—0,25	0,01	—0,17
III	0,08	0,20	—0,32	—0,12	—0,02	—0,14	0,47
IV	—0,04	0,52	0,07	0,22	0,16	0,02	0,38
V	0,05	0,15	0,32	0,22	0,03	—0,06	0,00
Среднее всех биометров	0,04	0,28	—0,02	0,06	—0,04	—0,03	0,17

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между содержанием общего азота и другими данными анализов (факто-
в незамерзших

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	—0,06	0,11	—0,19	—0,09	—0,15	0,12	—0,03
II	0,21	0,32	—0,27	—0,18	0,38	0,57	—0,05
III	—0,01	0,01	—0,07	—0,03	—0,10	0.11	0,26
IV	0.34	—0,19	—0,15	—0,04	0,22	0,06	0,21
V	0,04	0,45	—0,41	—0,19	0,29	0,31	—0,05
Среднее всех биометров	0,10	0,14	—0,22	—0,11	0,13	0,23	0,67

Предел достоверности отдельных показателей = 0,25; общих средних показателей

Таблица 39

рами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений азота) почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,00	0,06	0,03	0,00	—0,26	0,01	0,14	0,19
0,11	—0,12	0,15	0,00	—0,19	0,10—	0,02	0,55
—0,16	0,32	—	0,31	—0,26	0,16	0,23	0,14
0,37	0,18	0,15	0,25	0,09	0,46	0,32	0,39
0,07	0,19	0,24	0,03	—0,13	0,01	0,11	0,20
0,08	0,13	0,14	0,12	—0,15	0,15	0,16	0,29

= 0,18.

Таблица 40

рами влияния, количеством микроорганизмов и содержанием других соединений азота) почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,13	—0,15	—0,08	0,55	—0,05	—0,16	—0,09	0,20
0,18	—0,03	—0,33	0,01	—0,25	—0,02	0,06	0,13
0,15	—0,09	—	0,29	—0,11	0,08	—0,06	—0,09
0,06	0,25	0,04	—0,07	0,20	0,18	0,23	—0,06
—0,12	—0,18	0,06	0,24	—0,01	0,13	0,33	0,21
0,08	—0,04	—0,08	—0,20	—0,10	0,04	0,09	0,08

= 0,15.

имеются некоторые данные. Так, Хэбер (Hebért, 1960), проводивший еженедельные определения содержания общего азота в почвах Франции, обнаружил существенные колебания в содержании азота, достигавшие 50 кг/га в течение одного дня, причем эти изменения не были связаны ни с температурой почвы, ни с количеством осадков.

Картер и Аллисон (Carter a. Allison, 1960) на основании своих опытов пришли к выводу, что денитрификация меньше при равномерной аэрации почвы. Мак-Гарити (McGarity, 1962) считает, что чем больше колебания температуры и влажности почвы, тем активнее протекает денитрификация.

Как в естественных полевых условиях, так и в почвах наших биометров постоянно встречаются колебания как влажности, так и температуры, которые в определенные периоды увеличивают интенсивность потерь азота (денитрификацию).

Данные корреляционного анализа количества денитрифицирующих бактерий приведены в табл. 41 (по промерзшим почвам) и табл. 42 (по незамерзшим почвам).

Как видно из этих данных, количество денитрифицирующих бактерий в промерзших почвах состоит в корреляции с некоторыми бактериями — аммонифицирующими и азотфиксирующими.

Несколько различны от других почвенных разностей отношения в подзолистых почвах третьего биометра. В промерзшей почве количество денитрифицирующих бактерий было в отрицательной корреляции с показателями солнечной активности: числом Вольфа и радиоизлучением Солнца, а с аммонифицирующими бактериями отсутствовала положительная корреляция (которая, впрочем, отсутствует и в почве первого биометра).

По-видимому, в промерзших почвах денитрификация хотя и происходит, но она замедлена и в зимнее время фиксация атмосферного азота преобладает над денитрификацией, судя по увеличению содержания общего азота в промерзших почвах.

Корреляция количества денитрифицирующих бактерий с аммонифицирующими, анаэробными азотфиксаторами и нитрифицирующими выступает во всех почвах, кроме подзолистой, несколько яснее при положительной температуре почвы. Наоборот, в подзолистой незамерзшей почве количество денитрификаторов находится в отрицательной корреляции как с числом Вольфа, так и с количеством аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий. Такое различие отношения подзолистой почвы третьего биометра обусловлено, по-видимому, кислой реакцией этой почвы. Следует отметить, что корреляция количества денитрифицирующих бактерий в подзолистой почве третьего биометра является противоположной не только в отношении других групп бактерий, но и солнечной активности. Между тем если в других почвах корреляция

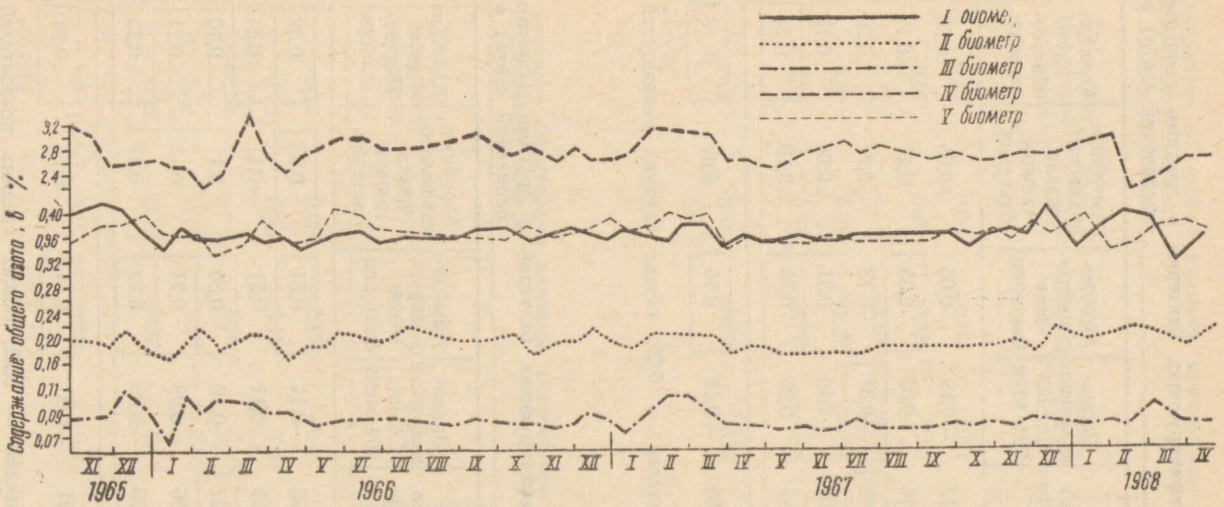


Рис. 18. Динамика содержания общего азота в почвах биометров по годам и месяцам.

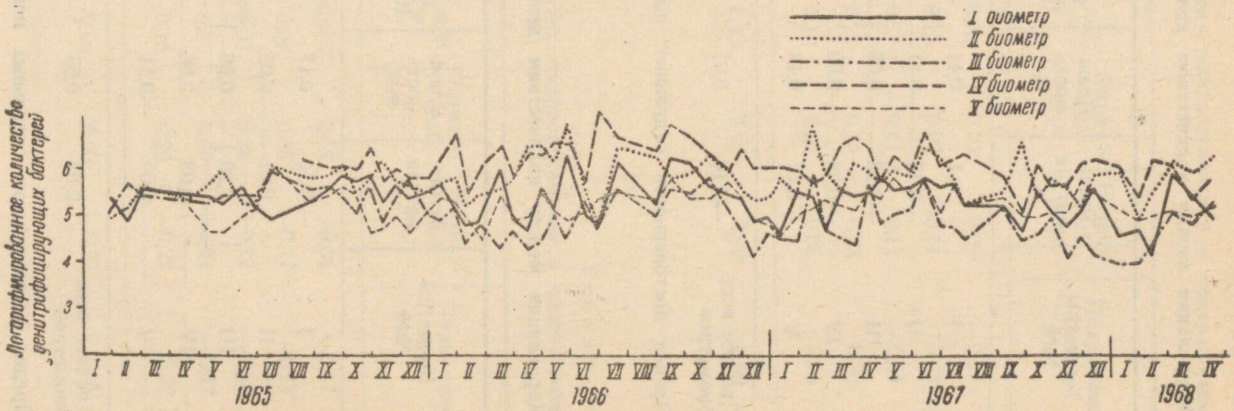


Рис. 19. Среднее логарифмированное количество денитри фицирующих бактерий по биометрам, годам и месяцам.

Корреляция между количеством денитрифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,1	0,11	—0,17	—0,19	—0,06	—0,05	0,28
II	—0,13	—0,11	0,16	0,03	0,35	0,27	—0,12
III	—0,23	0,00	—0,48	—0,37	—0,18	—0,27	0,20
IV	—0,08	—0,09	0,05	—0,14	0,31	0,06	0,19
V	—0,07	0,14	0,17	0,06	0,38	0,10	0,34
Среднее всех биометров	—0,10	0,01	—0,05	—0,12	0,16	0,02	0,18

Предел достоверности отдельных показателей = 0,25; общих средних показателей

Корреляция между количеством денитрифицирующих бактерий и другими данными соединений азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %%	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	—0,16	0,17	0,03	—0,11	0,34	0,25	0,32
II	0,01	0,05	0,09	0,11	0,21	—0,11	0,34
III	0,26	0,06	—0,27	—0,10	—0,30	0,11	0,10
IV	0,03	0,06	0,06	—0,08	0,24	0,13	0,21
V	0,00	—0,11	0,03	—0,05	0,22	0,17	0,23
Среднее всех биометров	0,03	0,05	—0,01	—0,05	0,14	0,11	0,24

Предел достоверности отдельных показателей = 0,22; общих средних показателей

Таблица 41

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием промерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,07	0,09	—0,14	0,21	0,06	0,00	0,09	—0,09
—0,07	0,22	0,22	0,22	—0,12	0,00	—0,11	0,03
—0,12	—	—0,15	0,04	0,32	—0,41	0,12	—0,24
0,07	0,08	—0,26	—0,29	0,18	0,13	0,28	0,00
0,15	0,37	—0,16	—0,04	0,19	0,04	0,08	—0,16
0,02	0,19	—0,09	0,03	0,13	—0,05	0,09	—0,09

= 0,15.

Таблица 42

анализов (факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием незамерзших почвах

Нитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,13	0,03	—0,07	—0,12	—0,15	0,02	0,04	—0,17
0,15	0,03	0,17	0,03	—0,03	—0,05	—0,17	—0,17
—0,33	—	0,02	0,18	—0,09	0,23	0,12	—0,16
0,31	0,11	0,04	0,02	0,25	0,08	—0,04	—0,17
0,29	—0,12	—0,03	0,06	—0,18	0,00	—0,29	0,22
0,11	0,01	0,03	0,03	—0,04	0,06	—0,07	—0,09

= 0,12.

с числом Вольфа почти отстуствует, во всяком случае недостоверна, то в подзолистой почве количество денитрификаторов с числом Вольфа как в промерзшей, так и в незамерзшей почве находится во вполне достоверной отрицательной корреляции.

Особенно интересно то, что количество денитрифицирующих бактерий не имеет никакой корелляции с влажностью почвы, что позволяет предположить, что денитрифицирующие бактерии могут одинаково хорошо развиваться при различной степени влажности почвы и нет основания считать особенно пригодной для их развития высокую влажность почвы.

В соответствии с этим можно считать, что основной причиной потерь азота в наших почвах является аэробная денитрификация, особенно в незамерзших почвах. Это соответствует предположению, которое было впервые высказано Аллисоном (Allison, 1955), согласно которому нитрификация может иметь место только при достаточной аэрации и что потери азота происходят одновременно с процессом нитрификации в соответствии со схемой Ван-Слайка.

Из табл. 36 с данными по корреляции нитрифицирующих бактерий в незамерзших почвах мы видим, что количество нитрифицирующих бактерий состоит в отрицательной корреляции с содержанием как нитратного, так и аммиачного азота.

По-видимому, нитриты, возникающие на первом этапе нитрификации, могут вступать в реакцию с аммиачными соединениями до превращения в нитраты и вследствие такой реакции образуются газообразные соединения азота N_2O и N_2, которые улетучиваются.

Дхар и Гупта (Dhar a. Gupta, 1961) нашли, что при разложении органических веществ в тропических почвах возникает соединение NH_4NO_2, которое под воздействием света может разлагаться по следующей схеме: $NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O + 718$ Kkal. Пока трудно сказать, имеет ли место подобная реакция в наших условиях, однако, то, что содержание нитратов в почве покрытого крышей пятого биометра выше, чем в той же почве открытого первого биометра, свидетельствует о возможности какой-то подобной реакции.

Баржак (De Barjac, 1954), Степанова (1958), Михалева и Лупанова (1964) нашли, что денитрифицирующие бактерии стимулируют деятельность некоторых азотфиксирующих микроорганизмов и наперекор общепринятому мнению могут быть причислены к микроорганизмам, повышающим плодородие почвы.

В соответствии с данными наших опытов нет причин считать содержание денитрифицирующих бактерий в почве по крайней мере вредным или нежелательным для ее плодородия.

Данные о содержании денитрифицирующих бактерий в различных почвах наших биометров приведены в диаграмме на рис. 19.

Мы видим, что на протяжении исследования имели место значительные колебания количества денитрифицирующих бактерий. Больше всего денитрифицирующих бактерий было в торфяной и супесчаной карбонатной почве второго биометра. В почве покрытого крышей пятого биометра денитрифицирующих бактерий было меньше, чем в той же почве открытого первого биометра. Количество денитрифицирующих бактерий не связано с сезонами; зимой их приблизительно столько же, сколько и летом.

Гхилдьял (Ghildyal, 1964), а также Вуллштейн и Гилмур (Wullstein a. Gilmour, 1964) утверждают, что потери азота могут происходить и независимо от микробиологических факторов — в стерильных условиях вследствие физико-химического процесса. К сожалению, у нас нет пока возможности делать заключение о наличии или отсутствии небиологической денитрифкации в наших почвах. Разрешение этого вопроса является делом дальнейших исследований.

8. О ФИКСАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В ПОЧВАХ БЕЗ РАСТЕНИЙ

По данным некоторых авторов (Dhar a. Banerjee, 1961; Colar a. Greenland, 1963), каждый год с урожаем сельскохозяйственных культур из почвы выносится почти на 90% больше азота, чем его вносят туда с удобрениями или связывают симбиотическими микроорганизмами. Пусть эти данные будут и не совсем точными, разница в любом случае будет огромная и восполнение ее вряд ли возможно без помощи своводноживущих азотфиксирующих организмов.

В различных условиях установлены большие колебания в содержании общего азота почвы. Джонс (Jones, 1957) обнаружил в своих опытах заметные колебания общего азота, причиной которых считает условия погоды. Он же цитирует данные Уилстона и Али (Wilsdon a. Ali, 1922), которые установили большие колебания в содержании общего азота в почвах, но не смогли определить причину таких колебаний или найти корреляцию их с какими-либо известными условиями. Дальше Джонс приводит еще данные Диамонда (Diamond, 1937), который также обнаружил большие колебания в содержании общего азота в почве и отметил, что подобные колебания были связаны с наступлением весны.

Как уже отмечалось выше, в почвах наших биометров в течение периода исследований наблюдались также большие изменения в содержании общего азота. В диаграмме, изображенной на рис. 18, отображены резкие снижения содержания общего азота и через некоторое время сравнительно быстрое восстановление уровня содержания общего азота приблизительно на прежнюю высоту.

В конце 1965 года в почвах первого, третьего и пятого биометров отмечалось высокое содержание общего азота. После минимума в январе содержание общего азота в этих биометрах снова увеличилось и оставалось сравнительно высоким до весеннего минимума в апреле — мае 1966 года. В почвах четвертого и пятого биометров наблюдался еще летний максимум в июне—июле 1966 года.

Почва второго биометра в январе 1966 года была удобрена навозом, но, несмотря на это, содержание общего азота в ней до конца года почти не изменялось.

На рис. 18 мы видим, что в 1967 и 1968 годах содержание общего азота во всех биометрах в зимние месяцы было сравнительно высоким, хотя зимой отмечались и кратковременные резкие снижения содержания общего азота и, кроме того, в торфяной почве и в почве покрытого крышей пятого биометра наблюдались максимумы содержания общего азота еще и летом 1966 года. В общем можно все же считать, что содержание общего азота выше зимой и в промерзших почвах.

Согласно данным корреляционного анализа содержание общего азота в промерзших почвах всех биометров (табл. 39) находится в положительной корреляции с влажностью почвы и содержанием подвижного азота.

Содержание азота в промерзшей кислой подзолистой почве третьего биометра находится в положительной корреляции с количеством Clostridium Pasteurianum и почвенных грибов, а кроме того, еще и с количеством денитрифицирующих бактерий. По-видимому, в этой почве основными фиксаторами атмосферного азота являются клостридии и грибы. Что же касается корреляции содержания общего азота с количеством денитрифицирующих бактерий, то можно только предполагать, что в данном случае высокое содержание азота стимулирует размножение денитрификаторов, не вызывая, однако, при этом заметной денитрификации и потерь азота.

О фиксации азота Clostridium Pasteurianum в литературе имеется множество данных, в то время как о фиксации молекулярного азота почвенными грибами имеется сравнительно мало сведений. Так, Наплекова (1968) нашла, что из 57 культур грибов 14 дали хороший рост в безазотистой среде с клетчаткой, а 10 проверенных культур фиксировали 10—18 мг азота на 1 г целлюлозы. Мур (Moore, 1963) выделил из почвы способные к азотфиксации Fungi и Lipomyces. Вухрер и Одинцов (1958) считают, что в кислых почвах фиксаторами азота могут быть грибы и т. д.

Содержание общего азота в промерзшей торфяной почве состоит в положительной корреляции, кроме влажности почвы и содержания подвижного азота, еще с количеством Clostridium Pasteurianum нитрифицирующих бактерий и содержанием аммиака и нитратов. Изменения в содержании всех четырех форм азота, которые были определены в

наших опытах, происходили приблизительно в одно время. Связь с Clostridium Pasteurianum может быть объяснена и здесь фиксацией азота этим микроорганизмом. Положительная корреляция содержания общего азота с количеством нитрифицирующих бактерий, по-видимому, зависит от того, что обе эти величины состоят одновременно в такой же корреляции с нитратами.

В незамерзших почвах общий азот имеет положительную корреляцию с количеством аэробных целлюлозоразлагающих бактерий. О стимулировании деятельности азотфиксирующих микроорганизмов целлюлозоразлагающими бактериями в литературе имеется довольно много данных.

В почве второго биометра при положительной температуре содержание общего азота состояло в положительной корреляции, кроме количества целлюлозоразлагающих, еще и с количеством аммонифицирующих бактерий и влажностью почвы. В подзолистой почве третьего биометра и при положительной температуре имелись положительные корреляции с Clostridium Pasteurianum и грибами, а в торфяной почве — с денитрифицирующими бактериями и температурой почвы.

Положительная корреляция содержания общего азота, кроме целлюлозоразлагающих бактерий, в незамерзшей почве пятого биометра имелась еще и с аммонифицирующими бактериями, содержанием нитратов и влажностью почвы.

Корреляция содержания общего азота с влажностью почвы свидетельствует о том, что в анаэробных условиях фиксация атмосферного азота может быть активнее, чем в аэробных условиях. К сходным выводам пришли также Чанг и Кновлес (Chang a. Knowles, 1965) и Иенсен (Jensen, 1940).

Данные о корреляции количества Clostridium Pasteurianum с другими показателями приведены в табл. 43 и 44.

Из табл. 43 видно, что Clostridium Pasteurianum имеет в промерзшей подзолистой почве третьего биометра самые лучшие корреляции со всеми формами азота. Отсюда можно заключить, что в почве с кислой реакцией Clostridium Pasteurianum способен фиксировать атмосферный азот в заметных количествах.

В той же почве имеют положительные корреляции со всеми формами азота также почвенные грибы: с общим азотом — 0,31: аммиаком — 0,69; нитратами — 0,12 и подвижным азотом — 0,17. В этой почве увеличение общего азота непосредственно связано с количеством обоих вышеобозначенных микроорганизмов.

Чанг и Кновлес (Chang a. Knowles, 1965) проводили исследования фиксации молекулярного азота с использованием N^{15} и нашли, что в анаэробных условиях имеется достоверная корреляция между фиксированным азотом и количеством свободноживущих почвенных микроорга-

Корреляция между количеством Clostridium Pasteurianum и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %%	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Нитрифицирующие бактерии
I	0,45	0,23	0,14	0,03	0,11	0,09	0,48
II	—0,06	—0,07	—0,07	—0,11	—0,40	0,26	—0,04
III	—0,03	0,03	—0,01	0,00	0,01	—0,09	0,13
IV	0,07	0,05	0,17	0,06	—0,02	0,11	0,32
V	0,11	—0,16	0,04	—0,04	0,08	0,34	0,15
Среднее всех биометров	0,11	0,02	—0,05	—0,01	—0,04	0,14	0,21

Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между количеством Clostridium Pasteurianum и другими данными анализов азота) в

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Нитрифицирующие бактерии
I	0,14	—0,04	0,33	0,14	0,25	—0,10	—0,08
II	0,09	—0,12	—0,03	—0,07	—0,07	0,11	0,26
III	0,10	0,00	0,01	—0,03	0,14	0,30	0,36
IV	0,33	—0,09	0,09	—0,12	0,07	0,14	0,33
V	0,07	—0,06	0,08	0,13	0,06	0,31	0,20
Среднее всех биометров	0,15	—0,06	0,06	0,01	0,09	0,15	0,21

Предел достоверности отдельных показателей = 0,25; общих средних показателей

Таблица 43

(факторами влияния, количеством других, микроорганизмов и содержанием соединений промерзших почвах

Денитрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,28	0,23	0,03	—0,03	0,18	0,29	0,20	0,07
—0,12	0,07	—0,13	—0,22	—0,17	0,17	0,27	—0,11
0,20	—	0,31	—0,30	0,47	0,28	0,31	0,31
0,19	—0,08	—0,15	—0,01	0,38	0,24	—0,04	—0,24
0,34	—0,05	—0,12	—0,20	0,00	0,11	—0,09	—0,01
0,18	0,04	—0,01	—0,15	0,17	0,22	0,13	0,00

= 0,18.

Таблица 44

(факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений незамерзших почвах

Денинтрифицирующие бактерии	Азотобактер	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,32	0,11	0,00	0,06	—0,03	—0,24	0,30	0,06
0,34	—0,18	—0,10	0,40	—0,05	—0,03	0,33	0,00
0,10	—	—0,06	0,11	0,26	—0,20	—0,23	—0,06
0,21	—0,08	0,03	—0,01	0,21	0,00	0,06	—0,13
0,23	—0,05	—0,07	0,18	—0,05	0,09	—0,17	—0,05
0,24	—0,07	—0,04	0,10	0,07	—0,08	0,06	—0,04

= 0,16.

низмов. Делвиш и Вейлер (Delwiche a. Wyler, 1956), применяя также N^{15}, установили содержание фиксированного азота в частицах нитратов и аммиака. В соответствии с этим можно считать, что если количество азотфиксирующих микроорганизмов состоит в корреляции с аммиаком и нитратами, то этот микроорганизм связан с фиксацией азота в этих соединениях.

У Clostridium Pasteurianum имеется корреляция с соединениями азота в зимние месяцы и в других почвах, кроме подзолистой. С содержанием общего азота Clostridium Pasteurianum имеет достоверную положительную корреляцию, кроме подзолистой почвы, также в торфяной почве четвертого биометра. Отсюда можно заключить, что и в богатой азотом торфяной почве может происходить фиксация атмосферного азота, в которой определенную роль играет Clostridium Pasteurianum.

Количество Clostridium Pasteurianum находится в положительной корреляции еще с количеством нитрифицирующих бактерий в почвах первого и четвертого биометров. По-видимому, условия, являющиеся благоприятными для одного микроорганизма, способствуют развитию и другого. Можно полагать также, что клостридий и денитрифицирующие бактерии оказывают взаимное содействующее влияние друг на друга, причем в случае совместного развития денитрифицирующие не вызывают потерь азота в почве. Почти во всех случаях количество клостридия находится в положительной корреляции с количеством денитрифицирующих бактерий, а также и с нитрифицирующими бактериями. Это позволяет предположить, что эти бактерии оказывают взаимное благоприятное влияние на развитие других.

