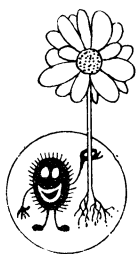
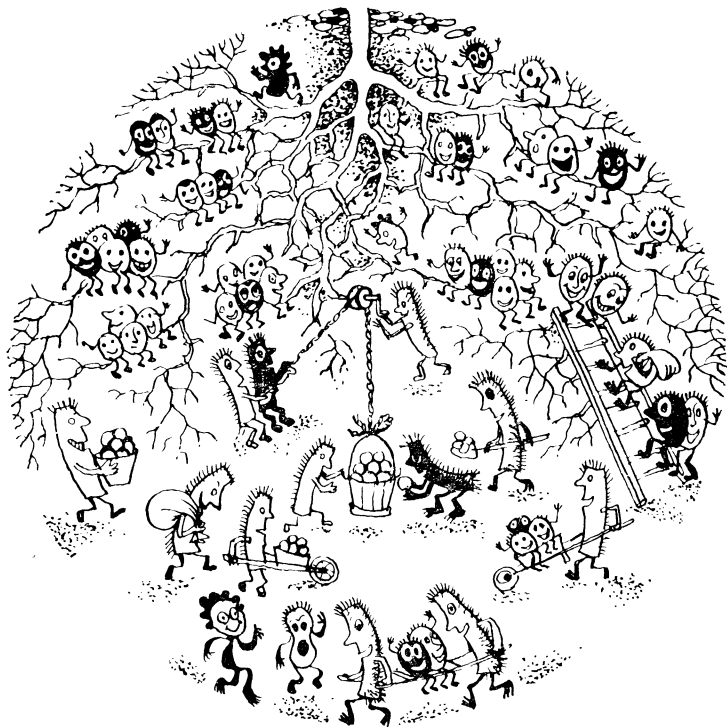




В.Т. ЕМЦЕВ
**МИКРОБЫ,
ПОЧВА,
УРОЖАЙ**





В.Т. ЕМЦЕВ

МИКРОБЫ, ПОЧВА, УРОЖАЙ



МОСКВА «КОЛОС» 1980



ББК 40.3
Е60
УДК 631.468

Scan+DjVu: AlVaKo
07/02/2024

Емцев В. Т.

Е 60 Микробы, почва, урожай.— М.: Колос, 1980.—
126 с., ил., 8 л. ил.

Таинственный невидимый мир микроскопических существ, обитающих в почве, предстает перед читателями этой книги. В ней рассказано о микробах—помощниках земледельца, их роли в формировании плодородия почвы, повышении урожая сельскохозяйственных культур. Читатель узнает и о том, какую пользу могут принести человеку маленькие труженики в наше время в связи с необходимостью защиты окружающей среды от загрязнения.

Рассчитана на широкий круг читателей

40304—291
Е _____ **БЗ—103—11—79.** 3802020000 **ББК 40.3**
035(01)—80 **631.4**

© Издательство «Колос», 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ



Почвенная микробиология — один из разделов биологии — переживает в настоящее время значительный подъем, сопровождающийся рядом важных научных открытий. Огромная народнохозяйственная польза, которая вытекает из реализации научно-исследовательских работ в области почвенной микробиологии, очевидна. Эта наука в одном ряду с другими работает на ниве создания материального изобилия в нашей стране. В соответствии с решениями XXV съезда КПСС и последующих Пленумов ЦК партии в широких масштабах осуществляется химизация земледелия и животноводства. Колоссально возрастает, в частности, изготовление и использование минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Однако применение удобрений и химикатов — не единственный путь повышения плодородия почвы. Нужно полнее использовать естественное потенциальное плодородие, которое определяется направленностью микробиологических процессов. Это приводит к более экономному применению удобрений и удешевлению продукции сельского хозяйства.

Изучение почвенных микроорганизмов и их деятельности позволяет выяснить целесообразные пути повышения плодородия почв биологическим путем, поэтому

достижения микробиологии представляют несомненный интерес для развития сельского хозяйства. Их нужно пропагандировать шире и наиболее убедительными средствами. Предлагаемая книга «Микробы, почва, урожай», на мой взгляд, ценна тем, что учит читателя по-новому относиться к земле, к ее богатствам. Автор интересно излагает обширный материал, освещающий основные проблемы почвенной микробиологии. Это обстоятельный рассказ о жизни и деятельности микробов, их целенаправленном использовании для повышения плодородия почвы, защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней и в конечном счете для увеличения урожайности. Кроме общих сведений о микроорганизмах, их особенностях, автор затрагивает вопросы, которые хорошо характеризуют современное состояние науки о невидимых помощниках земледельца.