В незамерзшей подзолистой почве третьего биометра клостридий имеет также положительную корреляцию с содержанием общего азота, что свидетельствует о его способности фиксировать молекулярный азот в кислых почвах и в теплые сезоны. Притом эта корреляция не распространяется на содержание аммония и нитритов. По-видимому, фиксированный азот при более высоких температурах сразу же поглощается другими микроорганизмами и переходит в состав органического азота, вызывая увеличение количества общего азота.

Коэффициенты корреляции количества азотобактера с другими данными приведены в табл. 45 и 46.

Эти таблицы показывают, что азотобактер во всех почвах, кроме покрытой крышей, имеет отрицательную корреляцию с числом Вольфа. Оказывается, что численность азотобактера также зависит от солнечной активности; при повышении активности Солнца численность азотобактера существенно снижается.

В промерзших почвах азотобактер состоит в положительной корреляции с количеством аммонифицирующих, денитрифицирующих и осо-

бенно грибов. Отчасти это может быть следствием того, что благоприятные для азотобактера почвенные условия являются благоприятными и для этих микроорганизмов. Припомним, однако, что солнечная активность оказывает и на почвенные грибы резко отрицательное воздействие. По-видимому, в этом заключается причина сходства динамики количества азотобактера и грибов.

Положительная корреляция между количеством азотобактера и содержанием в почвах аммиака свидетельствует о фиксации азота азотобактером в промерзших почвах.

Численность азотобактера в почвах биометров без растительности очень низкая. Так, например, в торфяной супесчаной карбонатной почве (второй биометр) в среднем 200—300 клеток азотобактера на 1 г абс. сухой почвы. В более плодородных карбонатных почвах первого и пятого биометров количество азотобактера колеблется от 400 до 900 клеток на 1 г почвы, а в подзолистой почве третьего биометра азотобактер совершенно отсутствует. Колебания численности азотобактера не имеют отношения ни к сезонности, ни к годовым изменениям, за исключением лет с высокой или низкой активностью Солнца. В последние годы, отличавшиеся высокой солнечной активностью, количество азотобактера снизилось очень сильно.

Численность Clostridium Pasteurianum выше азотобактера приблизительно в тысячу раз и колеблется в карбонатных почвах первого, второго и пятого биометров от 400 до 900 тысяч на 1 г почвы. Отсюда можно заключить, что и в фиксации атмосферного азота Clostridium Pasteurianum должен иметь большое значение. Трудно сказать, имеет ли азотобактер в почвах без растений вообще существенное значение в качестве азотфиксатора.

В незамерзшей почве количество азотобактера имеет более или менее достоверную положительную корреляцию только с влажностью почвы. Отрицательных связей несколько больше: прежде всего с числом Вольфа, а затем еще с количеством целлюлозоразлагающих и нитрифицирующих бактерий. Причиной такой корреляции может быть различное влияние солнечной активности на эти группы бактерий. Вспомним (табл. 36), что нитрифицирующие бактерии в незамерзших почвах имели вполне достоверную положительную корреляцию с числом Вольфа.

Только в почве четвертого биометра отмечается достоверная положительная корреляция между количеством азотобактера и содержанием аммиака, что свидетельствует о возможной фиксации азота в незамерзшей торфяной почве азотобактером.

В незамерзших почвах других биометров между количеством азотобактера и содержанием любого соединения почвенного азота нет положительных корреляций. Наоборот, в почве второго биометра наблюда-

Корреляция между количеством азотобактера и другими данными анализов азота) в промерзших

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение Солнца 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	—0,16	0,15	—0,28	—0,09	0,52	—0,01	0,23
II	0,23	0,13	—0,52	—0,14	0,05	0,16	0,07
IV	—0,09	—0,05	—0,40	—0,23	0,01	0,12	—0,08
V	—0,33	0,46	—0,14	—0,11	0,23	—0,29	—0,05
Среднее всех биометров	—0,09	0,17	—0,34	—0,14	0,20	0,00	0,04

В почве третьего биометра азотобактера не имеется.
Предел достоверности отдельных показателей = 0,30; общих средних показателей

Корреляция между количеством азотобактера и другими данными анализов (факто в незамерзших

Биометры №№	Температура °С	Влажность %	Число Вольфа	Радиоизлучение 204 мггц	Аммонифицирующие бактерии	Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии	Клостридиум Пастеурианум
I	0,01	0,10	—0,32	—0,07	—0,22	—0,41	0,11
II	—0,19	0,31	—0,35	—0,19	0,08	—0,27	—0,18
IV	0,04	0,10	—0,48	—0,17	0,07	—0,13	—0,08
V	0,00	0,27	—0,06	0,01	0,07	—0,21	—0,13
Среднее всех биометров	—0,03	0,19	—0,30	—0,10	0,00	—0,25	—0,07

Предел достоверности отдельных показателей = 0,25; общих средних показателей

Таблица 45

(факторами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
0,07	0,09	0,41	0,00	0,03	0,44	0,37	—0,12
0,06	0,22	0,24	—0,20	0,15	0,29	0,14	0,36
0,00	0,08	0,10	—0,08	0,15	0,09	0,18	0,06
0,30	0,37	0,33	0,41	0,24	0,26	—0,01	—0,05
0,11	0,19	0,27	0,03	0,14	0,27	0,17	0,08

= 0,18.

Таблица 46

рами влияния, количеством других микроорганизмов и содержанием соединений азота) почвах

Нитрифицирующие бактерии	Денитрифицирующие бактерии	Почвенные грибы	Водоросли	Общий азот	Аммиачный азот	Нитратный азот	Подвижной азот
—0,30	0,03	0,06	0,06	—0,08	0,10	0,09	0,11
—0,13	0,03	—0,08	—0,10	—0,33	—0,08	0,21	—0,26
—0,24	0,11	0,23	—0,13	0,04	0,33	0,12	0,02
—0,14	—0,12	0,09	—0,06	0,06	0,12	0,13	0,09
—0,20	0,01	0,07	—0,06	—0,08	0,14	0,14	—0,01

= 0,16.

ется даже отрицательная корреляция между количеством азотобактера и содержанием общего и подвижного азота.

Корреляционный анализ показал, что солнечная активность оказывает подавляющее влияние на численность азотобактера. Однако остается недоказанным влияние солнечной активности на активность жизнедеятельности микроорганизмов, между прочим, и на активность фиксации молекулярного азота азотобактером и другими азотфиксаторами. По всей вероятности, это влияние должно быть сходным с влиянием на количество, т. е. на размножение.

Эти опыты могут только показать, что в почвах, где не растут никакие растения и куда не было внесено никаких удобрений, содержание различных форм азота может значительно увеличиться в течение сравнительно короткого времени, а затем так же скоро снизиться. Подобные увеличения содержания азота могут быть только следствием фиксации молекулярного азота из окружающей атмосферы, но что является фиксатором азота — это пока еще не совсем ясно.

На основании корреляционных анализов можно сказать, что в фиксации азота участвует Clostridium Pasteurianum и в некоторых почвах — азотобактер. Но ясно, что не только эти микроорганизмы являются ответственными за фиксацию всего азота в исследуемых почвах. В настоящее время известно уже более сотни микроорганизмов — азотфиксаторов и постоянно открывают новые виды, способные связывать молекулярный азот. Хотя большинство таких олигонитрофильных микроорганизмов способно фиксировать сравнительно небольшие количества азота, однако в общей сумме их деятельность может оказаться очень эффективной.

Затем нельзя пренебрегать и возможностью абиологической фиксации атмосферного азота. Не будем здесь касаться связывания атмосферного азота посредством воздействия атмосферной электрической энергии, поскольку этот фактор в наших условиях имеет только очень ограниченное значение. Однако в последнее время выдвинуты новые гипотезы о возможной небиологической азотфиксации.

Припомним объяснение Мало и Пурвиса (Malo a. Purvis, 1964), которые нашли, что воздух содержит заметные количества аммиака и что почва может непосредственно поглощать этот аммиак. В наших условиях пока не проведено исследований по содержанию аммиака в воздухе и по способности наших почв к его поглощению. Возможно, что подобный способ обогащения почвы азотом может иметь значение и в наших почвах.

Также не исследовано в наших условиях связывание азота фотохимическим путем. Ясно только то, что содержание связанного азота в почве, где нет растений и не может быть симбиотической азотфиксации, может увеличиваться весьма значительно.

III. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Этот раздел содержит сводку данных о влиянии различных факторов на количественную динамику исследованных нами почвенных микроорганизмов и четырех форм азота в почве. Будем обсуждать воздействие отдельных основных факторов влияния, начиная с почвенной температуры.

А. Влияние почвенной температуры

На количество почвенных грибов температура заметного влияния не оказывает. Зимой при низких температурах жизнедеятельность почвенных грибов не прекращается и количество их остается высоким. Самая высокая численность почвенных грибов в наших опытах была зафиксирована при самых низких температурах, в интервале от —9 до —12° С. Максимальная численность грибов шесть раз из двадцати отмечалась в зимние месяцы. Из всех почвенных микроорганизмов, количественную динамику которых мы исследовали в течение 15 лет, грибы оказались самыми устойчивыми к действию низких температур.

Нельзя, конечно, утверждать, что низкая температура сама по себе способствует росту и размножению почвенных грибов. Причиной увеличения их количества при низких температурах являются, по-видимому, и другие сопутствующие таким температурам условия: время попадания в почву органических веществ, снижение токсичности почвы, подавление развития других различных почвенных организмов и замедление всех процессов жизнедеятельности. Замедляется не только размножение, но и гибель микроорганизмов, вследствие чего продолжительность индивидуального существования поколений микроорганизмов значительно удлиняется. Таким образом обеспечивается одновременное нахождение в почве большого количества микроорганизмов, которые как бы связаны влиянием низких температур. Однако при относительно высокой их численности интенсивность жизнедеятельности почвенных микроорганизмов остается на низком уровне.

Для количественной динамики почвенных водорослей температура не имеет никакого значения. Из всех данных корреляционного анализа только в одном случае в незамерзшей почве первого биометра температура дала достоверную положительную корреляцию (табл. 28). Количество водорослей подвергалось незначительным изменениям в течение различных сезонов независимо от колебаний температуры.

Данные исследований количественной динамики всех основных групп почвенных бактерий приведены в работе Рахно, 1964. Согласно этим данным значение температуры почвы в количественной динамике большинства физиологических групп почвенных бактерий состоит исключительно в ускорении или замедлении темпа их размножения. В то же время температура имеет первостепенное значение для интенсивности всех процессов их жизнедеятельности.

В нынешней серии опытов проведены дополнительные исследования по количественной динамике тех бактерий, жизнедеятельность которых связана с круговоротом азота в почве.

Аммонифицирующие бактерии на изменения температуры количественно почти совершенно не реагируют. В корреляционном анализе отмечен только один случай достоверной положительной корреляции — в промерзшей подзолистой почве третьего биометра.

Несколько более выражено влияние температуры на численность нитрифицирующих бактерий. В промерзших почвах чаще наблюдаются небольшие положительные корреляции, а в незамерзших почвах в общем достоверная отрицательная корреляция. Такое различие во влиянии температуры в промерзших и незамерзших почвах уже само по себе показывает, что при замерзании почвы процессы размножения подвержены изменениям. На основании данных корреляционного анализа можно предположить, что размножению нитрифицирующих бактерий благоприятствует невысокая положительная температура.

Влияние температуры на количество денитрифицирующих бактерий также ничтожно: был отмечен один случай достоверной положительной корреляции количества денитрификаторов с температурой в незамерзшей подзолистой почве третьего биометра. В промерзших почвах преобладают отрицательные корреляции, которые, однако, ни разу не достигли предела достоверности. Необходимо все же отметить, что уже такое изменение направления влияния температуры на количество денитрифицирующих бактерий — в промерзших почвах отрицательные, в незамерзших — положительные корреляции — показывает, что уже сам факт замерзания почвы оказывает некоторое влияние на жизненные процессы бактерий.

Между количеством Clostridium Pasteurianum и температурой почвы корреляция не достигает предела достоверности, хотя имеются два слу-

чая достоверной положительной корреляции: в промерзшей почве первого биометра и в незамерзшей торфяной почве четвертого биометра.

На количество азотобактера температура оказывает достоверное отрицательное влияние в одном случае: в промерзшей карбонатной почве покрытого крышей пятого биометра.

Таким образом можно сделать вывод, что температура не оказывает существенного влияния на количественную динамику ни одного из исследованных нами микроорганизмов. В то же время различные процессы, связанные как с численностью микроорганизмов, так и с другими данными в промерзших и незамерзших почвах протекают различно. Это относится не только к влиянию температуры, но и ко многим другим отношениям между факторами и объектами, между самими объектами и факторами, которые изменяются в зависимости от того, в какой почве, промерзшей или незамерзшей, проводится анализ корреляций. Поэтому нам приходилось корреляционный анализ всех данных проводить раздельно, так как во многих случаях суммированные данные всех результатов не дают никакого определенного отношения, между тем как при подразделении почв на две категории (промерзшие и незамерзшие) различия и вместе с тем вполне достоверные корреляции могут иметь место.

Возможно, что причина такого особого влияния условий в промерзшей и незамерзшей почвах заключается не столько в температуре, сколько в изменении физического состояния почвы в результате замерзания. Можно предполагать, что в конечном счете и эта причина заключается в замедлении всех процессов (как физико-химических, так и биологических) при замерзании.

На содержание общего азота температура оказывала достоверное влияние только в незамерзшей торфяной почве четвертого биометра. В остальных почвах корреляции между содержанием общего азота и температурой почвы незначительны и общие средние коэффициенты недостоверны. То же самое можно сказать и о корреляции между аммиаком и температурой, где также единственный достоверный коэффициент корреляции встречается в той же незамерзшей торфяной почве четвертого биометра.

Зато корреляция между нитратами и температурой в общем положительна и в большинстве случаев вполне достоверна, особенно в незамерзших почвах. В промерзших почвах отдельные коэффициенты не достигают достоверности, но общая средняя корреляция также вполне достоверна.

Подвижный азот ни в одном случае не имеет достоверной корреляции с температурой.

Температура почвы имеет с влажностью достоверную отрицательную

корреляцию во всех почвах, кроме промерзшей торфяной (четвертый биометр) и покрытого крышей карбонатной (пятый биометр).

Между температурой почвы и числом Вольфа коэффициенты корреляции по отдельным почвам недостоверны, но общая средняя корреляция в незамерзших почвах положительная и достоверная в промерзших почвах отрицательная корреляция находится на границе достоверности. Температура почвы имеет достоверную отрицательную корреляцию с радиоизлучением Солнца в промерзших торфяной и покрытой крышей карбонатной почвах, причем общая отрицательная корреляция промерзших почв также вполне достоверна. В незамерзших почвах между температурой и радиоизлучением Солнца отмечаются небольшие положительные связи.

Б. Влияние влажности почвы

Если влияние температуры на жизнедеятельность микроорганизмов имеет сравнительно дискретный характер и заключается в основном в воздействии на интенсивность их жизненных процессов, то влажность почвы почти всегда оказывает непосредственное влияние на количественную динамику большинства почвенных микроорганизмов.

О том, что это имеет место при количественной динамике почвенных бактерий, приведены подробные данные в работе Рахно, 1964. Там, между прочим, отмечается, что при закономерном увеличении общего количества бактерий при увеличении влажности почвы имеет место парадоксальное явление: снижение общего количества бактерий до минимума при средней влажности почвы — от 22 до 30%. Уже тогда П. Рахно предполагал, что подобное «промежуточное» снижение количества бактерий может быть только результатом усиленного развития какой-то другой группы почвенных организмов, происходящего при такой влажности почвы. Там же (стр. 186) высказано предположение о возможности антагонистического действия грибов и приведены первые данные об усиленном развитии грибов именно при такой влажности.

Данные большого числа анализов по количественной динамике почвенных грибов вносят в этот вопрос несколько больше ясности. Прежде всего оказалось, что влажность почвы имеет и для грибов большое значение. По средним данным 800 анализов количество грибов на 1 г абс. сухой почвы (в тысячах) было: при влажности от 10 до 20% — 11,4; от 20 до 25% — 14,3; от 25 до 30% — 13,8; от 30 до 40% — 12,9 и свыше 40% (данные только 14 анализов при низких температурах) — 22,1 (табл. 18 и 19).

Здесь бросается в глаза обратное по сравнению с количественной динамикой бактерий направление численности по отдельным интерва-

лам влажности почвы. Общее количество бактерий является наименьшим при влажности от 22 до 30%; в этом же интервале влажности количество почвенных грибов максимально. Правда, количество грибов еще больше при влажности почвы свыше 40%, но число анализов явно мало для сравнения с данными, полученными в других интервалах (14 против 270 и 92!).

Таким образом сейчас можно уже более уверенно утверждать, что количественное развитие почвенных бактерий и грибов — процесс антагонистический и при максимальном размножении одной группы подавляется развитие другой. Более мощными антагонистами являются грибы, которые могут подавить численность бактерий до минимума при такой влажности почвы, при которой без антагонистического воздействия грибов развитие бактерий могло быть оптимальным. При этом, конечно, не исключено, что снижение численности бактерий при 22—30% влажности почвы может иметь еще и другие причины.

На количественную динамику почвенных водорослей влажность почвы не оказывает такого влияния, какого можно было бы ожидать. Влияние влажности преобладает в промерзших почвах, особенно в торфяной, где содержание воды по сравнению с другими почвами значительно выше (табл. 13), а также в карбонатной почве покрытого крышей пятого биометра. В то же время в первом биометре с той же почвой, только без покрытия, корреляция между количеством водорослей и влажностью почвы была отрицательной, хотя в первом биометре влажность всегда была выше, чем в пятом.

В незамерзших почвах отношения между количеством водорослей и влажностью еще более странные. В незамерзшей почве первого биометра количество водорослей и влажность находятся в достоверной отрицательной корреляции. Отрицательные корреляции также количества водорослей и влажности в почвах второго и третьего биометров, а в четвертом и пятом биометрах положительная корреляция не достигает предела достоверности (табл. 27 и 28).

Единственно возможное объяснение такого на первый взгляд непонятного отношения между влажностью и количеством водорослей, которые по своей природе являются влаголюбивыми организмами, может быть то, что почвенные пробы, в которых определяли численность водорослей, были взяты с глубины 5 см. На такой глубине при сильном увлажнении и одновременном развитии многочисленной микрофлоры и фауны могут возникнуть анаэробные условия. Недостаточная аэрация может иметь место особенно в почвах с более тяжелым механическим составом (первый биометр!). Та же самая почва при несколько меньшей влажности может представлять более благоприятные условия для развития водорослей. Аэрация значительно лучше в промерзшей торфяной почве, как и в карбонатной суглинистой почве при урегулировании

влажности (пятый биометр). Для окончательных выводов по этому вопросу необходима постановка специальных опытов.

Влажность оказывает на количество аммонифицирующих бактерий в среднем достоверное положительное влияние как в промерзших, так и в незамерзших почвах. Особенно выделяется положительная корреляция между аммонификаторами и влажностью почвы в промерзших почвах третьего, четвертого и пятого биометров. В незамерзших почвах наиболее четкая корреляция наблюдается в карбонатной супесчаной почве второго биометра и в покрытом крышей пятом биометре.

Положительная корреляция между численностью нитрифицирующих бактерий и влажностью почвы достоверна только в незамерзших карбонатных почвах первого и второго биометров. Во всех других почвах корреляция между численностью нитрифицирующих бактерий и влажностью незначительна. Вообще не отмечается достоверного влияния почвенной влажности на количество денитрифицирующих бактерий и Clostridium Pasteurianum.

На численность азотобактера влажность оказала достоверное положительное влияние в промерзшей карбонатной почве пятого биометра и в незамерзших карбонатных почвах второго и пятого биометров. Притом средние коэффициенты корреляции всех незамерзших почв достоверны, а средние коэффициенты промерзших почв приближаются к достоверности.

Между влажностью и содержанием общего азота в промерзших почвах второго и четвертого биометров имеется достоверная положительная корреляция, как и в карбонатных незамерзших почвах второго и покрытого крышей пятого биометров. В общем в промерзших почвах отмечается положительная достоверная корреляция, в незамерзших почвах положительная корреляция приближается к достоверности.

Корреляция влажности почвы и содержания в ней аммиачного азота является в промерзших почвах вполне достоверной и положительной (за исключением карбонатной почвы в покрытом крышей пятом биометре), а в незамерзших почвах отсутствует. Между влажностью и содержанием нитратного азота в промерзших почвах имеется также положительная корреляция. В незамерзших же почвах эта корреляция в трех биометрах (в первом, третьем и четвертом) является достоверно отрицательной, как и общая средняя корреляция влажности почвы и содержания в ней аммиачного азота в незамерзшей почве всех биометров.

Эти данные корреляционного анализа свидетельствуют о том, что в промерзших почвах возможно накопление нитратов, между тем как в незамерзших почвах при повышении влажности почвы нитраты сразу переходят в другие формы в результате вымывания или денитрификации.

Влажность почвы и подвижный азот имеют достоверную положительную корреляцию во всех промерзших почвах. В незамерзших почвах такая корреляция незначительна, в карбонатной супесчаной почве второго биометра встречается даже небольшая отрицательная корреляция.

Влажность и один из показателей солнечной активности (число Вольфа) имеют в незамерзших почвах небольшие отрицательные корреляции, которые в среднем дают общую достоверную корреляцию. В промерзших почвах же влажность и число Вольфа наоборот, имеют небольшие положительные корреляции, которые, однако, в среднем остаются вне переделов достоверности. Показатели корреляции радиоизлучения Солнца, как и число Вольфа в незамерзших почвах, — отрицательные, в промерзших — положительные (за исключением почвы первого биометра, где имеется небольшая отрицательная корреляция), но нигде не достигают достоверности.

Как видно из вышеприведенного краткого обзора, влияние влажности еще больше, чем влияние температуры, связано с особенностями почвы и зависит от них. В карбонатных, подзолистых и торфяных почвах влажность нередко оказывает совершенно различное влияние на развитие микроорганизмов или содержание связанного азота.

В. Влияние солнечной активности

Из показателей солнечной активности наибольшее значение имели числа Вольфа, между тем как показатели радиоизлучения только в отдельных случаях достигали близкого к числам Вольфа влияния на любые из изучаемых нами явлений.

В предварительном анализе влияния солнечной активности на количество аммонифицирующих и некоторых других данных были использованы также комбинации общего влияния чисел Вольфа и радиоизлучений (см. табл. 30), причем была получена несколько высшая достоверность корреляций, чем от одного показателя. К сожалению, при окончательном корреляционном анализе всех имеющихся данных такое комбинирование нельзя было использовать из-за ограничения количества данных при программировании корреляционного анализа на ЭВМ «Минск-2».

Число Вольфа и показатели радиоизлучения Солнца являются показателями различных проявлений солнечной активности и поэтому не совпадают полностью. Корреляция между числом Вольфа и радиоизлучением Солнца на частоте 204 мггц колеблется от 0,39 до 0,71, причем коэффициент корреляции больше в теплое время года.

Было бы желательно включить в анализ другие показатели солнеч-

ной активности, например данные о площади солнечных пятен S, о протуберанцах, волокнах и т. д. С другой стороны, увеличение количества показателей и вычислений их комбинированного воздействия требует значительной дополнительной работы, которую не всегда могут выполнить сами исследователи — биологи.

Пока основным показателем солнечной активности в наших исследованиях является только число Вольфа, которое имеет довольно хорошую корреляцию со всеми группами изучаемых микроорганизмов и соединений азота.

Количество грибов, с одной стороны, и число Вольфа и радиоизлучение Солнца — с другой находятся во вполне четкой отрицательной корреляции, которая только незначительно больше в промерзших почвах. Это означает, что при увеличении солнечной активности размножение почвенных грибов замедляется. Таково может быть общее заключение, без более детального учета действия солнечной активности. Пока еще мы не имеем данных о том, подавляется ли при усилении солнечной активности развитие мицелия или споруляция грибов, и если допустить последнее, то действует ли солнечная активность на споруляцию вообще или только на известный ее тип. Однако учитывая, что большинство из определяемых нами грибов относится к группе Penicillium (в среднем около 60 процентов) и в остальной части преобладают грибы из группы Imperfecti, то можно предполагать, что в основном солнечная активность подавляет конидиальное спороношение.

Почти такое же четкое подавляющее влияние солнечная активность оказывает на размножение азотобактера. Между количеством азотобактера и числом Вольфа (и в значительно более слабой степени радиоизлучением Солнца) корреляция одинаково отрицательная как в промерзших, так и в незамерзших почвах из всех биометров. Только в почве покрытого крышей пятого биометра она несколько слабее (см. табл. 45 и 46), как это, впрочем, имело место и у грибов в незамерзшей почве (см. табл. 24).

Солнечная активность имеет еще отрицательную корреляцию с количеством аэробных целлюлозоразлагающих, Clostridium Pasteurianum и денитрифицирующих бактерий в промерзших и незамерзших почвах. Однако здесь наблюдаются значительные колебания: достоверная отрицательная корреляция намечается только в некоторых пробах почв, в других же отрицательная корреляция незначительна, а в некоторых пробах почв встречаются и положительные корреляции. Значение корреляций чисел Вольфа и показателей радиоизлучения Солнца приблизительно одинаковое, в некоторых случаях корреляции с радиоизлучением выражены даже лучше, чем с числом Вольфа. Чаще всего эти корреляции не достигают предела достоверности, следовательно, можно считать, что влияние солнечной активности на количество аэробных

целлюлозоразлагающих бактерий, Clostridium Pasteurianum и денитрифицирующих бактерий данными наших анализов не показано (см. табл. 41—44).

Солнечная активность имеет также отрицательную корреляцию с содержанием в почве соединений азота, причем такая корреляция достоверна в промерзших почвах с содержанием аммиака и нитратов, а в почве второго биометра и с подвижным азотом и в почве третьего биометра с общим азотом. В почве покрытого крышей пятого биометра, наоборот, достоверна положительная корреляция с содержанием общего азота. В незамерзших почвах отрицательная корреляция достоверна с общим, аммиачным и нитратным азотом, а с подвижным азотом солнечная активность имеет в среднем даже небольшую положительную корреляцию (отрицательная корреляция только у почвы второго биометра!).

Несмотря на немногочисленные отклонения, солнечная активность оказывает несомненное снижающее влияние на содержание соединений азота в почве (см. табл. 37—40).

Если влияние солнечной активности на размножение почвенных микроорганизмов может быть непосредственным, то при воздействии на содержание соединений азота этого уже нельзя сказать. Пока у нас нет обоснованных данных о механизме этого явления. По-видимому, это может быть объяснено двояко: ослаблением активности процесса азотфиксации или же усилением процесса денитриифкации. В обоих случаях наиболее вероятно влияние солнечной активности уже не на размножение, а на активность жизнедеятельности микроорганизмов.

До сих пор мы имели дело с отрицательным воздействием усиления солнечной активности на количество микроорганизмов. В то же время на некоторые другие микроорганизмы солнечная активность оказывает более рельефное благоприятное влияние. Здесь прежде всего следует упомянуть почвенные водоросли, оказавшиеся первым объектом, на котором было обнаружено нами такое влияние. Положительная корреляция числа Вольфа с количеством водорослей вполне достоверна в любой из изученных почв и при любой температуре или состоянии почвы. Между радиоизлучением Солнца и количеством водорослей, однако, положительная корреляция имеет место только в незамерзших почвах, а в промерзших совершенно отсутствует (см. табл. 27 и 28).

Несколько меньше положительная корреляция между солнечной активностью и количеством нитрифицирующих бактерий (см. табл. 35 и 36). Наиболее четко она выражена в незамерзших почвах, причем число Вольфа состоит в положительной корреляции с количеством нитрифицирующих бактерий в почвах всех открытых биометров (на границе достоверности только почва в покрытом крышей биометре). Корреляция

между радиоизлучением Солнца и количеством нитрифицирующих, однако, и в незамерзших почвах не достигает нигде достоверности. В промерзших почвах корреляция числа Вольфа с количеством нитрифицирующих несколько хуже: в почве первого биометра не достигает достоверности, а в торфяной почве четвертого биометра даже отрицательна. Корреляция радиоизлучения же в промерзших почвах не достигает предела достоверности ни в одном биометре.

В общем можно все же считать, что солнечная активность содействует возрастанию количества нитрифицирующих бактерий.

Значительно менее выражена положительная корреляция между солнечной активностью и количеством аммонифицирующих бактерий. Здесь только достоверна общая средняя положительная корреляция между числом Вольфа и количеством аммонифицирующих бактерий в незамерзших почвах, а в промерзших почвах такой достоверности нет. Между радиоизлучением и количеством аммонифицирующих бактерий достоверной корреляции вообще не наблюдается.

Помимо влияния вышеприведенных факторов (температуры, влажности и солнечной активности), на количество почвенных микроорганизмов и содержание соединений азота в почве может иметь влияние и ряд других факторов. На влиянии содержания и времени попадания в почву питательных веществ, токсичности почвы и почвенной фауны подробно остановился в работе П. Х. Рахно (1964), поэтому в настоящей работе эти факторы обсуждаться не будут, поскольку опыты были заложены не для их исследования.

Необходимо, однако, помнить еще об одном факторе: о влиянии особенностей самой почвы.

Из вышеприведенного обзора о влиянии температуры, влажности и солнечной активности мы видим, что действие какого-либо фактора только в самых исключительных случаях оказывает примерно одинаковое влияние на рассматриваемый процесс или явление во всех опытных почвах. В наших исследованиях выделялось влияние числа Вольфа в качестве показателя солнечной активности на увеличение количества водорослей и нитрифицирующих бактерий, на снижение количества грибов и азотобактера, а также на снижение содержания аммиачного азота. И даже в этих примерах наблюдаются колебания в степени корреляции между отдельными почвами. Во всех остальных случаях влияние действующего фактора имеет большие различия в зависимости от особенностей почвы.

Рассматривая приведенные в таблицах корреляционного анализа данные, часто можно отметить, что при общем совпадении данных корреляции только одной, иногда двух почв не только различаются в степени достоверности, но и приобретают противоположный знак корре-

ляции: плюс вместо минуса или наоборот. Это заставляет считать, что при подобном случае особенности почв оказывали доминирующее влияние на развитие микроорганизма или содержание соединения азота.

Особенности почв заключаются главным образом в реакции и механической стркутуре почвы и содержании в ней органических и минеральных веществ. С этими особенностями приходится считаться как при закладке соответствующих опытов, так и при обсуждении их результатов.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В настоящей работе приводятся результаты около 1000 анализов проб почв на определение количества почвенных грибов, водорослей, шести физиологических групп бактерий и на содержание общего, аммиачного, нитратного и подвижного азота. Все эти данные были подвергнуты математической обработке, на основании результатов которой были составлены таблицы корреляции количества исследуемых микроорганизмов, соединений азота, температуры и влажности почвы и показателей солнечной активности. Кроме обычного корреляционного анализа, был приведен еще дополнительный корреляционный анализ, где влияние солнечной активности на взаимные корреляции между другими факторами было исключено. Дополнительный анализ уменьшил взаимную корреляцию факторов или показателей, имевших с активностью Солнца сильную положительную или отрицательную корреляцию.

Значение корреляции между различными явлениями, процессами и факторами иногда совершенно необоснованно недооценивается. Некоторые исследователи-биологи считают, что корреляция не может служить основанием для выводов о каузальной причинности, о влиянии какого-либо фактора на какое-либо явление, о зависимости одного явления от другого и о достоверности влияния какого-либо фактора.

Такое ошибочное предположение было высказано и в работе П. Рахно (1965, стр. 138), на что обратил внимание в своей рецензии кандидат физико-математических наук И. Петерсен.

Вполне понятно, что корреляция между двумя величинами может быть совершенно случайной в таком случае, когда эти величины не могут иметь между собой непосредственных или хотя бы опосредствованных отношений. В таком случае не только корреляционный, но и дисперсионный, да и любой другой математический анализ приводят к необоснованным выводам. Если при сопоставлении численности зерен пшеницы на каком-либо опытном участке и численностью солдат японской армии получается хотя бы сверхдостоверная корреляция, то это не дает нам права выводить отсюда наличия каузальной зависимости

между этими данными. И дело нисколько не изменяется, если дисперсионный или какой-либо иной математический анализ показывает достоверность влияния количества зерен на численность солдат (или наоборот).

Любой метод математического анализа может быть применен только там, где мы имеем право предполагать возможность взаимных отношений. В таком случае математический анализ предоставляет нам возможность определять размер и достоверность, а иногда также направление таких отношений.

В некоторых случаях невозможно точно определить, какое явление могло быть причиной и какое следствием. Когда в наших опытах корреляция между количествами двух групп бактерий или же между количествами какой-либо группы бактерий и грибов является вполне достоверной, то остается все же неясным, имело ли здесь место взаимное влияние или только один микроорганизм содействовал или подавлял развитие другого. Даже при корреляции между количеством какой-либо группы микроорганизмов и содержанием соединения азота в почве нельзя утверждать, что содержание соединения азота изменилось в результате изменения количества микроорганизмов. Иногда возможно и обратное влияние, затем возможно также, что обе означенные величины находились одновременно в корреляции с каким-либо третьим фактором, оказывающим воздействие на количество микроорганизмов и на содержание азота. Такая возможность и была причиной дополнительного корреляционного анализа при обработке наших данных, с исключением воздействия солнечной активности на корреляцию между другими данными. Однако это устранило влияние только одного фактора, хотя и наиболее мощного.

В вышеприведенных случаях на основании данных корреляционного анализа можно говорить только о наличии положительной или отрицательной корреляции между двумя группами данных. Несколько иначе обстоит дело при рассмотрении отношений между климатическими, метеорологическими и прочими подобными явлениями, которые мы обозначаем термином «факторы влияния», и содержанием в почве микроорганизмов и химических соединений. Здесь уже заранее было доказано или было известно, что количество микроорганизмов или содержание азотистых соединений зависит от факторов влияния, а не наоборот. Поэтому здесь на основании даже корреляционного анализа вполне возможно сделать заключение не только о наличии корреляции, но и о влиянии соответствующего фактора.

Нельзя себе представить, что какой-либо биологический процесс на Земле мог бы вызвать изменение солнечной активности. При достоверной корреляции между солнечной активностью и каким-либо биологическим явлением есть два способа объяснения такой корреляции. Во-

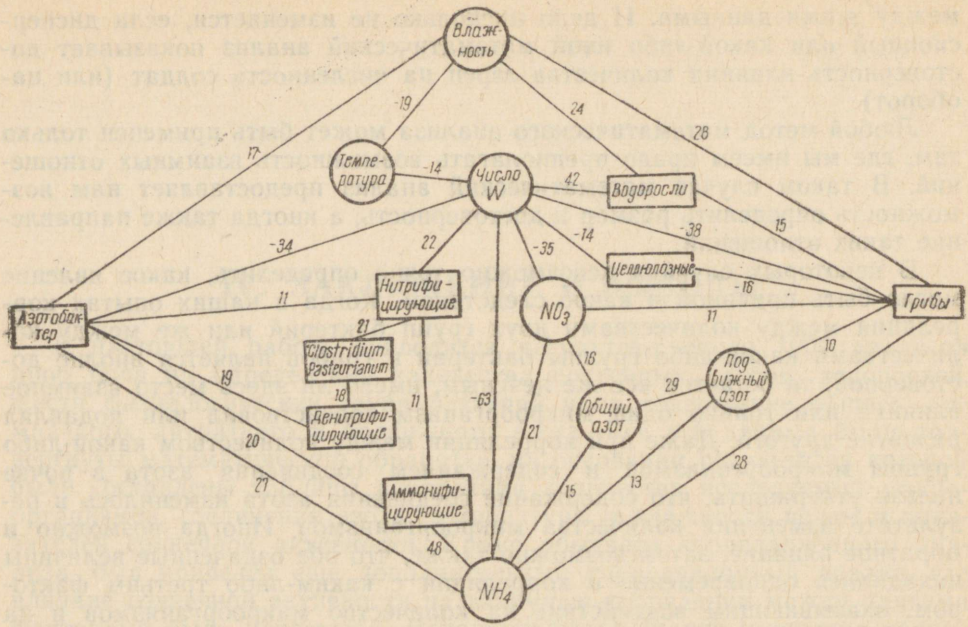


Рис. 20. Схематическое изображение данных корреляционного анализа по основным факторам воздействия в промерзших почвах.

первых, считать, что такие показатели не могут иметь никакой причинной связи и в таком случае любой математический анализ не может ничего доказать. Во-вторых, считать, что такая связь возможна и тогда только солнечная активность может быть причиной и биологическое явление следствием, а ни в коем случае не наоборот.

Если предполагать, что солнечная активность может воздействовать — безразлично, непосредственно или через некоторые промежуточные факторы — на размножение почвенных микроорганизмов или содержание соединений азота в почве, то на основании корреляционного анализа можно сделать вывод не только о корреляции между этими двумя величинами, но и иметь суждение о размере влияния — непосредственного или опосредствованного — солнечной активности на размножение микроорганизмов или на накопление азота.

Аналогично отношение между другими факторами влияния: температурой, влажностью и т. п., а также количеством микроорганизмов или содержанием азота в почве.

На таких предположениях построена настоящая работа. Корреляционные отношения, установленные соответствующими анализами, приведены на рис. 20—23.

Проведенное исследование позволяет разобраться в некоторых сторонах жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и в круговороте соединений азота в почве.

Оказалось, что сезоны года не могут считаться факторами влияния, а являются только комплексами таких факторов. Эти факторы только в сравнительно редких случаях могут иметь различное влияние в различные сезоны. Так, например, низкие температуры осенью оказывают на количество микроорганизмов подавляющее влияние, которое исчезает при более длительном воздействии. Это показывает, что микроорганизмам при переходе от более высоких температур к низким нужна некоторая подготовка.

Температура, которая обычно считается самым основным фактором, от которого зависит размножение почвенных микроорганизмов, на са-

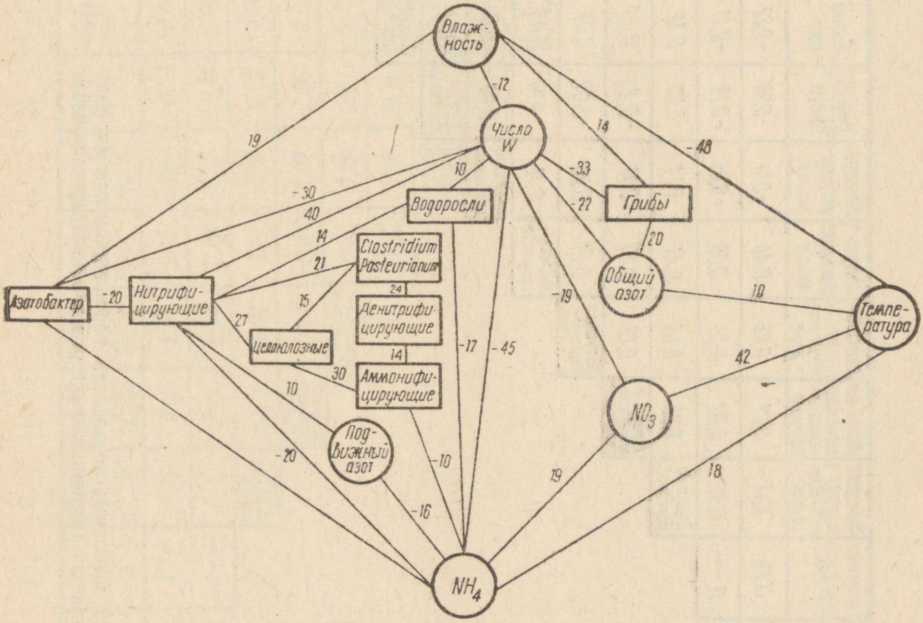


Рис. 21. Схематическое изображение данных корреляционного анализа по основным факторам воздействия в незамерзших почвах.

Число W	R_{204}	Общее количество бактерий	Аэробные целлюлозоразлагающие	Clostridium Pasteurianum	Нитрифицирующие	Денитрифицирующие	Азотобактер	Общий азот	NH_4	NO_3	Подвижный азот	Грибы	Водоросли	Температура	Влажность
W →	0,68	0,17	0,07	0,06	0,40	-0,01	-0,30	-0,22	-0,45	-0,19	0,12	-0,33	0,49	0,12	-0,12
	R →	0,07	0,02	0,01	0,06	-0,05	-0,10	-0,11	-0,24	-0,06	-0,06	-0,15	0,31	0,09	-0,05
		Общ. к-во бактерий	0,30	0,09	0,41	0,14	0,00	0,13	-0,10	-0,25	0,09	-0,03	0,10	-0,08	0,14
			Аэробные целлюлозоразлагающие	0,15	0,27	0,11	-0,25	0,23	-0,03	-0,17	-0,01	0,02	0,02	-0,02	0,14
				Clostridium Pasteurianum	0,21	0,24	-0,07	0,07	-0,08	0,06	-0,04	-0,04	0,10	0,15	-0,06
					Нитрифицирующие	0,11	-0,20	0,08	-0,20	-0,25	0,10	0,00	0,11	-0,23	0,13
						Денитрифицирующие	0,01	-0,04	0,06	-0,07	-0,09	0,03	0,03	0,03	0,05
							Азотобактер	-0,08	0,14	0,14	-0,01	0,07	-0,06	-0,03	0,19
								Общий азот	0,04	0,09	0,08	0,20	-0,10	0,10	0,14
									NH_4	0,19	-0,16	0,02	-0,17	0,18	0,07
										NO_3	-0,07	-0,08	-0,02	0,42	-0,23
											Подвижный азот	0,03	0,02	-0,05	0,09
												Грибы	-0,03	-0,05	0,14
													Водоросли	0,05	-0,07
														Температура	-0,48
															Влажность

Рис. 22. Основные показатели корреляционного анализа по влиянию различных факторов в незамерзших почвах

Число W	R_{204}	Общее количество бактерий	Аэробные целлюлозоразлагающие	Clostridium Pasteurianum	Нитрифицирующие	Денитрифицирующие	Азотобактер	Общий азот	NH_4	NO_3	Подвижный азот	Грибы	Водоросли	Температура	Влажность
W →	0,44	0,05	-0,14	-0,05	0,22	-0,05	-0,34	-0,02	-0,63	-0,36	-0,11	-0,38	0,42	-0,14	0,05
	R →	0,10	-0,15	-0,01	0,00	-0,12	-0,14	0,06	-0,05	-0,25	0,17	-0,18	0,00	-0,27	0,06
		Общее к-во бактерий	-0,04	-0,04	0,11	0,16	0,20	-0,04	0,48	0,13	0,09	0,24	0,20	0,04	0,21
			Аэробные целлюлозоразлагающ.	0,14	-0,04	0,02	0,00	-0,03	-0,02	0,08	0,07	-0,16	-0,08	0,00	-0,06
				Clostridium Pasteurianum	0,21	0,18	0,04	0,17	0,22	0,13	0,00	-0,01	-0,15	0,11	0,02
					Нитрифицирующие	0,02	0,11	0,08	0,03	0,16	0,10	-0,01	0,06	0,10	0,03
						Денитрифицирующие	0,19	0,13	-0,05	0,09	-0,09	-0,09	0,03	-0,10	0,01
							Азотобактер	0,14	0,27	0,17	0,06	0,27	0,03	-0,09	0,17
								Общий азот	0,15	0,16	0,23	0,12	-0,15	0,04	0,28
									NH_4	0,21	0,13	0,28	0,01	0,07	0,33
										NO_3	0,03	0,11	0,01	0,19	0,21
											Подвижный азот	0,11	-0,15	0,08	0,44
												Грибы	0,15	0,03	0,28
													Водоросли	-0,06	0,24
														Температура	0,19
															Влажность

Рис. 23. Основные показатели корреляционного анализа по влиянию различных факторов в промерзших почвах

мом деле имеет весьма ограниченное влияние на этот процесс. Значение температуры заключается только в ускорении или замедлении темпов размножения микроорганизмов. Это не ведет за собой снижения количества микроорганизмов при низких температурах, а наоборот, при низких температурах многие почвенные микроорганизмы достигают максимального содержания в почве. При замедлении всех жизненных процессов замедляется не только размножение, но и вымирание микроорганизмов. При совпадении других факторов развития, например накоплении питательных веществ и снижения токсичности почвы, вполне понятны максимумы количества микроорганизмов в зимнее время и в промерзших почвах.

Кроме непосредственного воздействия температуры на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, даже несколько большее влияние на процессы в почве оказывает вызванное низкой температурой промерзание почвы. Многие отношения между факторами влияния и данными микробиологических и агрохимических анализов заметно различаются в промерзших и незамерзших почвах.

Причина этого явления заключается, по-видимому, в снижении активности физиологической и биохимической деятельности микроорганизмов при изменении физического состояния почвы. Отмечено, что процессы, связанные с потерями азота в промерзших почвах, затормаживаются больше, чем процессы фиксации азота, и в результате этого содержание общего и аммиачного азота в промерзших почвах увеличивается. Содержание же нитратов снижается, так как второй этап нитрификации затормаживается и продукты нитрификации в виде нитритов накапливаются в почве.

Положительная корреляция между количеством аммонифицирующих бактерий и содержанием аммиака в промерзшей почве свидетельствует о том, что процесс аммонификации может происходить и зимой. Это подтверждает и высокое содержание аммиака именно в зимние месяцы.

В промерзших почвах, по-видимому, имеет место и фиксация атмосферного азота. В течение всего периода исследований анализы не показали снижения содержания гумуса, так что возможность происхождения азота из гумуса отпадает.

За весь период исследований в численности нитрифицирующих бактерий были установлены большие колебания. Так, в 1966 году во всех почвах было приблизительно в 10 раз больше нитрифицирующих бактерий, чем в 1965 году. Количество нитрификаторов оставалось высоким и в 1967 и 1968 годах. В промерзших почвах нитрифицирующие бактерии состоят в положительной корреляции с Clostridium Pasteurianum и содержанием нитратов. Отсюда можно заключить, что нитрифицирующие бактерии способны образовать нитраты и в мерзлой почве, хотя часть их продукции накапливается в виде нитритов. Наоборот в неза-

мерзшей почве содержание нитратов находится в отрицательной корреляции с количеством как аммонифицирующих, целлюлозоразлагающих, так и нитрифицирующих бактерий. Такую отрицательную корреляцию нитрифицирующих бактерий с содержанием нитратов можно объяснить аэробной денитрификацией в исследованных нами почвах.

Потери азота в промерзших почвах обусловлены, по-видимому, анаэробной денитрификацией, из незамерзших почв — аэробной денитрификацией и вымыванием нитратов. Спустя сравнительно короткое время после потерь азота следует быстрое восстановление его содержания приблизительно до прежней величины.

Интересно отметить, что количество денитрифицирующих бактерий не связано с потерями азота в почве.

Неожиданно большое влияние на большинство почвенных процессов оказывает солнечная активность. При выявлении этого фактора влияния имело особое значение то, что наши исследования были начаты при слабой активности Солнца, в период так называемого «спокойного Солнца», и продолжались затем регулярно при постепенном возрастании активности Солнца до периода ее очень высокого уровня. С 1964 по 1968 год солнечная активность возросла более чем в десять раз. Благодаря регулярному проведению анализов на количество микроорганизмов и содержание азота в почве этот новый и притом чрезвычайно мощный фактор влияния не мог остаться незамеченным.

Основные результаты настоящей работы могут быть изложены в следующих выводах:

1. Количественная динамика почвенных бактерий, грибов и водорослей не имеет постоянного сезонного характера, а изменяется в зависимости от конкретных факторов влияния.

2. Конкретными факторами влияния являются влажность почвы, ее температура, содержание и время попадания в почву веществ, пригодных для питания микроорганизмов, токсичность почвы, взаимные отношения между микроорганизмами почвы, особенности и свойства почвенных разностей и воздействие солнечной активности.

3. Факторы во многих случаях оказывают различное влияние в промерзших и незамерзших почвах.

4. Содержание общего, аммиачного, нитратного и подвижного азота в почве подвергается таким же колебаниям, как и численность микроорганизмов, и на него оказывают влияние те же факторы.

5. Количество микроорганизмов не всегда совпадает с содержанием соответствующих соединений азота в почве.

6. В промерзших почвах активность жизнедеятельности микроорганизмов снижается, хотя одновременно их количество может быть высоким.