В книге много внимания уделено новинкам сельскохозяйственной микробиологии, а также вопросам охраны окружающей среды от загрязнения вредными веществами. Автор отмечает целеустремленность научных усилий современных почвенных микробиологов, стремящихся создать управляемое плодородие почвы.

Думается, что книгу «Микробы, почва, урожай» с интересом прочтут и специалисты, и люди, которые впервые столкнулись с проблемами сельскохозяйственной микробиологии.

Академик АН СССР Е. Н. Мишустин

ЖИВАЯ ПОЧВА

Что мы знаем о почве!



Около ста лет назад начались углубленные научные исследования почвы, позволившие дать определение ее существа. С течением времени определение это неоднократно менялось, но до наших дней не потеряли своего значения слова, сказанные о почве основоположником научного почвоведения В. В. Докучаевым (1845—1903). Ученый считал почву особым живым телом природы, столь же самобытным, как растения, животные или минералы. Тип почвы, по его мнению, зависел от материнской породы, на которой она возникла, от климата и растительности, рельефа, возраста, преобразующей почву деятельности человека.

Основным признаком, отличающим почву от других геологических продуктов, считают ее плодородие, то есть способность удовлетворять потребность растений в питательных веществах. Материнская порода может содержать много необходимых растениям минеральных соединений, но это еще не почва. Только при комплексном воздействии химических, биологических и физических свойств почвы зарождается урожай.

Еще одно важнейшее свойство почвы — воспроизводство — представляет собой сумму всех биологических и небιологических процессов, обеспечивающих ежегодное возобновление запаса веществ, которые необходимы для роста и развития растений. В природных условиях наземная растительность не существует без почвы.

Каким же образом некогда голая, бесплодная порода, покрывавшая земную поверхность, превратилась в плодородные почвы, ставшие местом обитания разнообразных растений?

Образование почвы неразрывно связано с эволюцией жизни на Земле. Почвы стали зарождаться с появлением первых живых организмов на поверхности земной коры. Как мы знаем, такими первыми поселенцами на ней были микроорганизмы. Они-то и начали почвообразовательный процесс, проложили путь другим организмам, разнообразным видам микробов, буквально «грудью» прорубили дорогу жизни на земле.

В те далекие геологические эпохи Землю окружала атмосфера из плотного слоя газов, мешавшего прохождению солнечных лучей, так что первым микроорганизмам солнечная энергия никакой помощи оказать не могла. Энергию, необходимую для усвоения углерода, им пришлось черпать в процессах разложения различных химических соединений. Одновременно такие микробы выделяли сильные кислоты, которые разлагали материнскую породу, измельчали и преобразовывали ее в новый вид структуры. С течением времени безжизненная выветренная порода обогащалась органическим веществом.

Каждая почва, возникшая в процессе эволюции, сформировала свою собственную, присущую только ей одну микрофлору, с определенным конкретным направлением микробиологических процессов, то есть специфическим обменом веществ (метаболизмом).

В. В. Докучаев также отмечал огромную роль микроорганизмов в формировании почвы. Мнение о боль-

шом значении биологического фактора в почвообразовании утвердилось у русских ученых еще со времен М. В. Ломоносова, который писал, что чернозем «не первообразная и не первозданная материя, но произошел от согнития животных и растущих тел со временем».

Период творчества В. В. Докучаева совпал со временем великих открытий Л. Пастера (1822—1895), показавших многостороннее значение микроорганизмов для существования биосферы*.

В конце прошлого века несколько классических работ по микробиологии выполнил С. Н. Виноградский (1856—1953), установивший, в частности, что некоторые микроорганизмы могут добывать необходимую для жизни энергию путем окисления минеральных соединений. Эти микроорганизмы были названы автотрофами, или хемоавтотрофами.

Одновременно с В. В. Докучаевым работал другой выдающийся представитель русской науки о почве — П. А. Костычев. В монографии «Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства» (1886) он писал, что в процессах образования чернозема геология имеет второстепенное значение.