7. Содержание общего и аммиачного азота в промерзших почвах увеличивается. Причина этого явления заключается в сравнительно большем замедлении процессов, связанных с потерями азота, по сравнению с процессами поступления.

8. Основные потери азота в наших почвах происходят параллельно с процессом нитрификации, что указывает на их природу аэробной денитрификации.

9. Солнечная активность, оказывающая положительное влияние на размножение микроорганизмов, может в то же время подавлять активность их жизнедеятельности. Одновременно с увеличением количества аммонифицирующих и особенно нитрифицирующих бактерий при увеличении солнечной активности может происходить снижение содержания аммиака и нитратов.

ЛИТЕРАТУРА

Абашеева Н. Е., Ракшаина М. Ц. 1966. Об азотном режиме некоторых типов почв Селенгинского среднегорья Бурятской АССР. Тр. Бурятского компл. н.-и. ин-та, вып. 19, 79—85.

Аксель М. 1965. О сезонной количественной динамике почвенных грибов. Изв. АН Эст. ССР, т. XIV, серия биол., № 3, 366—376.

Алабовский Ю. И., Бабенко А. Н. 1968. Гелиофизические факторы, метеоусловия и осложнения сердечно-сосудистых заболеваний. Солнечные данные, № 7, 104—108.

Александров Ю. В., Ягодинский В. Н. 1966. Гелиоэпидемиология гриппа. Солнечные данные, № 8, 85—94.

Андо Тацуо, Цуцуми Тосио. 1965. Изучение микофлоры некоторых лесных почв. Цит. по Реф. журналу, 1967, № 6. В. 98.

Афанасьева В. И. 1964. Солнечные корпускулярные потоки и семейства геомагнитных бурь во время полета «Маринер-2». Геомагнетизм и аэрономия, 4, № 1, 34—40.

Афанасьева В. И., Калинин Ю. Д., Могилевский Э. И. 1964. Некоторые элементы теории геомагнитных бурь. Геомагнетизм и аэрономия, 4, № 2, 722—731.

Бажина Е. В., Штина Э. А. 1967. Взаимосвязи некоторых почвенных водорослей и грибов. Совр. состояние и перспективы изуч. почв. водорослей в СССР, 233—240.

Байрамова Л. А. 1967. Почвенные водоросли рисовых полей Ленкорани. Тр. Кировского с.-х. ин-та, 20, № 40, 137—141.

Бакдаи М., Фейеш И., Хорват А 1964. Отражение солнечной активности на годичных кольцах «Пинуса тарноцензиса» из эпохи миоцена. Астрономический журнал, 41, № 2, 413—414.

Балаболин М. А. 1965 (1966). Накопление и расход нитратов в почве в условиях Иркутской области. Изв. Иркутского с.-х. ин-та, вып. 25, т. 3, 52—60.

Балезина Л. С. 1967. Влияние некоторых удобрений и пестицидов на развитие почвенных водорослей. Совр. сост. и перспект. изучения почвенных водорослей в СССР, 208—214.

Бобрицкая М. А. 1963. Поступление азота с атмосферными осадками и вынос его из почвы лизиметрическими водами. Почвоведение, № 9, 21—30.

Бурлакова Л. М. 1957. Динамика подвижных форм азота в черноземно-луговой и серой лесной почвах. Тр. Томского университета, 140, 202—213.

Бут В. П. 1962. О влиянии дополнительного ультрафиолетового облучения на развитие водорослей в почве. Узб. биол. журн., № 2, 30—33.

Бут В. П. 1965. Водоросли некоторых почв Западного Памира. Сб. «Споровые раст. Ср. Азии и Казахстана», Ташкент, изд-во Наука, 189—193.

Бухман В. А. 1958. К вопросу превращения форм азота в торфяно-болотных почвах Карелии. Изв. Карельск. и Кольск. фил. АН СССР, № 4, 123—130.
Васильков Б. П. 1966. Белый гриб. М.—Л., изд-во Наука, 82—83.
Ваулина Э. Н. 1958. Основные черты флоры водорослей некоторых почв Белоруссии. Изв. АН БССР, сер. биол. н., № 1, 5—15.
Вельховер С. Т. 1935. О некоторых функциональных свойствах коринебактерий. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиологии, том XV, вып. 6, 869—877.
Виноградский С. Н. 1952. Об усвоении микробами газообразного азота атмосферы. Микробиология почвы, М., изд-во АН СССР, 336—340.
Витинский Ю. И. 1963. Прогнозы солнечной активности. М.—Л., изд-во АН СССР, 9—109.
Витинский Ю. И. 1966. Морфология солнечной активности. М.—Л., изд-во Наука.
Витинский Ю. И. 1968. Солнечная активность. Сб. «Земля и вселенная», № 2, 27—36.
Вишнякова З. В. 1966. Микроскопические грибы кедровников Западного Саяна. Сб. «Микроорганизмы в борьбе с вредителями лесн. хоз-ва», М., изд-во Наука, 49—53.
Вухрер Э. Г., Одинцов Б. Н. 1958. Динамика подвижных форм азота в каштановых почвах Карагандинской области. Тр. Отд. почвовед. АН Кирг. ССР, вып. 7, 141—153.
Гневышев М. Н. 1966. Об 11-летнем цикле солнечной активности. «Успехи физ. наук», 90, № 2, 291—301.
Гневышев М. Н., Новикова К. Ф. 1966. Изучение воздействия солнечной активности на биосферу Земли. Вестн. АН СССР, № 9, 111—112.
Голлербах М. М. 1953. Роль водорослей в почвенных процессах. Конф. по вопр. почв. микробиол., М., изд-во АН СССР, 93—108.
Голлербах М. М., Новичкова Л. Н., Сдобникова Н. В. 1956. Водоросли такыров. Такыры Зап. Туркм. и пути их с.-х. освоения. М., Изд-во АН СССР, 38—54.
Голованов Л. В. 1967. Александр Леонидович Чижевский — основоположник гелиобиологии. Сб. «Солнечная активность и жизнь», Рига, изд-во «Зинатне», 5—24.
Горюнова С. В. 1955. Явление хищничества у сине-зеленых водорослей. Микробиология, т. 24, вып. 3, 271—274.
Горюнова С. В., Насонова М. В. 1955. Явление сезонной периодичности роста и развития у одноклеточных зеленых водорослей. Микробиология, т. 24, вып. 2, 193—198.
Горюнова С .В., Насонова М. В. 1958. Влияние люминесцентных ламп с различными люминофорами на рост и развитие одноклеточной зеленой водоросли Scenedesmus quadricauda. Микробиология, т. 27, вып. 5, 581—587.
Гружево А. С. 1966. О роли сине-зеленых водорослей в накоплении азота в сероземных почвах. Тр. конф. молодых ученых Таджикистана, Душанбе, изд-во «Ирфон», 127—134.
Гуревич С. М., Баронин Н. К. 1965. Динамика нитратов в мощном черноземе в условиях орошения. Агрохимия, № 8, 32—42.
Дадыкин В. П. 1951. Особенности поведения растений на холодных почвах. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук, М.
Дарзниек Ю. О., 1967. Азотфиксирующая водоросль Calothrix elenkinii Kossinsk. из рыболовного пруда. Изв. АН Туркм. ССР, сер. биол. н., № 2, 57—60.
Дараселия Н. А. 1968. Микрофлора и приемы повышения плодородия красноземных почв. Тезисы докл. на второй межвузовской научной конференции в Москве. Изд. Московского университета, 74—75.
Денисенко В. В. 1963. Некоторые данные о сезонных и суточных изменениях фитопланктона Адриатического моря. Докл. АН СССР, 151, № 5, 1193—1194.

Долотов В. А. 1967. К вопросу о влиянии 11-летней цикличности солнечной активности на урожайность. Солнечные данные, № 9, 69—74.
Дорман Л. И. 1968. Вариации космических лучей и проблемы солнечно-земной физики. Вестн. АН СССР, № 4, 51—54.
Дорогостайская Е. В. 1959. К вопросу о почвенной альгофлоре пятнистых тундр Крайнего Севера. Ботан. журн. 44, № 3, 312—321.
Дорофеев К. А. 1964. Солнечная активность и эпизоотии. Солнечные данные, № 8, 77—79.
Дорофеев К. А. 1965. Долгосрочное прогнозирование эпизоотий туляремии. Солнечные данные, № 9, 64—67.
Дудка И. А. 1966. Сезонная периодичность в развитии сапролегниевых грибов и тип их ооспор. Гидробиол. ж., 2, № 1, 62—64.
Жданова Н. М. 1964. Відношення деяких грунтових гіфоміцетів групи Dematiacea до різної відносноної вологості повітря. Мікробіол. ж., 26, № 4, 49—54.
Жулин И. А., Пушков Н. В. 1968. Воздействие Солнца на земные явления. Вестник АН СССР, № 4, 43—45.
Злотина Г. Д. 1966. Влияние температуры на рост и развитие гриба Verticillium albo-atrum (R. et Berth), возбудителя вертициллиозного «ожога яблони». Бюлл. н.-техн. информации Тадж. н.-и. ин-та и с.-х. ин-та, № 4, 69—73.
Иванова С. С. 1965. Современное состояние вопроса о токсичности сине-зеленых водорослей. Сб. «Экология и физиология сине-зеленых водорослей», М., изд-во «Наука», 207—121.
Калининская Т. А. 1963. Азотфиксирующие микобактерии, выделенные из дерново-подзолистых почв. Почв. и с.-х. микробиология, Ташкент, изд. АН Узб. ССР, 73—78.
Каневская И. Г. 1964. О микофлоре почвенных целлюлозоразрушающих грибов. Бот. ж., 49, № 5, 715—720.
Карагуйшиева Д. 1966. Свободноживущие азотфиксаторы целинных и окультуренных такыровидных почв. Изв. АН Каз. ССР, сер. биол., № 2, 20—26.
Коган Ш. И. 1966. Азотфиксирующие сине-зеленые водоросли из водоемов и почв Южной Туркмении. Изв. АН Туркм. ССР, сер. биол. н., № 3, 15—23.
Коколия Т. Г. 1967. О развитии водного гриба лептомитуса и других компонентов биологических обрастаний в р. Неве. Сб. Сан. сост. реки Невы, 110—112.
Кононова М. М., Александрова И. В., Бельчикова Н. П., Титова Н. А. 1964. Гумус целинных и освоенных почв. Физ. химия, биол. и минерал. почв СССР, М., изд-во «Наука», 303—315.
Коптева Ж. П. 1967. Азотфиксирующая способность некоторых сине-зеленых водорослей. Мікробіол. ж., 29, № 2, 95—100.
Коптева Ж. П., Танцюренко Е. В. 1968. Азотфиксирующие сине-зеленые водоросли рисовых полей юга УССР. Тез. докл. совещ. по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 84—85.
Коробейников А. В. 1960. Влияние питания, температуры, влажности и pH на развитие некоторых видов рода Fusarium. Тр. ин-та биол. Уральск. фил. АН СССР, вып. 15, 71—81.
Костин С. И. 1968. Влияние 11-летних и вековых солнечных циклов на рост деревьев. Солнечные данные, № 4, 108—112.
Костычев С. П., Рысальчук А. Т., Швецова О. И. 1926. Химические исследования над связыванием молекулярного азота микробом Azotobacter agile. Тр. отдела с.-х. микроб. ГИОА, 1, 91—98.
Красильников Н. А. 1954. Микроорганизмы и плодородие почв. Изв. АН СССР, сер. биол., № 2, 14—39.
Круглов Ю. В., Пароменская Л. Н., Масленникова В. Г. 1968. Использование водорослей в качестве индикаторов для определения остаточной ток-

сичности гербицидов в почве. Тез. докл. второй межвуз. научной конф. «Микроорганизмы в с.-х.», М., изд. Московского университета, 181.
Кузнецова А. В. 1957. Влияние холода на содержание нитратного и аммиачного азота в черноземах Челябинской области. Вестн. с.-х. науки, № 6, 26—34.
Кузнецова А. В. 1959. Пути накопления и сохранения минеральных форм азота в черноземах Южного Урала. Тр. Челябинск. ин-та мех. и электрифик. с.-х., вып. 10, 3—204.
Кукк Э. Г. 1959. К флоре сине-зеленых водорослей Эстонской ССР. Бот. мат. отд. споровых раст. Бот. ин-та АН СССР, 12, 23.
Куликова Р. М. 1965а. Изменение флоры водорослей при окультуривании торфяно-болотной почвы. Бот. журн. 50, № 3, 414—417.
Куликова Р. М. 1965б. Развитие водорослей в торфяно-болотных почвах разной степени окультуренности. Почвоведение, № 10, 81—87.
Курдина Р. М. 1963. Спорообразующий аэробный фиксатор азота. Тр. Ин-та микробиол. и вирусол. АН Каз. ССР, 7, 58—59.
Кучкарова М. А., Максудов Т. У., Ходжаева-Воропаева О. Г. 1965. Изыскание и отбор фиксаторов азота из числа сине-зеленых водорослей рисовых полей Средней Азии. Сб. мат. Закавказск. конф. по спор. раст., Баку, изд. АН Азерб. ССР, 55—57.
Кучкарова М. А., Михайлова Е. К., Покровская Н. Н. 1968. Применение азотфиксирующих сине-зеленых водорослей и азотобактера в рисосеянии Узбекистана. Тез. докл. сов. по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 81—83.
Лазарев А. А., 1953. Динамика подвижных соединений азота, фосфора и калия в обыкновенных черноземах Каменной степи. Вопр. травопольн. сист. землед., т. II, М., изд-во АН СССР, 382.
Ластинг В. Р., Гурфель Д. Б., 1956. К методике количественного учета грибов в почве. Микробиология, т. 25, вып. 5, 610—611.
Логинов В. Ф. 1967. Некоторые особенности проявления солнечной активности в стоке рек Европы. Солнечные данные, № 7, 87—89.
Лукницкая А. Ф. 1963. Влияние температуры содержания на теплоустойчивость некоторых водорослей. Цитология, 5, № 2, 135—141.
Лупіновіч Т. С., Меяроускі А. С., 1966. Страты аміяку на тарфянабалотных глебах. Изв. АН БССР, сер. с.-х. н., № 2, 25—29.
Львов Н. П. 1963. Азотфиксирующий вид из рода Mycobacterium. Докл. Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, вып. 94, 265.
Макаров Б. Н. 1965. Выделение окислов азота из почвы. Агрохимия, № 2, 15—20.
Мальцев В. Т. 1966. Динамика азотистых веществ в дерново-подзолистых почвах. Вестник с.-х. науки, № 2, 124—125.
Мандельштам С. Л. 1967. Рентгеновское излучение Солнца. Сб. «Земля и вселенная», № 4, 2—10.
Матвиенко А. М. 1956. К изучению почвенных водорослей Крыма и Северного Кавказа. Бот. ж., 41, № 9, 1360—1363.
Матвиенко А. М. 1958. Почвенные водоросли окрестностей Харькова. Бот. ж., 8, т. 43, 1108—1120.
Мензел Д. Г. 1963. Наше Солнце. М., Гос. изд-во физ.-мат. лит., 322—323.
Мехтиева Н. А. 1963. Состав грибов некоторых почв Карабахской степи. Изв. АН Азерб. ССР, сер. биол. и мед. н., № 5, 75—81.
Милорадова Е. И., Бердыкулов Х. А. 1966. Сб. «Дикораст. и вводимые в культ. раст. Узбекистана», Ташкент, изд-во «Фан», 5—11.
Минкевич И. И., Захарова Т. Ч., Шибкова Н. А. 1969. Влияние цикличности солнечной активности на частоту появления массовых болезней с.-х. культур. Журнал общей биологии, том XXX, № 4, 410—417.
Мирчинк Т. Г., Орлова И. А. 1962. Микофлора некоторых серо-бурых лесных

почв Воронежского заповедника и ее токсические свойства. Вест. Моск. унив. Биол. почвовед., № 3, 70—77.
Михалева В. В., Лупанова Н. Б. 1964. О совмещении свойств аммонификации и денитрификации у истинных денитрифицирующих бактерий. Сб. «Роль микроорг. в плодородии почв и повыш. эффект. удобр.», Л., изд-во «Колос», 33—44.
Мишустин Е. Н. 1966. Почвенная микробиология и повышение продуктивности земледелия. С.-х. биология, 1, № 1, 49—59.
Мишустин Е. Н., Хаким А., Легг Д. О., Базилевич С. Д. 1965. Процесс денитрификации и потери азота из почвы. Изв. Тимирязевской с.-х. академии, № 3, 109—116.
Мишустин Е. Н., Петербургский А. В. 1967. «Биологический» азот в сельском хозяйстве. Сб. «Биологический азот и его роль в земледелии», М., изд-во «Наука», 5—13.
Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. 1968. Биологическая фиксация атмосферного азота. М., изд-во «Наука».
Мусаев К. Ю. 1960. Водоросли орошаемых земель и их значение для плодородия почв. Ташкент. Изд. АН Уз.ССР, 212.
Мусаев К. Ю. 1965. К вопросу о почвенных водорослях Голодной степи. Сб. «Мат. Закавказск. конф. по спор. раст.», Баку, изд. АН Азерб. ССР, 48—52.
Мусаев К. Ю., Умарова Ш. У. 1967. Почвенные водоросли хлопковых полей Узбекистана. Тр. Кировск. с.-х. ин-та, 20, № 40, 133—136.
Мустель Э. Р. 1968. Влияние солнечной активности на нижние слои атмосферы. Вестник АН СССР, № 4, 60—66.
Наплекова Н. Н. 1964. Интенсивность аэробного разрушения целлюлозы и зависимости от форм азота в почвах Горного Алтая. Тр. Биол. ин-та Сиб. отд. АН СССР, вып. 12, 101—107.
Наплекова Н. Н. 1968. Разложение целлюлозы и усвоение азота атмосферы некоторыми грибами и актиномицетами. Тезисы докл. по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 72—73.
Несмотрова Стоилка. 1965. Сезонна динамика на подвижния азот в някои български почви. Растениевъдни науки, 2, № 4, 63—70.
Новикова К. Ф., Гневышев Т. Н., Токарева Н. В., Оль А. И., Панов Т. Н. 1967. Влияние солнечной активности на возникновение и исход заболеваний сердечно-сосудистой системы. Солнечные данные, № 6, 87—92.
Новичкова-Иванова Л. Н. 1964. О почвенных водорослях Земли Франца-Иосифа. Сб. «Пробл. Севера», вып. 8, М.—Л., изд-во «Наука», 247—253.
Новицкий Ю. И. 1968. Действие постоянного магнитного поля на растения. Вестник АН СССР, № 9, 92—96.
Носкова Г. С. 1968. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области. Автореферат канд. дисс., Горьковск. унив.
Обух П. А., Балабанова Г. Г., Беженарь П. А., Мацюк В. А. 1966. Состав и распределение альгофлоры в некоторых типах почв Каларашского района МССР (по мат. 1963—1964 гг.). Сб. «Мат. IV конф. мол. уч. Молдавии, Секц. бот.», Кишинев, 74—80.
Османова Р. А. 1967. Об участии сине-зеленых водорослей в обогащении сероземных почв азотом. Изв. АН Туркм. ССР, сер. биол., № 6, 17—21.
Павельев С. В., Павельева З. С. 1965. Цикличность солнечной активности. Тр. Гл. геофиз. обсерв., вып. 181, 92.
Панкратова Е. М. 1967. Влияние соединений азота на рост сине-зеленых водорослей и фиксацию ими молекулярного азота. Тр. Кировск. с.-х. ин-та, 20, № 40, 183—191.
Пароменская Л. Н. 1967. Влияние триазиновых гербицидов на рост водорослей

в альгологически чистых культурах. Сб. «Микроб. процессы, их роль в повышении плодородия почв и эффективности удобрений», 173—178.
Перминова Г. Н. 1964а. Влияние сине-зеленых водорослей на развитие микроорганизмов в почве. Микробиология, т. 33, вып. 3, 472—476.
Перминова Г. Н. 1964б. Рост некоторых почвенных сине-зеленых водорослей на средах без азота. Ботан. ж., № 9, 1302.
Перминова Г. Н. 1967. Влияние сине-зеленых водорослей на накопление азота в почве. Тр. Кировского с.-х. ин-та, т. 19, вып. 37, Агрономия, 16—24.
Петухов В. А. 1954. О возможности нейронных извержений на Солнце в связи с наблюдениями полярных сияний и магнитных бурь. Тр. III совещ. по вопросам космогонии, М., изд-во АН СССР.
Подшибякин В. К., Зосимович И. Д., Шахова В. И. 1968. К анализу влияний гелио-геофизических возмущений на сердечно-сосудистые заболевания. Солнечные данные, № 2, 106.
Портнова-Перминова Г. Н. 1956. Некоторые данные о взаимодействии почвенных водорослей с почвенными грибами. Тр. Кировск. с.-х. ин-та, т. 11, вып. 23, 41—44.
Потульницкий П. М. 1962. Сезонная динамика почвенных водорослей в связи с растительным покровом. Микробиология, т. 31, вып. 1, 116—120.
Пресман А. С. 1968. Электромагнитные поля и живая природа, М., изд-во «Наука».
Пресман Л. М. 1968. Олигонитрофильные микроорганизмы в почвах Молдавии. Тез. докл. сов. по пробл. «Биол. фиксация атмосф. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 70—71.
Простаков П. Е., Герасимов Ю. А. 1965. Влияние орошения на процессы нитрификации в светло-каштановых почвах полупустынной зоны. Агрохимия, № 2, 33—44.
Пучко А. 1966. Материалы к флоре мукоровых в Латвийской ССР. Уч. зап. Латв. ун-та, 74.
Пяртельпоэг В. В. 1963. О росте некоторых грибов в зимний период 1960—61 гг. в юго-восточной части Эст. ССР. Материалы 2-го симпозиума по вопр. исслед. мико- и лихенофлоры Прибалт. респ., Вильнюс, 133—138.
Ракипова Л. Р. 1955. Воздействие солнечной активности на общую циркуляцию атмосферы. Цирк. Астр. обсерв. Львовск. ун-та, № 32, 7—14.
Рахно П. Х. 1961. О сезонности развития бактерий в почвах Эстонской ССР. Изв. АН Эст.ССР, т. 10, сер. биол., № 3, 241.
Рахно П. Х. 1963. Сезонность развития почвенных бактерий. Вестник АН СССР, № 10, 54—57.
Рахно П. Х. 1964. Сезонная количественная динамика почвенных бактерий и факторы, обусловливающие ее. Таллин, изд. АН ЭССР.
Рахно П. Х. 1968. О пробах почвы для микробиологических анализов. Почвоведение, № 7, 170—173.
Рахно П. Х., Тохвер В. И. 1957. О возможности усвоения молекулярного азота при температуре 50° отдельными почвенными бактериями. Докл. АН СССР, т. 112, № 1, 144—145.
Рахно П. Х., Сирп Л. К., Лангсепп А. И. 1967. Влияние солнечной активности на количественную динамику почвенных водорослей. Солнечные данные, № 11, 103—105.
Рахно П. Х., Сирп Л. К., Лангсепп А. И. 1968. О количественной динамике водорослей и некоторых почвенных типах Эстонской ССР. Изв. АН Эст. ССР, т. 17. Биология, № 1, 36—40.
Рождественская Е. Д., Новикова К. Ф. 1968. Влияние солнечной активности на фибринолиз. Солнечные данные, № 8, 92—96.
Романкова А. Г. 1953. Распространение грибов и бактерий в почвах Ленинградской области. Вестник Ленинградского университета, № 7, 35.

Рубашев Б. М. 1964. Проблемы солнечной активности. М.—Л., изд-во «Наука», 46.
Рубенчик Л. И. 1961. Фіксація молекулярного азоту безклітинними екстрактами мікроорганізмів. Мікробіол. ж., 23, № 6, 66—68.
Рубенчик Л. И. Бершова О. И., Книжник Ж. Л. 1965. К взаимоотношению Anabaena с бактериями и актиномицетами. Сб. «Экология и физиол. син. вод.», М., изд-во «Наука».
Рудина Л. А. 1958. Динамика подвижных соединений азота, фосфора и калия дерново-луговых почв поймы р. Москвы. Вестн. Моск. ун-та, сер. биол., почвовед., геол., геогр., № 3, 91.
Рыбалкина Н. А. 1960. Распространение анаэробных азотфиксирующих бактерий по полям севооборота. Вестн. с.-х. науки, № 7, 137—139.
Рывкин Б. А. 1966. Заболеваемость инфарктом миокарда и некоторые показатели солнечной активности. Солнечные данные, № 6, 70—74.
Рывкин Б. А., Рывкина Ф. З. 1966а. Влияние солнца и геомагнитных возмущений на клеточный состав и протромбиновый индекс крови. Солнечные данные, № 1, 76—78.
Рывкин Б. А., Рывкина Ф. З., Кобрина Б. И. 1966б. О связи заболеваемости инфарктом миокарда и некоторыми показателями солнечной активности. Солнечные данные, № 7, 80—82.
Рывкин Б. А., Рывкина Ф. З., Кобрина Б. И., Парфенова Н. А., Ильина Л. И., Костюкина Н. А., Мель М. И., Шурпач П. И., Бабенко А. Н. 1967. К вопросу о солнечно-земных связях в клинике сердечно-сосудистых заболеваний. Солнечные данные, № 4, 82—85.
Сенгищева З. А., Криковцова Л. Я., 1960. Динамика функциональных лейкопений на протяжении 19-го солнечного цикла. Солнечные данные, № 8, 86—87.
Семенова В. И. 1967. О возможности усвоения молекулярного азота некоторыми почвенными бактериями. Сб. «Биол. и физиол. микроорганизмов», Ташкент, изд-во «Фан», 161—164.
Серенков Г. П., Пахомова М. В. 1965. К биохимии сине-зеленых водорослей. Сб. «Экология и физиол. сине-зеленых водорослей», М., изд-во «Наука», 182—183.
Серов К. Р., Королева Н. Н. 1966. Солнечная активность и сердечно-сосудистые катастрофы. Солнечные данные, № 11, 83.
Скалон И. С. 1968. Свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы и их распространение в степных и пустынных биоценозах. Тез. докл. сов. по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 65—66.
Славнина Т. П. 1960. Влияние влажности почвы на процессы мобилизации азота. Научн. докл. высш. школы. Биол. н., № 4, 221—226.
Слыш В. И. 1968. Спорадическое радиоизлучение Солнца. Сб. «Земля и вселенная», № 4, 19—27.
Смирнов Н. П. 1968. 11-летние солнечнообусловленные колебания в стоке Волги. Солнечные данные, № 3, 107—110.
Смирнова М. Н. 1968. Рост и азотфиксация некоторых сине-зеленых водорослей при различных температурах. Тез. докл. сов. по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 86.
Смирнова М. Н., Ратушная М. Я., Канцелярук Р. М., Жарова Л. Г. 1966. Изучение роста и азотфиксации некоторых термофильных сине-зеленых водорослей. Сб. «Управляемый биосинтез», М., изд-во «Наука», 185—189.
Сосинов А. В., Маник Ю. С. 1966. Материалы к изучению роли циклической деятельности Солнца в патогенезе важнейших сердечно-сосудистых заболеваний человека. Солнечные данные, № 4, 73—76.
Степанова Л. Н. 1958. Взаимоотношение между денитрифицирующими и азотфиксирующими бактериями. Тр. Всес. н.-и. ин-та с.-х. микробиологии, 15, 111—120.

Сытинский А. Д. 1966. О механизме влияния солнечной активности на атмосферу и литосферу Земли. Геомагнетизм и аэрономия, 6, № 4, 726—732.
Таха Мохамед Самех. 1963а. Влияние концентрации водородных ионов в среде (pH) и температуры на рост сине-зеленых водорослей и фиксацию ими азота. Микробиология, 32, в. 6, 968.
Таха Мохамед Самех. 1963б. Выделение чистых культур азотфиксирующих сине-зеленых водорослей из почвы рисовых полей Египта. Микробиология, 32, в. 3, 492—497.
Таха Мохамед Самех. 1964а. Значение света для роста некоторых сине-зеленых водорослей и фиксация ими азота. Физиол. растений, 11, № 3, 424—431.
Таха Мохамед Самех. 1964б. Влияние соединений азота на рост сине-зеленых водорослей и фиксацию ими молекулярного азота. Микробиология, 33, в. 3, 397—403.
Тен Хак Мун. 1966. О сезонной динамике микрофлоры почв Южного Сахалина. Тез. докл. на годичн. сессии ДВ филиала СО АН СССР, Владивосток, стр. 155.
Тен Хак Мун. 1967. Микробиологическая характеристика почв южной части Сахалина. Автореферат канд. диссерт., Ленинград.
Теплякова З. Ф. 1955. Факторы, определяющие динамику целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почвах. Изв. АН Каз. ССР, сер. биол., № 9, 75—83.
Третьякова А. Н. 1965. Сравнительное исследование азотфиксирующих сине-зеленых водорослей, выделенных из разных почв СССР. Микробиология, 34, вып. 3, 491—496.
Третьякова А. Н. 1966. Действие света на рост и фиксацию азота почвенными сине-зелеными водорослями. Микробиология, 35, вып. 4, 721—725.
Троицкая Е. Н. 1961. Сезонные изменения водорослей некоторых пустынных растительных формаций. Сб. «Вопр. биол. и краевой мед.», вып. 2, Ташкент, 53—56, изд. АН Уз.ССР.
Троицкая Е. Н. 1965. Сезонные изменения в развитии водорослей некоторых пустынных почв. Сб. «Споровые раст. Ср. Азии и Казахстана», Ташкент, изд-во «Наука», 204—209.
Турчин Ф. В. 1960. Методы определения соединений азота в почве. Сб. «Агрохим. мет. иссл. почв». М., изд-во АН СССР, 57—73.
Тэрумото Исао. 1962. Устойчивость к замораживанию у пресноводных водорослей Algagropila sauteri (Nees) Kütz. Тэйон кагапу Сэйбуцу-хэн, № 20. Цит. по Реф. ж., 1963, 24 Б-26.
Умарова Ш .Ц. 1961. Влияние некоторых агротехнических мероприятий на развитие почвенных водорослей. Сб. «Вопр. биол. и краевой мед.», вып. 2, Ташкент, изд. АН Уз.ССР, 62—65.
Умарова Ш. Ц. 1962. Сезонные изменения в развитии водорослей хлопковых полей. Докл. АН Уз.ССР, 9, 67—70.
Умарова Ш. Ц. 1968. Влияние сине-зеленых водорослей на рост, развитие и урожайность хлопчатника. Тез. докл. сов. по пробл. «Биол. фикс атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 83—84.
Федоров М. В., Ильина Т. К. 1959. Стимулирующее влияние дрожжевого автолизата на азотфиксирующую активность почвенных актиномицетов. Микробиология, 28, вып. 4, 541—547.
Федоров М. В., Калининская Т. А. 1960. Взаимоотношения между отдельными видами олигонитрофильных бактерий. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., № 2, 125—136.
Федоров М. В., Калининская Т. А. 1961. Новые формы азотфиксирующих микроорганизмов, выделенных из дерново-подзолистых почв. Докл. ТСХА, вып. 70.
Феоктистова О. И. 1967. Влияние факторов внешней среды на азотфиксацию сине-зеленых водорослей. Тр. Кировск. с.-х. ин-та, 20, № 40, 155—166.

Фишкова Л. М., 1955. Вариации интенсивности свечения ночного неба в ближней инфракрасной области. Абастуманская астрофиз. обсерв., бюллетень 19, 3—23.
Хаджиев Т. Х. 1966. Процесс денитрификации в сероземных почвах по данным газового анализа. Сб. «Вопросы микробиологии». Ташкент, изд-во «Наука», 29—32.
Холопов В. Д. 1954. Динамика подвижных форм азота в серой лесной оподзоленной почве. Тр. Томского ун-та, 130, 69—76.
Цимахович Н. П. 1967. Вместо чисел Вольфа — радиопоток. Солнечная активность и жизнь. АН Латв. ССР, изд-во «Зинатне», 65.
Чжан Сянь-у, Чжоу Сюн-цин, Хань Цзин-Ту. 1957. Изучение бактерий, фиксирующих азот. Тутан вэймен усюэ цзикань, № 1 (цит. по Реф. ж., 1958, № 22).
Чижевский А. Л. 1930. Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М., изд. О-ва врачей-гомеопатов.
Чижевский А. Л. 1964. Еб одном виде специфически-биоактивного или α-излучения Солнца. Сб. «Земля во вселенной», М., 342—372.
Чижевский А. Л., Шишина Ю. Г. 1969. В ритме Солнца. М., изд-во «Наука», 61—81.
Шаповалов В. 1959. Накопление нитратного и аммиачного азота в почве при освоении многолетних залежей. Сельское хозяйство Сибири, № 2, 32—35.
Шапошников В. Н., Пименова М. Н., Максимова И. В., Жданникова Е. Н., Раменская А. А. 1964. О сезонной периодичности развития зеленых водорослей в лабораторных условиях. Микробиология, 33, вып. 2, 221—223.
Шведов Ф. М. 1892. Дерево, как летопись засух. Метеорологический вестник (цит. по Щербиновскому, 1952).
Шевлягин А. И. 1961. Интенсивность нитрификационного процесса в черноземах. Почвоведение, № 5, 96—103.
Шмидт Г. Н. 1968. Влияние 11-летнего цикла солнечной активности на годовые урожаи ржи и картофеля (по результатам полувекового опыта ТСХА). Изв. вып. 1, 228—230.
Штина Э. А. 1956. О взаимодействии почвенных водорослей с высшими растениями. Вестн. Московск. ун-та, № 6, 93—98.
Штина Э. А. 1957. О развитии почвенных водорослей в дерново-подзолистых почвах. Почвоведение, № 3, 12—18.
Штина Э. А. 1959а. Водоросли дерново-подзолистых почв Кировской области. Тр. Бот. ин-та АН СССР, сер. II, 12, 36—141.
Штина Э. А. 1959б. Сообщества водорослей основных типов почв СССР и их диагностическое значение. Бот. ж., 44, № 8, 1062.
Штина Э. А. 1960а. Зональность в распространении сообществ почвенных водорослей. Докл. сов. почвоведов к VII Междунар. конгр. в США, 190—194.
Штина Э. А. 1960б. Взаимосвязь почвенных водорослей и с.-х. растений при разных условиях среды. Научн. докл. высш. школы, биол. н., № 1, 75—79.
Штина Э. А. 1961. Об участии почвенных водорослей в питании растений. Тр. ин-та микробиологии АН СССР, вып. 11, 130—138.
Штина Э. А. 1963. Азотфиксация у сине-зеленых водорослей. Успехи совр. биологии, 56, № 2, 284—299.
Штина Э. А. 1964. О роли водорослей в накоплении азота в почве. Агрохимия, № 4, 77—83.
Штина Э. А. 1965а. Азотфиксация у сине-зеленых водорослей. Сб. «Экология и физиология сине-зеленых водорослей», М., изд-во «Наука».
Штина Э. А. 1965б. Особенности сообществ водорослей в мощных черноземах Центрально-Черноземного заповедника. Тр. Центр.-Черноземн. госзаповедника, вып. 9, 146—155.

Штина Э. А. 1967. Итоги и задачи экспериментальных исследований в почвенной альгологии. Совр. состояние и перспективы изучения почв. водорослей, Киров, 3—22.
Штина Э. А. 1968. Распространение азотфиксирующих водорослей в почвах СССР и их экологические особенности. Тез. докл. сов. почвоведов по пробл. «Биол. фикс. атм. азота», Киев, изд-во «Наукова думка», 77—79.
Штина Э. А., Болышев Н. Н., 1963. Сообщества водорослей в почвах сухих и пустынных степей. Бот. ж., 48, № 5, 670—680.
Штина Э. А., Ройзин М. Б. 1966. Водоросли подзолистых почв Хибин. Бот. ж., 51, № 4, 509—519.
Штина Э. А., Балезина Л. С., Панкратова Е. М., Перминова Г. Н., Третьякова А. Н., Юнг Л. А. 1967. Распространение азотфиксирующих сине-зеленых водорослей в неорошаемых почвах СССР. Сб. «Биол. азот и его роль в земледелии», М., изд-во «Наука», 325—341.
Щербиновский Н. С. 1952. Пустынная саранча шестоцерка. Сельхозгиз, М.
Щербиновский Н. С. 1964. Циклическая активность Солнца и обусловленные ею ритмы массовых размножений организмов. Сб. «Земля во Вселенной», М., 400—417.
Шульц Н. А. 1960. К вопросу о влиянии солнечной активности на сыворотку крови. Солнечные данные, № 9, 84—86.
Шульц Н. А. 1964. Влияние колебаний солнечной активности на численность белых кровяных телец. Сб. «Земля во Вселенной», М., 382—399
Эйгенсон М. С. 1953. О возможной природе палеоклиматических изменений. Изв. Всес. геогр. общества, 85, № 4, 360—372.
Эйгенсон М. С. 1957. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов, изд. Львовск. университета, 13—56.
Эйгенсон М. С., Гневышев М. Н., Оль А. И., Рубашев Б. М. 1948. Солнечная активность и ее земные проявления. М.—Л., Огиз, Гос. изд. техн.-теор. лит., 37.
Ягодинский В. Н., Александров Ю. В. 1956. Гелиоэпидемиология клещевого энцефалита. Солнечные данные, № 4, 61—68.
Allen, M. B. 1958. Photosynthetic Nitrogen Fixation by Blue-Green Algae. Trans. Internat. Conf. Use Solar Energy Scient Basis, vol. 4, 27—37.
Allison, F. E. 1955. The Enigma of Soil Nitrogen Balance Sheets. Advances Agron, 7, 213—250.
Amma, P. Anandavalli, Aiyer, R. S., Subramoney, N. 1966. Occurrence of Blue Green Algae in the Acid Soils of Kerala. Afric. Res. J. Kerala, 4, no. 2, 141—143.
Anderson, Guy R. 1955. Nitrogen Fixation by Pseudomonas Like Soil Bacteria. J. Bacteriol., 70, no. 2, 129—133.
Anderson, O. E. 1960. The Effect of Low Temperatures on Nitrification of Ammonia in Cecil Sandy Loam. Soil Sci. Soc. America Proc., 24, no. 4, 286—289.
Anderson, O. E., Boswell, F. C., Stacy, S. V. 1965. Effect of Temperature on Nitrification in Georgia Soils. Bull. Ga Agric. Experim. Stat. Univ. Ga Coll. Agric., no. 130, 5—22.
Bach, M. K. 1957. Hydrazine and Biological Nitrogen Fixation. Biochem. et Biophys Acta, 26, 104—113.
Badura, L., Badurowa, M. 1964. Wysterpowanie grzybow glebowych wzbiorowisku bukowym rezerwatu Lubsza. Acta Soc. Bot. Polon., 1964, 33, no. 3.
Barett, Elton R. 1964. Variation of Summer Fungi in Soil Areas in North-East Louisiana. Proc. Louisiana Acad. Sci., 27.
Barjac, H. de, 1954. La microflore denitrifiante: sa presence normale dans le sol. Ann. Inst. Pasteur, 87, no. 4, 440—444.

Becker, Udo. 1955. Ein Zusammenhang zwischen der Fällung von Wismutoxydchlorid (anorganischer Test von Piccardi) und der Sonnentätigkeit. Arch. Meteorologie, Geophysik und Bioklimat, ser. B, B. 6, 511—516.
Berg, Hellmut, 1957. Solar-terrestrische Beziehungen in Meteorologie und Biologie. Leipzig.
Bhattacharya, A. K., Awasthi, P. N. 1957. Nitrogen Transformations in Soil with Coal. Proc. Nat. Acad. Sci. India, no. 4, 335—339.
Birch, H. F. 1958a. Further Aspects of Humus Decomposition. Nature, 182, no. 4643, 1172.
Birch, H. F. 1958b. The Effect of Soil Drying on Humus Decomposition. Plant and Soil, 10, no. 1, 9—31.
Birch, H. F. 1960. Nitrification in soils after Different Periods of Dryness. Plant and Soil, 12, no. 1, 81—96.
Birch, H. F., Friend, M. T. 1961. Resistance of Humus to Decomposition. Nature, 191, no. 4789, 731—732.
Blom, J. 1931. Ein Versuch die chemischen molekularen Stickstoffs durch Mikroorganismen zu erklären. ZBL. Bakteriol., Parasitenkunde, Infektions u. Hyg., Abt. 2, 84, 60—86.
Bond, G. 1959. The Incidence and Importance of Biological Fixation of Nitrogen. Advanc. Sci., 15, no. 60, 382—386.
Borrow, A., Brown, Sheila, Jefferys, E. G., Kessell, R. H., Lloyd, E. C., Lloyd, P. B. 1964. The Effect of Waried Temperature on the Kinetics of Metabolism of *Giberella Fujikuroi* in Stirred Culture. Canad. J. Microbiol., 10, no. 3, 445—466.
Bortels, H., Massfeller, D. 1964. Phytophathologische Zeitschrift, Bd. 49, H. 4, 362—373.
Borut, Shira. 1959. An Ecological and Physiological Study on Soil Fungi of the Northern Negev (Israel). Bull. Res. Council Israel, D. 8, no. 2, 65—80.
Boswell, Fred C., Anderson, O. E. 1964. Nitrogen Movement in Undisturbed Profiles of Fallowed Soils. Agron. J., no. 3, 278—281.
Boyd, W. L., Staley, J. T., Boyd, J. W. 1966. Ecology of Soil Microorganisms in Antarctica. Antarctic Research Series (American Geoph. Union), vol. 8, 125—159.
Bremner, J. M., Shaw, K. 1958. Denitrification in Soil. II. Factors Affecting Denitrification. J. Agric. Sci., 51, no. 1, 40—52.
Bumbiers, M., Lloyd, A. B. 1967. Influence of Soil Fertility and Moisture on Lysis of Fungal Hyphae. Austral. J. Biol. Sci., 20, no. 1, 103—112.
Burge, W. D., Broadbent, F. E. 1961. Fixation of Ammonia by Organic Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 25, no. 3, 199—204.
Burkard, O. 1955. Einige statistische Versuche zur Piccardischen Fällungsreaktion. Arch. Met., Geophys., Bioklimat., ser. B, bd. 6—4, 506—510.
Cady, F. B., Bartholomew, W. V. 1963. Investigations of Nitric Oxide Reactions in Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 27, no. 5, 546—549.
Calder, E. A. 1957. Features of Nitrate Accumulation in Uganda Soil. J. Soil Sci., 8, no. 1, 60—72.
Calpouzos, Stallknecht, G. F. 1965. Sporulation of *Cercospora beticola* Affected by an Interaction between Light and Temperature. Phythopathology, no. 12, 1370—1371.
Cameron Roy E. 1963. Algae of Southern Arizona. Rev. algol., 6, no. 4, 282—318.
Carapiperis Leon N. 1954. The Solar Activity and the Summer Rainfall in the Mediterranean. Geofisica pura e applicata, vol. 27, 174—178.
Carnahan, James E., Castle, John, E. 1958. Some Requirements of Biological Nitrogen Fixation. J. Bacteriol., 75, no. 2, 121—124.
Carter, J. N., Allison, F. E. 1960. Investigations on Dentrification in Wellaerated Soils. Soil Sci., 90, no. 3, 173—177.

Chandra Purna. 1962. Note on the Effect of Shifting Temperatures on Nitrification in a Loam Soil. Canad. J. Soil Sci., 42, no. 2, 314—315.
Chang, P.-C., Knowles, R. 1965. Non-symbiotic Nitrogen Fixation in Some Quebec Soils. Canad. J. Microbiol., 11, no. 1, 29—38.
Chao Tyngtsair, Kroontje Wybe. 1964. Relationships between Ammonia Volatilization, Ammonia Concentration and Water Evaporation. Soil Sci. Soc. America Proc., 28, no. 3, 393—395.
Chen Alice Whei-Chu, Criffin D. M. 1966a. Soil Physical Factors and the Ecology of Fungi. V. Further Studies in Relatively Dry Soils. Trans. Brit. Mycol. Soc., 49, no. 3, 419—426.
Chen Alice Whei-Chu, Griffin D. M. 1966b. Soil Physical Factors and the Ecology of Fungi. VI. Interaction between Temperature and Soil Moisture. Trans. Brit. Mycol. Soc., 49, no. 4, 118—123.
Chojer, T. N. 1959. Influence of Trace Element on the Fixation of Nitrogen in Soils. Res. J. Hindi Sc. Acad., 2, no. 2, 83—88.
Clark, Francis E. 1962. Losses of Nitrogen Accompanying Nitrification. Internat. Soil Conf. Wellington, 1—6.
Clark, Francis E., Beard, William E., Smith, Donald H. 1960. Dissimilar Nitrifying Capacities of Soils in Relation to Losses of Applied Nitrogen. Soil Sci. Soc. America Proc., 24, no. 1, 50—54.
Cobb, Howell D., Jr, Myers Jack. 1964. Comparative Studies of Nitrogen Fixation and Photosynthesis in *Anabaena cylindrica*. Amer. J. Bot. 51, no. 7, 753—762.
Cohen, Judith. 1967. The Effect of External Conditions on Coremium Production in *Paecilomyces farinosus* Bainier. Ann. Bot., 31, no. 123.
Colar, G., Greenland, P. 1963. Nitrogen Balance of the Earth Surface. Austral. J. Sci., 23, no. 9, 290—297.
Collier, M. D. 1964. Evolution et dynamisme de l'azote mineral dans les sols argilocalsaires de Limagne. Compt. rend. Acad. Agric. France, 50, Nr. 16, 1231—1251.
Cooke, Wm Bridge, Fournelle, H. T. 1960. Some Soil from and Alaskan Tundra Area. Arctic, 13, no. 4, 266—270.
Cooper, Grant S., Smith, R. L., 1963. Sequence of Products Formed During Denitrification in Some Diverse Western Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 27, no. 6, 659—662.
Corte, Alfredo, Daglio, Carlosa A. N. 1963. Micromicetes aislados en el Antartico. Contrib. Inst. Antarct., no. 74.
Cox, Rosalie M. 1966. Physiological Studies on Nitrogen Fixation in the Blue-Green Alga *Anabaena cylindrica*. Arch. Mikrobiol., 53, no. 3, 263—276.
Curtis, Charles R. 1967. Response of Fungi to Diurnal Temperature Extremes. Nature, 213, no. 5077.
Danilevičius, V. 1962. Nitratinio ir amoniakinio azoto dinamika kauno rajono dirnoženminose. Liet. Žemes ukio akad. moksl. darboi, 9. no. 3, 71—89.
Davis, J. B., Coty, V. F., Stanley, J. P. 1964. Atmospheric Nitrogen Fixation by Methaneoxidizing Bacteria. J. Bacteriol., 88, no. 2, 468—472.
Dayal, Ram, Gupta, O. S. D. 1967. The Soil Fungi of Varanasi India in Relation to the Edaphic Factors. Oikos, 18, no. 1, 76—81.
Delepine, R. 1967. Relations entre la physiologie des algues et les facteurs atmospheriques. Biometeorology, vol. 2, part 2, 885—889.
Delwiche, C. C., Wijler, J. 1956. Non-symbiotic Nitrogen Fixation in Soil. Plant and Soil, 7, no. 2, 113—129.
De, P. K., Digar, S. 1954. Loss of Nitrogen Gas from Waterlogged Soils. J. Agric. Sci., 44, part 2, 129—132.