Интерес к микроорганизмам как факторам почвообразования и плодородия к концу прошлого века был так велик, что на VIII и IX съездах естествоиспытателей и врачей, состоявшихся в С.-Петербурге (1890 и 1894 гг.), были заслушаны доклады, освещавшие вопросы микробиологии почвы. В. И. Ковалевский в сообщении «Запросы современного сельского хозяйства к естествознанию» основное внимание уделил значению микроорганизмов в создании плодородия почвы. Г. Г. Густавсон, профессор Петровской сельскохозяйственной академии, в докладе «О микробиологических основах

* Биосфера — сфера жизни на Земле, охватывающая низшие слои атмосферы.

агрономии» убедительно показал, что почва представляет собой живую систему, огромную роль в которой играют низшие существа. С. Н. Виноградский в своем выступлении осветил роль микроорганизмов в цикле процессов, имеющих огромное значение в формировании почвенного плодородия.

Были опубликованы и другие работы, доказывающие возможность широкого использования в сельском хозяйстве биологического азота.

Можно сказать, что представления о микроорганизмах как могущественном факторе почвообразования и плодородия почвы окончательно сложились уже к концу прошлого века.

Примерно к этому же времени ученые сформировали представление о почвах как о среде обитания микробов. Явные различия между почвами вызвали необходимость их классификации, основанной на внешних (морфологических) признаках. То что почвы различаются по цвету, бросается в глаза даже непосвященному наблюдателю. Первоначальная систематика отмечала это различие в окраске, были названы серые, каштановые, красные почвы; подзолы и черноземы.

Впоследствии была установлена связь между цветом и химическим составом почвы. Большое количество органического вещества в почве обуславливает ее темный цвет, малое — светлый, серый. Присутствие трехвалентного железа придает почве желтую, бурую или красную окраску.

Но цвет почвы зависит не только от химического состава. Играет роль влажность, степень измельченности частиц почвы, условия освещения. Важны и оттенки одного и того же цвета. Обычно почвы холодных тонов переувлажнены, сухие почвы характеризуются более теплыми оттенками.

Почвы разделяются по мощности, то есть по толщине всех горизонтов почвы, измеряемой по вертикали. Например, маломощные горные почвы имеют толщину

5—15 см, а некоторые равнинные достигают глубины более метра.

Профиль (вертикальный разрез) почвы слоистый. Поверхностный слой толщиной до 20 см называется пахотным горизонтом, или пахотным слоем. Это самая богатая жизненными формами часть почвы. Пахотный слой отличается большим разнообразием органических и минеральных веществ, необходимых для роста и развития живых организмов. Пахотный слой, как правило, имеет темную окраску, в нем происходят основные процессы, связанные с превращением органических остатков и жизнедеятельностью микробов.



Под пахотным слоем часто располагаются горизонты вымывания и вмывания, названия которых определяют их функциональные отношения с другими горизонтами. Из горизонта вымывания, а заодно из пахотного слоя, дождевая вода вымывает органические и минеральные вещества, которые задерживаются в слое вмывания.

Основой всех почв служит материнская порода, из которой в итоге почвообразовательного процесса и образовалась данная почва. Различают почвы по структуре, пористости, плотности, разного рода включениям и другим признакам.

В. В. Докучаев сформулировал закон распределения почв по зонам в зависимости от климата и условий распространения растительного и животного мира. Почвенные зоны залегают неравномерными полосами. Внутри этих полос в виде больших или меньших пятен могут встречаться почвы иного строения и свойств. Так, например, в СССР черноземные почвы распространены в лесостепной и степной зонах. Наряду с черноземами

здесь встречаются солонцы и солончаки. Наиболее типичны для зоны сухих степей каштановые почвы, но среди них могут быть и солонцовые почвы, солончаки и солоди.

Основные почвенные типы разнятся не только по свойствам верхнего горизонта, но и по профилю. В горных местностях резко проявляется почвенная поясность.

Среди многообразия характеристик, даваемых почвам, есть одна, привлекающая особое внимание ученых и работников земледелия. Этот признак играет важнейшую роль в плодородии почв. Речь идет о гумусе, или перегное.