Dhar, N. R., Banerjee, A. K. 1961. Fixation of Atmospheric Nitrogen in Alkali Soil by Organic Matter and Phosphate. Proc. Nat. Acad. Sci. India. 31A, no. 2, 309—311.
Dhar, N. R., Gupta, V. P. 1961. Retarding Influence of Phosphates and Paddy Straw on Nitrogen Loss During the Photochemical Decomposition of Oil Cakes. Proc. Nat. Acad. Sci. India, 31A, no. 2, 233—239.
Dhar, N. R., Sanyal, J., 1961. Loss of Soil Humus and Nitrogen from Land Fed with Nitrogenus Fertilizers and Manures and their Retardation. Proc. Nat. Acad. Sci. India, 31A, no. 2, 290—304.
Dixon, D. 1928. The Microorganisms of Cultivated and Bush Soils in Victoria. J. Exp. Biol. a. Med. Sci., V, 223—232.
Dommergues, Y. 1960. Mineralisation de l'azote aux faibles humidites. Trans. 7-th Int. Congr. Soil Sci., Madison, Wisc., Vol. 2, 672—678.
Dommergues, Y., Mutaftschiev, S. 1965. Fixation synergique de l'azote atmospherique dans les sols tropicaux. Ann. Inst. Pasteur, 109, no. 3, 112—120.
Drouineau, G. 1960. Azote. Techn. Agric., 1, Paris, As. devel. et vulg. techn. agric., no. 1230, 1—16.
Drover, D. P., Barrett-Lennard, I. P. 1956. Accessions of Nitrogen (Ammonia, Nitrate and Nitrite) in Western Australian Wheat Belt Rains. J. Austral. Inst. Agric. Sci., 22, no. 3, 193—197.
Dubois, J. 1955. La variation de brillance de la lumiére cendrée de la Lune au cours du dernier cycle solaire. Astronomie, 69, juin, 242—246.
Duperrex, Aloys. 1967. Eau contenue dans les sols et fructification des champignons superieurs. Schweiz. Z. Pilzkunde, 45, no. 1.
Dupont, E. M., Field, R. C., Leathers, Ch. R., Northey, W. T. A. 1967. A Surwey of the Airborne Fungi in the Albuquerque New Mexico Metropolitan Area, J. Allergi, 39, no. 4.
Durrel, L. W. 1964. Algae in Tropical Soils. Trans. Amer. Microscop. Soc., 83, no. 1, 79—85.
Dutta, N., Venkataraman, G. S. 1958. An Exploratory Study of the Algae of Some Cultivated and Uncultivated Soils. Indian J. of Agron., v. 3, no. 2, 109—115.
Dwivedi, R. S. 1965. Ecology the Soil Fungi of Some Grasslands of Varanasi. Proc. Nat. Acad. Sci. India, B 35, no. 3.
Dworin, Milton. 1966. A Study of Atmospheric Mold Spores in Tucson, Arisona. Ann. Allergy, 24, no. 1, 31—36.
Edgington, L. V. 1962. Influence of Connecticut Temperatures on the Relative Panthogenticity of Main and Connecticut Verticillium isolates. Amer. Potato J., 39, no. 7, 261—265.
Ekpete, O. M., Cornfield, A. H. 1965. Effect of pH and Addition of Organic Materials on Denitrification Losses from Soil. Nature, 208, no. 5016, 1200.
Ekpete, D. M., Cornfield, A. H. 1966. Effects of Varying Static and Changing Moisture Contents During Incubation on Ammonia and Nitrate Levels in Soil. J. Agric. Sci., 66, no. 1, 125—129.
Elwert, G., Reinert, J. Mitlacher, W. 1952. Zur Frage des Einflusses von Meterswellen auf Keimungs- und Wachstumsvorgänge bei Pflanzen. Ztschr. für Naturforschung, Bd. 7b, H. 2, 109—112.
Embree, R. W. 1964. The Effects of Temperature on Growth, Sporulation and Asexual Spore Germation in the Genus *Radiomyces*. Bull. Torrey Bot. Club, 91, no. 4, 263—270.
Eschena, Tomaso. 1955. La fissazione chimico-fisica dell'azoto nel terreno. Ann. sperim. agrar., 9, no. 6. 1399—1415.
Fairbridge, R. W. 1961. Radiation Solaire et variations cycliques du niveau marin. Rev. geogr. phys. et geol. dynam., 4, no. 1, 2—14.

Faller, N. 1965. Dinamika azota u slabo humusnom livadskom zemljištu. Zemeljiste i hiljka, 14, nr. 3, 323—332.
Fassatiova, Olga. 1966. Bodenmikromyceten an Hügel Doutnač im Böhmischen Karst. Preslia, 38, nr. 1.
Faust, Heinrich. 1964. Sonnenaktivität und Wetter. Bild Wiss., nr. 2, 37—47.
Fay, P. 1965. Heterotrophy and Nitrogen Fixation in *Chlorogloea Fritschii*. J. Gen. Microbiol., 39, nr. 1, 11—20.
Finke, E. L. 1962. Countering the Effects of Decreasing Solar Activity. Conf. Proc. Nat. Winter Convent. Military Electronics, Los Angeles, 270—279.
Flint, E. A. 1958. Biological Studies of Some Tussockgrassland Soils. IX. Algae: Preliminary Observ. New Zealand, J. Agric. Research, 1, no. 6, 991—997.
Florenzano, G., Balloni, W., Materassi, R. Premiéres recherches microbiologiques sur les algues du sol. Ann. Inst. Pasteur, 105, nr. 2, 195—201.
Fogg, G. E. 1967. Observations on the Snow Algae of the South Orkney Islands. Philos. Trans. Roy. Soc. London, B 252, no. 777, 279—287.
Fogg, G. E., Stewart, W. D. P. 1965. Nitrogen Fixation in Blue-Green Algae. Sci. Progr., 53, no. 210, 191—201.
Forbush, S. E. 1957. Solar Influences on Cosmic Rays. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, vol. 43, no. 1, 28—41.
Frederick, L. R. 1957. Formation of Nitrate from Ammonium Nitrogen in Soils. 2. Effect of Population of Nitrifiers. Soil Sci., 83, no. 6, 481—545.
Gadet, R., Soubies, L., Fourcassie, F. 1961. Remontée des nitrates dans les couches superficielles du sol en periode estivale. Compt. rend. Acad. agric. France, 47, nr. 16, 897—912.
Gadet, R., Soubies, L. 1962. Le bilan de l'azote dans les sols. Compt. rend. Acad. agric. France, 48, nr. 3, 145—153.
Gasser, J. K. R., Peachey, J. E. 1964. A Note on the Effects of Some Soil Sterilants... J. Sci. Food and Agric, 15, no. 3, 142—146.
Gehu, J. M., Ghestem, A. 1965. La mineralisation experimentale de l'azote organique... Ann. Inst. Pasteur, 109, nr. 3, 136—152.
Gerretsen, F. C., Hoop, H. de. 1957. Nitrogen Losses During Nitrification in Solutions and in Acid Sandy Soils. Canad. J. Microbiol., 3, no. 2, 359—380.
Ghildyal, B. P. 1964. Some Observations on the Nature of Non-biological Nitrification in Tropics. J. Indian Soc. Soil Sci., 12, no. 1, 51—57.
Ghosh, G. R., Dutta, B. G. 1960. Soil Fungi from Orissa (India). Mycologia, 52, no. 6, 915—918.
Gleissberg, W. 1964. Ein solarer Hemisphäreneffekt in den erdmagnetischen Störungen. Naturwissenschaften, 51, nr. 13, 309.
Gleissberg, W. 1965. The eighty-year Solar Cycle in Auroral Frequency Numbers. J. Brit. Astron. Assoc., 75, no. 4, 227—231.
Goos, R. D., Davis, E. E., Butterfield, W. 1967. Effect of Warming Rates on the Viability of Frozen Fungous Spores. Mycologia, 59, no. 1, 58—66.
Goring, C. A. Y. 1962. Control of Nitrification by 2-Cloro-6 (Trichloromethyl) Pyridine. Soil Sci., 93, 8, 211.
Goth, R. W. 1963. The Effect of Low Temperature on Germination of Chlamydospores of *Ustlago avenae*. Phytopathology, 53, no. 3, 357.
Greenland, D. J. 1958. Nitrate Fluctuations in Tropical Soils. J. Agric. Sci., 50, no. 1, 82—92.
Griffin, D. M. 1963. Soil Moisture and Ecology of Soil Fungi. Biol. Revs. Cambridge Phil. Soc., 38, no. 2, 141.
Gupta, A. B. 1966. Algal Flora and its Importance in the Economy of Rice Fields. Hydrobiologia, 28, no. 2, 213—222.
Haas, H. J., Evans, C. E., Miles, E. F. 1957. Nitrogen and Carbon Changes in Great Plains Soils... Techn. Bull. U.S. Dept. Agric., no. 1164, 111.

Harding, D. E., Ross, D. J. 1964. Some Factors in Low Temperature Storage Influencing the Mineralisable Nitrogen of Soils. J. Sci. Food and Agric., 15, no. 12, 829—834.
Haskins, R. H. 1965. Sterols and Temperature Tolerance in the Fingus Pythinu Science, 150, no. 3703.
Hauck, R. D., Melsted, S. W. 1956. Some Aspects of the Problem of Evaluating Denitrification in Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 20, no. 3, 361—364.
Hauge, Øivind. 1960. Variations in the Solar Base Level Radiation on 200 Mc/s. Astrophys. Norveg., 6, no. 11, 123.
Hebért, J. 1960. Evolution hebdomadaire de l'azote mineral en sol nu et sous culture... Trans. 7-th Internat. Congr. Soil Sci., Madison, Misc. Vol. 2, Groningen, 82—90.
Hebért, Kottelanne, Lefevre, Hiroux. 1965. Observations de la mineralisation de l'azote en sol nu. Compt. rend. Acad. Agric. France, 51, nr. 12, 852—858.
Hess, Ute. 1962. Über die hydraturabhängige Entwicklung und die Austrocknungsresistenz von Cyanophyceen. Arch. Mikrobiol., 44, nr. 2, 189—218.
Hilton, R. L., Trainor, F. R. 1963. Algae from a Connecticut Soil. Plant and Soil. 19, no. 3, 396—399.
Hinman, W. C. 1964. Fixed Ammonium in Some Saskatchewan Soils. Canad. J. Soil. Sci., 44, no. 1, 151—157.
Hino, Seiichi, Wilson, P. W. 1958. Nitrogen Fixation by a Facultative Bacillus. J. Bact., 75, no. 4, 403.
Hirose Shunro, Kumada Kyoichi. 1964. Mineralization of the Native Organic Nitrogen. I. Soil Sci. and Plant. Nutr., 10, no. 2, 91—92.
Hollomon, D. W. 1966. Reducing Compounds and the Growth of *Phytophtnora infestans*. J. Gen. Microbiol. 45, no. 2, 315—324.
Holm-Hansen, Osmund. 1963. Viability of Bluegreen and Green Algae after Freezing. Physiol. Plantarum, 16, no. 3, 530—540.
Howell, P. J. 1964. A Note on the Sporulation et Some Seed Born Fungi under near Ultraviolet Light. Compt. Rend. Assoc. Internat. Essais Semenses, 29, no. 1.
Hughes, Gilbert C. 1962. Seasonal Periodicty of the Saprolegniaceae in the South Easter United States. Trans. Brit. Mycol. Soc. 45, no. 4.
Hüser, R. 1963. Probleme zur biologischen Luftstickstoffbindung in Waldböden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde. 103, nr. 3, 220—226.
Hwang Shuh Wei 1960(1961). Effects of Ultra-low temperatures on the Viability of Selected Fungus Strains. Mycologia, 52, no. 3, 527—529.
Jensen, H. L. 1940. Contributions to the Nitrogen Economy of Australian Wheat Soils. Proc. Linnean Soc. N. S. Wales, 65, 1—122.
Jensen, H. L., Petersen, E. J., De, P. K. Bhattacharya, Roma. 1960. A New Nitrogen-fixing Bacterium: Derxia gummosa nov. gen. nov. sp. Arch. Mikrobiol., 36, no. 2, 182—195.
Jones, T. A. 1957. Nitrogen Studies on the Irragated Soils of the Sudan Gezira. J. Soil Sci., 8, no. 2, 211—224.
Kalamees, K. 1966. Sesoonsetest muutustest seenkonnas. ENSV Tead. Akad. Toimet., Biol. seeria, 15, nr. 2.
Kanwisher, John. 1956. Freezing and Drying in Interdial Algae. Biol. Bull., 113, 275—285 (Цит. no Krauss a. Osretkar, 1961).
Kaufman, D. D. Williams, Lansing E. 1964. Effect of Mineral Fertilization and Soil Reaction on Soil Fungi. Phytopathology, no. 2, 134—139.
Kessler, E., Czygan, F. C. 1963. Seasonal Changes in the Nitratereducing Activity of a Green Algae. Experimentia, 19, no. 2, 89—90.
Kluyver, A. J., Becking, J. H. 1955. Some Observations on the Nitrogen Fixing

Bacteria of the Genus *Beijerinckia Dex.* Suomalais. tiedeakat. toimit., sar. A II, no. 60, 367—380.
Knowles, R. 1965. The Significance of Nonsymbiotic Nitrogen Fixation. Soil Sci. Soc. America Proc., 29, no. 2, 223.
Konyeas, V. 1964. An Approach to the Study of Moisture Relations of Soil Fungi. Plant and Soil, 20, no. 3, 351.
Krauss, R. W., Osretkar, A. 1961. Minimum and Maximum Tolerances of Algae to Temperature and Light Intensity. Med. a. Biol. Aspects Energ. Space, 253—273.
Kukk, E. 1960. Andmeid Põhja-Eesti muldade sinivetikate floorast. Tartu Ülik. Toimet., va. 93, 178—195.
Kunert, J. 1966. Sezónni změny výskytu dermatofytú na přirozeném stanovišti. Českosl. epidemiol., mikrobiol., imunol., 15, nr. 2, 94—101.
Log, J. 1963. Tilføring av plantenaringsstoffer mei nedbøen in Norge. Forskn. og. Forsøk landbr., 14, nr. 3, 553—563.
Laporte, G. S., Pourriot, R. 1967. Fixation de l'azote atmosphérique par les algues *Cyanophycées.* Rev. écol. et biol. sol., 4, nr. 1, 81—112.
Linke, E. 1961. Untersuchungen über den biologischen Abbau der organischen Substanz einiger Böden. Zbl. Bakteriol., Paras., Inf. und Hyg., Abt. 2, 114, nr. 3, 240—269.
Loewenstein, H. 1955. Gaseous Loss of Nitrogen from Soil. Dissert. Abstr., 15, nr. 12, 2377—2378.
Loginow, W., Kaszuniak, T. 1964. Dynamika azotu w glehie. Prace Inst. upramy, nawoz i glebozn., nr. 14, 15.
Lugauskas, A. 1960. Pašariniu augalu risosferos mikroskopiniu grybu yystimosi priesmelio, priemolio ir yilaus dur puno dirvose dinamika. Liet. TSR Mosklu Akad. darbai, B, 3(23), 27—34.
Macanley, B. J., Throrwer, L. B. 1966. Succession of Fungi in Leaf Litter *Eucaliptus reghans.* Trans. Brit. Myc. Soc., 49, no. 3, 509—520.
Mack, A. R. 1962. Low-temperature Research on Nitrate Release from Soil. Nature, 193, no. 4817, 803—804.
Mack, A. R. 1963. Biological Activity and Mineralization of Nitrogen in Three Soils as Induced by Freezing and Drying. Canad. J. Soil Sci., 43, no. 2, 316—324.
Mahendrappa, M. K., Smith, R. L. 1966. Nitrifying Organisms Affected by Climatic Region in Western United States. Soil Sci. Soc. America Proc., 30, no. 1, 60—62.
Mahendrappa, M. K., Smith, R. L. 1967. Some Effects of Moisture on Denitrification in Acid and Alkaline Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 31, no. 2, 212—215.
Malo, B. A., Purvis, E. R. 1964. Soil Absorption of Atmospheric Ammonia. Soil Sci., 97, no. 4, 242—247.
Martin, A. E., Cox, J. E. 1956. Nitrogen Studies on Black Soils from the Darling Douns, Queensland. I. Austral. J. Agric. Res., 7, no. 3, 169—183.
Mayland, H. F., McIntosh, T. H., Fuller, W. H. 1966. Fixation of Isotopic Nitrogen on a Semiarid Soil by Algae Crust Organisms. Soil Sci. Soc. America Proc., 30, no. 1, 53—60.
McGarity, J. W. 1962. Effect of Freezing of Soil on Denitrification. Nature, 196, no. 4861, 1342—1343.
McNelly-Ingle, C. A., Frost, L. 1965. The Effect of Temperature on the Production of Peritecia by *Neurospora crassa.* J. Gen. Microbiol., 39, no. 1, 33—34.
Meiklejohn, J. 1955. Notes on Nitrogenfixing Bacteria from East African Soils. Actes et compt. rend. 5-e Congr. Internat. sci. sol., Leopoldville, 1954, vol, 3, 123—125.
Meiklejohn, Jane. 1958. Nitrification in Soil. N.A.A.S. Quart Rev., no. 39, 202—207.
Metcalfe, G., Chayen, S., Roberts, E. R., Wilson, T. G. G. 1954. Nitrogen Fixation by Soil Yeasts. Nature, 174, no. 4435, 841—842.

Mishra, R. R. 1966. Seasonal Variation in Fungal Flora of Grasslands of Varanasi (India). Trop. Ecol., 7.
Mitchell, J., Murray, Jr. 1965. The Solar Inconstant. NCAR Tech. Note, no. 8, 155—174.
Moore, A. W. 1963. Occurence of Non-symbiotic Nitrogen-fixing Micro-organisms in Nigerian Soils. Plant and Soil, 19, no. 3, 385—395.
Moore, A. W., Abaelu, J. N. 1959. Non-symbiotic Nitrogen Fixation in a Soil of the Nigerian Rain-forest Zone. Nature, 184, no. 4679, 75.
Moore, A. W., Becking, J. H. 1963. Nitrogen Fixation by Bacillus Strains Isolated from Nigerian Soils. Nature, 198, no. 4883, 915—916.
Moser, M. 1959. Der Einfluss tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze... Sydowia, 12, nr. 1—6, 386—399.
Mosetti, F. 1955. Periodizitätsanalyse der Beobachtungsreihen der Piccardi'schen Fällungsreaktion. Arch. für Meteorologie, Geophysik u. Bioklimatologie, Serie B, Bd. 6, 4, 517—522.
Naim, M. S. 1967. Contribution to the Knowledge of Soil Fungi in Lybya. I. Mycopathol, et mycol. appl., 31, no. 3—4.
Németh, T. 1966. An Attempt to the Explanation and to the Prediction of the Eleven-year Cycle of Solar Activity. Pure and Appl. Geophys., 63, no. 1, 201—210.
Nicholas, D. J. D. 1963. How do Microbes «Fix» Nitrogen from the Air? New Scientist, 20, no. 369, 680—683.
Nichols, C. W., Garnsey, S. M., Rackham, R. L., Gotan, S. M., Mahannah, C. N. 1964. Pythiaceous Fungi and Plant-parasitic Nematodes in California Pear Orchards. I. Hilgardia, 35, no. 21, 577—602.
Nishigaki Susumu, Shioiri Matsusaburo. 1959. Nitrogen Cycles in the Rice Field Soil I. Soil and Plant Food, 5, no. 1, 36—39.
Novak, B., Dvořaková, H. 1955. Poutání vzdušuchodusiku aktinomycetami. Sbor. Ceskosl. Akad. zeméd. ved. Roktl. vyroba, 28, nr. 3—4, 257—259.
Okuda Azuma, Yamaguchi Masuro. 1955. Nitrogen-fixing Microorganisms Paddy Soils. Soil and Plant Food, 1, no. 2, 102—104.
Okuda Azuma, Yamaguschi Masuro, 1959. Nitrogen-fixing Microorganisms in Paddy Soils. IV. Soil and Plant Food, 5, no. 2, 73—76.
Pankow, Helmut. 1964. Die Bindung von Luftstickstoff durch zwei weitere Blaualgen-Arten: *Fischerella muscicola* und *F. major*. Naturwissenschaften, 51, nr. 11, 274—275.
Parker, C. A. 1954. Nonsymbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria in Soil. I. Studies on *Clostridium bytyricum*. Austral J. Agric. Res., 5, no. 1, 90—97.
Parker, C. A. 1957. Non-symbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria in Soil II. Total Nitrogen Changes in a Field Soil. J. Soil Sci., 8, no. 1, 48—59.
Parker, B. C., Bold, H. C. 1961. Biotic Relationships between Soil Algae and other Microorganisms. Amer. J. Bot., 48, no. 2, 185—197.
Parker, D. T., Larson, W. E. 1962. Nitrification as Affected by Temperature and Moisture Content of Mulched Soils. Soil Sci. Soc. America Proc., 26, no. 3, 238—242.
Parkinson, D., Balasooriya, J. 1967. Studies on Fungi in a Pine-Wood Soil. I. Rev. Ecol. et biol. sol., 4, no. 3.
Parmeter, J. R., Ir., Hood, I. R. 1962. Use of Ultraviolet Light in Isolation of Certain Fungi from Soil. Phytopathology, 52, no. 4, 376—377.
Patrick, W. Jh., Wyatt, Ronald. 1964. Soil Nitrogen Loss as a Result of Alternate Submergence and Drying. Soil Sci. Soc. America Proc., 28, no. 5, 647—653.
Patterson, T. 1955. Mushroom Miscellany. Commerc. Grower, no. 3029 (цит. по Реф. журналу, № 22, 62040).

Paul, E. A., Newton, J. D. 1961. Studies of Aerobic Non-symbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria. Canad. J. Microbiol., 7, no. 1, 7—13.
Persson—Hüppel, Arne. 1963. The Influence of Temperature on the Antagonistic Effeot of *Trichoderma viride* Fr. Studia Forest Suec., no. 4, 13.
Peschel, G. 1966. Beiträge zur Biologie von *Stromatinia gladioli (Drayt) Wh.* Arch. Pflanzenschutz. 2, nr. 2, 131.
Peterfi, L. St. 1967. On the Winter Algal Flora Occurring in Pools and Bogs of Sălicea. Rev. roumaine biol. Sér. bot., 12, no. 1, 69—74.
Piccardi, G. 1955. Über einen Zusammenhang zwischen atmosphärischen und kosmischen Phänomenen und physikalisch-chemischen Prozessen. Arch. f. Meteorologie, Geophysik u. Bioklim., Ser. B., Bd. 6, 4, 486—505.
Piccardi, Giorgio. 1962. The Chemical Basis of Medical Climatology. Springfield, Illinois, USA.
Piccardi, Giorgio. 1967. Astrophysical Phenomena and Terrestrial Events. Cycles, vol. XVIII, no. 4, 83—92.
Pocienė, C. 1963. Lietuvos TSR dirvožemiu dumblu kiekybines anskaitos duomenys. Научные труды высших учебных завед. Лит. ССР. Биология, № 3, 71—77.
Pratt, Douglas C., Frenkel, A. W. 1959. Studies on Nitrogen Fixation and Photosynthesis of *Rhodospirillum rubrum.* Plant Physiol. 34, no. 3, 333—337.
Proctor, M. H., Wilson, P. W. 1958. Nitrogen Fixation by Gram-Negative Bacteria. Nature, 182, no. 4639, 891.
Rahno, P. 1968. De l'application d'un nouveau dispositif destine a la preparation des analyses microbiologiques du sol. ENSV TA Toimetised, XVII köide, Biol., nr. 1, 29.
Rajagopalan, Soumini, Ramakrishnan, K. 1963. Phycomycetes in Agricultural Soils with Special Reference to Pythiaceae. I. J. Madras Univ., B. 33, no. 3.
Rangarajan, S. 1954. Solar Influence on Barometric Pressure. Indian J. Meteorol. a. Geophys., 5, no. 3, 291.
Rappe, G. 1952—1953. Nitrification in Eight Farm Soils. Oikos, 4, no. 1, 28—43.
Rau, W. 1967. Untersuchungen über die lichtabhängige Carotinoidsynthes. II. Planta, 74, no. 3, 263—277.
Reif, Ch. B., Fine, D. L. 1967. Two Winter Blue-Green Algal Populations. Phycologia, 6, no. 2—3, 105—106.
Round, F. E. 1960. Studies on Bottom-Living Algae in Some Lakes of the English Lake District. Part 4. J. Ecol., 48, no. 3, 529—547.
Round, F. E. 1961. Studies on Bottom-Living Algae in Some Lakes of the English Lake District. Part V. J. Ecol., 49, no. 1, 31—38.
Roy, A. B., Mukherjee, M. K. 1961. Loss of Ammonia During Active Nitrification from Culture Solution with Different Soils of West Bengal. Proc. Nat. Acad. Sci. India, A 31, no. 2, 199—204.
Saksena, R. K., Sarbhoy, A. K. 1963. Ecology of the Soil Fungi of Uttar Pradesh. I. Proc. Nat. Acad. Sci. India, B 29, no. 2, 207—224.
Schaefer, R. 1961. Sur la reduction dissimilatrice des nitrates dans les sols hydromorphes. C. r. Acad. sci., 252, no. 17, 2591—2593.
Schaefer, R. 1964. Influence du regime thermique d'incubation, en particulier d'un gel repete, sur la reduction dissimilative des nitrates dans un mull et un hydromull calciques. Ann. Inst. Pasteur, nr. 3, 282—292.
Schmidt, E. L. 1954. Nitrate Formation by a Soil Fungis. Science, 119, no. 3084, 187—189.
Shaw, K. 1962. Loss of Mineral Nitrogen from Soil. J. Agric. Sci., 58, no. 2, 145—152.
Singh, Hora Trilochan, Iyengor, M. R. S. 1960. Nitrification by Soil Fungi. Arch. Mikrobiol., 35, no. 3, 252—257.
Šmarda, František. 1967. Uroda hub ve vztazich k fazim Mešice. Ceska mycol., 21, nr. 2, 92—97.

Smith, D. H., Clark, F. E. 1960. Volatile Losses of Nitrogen from Acid or Neutral Soils or Solutions Containing Nitrite and Ammonium ions. Soil Sci., 90, no. 2, 86—92.

Seifert, J. 1961. The Effect of Low Temperature on the Intensity of Nitrification. Folia microbiol., 6, no. 5, 350—353.

Seifert, J. 1964. Influence of the Size of Soil Structural Aggregates on the Degree of Nitrification. Folia microbiol., 9, no. 2, 115—120.

Skyring, G. W. 1962. Inorganic Nitrogen — Transformation in a Black Earth. Internat. Soil Conf., Wellington, 1—7.

Smyk, B., Ettlinger, L. 1963. Recherches sur quelques especes *d'Arthrobacter*, fixatrices d'azote isolées des roches karstiques alpines. Ann. Inst. Pasteur, 105, nr. 2. 341—348.

Solberg, P., Braadlie, O. 1957. Nitrat-og ammoniuminnhold i dyrket jord med-og. uten plantevekst orienterende undersøkelser. Forsken. og. forsøk. landbr., 8, nr. 5, 329—367.

Stewart, W. D. P. 1963. Liberation of Extracellular Nitrogen by Two Nitrogen-Fixing Blue-Green Algae. Nature, 200, no. 4910, 1020—1021.

Stewart, W. D. P. 1967a. Transfer of Biologically Fixed Nitrogen in a Sand Dune Slack Region. Nature, 214, no. 5088, 603—604.

Stewart, W. D. P. 1967b. Nitrogen Turnover in Marine and Brakish Habitats. II. Ann. Bot., 31, no. 122, 385—407.

Subrahmanyan, R., Sahay, M. N. 1964. Observations on Nitrogen-Fixation by Some Blue-Green Algae and Remarks on its Potentialities in Rice Culture. Proc. Indian Acad. Sci. B 60, no. 2, 145—154.

Subrahmanyan, R., Sahay, M. N. 1965. Observations on Nitrogen Fixation and Organic Matter Produced ba Anabaena circinalis Rabh. and Their Significance in Rice Culture. Proc. Ind. Acad. Sci., A 61, np. 3, 164—169.

Taha Ezz Eldin, M., El Refai Abdel Monem, H. 1963a. Physiological and Biochemical Studies on Nitrogen Fixation by Blue-Green Algae. III. Arch. Mikrobiol., 44, no. 4, 356—365.

Taha Ezz Eldih, M., El Monem Abd, El Refai, H. 1963b. On the Nitrogen Fixation by Egyptian Blue-Green Algae. Z. allgem. Mikrobiol., 3, no. 4, 282—288.

Tamiya, H., Sasa, T., Nihei, T., Ishibashi, S. 1958. Effect of Variation of Daydenth. Day and Night-Temperatures, and Intensity of Day-Light upon the Growth of *Chlorella*. Trans. Internat. Conf. Use Solar Energy Sci. Basis (Tucson, Ariz., 1955), vol, 4, 38—47.

Tamm, E., Krzysch, G. 1965. Zur Dynamik der Bodenatmung und des CO_2 Gehaltes der bodennahen Luftschicht während der Vegetationsruhe. Z. Acker- u. Pflanzenbau, 122, nr. 3, 209—224.

Taylor, G. S., Parkinson, D. 1964. Studies on Fungi in the Root Region. II. Plant and Soil, 10, no. 1, 34.

Tschan, Y. T. 1956. Estimation of Nutrient Elements in Soil by Algae Principle of the Method. Rapp. 6-e Congr. Internat. sci. sol., C. Paris, 249—251.

Tschan, Y. T. 1959. Study of Soil Algae. III. Plant and Soil, 10, no. 3, 220—232.

Terumoto, Isao. 1959. Влияние мороза и засухи на водоросль... Low. Temp. Sci. Biol. Sci., no. 17, 1—7.

Terumoto, Isao. 1967. Frost Resistance in Algae Cells. Cell. Injury a. Resistance Freez Organisms. Honnaido Univ.

Thornton, R. H. 1965. Studies of Fungi in Pasture Soils. I. N. Z. I. Agric., 8, no. 3, 417—449.

Tittor, Ina. 1956. Untersuchungen über die Bodenmikroflora von Gatersleben und Umgebung. Kulturpflanze, 4, 195.

Toussoun, T. A., Weinhold, A. R. 1967. Light Requirement and Light Inhibition of Sexual Reproduction in *Fusarium (Hypomyces) solani f. sp. cucurbitae* race 2. Can. J. Bot., 45, no. 6, 951—954.
Tyler, K. B., Broadbent, F. E., Hill, G. N. 1959. Low-Temperature Effects on Nitrification in Four California Soils. Soil Sci., 87, no. 3, 123—129.
Ulehlova, Blanka. 1963a. Vliv nitratoveho dusiku na nitrifikaci. Rostl. vyroba, 9, nr. 7—8, 834—837.
Ulehlova, Blanka. 1963b. Vliv fyzikalniho stavu pydy na nitrifikaci. Rostl. vyroba, 9, nr. 7—8, 838—841.
Uozumi, T., Kröber, H. 1967. Der Einfluss des Lichtes auf die Konidienbildung von *Peronospora tabacina* Adam an Tabakblättern. Phytopath. Z., 59, nr. 4, 372—384.
Vaartaja, O. 1964. Survival of *Fusarium, Pythium* and *Rhizoctonia* in Very Dry Soil. Rept. Canada Dept Forest, 20, no. 6, 3.
Venkataraman, G. S. 1966. Algalization. Phykos, 5, no. 1—2, 164—174.
Venkataraman, G. S., Neelakantan, S. 1967. Effect of the Cellular Constituents of the Nitrogen-Fixing Blue-Green Algae, *Cylindrospermum muscicola*, on the Roct Growth of Rice Plants. J. Gen. Appl. Microbiol., 13, no. 1, 53—61.
Vine, H. 1962. Some Measurements of Release and Fixation of Nitrogen in Soil of Natural Structure. Plant and Soil, 17, no. 1, 109—130.
Virtanen, A. J. 1947. The Biology and Chemistry of Nitrogen Fixation by Legume Bacteria. Biol. Reos., 22, 239.
Walker, F. T. 1956. The *Laminaria* Cycle. Rev. Alg., 2, 179—181.
Watanabe, Atsushi, Kiyohara, Tisato. 1960. Decomposition of Blue-Green Algae as Effected by the Action of Soil Bacteria. J. Gen. and Appl. Microbiol. 5, no. 4, 175—179.
Watanabe Atsushi, Yamamoto Yoko. 1967. Heterotrophie Nitrogen Fixation by the Blue-Green Alga *Anabaenopsis circularis*. Nature, 214, no. 5089, 738.
Watson, A. G. 1966. Seasonal Variation in the Inoculum Potentials of Spermosphere Fungi. N. Z. J. Agric. Res., 9. no. 4, 956—963.
Willson, D., Forest, H. S. 1957. An Exploratory Study on Soil Algae. Ecology, 38, no. 2, 309—313.
Wullstein, L. H., Gilmour, C. M. 1964. Non-enzymatic Gaseous Loss of Nitrite from Clay and Soil Systems. Soil Sci., 97, no. 6, 428—430.
Yamane Ichiro. 1957. Nitrate Reduction and Denitrification in Flooded Soils. Soil and Plant Food, 3, no. 2, 100—103.
Yamane Ichiro, Sato Kazno. 1961. Effect of Temperature on the Formation of Gases and Ammonium Nitrogen in the Waterlogged Soils. Sci. Repts. Res. Insts. Tahoku Univ., D 12, no. 1, 1—10.
Yshizawa Shuichi, Matsuguchi Tatsuhiko. 1962. Studies on the Nitrification in Soil, with Special Reference to the Population of Nitrifier. Part I. Soil. Sci. and Plant Nutr., 8, no. 6, 240—244.

THE DYNAMICS OF THE NUMBER OF SOIL MICROORGANISMS AND THE QUANTITY OF NITROGEN COMPOUNDS IN SOIL

BY P. RAHNO, M. AKSEL, L. SIRP, H. RIIS

Summary

A paper on the seasonal quantitative dynamics of soil bacteria and the main factors involved was published by one of our collaborators, P. Rahno, in 1964, where it was maintained in the conclusion that many phenomena connected with the seasonal fluctuation of bacteria could not be understood and explained until the population dynamics of other soil microorganisms was investigated, such as fungi, algae etc. In order to fill this gap, a series of new experiments was undertaken, the results of which are recorded in this paper.

Although we have, so far, not been able to extend our researches to cover soil-inhabiting protozoa and bacteriophage, nevertheless the investigation of the laws governing the multiplication of soil fungi and algae has already cleared up certain hitherto obscure features of the quantitative fluctuations of the entire micropopulation of the soil. It is to be hoped that the solution of the whole problem is not too far off.

And as we planned our investigations into the annual quantitative dynamics of soil bacteria, we tried to link these with the study of the nitrogen cycle in soil. There is no need to make special mention of the close connection between this cycle and the functioning of soil inhabiting microflora.

One of the main issues today, not only in the sphere of soil microbiology, but also in the science and practice of agronomy and agricultural production as a whole, is the storage, passing rate and content changes of bound nitrogen in the soil.

The addition of nitrogen into the soil through organic and mineral fertilizers cannot at present, nor in the near future, cover the increasing requirements of food crops. The data of some investigators confirm that,

as the result of denitrificating bacteria activity, a considerable part of the nitrogen introduced into the soil through fertilizers is liable to change into molecular form and so be withdrawn from the soil before it can have any effect on higher plant life. On the other hand, the process of binding molecular nitrogen goes on continuously with the functioning of nitrogen-fixing bacteria, thus repleting the resources of nitrogen available to plants in the soil. In some cases the amount of bound nitrogen introduced into the soil may be greater than the loss, but more often the reverse is true, i. e. the loss of nitrogen exceeds the amount added, resulting in a decrease of the nitrogen resources of the soil.

Great differences of opinion are known to exist among researchers in the seasonal dynamics of soil bacteria, nevertheless the differences of opinion on issues concerning the nitrogen cycle in soil are as great, or even greater. In fact, diametrically opposite views have been offered on denitrification and the factors that influence it.

The laws regulating the nitrogen balance in the soil and the factors involved in the dynamics of bound nitrogen have obviously been studied insufficiently so far. In the majority of cases, the researches made in this field have been short-termed and usually carried out during the vegetation period of the higher plants.

Undoubtedly, such plants as consumers play an important part in the nitrogen storage process in the soil, but their role should not be overestimated. As a matter of fact, the higher plants act only as a kind of "supply depot" in the nitrogen cycle, where nitrogen compounds are kept temporarily, and from where they return to the soil again after a definite period of time. Only the nitrogen which cropping removes from the soil is withdrawn from the general balance, and only that nitrogen which is in symbiosis with the microorganisms of the plant can take part in the process of binding the nitrogen of the air, thus increasing the supplies of bound nitrogen in the soil. That the process of denitrification could spread much more than it factually does in the presence of higher plant life is a fact that should not be overlooked, for the nitrogen compounds fixated by the plants cannot denitrificate while the plant lives and grows. Moreover, after the death and decay of the plant, the denitrification of the nitrogen compounds or the vegetable proteids, will take place only when the ammonifying and nitrogen-fixing processes are over, after which the fate of these compounds will again depend on the presence of plant sprouts or microorganisms capable of holding them in their cells.

Accordingly, when studying the dynamics of the nitrogen cycle in soil, higher plants should be considered as temporary supply depots or reservoirs for the storage of nitrogen compounds. On the other hand, the presence of growing plants in the soil further complicates the intricate process of investigating the changes in the nitrogen pattern. While the

plants are growing it is impossible to determine the time of entry of that part of molecular nitrogen which gets fixated by microorganisms, since the amount of nitrogen assimilated by plants cannot be determined while they are growing. Also, by decreasing the supply of nitrogen it is impossible to determine what part of the lost nitrogen was fixated by the plant, and what part underwent denitrification. Only at the end of the vegetation period can the total balance for a given period be accurately determined. As this does not suffice for determining the pattern of changes of nitrogen in the soil, we were forced to carry out investigations on soil without growing plants.

Latterly, it is true, relevant experiments have been made with the help of marked nitrogen. However, such experiments can be carried out only in small-sized vessels, a far cry from natural conditions.

But if natural soils are chosen, as much alike as possible in the composition of chemical compounds and microorganisms, for studying the nitrogen cycle, and analyses are carried out simultaneously for the nitrogen content and the number of microorganisms involved in the nitrogen cycle in the soil, an approach would be possible for determining the laws governing this process.

Apparently, such analyses must be continued through the whole year, lest some link in the process should be missed. As we have already established, soil-inhabiting microorganisms do not stop functioning in a temperate climate when the vegetation period of the higher plants is over; on the contrary, extremely interesting changes and conversions take place in the frozen soil during the cold period of the year. It has further been established that in winter the activity of soil-inhabiting bacteria decreases, their development though retarded still goes on during the long cold months, and they are capable of accomplishing a lot of work. Some data relevent to these phenomena have already been published for soil-bacteria (P. Rahno, 1964), for fungi (M. Aksel, 1965) — and new materials concerning these and other groups of soil-inhabiting microorganisms are presented in this paper.

As it happens, there is a general slowening down in the rate of development of soil-inhabiting microorganisms, but the rate is not the same for all. The functioning of some physiological groups is considerably suppressed, while others continue to function just as intensively as in the warm seasons, only at a slightly slower rate.

Experiments carried out up to the year 1964 showed that the development of soil bacteria depended on certain factors, the principal of which was the presence in the soil of substances which could serve as nutrition for the bacteria, and also the time when these were added to the soil. The presence of more or less moisture in the soil and the accumulation of toxic substances also had a certain significance. The retarding

influence of natural low temperatures has already been discussed. All other known factors had either a secondary influence or no influence at all on the multiplication and vital functioning of soil-inhabiting bacteria. At the same time it was felt that there must be some relatively powerful factor of influence still undiscovered by us.

In 1967 we first began to study the effect of solar activity on the multiplication of soil-inhabiting algae. It turned out that the influence of solar activity is not limited to the algae of the soil, although here it makes itself strongly felt, but that it also embraces many other soil-inhabiting microorganisms. Besides, it does not affect all groups of microorganisms in the same way, far from it — sometimes suppressing their multiplication and development, sometimes promoting it. Further it became clear that solar activity also affects the dynamics of accumulation and storage of nitrogen compounds in the soil.

It is possible that this influence on nitrogen compounds is exerted through soil-inhabiting microorganisms, whose functioning brings about the processes of fixation, conversion into other compounds, and the loss of nitrogen compounds from the soil.

To solve these problems, soil samples for analysis were taken from the biometers regularly, twice a month, during a whole year.

Biometers are bottomless concrete boxes, 2 *m* × 2 *m*, filled with sifted and well-mixed soil. So as to illiminate the influence of plant roots, the soil in the biometers was kept absolutely free of plants, their sprouts being regularly weeded out.

Analyses on the quantitative dynamics of soil-inhabiting fungi were carried on for 5 years (November, 1962—April, 1968). Two series of experiments were made: the first from November, 1962 till November, 1964, the second from September, 1964 till April, 1968.

The aim of the first series was to investigate the quantitative dynamics of soil-inhabiting fungi, with special attention to their dynamics during the winter months, in frozen soil; also to the influence of moisture, fertilizer and the time of its addition on the dynamics of these fungi.

For the first series of tests, all four biometers were filled with soddy calcareous loamy soil. Organic fertilizer in the ratio of 4 *kg* to 1 m^2 was added as follows: to the first biometer in winter, at the beginning of December, the second biometer was the control; the third was fertilized in autumn, in October, while the fourth was covered with a detachable roof during the winter months, and in the other seasons during precipitations. The organic fertilizer used was artificial manure consisting of 1,25 *kg* of flour made from leguminous plants mixed with 2,75 *kg* of fresh cow manure.

From the biometers of the first series 615 soil samples were taken and analysed.

The aim of the second series of tests was to compare the annual quantitative dynamics of soil-inhabiting fungi in different soils, typical for the Estonian SSR, and also to study the connection between the fungi and the nitrogen content of the soil. This series of tests comprised the analyses of 971 soil samples.

For the second series five biometers were used:

Biometer I contained soddy calcareous loamy soil,
Biometer II „ soddy medium-podzolic soil,
Biometer III „ soddy calcareous sandy soil,
Biometer IV „ low peat-boggy field soil,
Biometer V „ the same soil as number 1 only protected by a roof.

However, no regularity in the "seasonal" dynamics of the multiplication of soil-inhabiting fungi could be established on the basis of these analyses. Depending on the weather conditions and on the effects of solar activity, the count for the seasons varied from year to year. A rise and fall in the numbers of fungi occurred during every season, the maximum, which was recorded six times, occurred in winter. It turned out that soil-inhabiting fungi continued to live and function in winter at low temperatures and their quantity remained at a high level. Moreover, the highest average for the first series of tests was 25.1 thousand to 1 gram of absolutely dry soil (See Table 9) and for the second series 18.4 thousand (See Table 21), which occurred at the lowest temperatures registered in our tests (—12° to —9° C in the first series, and —9° to —5 °C in the second series).

It cannot be concluded, of course, that a low temperature promotes the multiplication of fungi. It is more likely that low temperature retards all their vital functions, including death, and as a result of this, the life span of each individual organism is lengthened. Consequently the finding of large numbers of microorganisms in the soil in winter only appears to be the result of low temperature.

Soil-inhabiting fungi are in positive correlation with the humidity of the soil, which is even more apparent in frozen soils, where the coeficient was 0.28 and the reliability limit was 0.18. Among the factors that were taken into account in our experiments, humidity was, in many cases, a determining factor. Apparently an equivalent of 25 to 30 per cent was the most favourable soil moisture condition for fungi. This humidity was found in our tests at low temperatures (from —5° to 0°C), i.e. in winter and early spring. Thus, in our first series of tests 54 samples out of 64 with a moisture equivalent of 25 to 30 per cent belonged to the winter-spring period, and 41 to the —5° to 0° temperature group. In the second series of tests, 76 samples out of 92 with a moisture equivalent

of 25 to 30 per cent belonged to the winter-spring period, and 60 to the —5° to 0°C temperature group.

The addition of fertilizers to the soil helps to preserve the humidity in the soil through the whole year. This is particularly evident in the case of autumn fertilizing. In the first biometer of the first series of tests, fertilized in winter, the count showed more fungi in winter and in spring, while for the third biometer, fertilized in autumn, the count was highest in the summer and autumn of the following year. Apparently the soil moisture condition and also the pattern of the annual quantitative dynamics of fungi depends not only on the addition of fertilizer, but also on the time when it is added.

The properties of the soil also have a strong influence on the number of fungi inhabiting the soil. The count was found to be higher in soddy calcareous loamy soil both in the roofless and roofed biometers. Next came soddy calcareous sandy soil, and the least number of fungi were found in the soddy medium-podzolic soil.

Low peat-boggy field-type of soil occupies a place of its own. Here the water content was three times as much as in the other biometers, and the number of fungi was considerably higher. For that reason the biometers with peaty loam were not included in the comparative data. Nevertheless, the annual dynamics and the pattern of yearly quantitative changes were analogical with the other biometers.

Soil-inhabiting fungi are in negative correlation with solar activity (i.e. with Wolf's Number and radio irradiation of the sun). With a rise in solar activity, the number of fungi decreased, and vice versa (See Table 24).

In 1965, which was a year of low solar activity, the fungi count was comparatively high for all the biometers, the maximum being reached in summer. From the beginning of 1966 solar activity gradually grew in intensity, while the number of fungi began to lessen.

The correlation analysis of the data from 629 soil tests made for the purpose of elucidating the interrelationships of all the factors that we investigated, was carried out by the Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of the Estonian SSR, and they showed a closer interrelationship of the factors in frozen soils, where there were as many as six reliable correlations, while in unfrozen soils there were only two (See Table 24).

The soil-inhabiting fungi in all the biometers, i.e. in various soils typical for the ESSR, were comparatively similar as to their properties. About 60 p.c. belonged to the genus Penicillium, next in order of frequency came fungi Imperfect represented by the species Torula, Acremonium, Verticillium and Trichoderma. The characteristic features of the various soils effected but slight differences in the properties. Verticillium occurred

most often in carbonate soils; Fusarium most often in podzolized soils, as compared to other fungi; Trichoderma occurred more frequently in peaty and in podzolized soils, and less often in carbonate soils.

The amount of algae inhabiting the soil was determined from 629 soil tests in the course of three and a half years, and their number fluctuated between 1 and 1800 thousand cells in 1 gram of absolutely dry soil. Analyses were begun in January, 1965. After the summer minimal quantity of algae, the average began to increase from the autumn of 1965, and grew fairly regularly, reaching by the summer of 1966 a 15-fold increase as compared to the summer of 1965, and by the spring of 1968 their count was 55 times as great as it was that summer (See Table 25).

When comparing the quantitative data of soil-inhabiting algae with the seasons can hardly be considered responsible for such a rapid growth of the number of algae. A more likely explanation is the presence of some kind of strong influence on the multiplication of algae, which itself seems to have undergone considerable changes during the relatively short period of investigations.

When comparing the quantitative data of soil-inhabiting algae with the basic indicators of solar activity (Wolf's Number), some very interesting coincidences were revealed. The ratio of the number of algae to Wolf's Number is represented graphically in Fig. 10, where the number of algae is given in logarithmic scale because of the great fluctuations in some of the soil tests. In the sod-carbonate soils of biometers one, two and five, the number of algae at Wolf's Number 50—70 increased abruptly, at 80 to 100 somewhat decreased, and then again increased, reaching the maximum at 100—140. With the rise of Wolf's Number after that, the number of algae again decreased, but with Wolf's Number over 200, their number once more increased.

In podzolized and peaty soils, however, the algae counts were the reverse of the ones described above.

It is interesting to compare the quantitative dynamics of algae in biometers one and five, which contained the same kind of soil, only that number 5 was covered with a detachable roof which protected the soil from precipitations and shaded it from the direct rays of the sun. In July, 1967, the roof was covered with sheet copper, which according to Piccardi's data (1962, 1967 et al.) increases the precipitation of bismuth chloride by hydrolysis.

Our data showed the average count for the algae in the soil of biometer 5 in the summer of 1967 to be only 45 per cent of what was found in number 1, the uncovered biometer. After being covered with sheet copper in the autumn of 1967, the algae count in biometer 5 began to increase, and in January-February the count was 223 p.c. as compared to biometer 1. The fact that the soil of biometer 5 was covered with sheet

copper seems to have promoted the multiplication of algae, but the data are still insufficient to draw any definite conclusions (See Table 26).

The data of correlative analysis of the algae count and other indicators, taken separately for frozen and unfrozen soils, are given in tables 27 and 28.

In some carbonate soils (biometers 1 and 2) the number of bluish-green and green algae was found to be approximately the same. In the other biometers green algae predominated. Diatoms were rather scarce, especially in podzolized soils and in those carbonate soils which were under a roof.

These experiments were the first attempt to investigate the quantitative dynamics of soil-inhabiting algae, covering several years. The results that we obtained were strongly influenced by the circumstances under which the tests were carried out, namely that they were begun in the last years of the so-called "tranquil" sun and were continued during the years of the cycle of the sun up to the activity maximum (1968 was the year of maximum solar activity in the 11- and more-year solar cycle). This gave us an ideal opportunity to include a new factor of influence into the circle of our investigations.

It must also be mentioned that it was namely the quantitative analysis of soil-inhabiting algae that turned our attention to that factor. Later it became evident that solar activity affects many soil-inhabiting microorganisms, nevertheless this influence might have been overlooked if the number of algae had not changed at such a terrific rate, which could not remain unnoticed.

From January, 1965, till April, 1968, quantitative analyses were carried out on six groups of soil-inhabiting organisms other than algae. These included ammonium fixing bacteria, aerobe cellulose-decompositing bacteria, Clostridium Pasteurianum, nitrogen fixing and denitrificating bacteria and azotobacter. The temperature and moisture of the soil were registered all through each analysis. And so, together with fungi, algae and the indicators of solar activity (Wolf's Number and indices of solar radio irradiation at the 204 MgHz frequency) only 16 entries were registered in the table of correlation analysis, between which there existed definite intercorrelation. Besides the usual correlation analysis, an additional analysis was made, where the influence of solar activity was subtracted from the intercorrelations between the groups of indicators. The additional correlation lowered the significance of the mutual correlations of those indicators which were in extreme positive or negative correlation with solar activity.

During the period of investigation, great fluctuations in the number of ammonifying fixing bacteria were observed. Beginning with January, 1966, there was a considerable rise in the quantity of ammonifying fixing

bacteria: their average was three times as many as in the previous year. At the same time, the usual factors (temperature, moisture) did not have much influence on the count of ammonifying bacteria. From the data of the correlative analysis it appeared that the count of ammonium fixing bacteria changed in 1965 and 1966 in accordance with the changes in solar activity.

In 1967 and 1968 the count of these bacteria remained approximately on the level of 1966. It turned out that a further rise in the intensity of solar activity, when Wolf's Number rose to 100, began to retard the multiplication of ammonifying bacteria. During the whole period of investigation, the correlation between ammonifying bacteria and solar activity remained within the limits of reliability.

In frozen soils ammonium fixing bacteria are in positive correlation with the ammonium content and the count of fungi. This dense correlation with ammonium allows us to conclude that an ammonium fixating process takes place in frozen soils in winter, the same being indicated by the high ammonium content of frozen soils in particular. The general nitrogen content is also high in the winter months. All this indicates that, during the winter months, the nitrogen loss is retarded, nitrogen compounds are not washed away, and the loss of nitrogen as a gas is also less.

Further we can assume that the process of combining free nitrogen with free-living azotobacters takes place in winter in frozen soils. Relevant analysis made during the investigation period did not reveal a decrease in the humous, consequently the nitrogen did not originate from the humus of the soil.

In thawed soil there is no correlation between the number of ammonifying bacteria and the ammonium content in the soil. With the rise in temperature all biological, biochemical and fermentative processes become much more intensive than in frozen soil, which means that nitrogen compounds are either swallowed up at once by microorganisms, or they undergo nitrification. The nitrates are also assimilated by the microorganisms and converted into organic nitrogen compounds or molecular nitrogen, which escapes into the air.

In thawed soil ammonifying bacteria are still in positive correlation with nitrificating bacteria, also aerobe cellulose-decompositing bacteria and in most soils with denitrificating bacteria; in negative correlation with the nitrates content of the soil.

In all soils and at any temperature the quantity of ammonium in the soil is in negative correlation with solar activity. The quantity of ammonium in the soil is low when solar activity is intense, and vice versa.

In most frozen soils, moreover, there is a positive correlation between the amount of ammonium and other forms of nitrogen (total, nitrate and mobile nitrogen), as well as microorganisms such as ammonifying

bacteria, clostridium, azotobacter and fungi. In thawed soils there is a negative correlation between the amount of ammonium and nitrificating bacteria and algae, but in most soils the correlation of ammonium with nitrates is positive.

During the period of investigation, the count of nitrificating bacteria fluctuated considerably. In 1966 there were 10 times as many as in 1965. Their count remained high in the following years. Nitrificating bacteria were in reliable correlation with Wolf's Number (with the exception of frozen peaty soils), but did not have the same correlation with solar radio irradiation of the sun. In most frozen soils they correlate fairly well with the count of clostridia and the nitrate-nitrogen content, which indicates their capacity to form nitrates even in frozen soils, although this capacity was revealed in some soils only.

In thawed soils there is a positive correlation between nitrificating and ammonifying bacteria, also cellulose decompositing and clostridium in most soils; while with azotobacter and ammonium, also nitrates content the correlation was negative.

The negative correlation between nitrificating bacteria and the nitrates in thawed soil seems to be due to aerobe denitrification in our soils.

The nitrates content also fluctuates greatly. There is always a negative correlation between them and solar activity, the other interrelations are less significant. It is interesting to note that there is a positive correlation between the nitrates content and the temperature of the soil, which particularly stands out in most unfrozen soils.

It can be assumed that nitrogen loss from soils is reflected first of all in the loss of total nitrogen. In frozen soils there are no reliable negative correlations for the content of total nitrogen, while in most cases there is a slightly negative correlation with Wolf's Number in thawed soils. The loss of nitrogen is less in winter, in frozen soils, which seems to be caused by aerobe nitrification, while in summer the loss is due to aerobe denitrification and the washing out of nitrates. After a certain period of time the loss of nitrogen is followed by a rapid replenishment of the total nitrogen content up to the former level. It should be mentioned that as a whole the total nitrogen content is higher in aerobic conditions.

The sixteen indices of the correlation analyses were based on eight groups of microorganisms and four forms of nitrogen compounds together with four factors influencing the count of microorganisms and the amount of nitrogen compounds in the air. These factors were temperature and two indicators of solar activity (Wolf's Number and the indices of solar radio irradiation). The temperature of the soil has little influence on the count of soil-inhabiting microorganisms. The chief direct effect of temperature is to retard or quicken their rate of multiplication. At the

same time temperature is a factor of the highest significance for the intensity of all the vital functions of microorganisms.

Temperature affects the count of nitrificating bacteria more than any of the other soil-inhabiting bacteria. For these bacteria low positive correlations were observed in frozen soils, while in thawed soils generally a reliable negative correlation was found. Such a difference in the influence of temperature in frozen and not frozen soils already indicates that the process of multiplication of nitrificating bacteria undergoes changes with the freezing of the soil. In this case it can be concluded on the basis of correlation analysis that nitrificating bacteria favour a low positive temperature.

As for the other groups of soil-inhabiting microorganisms, the temperature of the soil has some significance only in certain soils, as for example in podzolized soil of biometer three, where there was a positive correlation with the temperature in the case of ammonifying bacteria (in frozen soil) and in the case of denitrificating bacteria (in thawed soil), also for clostridium in the frozen soil of biometer one, and in that thawed soil of biometer four, and for azotobacter in the frozen soil of biometer five covered with a roof.

In the majority of cases, temperature had no influence on the count of microorganisms inhabiting the soil. And besides, the various processes develop differently in frozen and not frozen soils. And this pertains not only to temperature influence and to the count of microorganisms; many interrelationships between the factors and the phenomena also change according to whether they are analysed in frozen or not frozen soil. For that reason we were obliged to make the correlation analyses of all our data separately, since a summary of all the determinatives gives no clear rations, but only when the soils were subdivided as frozen and not frozen ones, did we obtain altogether reliable correlations, which were absolutely different for frozen and not frozen soils.

The reason there are such marked differences between frozen and not frozen soils can probably be explained not only by the temperature factor, but more likely by the changes in the physical condition of the soil resulting from freezing. It can also be supposed, after all, that this reason also involves the slowing down of all the processes when the soil freezes.

Only in the peaty soil of biometer four did temperature have any reliable influence on the general nitrogen content. In other soils the correlations between the general nitrogen content and the temperature of the soil were meagre and the general average coeficients insufficent. The same may be said about the correlations between ammonium and temperature, where again the only reliable correlation coeficient appeared in the same peaty soil.

As was mentioned above, the correlation between the nitrates content and temperature in most cases was a reliable positive, especially in not frozen soils. In frozen soils some of the coeficients did not reach the level of reliability, but the general mean correlation is fully reliable.

Mobile nitrogen has no reliable correlation with temperature in any case.

There is a reliable negative correlation between the temperature and moisture in the soil, except in frozen peaty soils, and carbonate soils under a roof.

Between the temperature of the soil and Wolf's Number, the correlation coeficients in some soils were not reliable, but the general mean correlation for not frozen soils was positive and reliable, while in frozen soils it was negative bordering on reliability. In frozen soils the negative correlation between the solar radio irradiation and temperature is reliable on the average, while in not frozen soils there are inconsiderable positive correlations.

The moisture in the soil more often than temperature directly influences the quantitative dynamics of soil-inhabiting microorganisms. Data concerning this influence on the quantitative dynamics of soil-inhabiting bacteria is given more fully in our previous paper (Rahno, 1964). It is mentioned there, by the way, that a paradoxal phenomenon takes place when an increase of soil humidity brings about a regular increase in the general count of bacteria, namely, that the general count of bacteria falls to the minimum when the average moisture percentage is 22 to 30 p.c. At that time we already felt that such an "intermediate" decrease in the bacteria count may be the result of the rapid multiplication of some other group of soil-inhabiting microorganisms at that degree on humidity. In the same paper, mention is made of the possible antagonistic activity of fungi (See p. 186), and preliminary data on the rapid development of fungi at that moisture level are given.

This issue has since been elucidated to a certain extent by the data presented here of a large number of analyses on the quantitative dynamics of soil-inhabiting fungi. The mean data of 800 analyses gave the following counts for fungi (in thousands) to 1 gram of absolutely dry soil: 11.4 with moisture at 10—20 p.c.; 14.3 with moisture at 20—25 p.c.; 13.8 with moisture at 25—30 p.c.; 12.9 with moisture at 30—40 p.c., and with moisture over 40 p.c. the count was 22.1 (for which the data of only 14 analyses was used, at low temperatures) (See Tables 18 and 19).

Comparing the quantitative dynamics of bacteria with that of fungi at certain moisture levels, it is apparent that they seem to behave in opposite directions. At the moisture level of 22—30 p.c. the total number of bacteria is at its minimum, while the fungi count is at the maximum. It is true that there are more fungi above the 40 p.c. level, but the

number of analyses here was clearly insufficient as compared with the other levels (only 14 out of 800; 14 as compared to 270 and 90).

Thus, it can already be confirmed that the quantitative multiplication of soil-inhabiting bacteria and fungi is an antagonistic process — the maximum development of one suppresses the growth of the other. The fungi appear to be the stronger antagonist, which can bring down the bacteria count to its minimum at the moisture level of the soil which is the optimum for multiplication. But it is also possible that the decrease in the count of bacteria at the 22—3p p.c. moisture level is caused by other factors as well.

The dynamics of the algae count does not depend on the humidity of the soil as much as might be expected. Here the influence of moisture is greater in frozen soils, especially in peaty soil, where the water content is considerably greater as compared to other soils (See Table 11) and in the soil of the roofed biometer. At the same time, the correlation between the algae count and the moisture was negative for biometer one with the same carbonate soil, only unprotected by a roof, and with considerably more moisture.

The interrelationships between the algae count and moisture in unfrozen soils is even stranger. Here we found a reliable negative correlation between the algae count and moisture in biometer one. Negative correlations were also found in the soils of biometers two and three, while in the fourth and fifth, i.e. in peaty soil and in the roofed biometer, the positive correlation does not reach reliability (See Tables 27 and 28).

The only explanation for this at-first-glance paradoxal interrelationship between the moisture and the count of algae, which by their nature are supposed to be moisture-loving organisms, may be that the soil samples from which the analyses were made for the algae count, as well as for the other variables, were taken from a 5 *cm.* depth. Samples for determining the soil-inhabiting algae are usually taken from the surface of the soil. At a depth of 5 *cm* with a high moisture percentage and the simultaneous development of a multitude of microflora and microfauna, there is a likelihod of anaerobic conditions. Insufficient aeration can arise especially in soils with a heavier mechanical composition, as we had in biometer one. The same soil with less moisture could be more favourable for the development of algae. Aeration is considerably better in frozen peaty soil, also in carbonate loamy soil with the moisture regulated. However, special tests must be made before any final conclusion can be drawn,

In frozen as well as in thawed soil, moisture has a mean reliable positive influence on the count of ammonificating bacteria. The positive correlation is particularly evident between ammonification and moisture in the frozen soils of biometers three, four and five. In the other soils the correlation is insignificant. The moisture of the soil does not seem to

have any reliable effect on the count of denitrificating bacteria and Clostridium Pasteurianum.

Moisture had a reliable positive influence on the count of azotobacter in the frozen carbonate soil of the covered biometer *no.* five, and on the thawed soils on *no.* two and *no.* five. Besides, the mean correlation coeficients of all the thawed soils were reliable, while in the frozen ones they approached reliability.

There is a positive correlation between moisture and the general nitrogen content, and in thawed soils it is nearly reliable.

The positive correlation between the moisture in the soil and its ammonium content is fully reliable, but in thawed soils it is absent. Also in frozen soils the correlation between moisture and nitrate nitrogen content is fully reliable, with the exception of the carbonate soil under the roof, while in thawed soils negative correlation prevails; it is reliable just as the general mean correlation is reliable in biometers one, three and four.

The above data indicate that nitrates are likely to accumulate in frozen soils, while in thawed soils with a high percentage of moisture the nitrates are at once converted into other forms, as a result of being washed out or denitrificated.

The moisture of the soil and mobile nitrogen have a reliable positive correlation in all frozen soils. In thawed soils the correlation is insignificant, while in the soddy calcareous sandy soils of biometer two a slight negative correlation was found.

It is evident from the above summary that the influence of moisture is even more dependent on the specific properties of the soil than temperature is. In carbonate soils, podzolized and peaty soils, moisture can sometimes exert a much different influence on the multiplication of microorganisms or on the general nitrogen content. There are also sharply defined differences in the way moisture influences the various processes in frozen and not frozen soils.

As indices of solar activity for the correlation analysis of test data with Wolf's Number were taken from the bulletin "Solar Data" (the mean for 7 days before taking soil samples for analyses), and the mean solar radio irradiation with the 204 MgHz frequency according to the data of the "Institute of the Magnetism of the Globe, Ionosphere and the Irradiation of Radio Waves" of the Academy of Sciences of the USSR (also 7 days before taking soil samples). From among these indicators Wolf's Number showed the strongest influence on the multiplication of microorganisms and on the nitrogen compounds content, while the influence of solar radio irradiation reached a value approaching the value of Wolf's Number only in a few cases in respect to any of the phenomena that were being investigated.

In the preliminary analysis to determine the influence of solar activity on the ammonificating bacteria some combinations of the general influence by Wolf's Number and radio irradiation were also used (See Table 28), and somewhat higher reliability of correlation was obtained than from one indicator. Unfortunately the insufficiency of data for programming the correlation analysis on the electronic computor "Minsk-2" made it impossible to use such a combination in the final analysis of all the data obtained.

Wolf's Number and the indices of solar radioradiation are indicators of different solar activities and do not wholly coincide. The correlation between Wolf's Number and radio irradiation at the 204 MgHz frequency oscilates between 0.39 and 0.71, and the correlation coeficient is greater during the warm seasons.

It would be desirable, of course, to include other indicators of solar activity in the analysis, e.g. the area of sun spots, data concerning the solar disturbances, waves etc. On the other hand to increase the number of indicators and to compute their combined interrelationships would mean to increase the amount of work involved, tasks which would be too onerous for the investigators themselves, the biologists.

So far the principal indicator of solar activity in our investigations has been Wolf's Number, which has a fairly good correlation with almost all the groups of microorganisms and nitrogen compounds under study.

Wolf's Number and the indices of solar radioradiation both show a clear negative correlation, which is only slightly greater in frozen soils. This means that solar activity suppresses the multiplication of fungi. Such is the general conclusion without going into further details of solar activity. So far we have no data about whether it retards the development of the mycelium of fungi or their sporulation, and if the latter takes place, does it act on sporulation in general or only on certain types. Taking into account that the majority of the fungi we have defined belong to the Penicillium group (60 p.c. on the average) and that the Imperfect fungi group prevails among the rest, we can assume that, on the whole, solar activity retards conidial sporogenesis.

Solar activity has much the same clear-cut retarding influence on the multiplication of azotobacter. The correlation between azotobacter count and Wolf's Number (also solar radio irradiation, but to a lesser degree) is always negative without exception in both frozen and thawed soils of all the biometers. Only in the soil of biometer five, which was roofed. the influence was weaker (See Tables 45, 46) just as it was weaker with fungi in thawed soils.

There was also a negative correlation between solar activity and the count of aerobic cellulose-decompositing, clostridium and denitrificating bacteria both in frozen and thawed soils. However, considerable fluctu-

ations were observed: reliable correlation appeared only in some soils, in some the negative correlation was but slight, while in others positive correlation was registered. In most cases these correlations do not reach reliability, consequently it can be inferred that the influence of solar activity on the above-mentioned groups of bacteria has not been proved by the data of our analyses (See Tables 41, 42, 43, 44).

Further it was found that solar activity and nitrogen compounds are in negative correlation, and that this correlation is reliable in frozen soils containing ammonia and nitrates, and also in the soil of biometer two with mobile nitrogen and in biometer three with total nitrogen.

In the soil of biometer five, which was roofed, there was on the contrary a reliable positive correlation with total nitrogen content.

In thawed soils the negative correlation was reliable with total, ammonia and nitrate nitrogen, while with mobile nitrogen solar activity was, on the average, in an insignificant positive correlation.

Leaving aside a few deviations, it can be stated without a doubt that under the influence of solar activity the nitrogen compounds in soil diminish (See Tables 33, 34, 37, 38, 39, 40). Solar activity affects the multiplication of soil-inhabiting microorganisms directly, but the same cannot be said about the influence of solar activity on the nitrogen compounds in the soil. So far we have but few grounded data on the mechanism of this phenomenon, which seemingly can be explained in two ways: either the fixation of the nitrogen of the air as a process weakens, or the process of denitrification gets stronger. In both cases the most likely explanation is that the sun's rays act through the soil-inhabiting microorganisms and not directly on their multiplication, but by accelerating their vital functions.

It is fairly certain that the influence of solar activity, and also the action of some other factors, can have a different effect on the quantitative development of the microorganisms and on the biochemical and fermentation processes in the soil.

So far we have dealt with the negative influence of solar activity on the count of microorganisms. Nevertheless on some other microorganisms solar activity has the opposite effect. In this connection soil-inhabiting algae should be mentioned first, they were the first microorganisms on which this influence was discovered. There is a fully reliable positive reaction between Wolf's Number and the algae count in any kind of soil and at any temperature or condition of the soil. But the positive correlation occurs between algae and the sun only in thawed soils, never in frozen ones (See Tables 27 and 28).

The active correlation of solar activity and the count of nitrificating bacteria lags behind somewhat (See Tables 35 and 36). This is clearly seen in thawed soils where Wolf's Number has a reliable positive correla-

tion with the nitrificating bacteria in any kind of soil (only in the roofed biometer it was on the border of reliability). In frozen soils the correlation coeficient is smaller: in biometer one it does not reach the reliability level, while in peaty soil the correlation is negative. The correlation between the sun and the count of nitrificating bacteria does not reach reliability anywhere. On the whole solar activity may still be considered to favour the quantitative growth of nitrificating bacteria.

The positive correlation between solar activity and the count of ammonificating bacteria is not nearly defined so clearly. Here the mean positive correlation between Wolf's Number and the bacteria count is reliable only in unfrozen soils, while for frozen soils there is no reliability. The correlation with solar radio irradiation of the sun is still less definable.

There are still other factors and causes that can influence the count of soil-inhabiting microorganisms and the content of nitrogen compounds besides the above-mentioned factors: temperature, moisture and solar activity. The influence of nutritious substances and the time factor (i.e. when they are added to the soil), also the influence of the toxicity of the soil and soil-inhabiting fauna have all been dealt with in detail in one of our previous papers (P. Rahno, 1964), consequently those factors will not be discussed in this paper, the moreso that our experiments were not planned to cover these factor. Nevertheless it is necessary to mention one more factor, the influence of the specific properties of the soil itself.

From the above summary about the influence of temperature, moisture and solar activity, we can say that the action of any one factor has approximately the same effect only in the most exceptional cases on a certain process or phenomenon in the different test soils. In our investigations, the influence of Wolf's Number on the increase in the count of algae and nitrificating bacteria, and on the decrease in the count of fungi and azotobacter was the most clearly defined. But even in these well-defined cases certain fluctuations occur in the degree of correlation for individual soils. In all the other cases the influence of the factor involved differs greatly from soil to soil.

Looking over the correlation analysis data given in the tables we often notice that with the general data coinciding, the correlations found in only one, sometimes two soils do not only differ in the degree of reliability, but even get the opposite sign (plus instead of minus and vice versa). From this we can conclude that in such cases the specific properties of the soil exerted the predominating influence on the development of microorganisms or on the nitrogen compounds in the soil.

The specific properties of a soil are mainly the reaction, mechanical composition and the organic and mineral substances that it contains.

These peculiarities must be taken into account when planning relevant experiments and when analysing the results.

The following conclusions can be drawn from the basic results of the present work:

1. The annual quantitative dynamics of soil-inhabiting bacteria, fungi and algae does not have a constant seasonal pattern, but changes in accordance with the factors involved.

2. The concrete factors to exert an influence are: the water content of the soil, the presence of nutritious substances and the time they are added to the soil, the toxicity of the soil, the temperature and interrelationships between the microorganisms inhabiting the soil, the specific qualities and properties of the soil itself and the solar activity factor.

3. The influence of the factors in many cases differs according to whether the soil is in a frozen or thawed condition.

4. The same factors exert an influence on the nitrogen content of the soil (total nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate and mobile nitrogen) and it fluctuates like the count of microorganisms.

5. The fact that the nitrogen compounds content increases in exactly similar soil without growing plants proves the great significance of the work done by free-living nitrogen-fixating bacteria in the soil.

6. The fact that the nitrogen compounds content decreases substantially and repeatedly points to the possibility of significant denitrification even when the moisture percentage of the soil is comparatively low.

7. The count of microorganisms cannot serve directly as an indicator of pertinent nitrogen compounds in the soil.

8. The quantity of total nitrogen and ammonium nitrogen in frozen soil increases due to the comparatively greater slowening down of the processes connected with nitrogen loss, as compared to nitrogen fixation.

9. In the investigated soils, the chief nitrogen loss takes place parallel to the process of nitrification, which points to the presence of aerobic denitrification.

10. Solar activity, which exerts a positive influence on the multiplication of some microorganisms, can, at the same time, suppress their vital functions. A simultaneous increase of solar activity and the count of ammonium fixating, and nitrificating bacteria in particular, can result in a decrease of ammonium and nitrates content.

11. Solar activity is a very strong factor, which exerts a positive influence on some groups of microorganisms, while on other groups and on the nitrogen compounds content of the soil its influence is decidedly negative.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

I. Обзор литературы 9
1. Почвенные грибы 9
2. Почвенные водоросли 17
3. Солнечная активность как фактор влияния на земные процессы . . . 26
4. Динамика содержания в почве соединений азота 31
А. Разложение в почве органических веществ и аммонификация . . . 32
Б. Фиксация молекулярного азота 34
В. Динамика нитрификации 39
Г. Динамика денитрификации 45

II. Экспериментальная часть 51
1. Методика 51
2. Метеорологические условия в годы анализов и некоторые общие данные 59
3. Динамика развития почвенных грибов 66
4. Динамика развития почвенных водорослей 96
5. Динамика количества аммонифицирующих бактерий и процесс аммонификации в почве 108
6. Динамика количества нитрифицирующих бактерий и процессов нитрификации в почве 120
7. О потерях азота в почвах без растений 130
8. О фиксации атмосферного азота в почвах без растений 139

III. Обсуждение результатов 149

IV. Заключение и выводы 160
Литература 169

The Dynamics of the Number of Soil Microorganisms and the Quantity of Nitrogen Compounds in Soil. Summary 189

Пауль Рахно, Мария Аксель, Луй Сирп, Хелда Рийс. ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ПОЧВЕ. На русском языке. Художественное оформление Т. Ару. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе 10. Редактор А. Юрна. Художественный редактор А. Сяде. Технический редактор Х. Коху. Корректоры Е. Ракеева, Х. Ууспылд.

Сдано в набор 11. XII 1970. Подписано к печати 31. V 1971. Бумага 70×90/16. Печатных листов 13. Условно-печатных листов 15,21. Условно-издательских листов 14,27. Тираж 800 экз. МВ-05337. № заказа 7690. Типография им. Ханса Хейдеманна. Тарту, Юликооли 17/19. II. Цена руб. 1.82.

IX
1A-5742
260 256