Ежегодно вместе с остатками урожая, отмершими почвенными животными и микроорганизмами в почву поступает огромное количество органического вещества, которое распадается на различные химические соединения — сахара, органические кислоты, аминокислоты, белки, жиры, воска, смолы, дубильные вещества, целлюлозу, лигнин и многие другие.

Часть из них становится пищей почвенных микроорганизмов, часть — более стойкая — подвергается всевозможным превращениям.

Первые исследования гумуса относятся к концу XVIII столетия, но и до наших дней еще не разрешены все проблемы, связанные с этим почвенным образованием.

Гумус химически неоднороден, в его состав входит комплекс сложных органических соединений, сравнительно устойчивых к биологическому и физико-химическому разложению.

Перегной накапливается в почвенном слое с самого начала почвообразовательного процесса. Он составляет 85—90% всей массы органического вещества почвы. В нем сосредоточено значительное количество азота, фосфора и других элементов, находится и небольшое количество нуклеиновых кислот. Характерный признак

перегноя — достаточно высокая устойчивость к воздействию микроорганизмов.

По химической природе перегнойные соединения почвы не однотипны. Их делят на гуминовые кислоты, гумины, фульвокислоты, гиматомелановые кислоты.

Каждое из этих соединений представляет собой семейство близких по своим свойствам веществ. Например, гуминовая кислота красоземов имеет некоторые признаки фульвокислот. Соотношение углерода и азота в перегнойных соединениях несколько больше у северных почв, чем у южных.

Хотя процесс формирования перегноя в деталях еще не раскрыт, но многие моменты, касающиеся его синтеза, выяснены, особенно связанные с деятельностью микроорганизмов. Прежде всего микроскопические существа почвы разлагают различного рода растительные остатки и среди прочих веществ образуют соединения, которые служат структурными единицами молекул гумусовых веществ. Часть подобного рода веществ создается самими микроорганизмами. Наконец, многие микроорганизмы вырабатывают такие ферменты*, действие которых приводит к процессам конденсации (сгущения) соединений, при определенных условиях переходящих в перегнойные вещества.

Несмотря на сложность молекул, гумусовые соединения не сохраняют абсолютное постоянство. Хотя и медленно, но они разлагаются микроорганизмами, причем фульвокислоты минерализуются быстрее, чем имеющие более сложное строение гуминовые кислоты и гумины.

Перегной играет большую роль в формировании типа почвы. Перегнойные соединения не только находят-

* Ферменты — белковые вещества, вырабатываемые в клетках живых организмов. Обладают каталитическим (ускоряющим) действием на ход химических, биохимических процессов.

ся в почве в свободном состоянии, но и образуют соединения с минеральной частью почвы, оказывая существенное влияние на ее превращения.

Накопление перегноя в почве очень ценно для земледелия. В перегное задерживаются вещества, которые постепенно разлагаются (минерализуются) и служат пищей для растений. Если бы образования гумуса не происходило, то значительная часть минеральных соединений могла бы вымываться из почвы.

Плодородие почвы непосредственно связано с ее структурой. Плодородные почвы имеют характерное комковатое строение. Если внимательно разглядывать образец почвы из грядки, то легко обнаружить в нем минеральные частицы, склеенные в комочки темно-коричневым веществом. Только в бедных гумусом песчаных почвах зерна песка не связаны друг с другом. Микроорганизмы могут обитать «с комфортом» только в хорошо оструктуренных почвах, где подходящий для них водный и воздушный режим.

Гумус — отличный поглотитель влаги. Это его свойство зависит от присутствия гуминовых кислот. Установлено, что 1 г гумуса поглощает от 4 до 20 г воды. При засухе эта влага возвращается растениям.

Поглощая и отдавая воду, гумус разрыхляется, что способствует доступу воздуха и воды в глубину пахотного слоя.

Темная окраска гумуса также способствует плодородию: темные почвы более интенсивно поглощают солнечные лучи и нагреваются сильнее, чем светлые, песчаные.

С повышением температуры усиливается всякого рода жизнедеятельность в верхних горизонтах.

У гумуса обнаружена биологическая активность. Это свойство пока мало изучено, но уже установлено, что некоторые соединения, входящие в состав гумуса, обладают свойствами гормонов и могут активно воздействовать на рост и развитие растений.

Теперь, когда свойства почв и перегноя для нас ясны в общих чертах, можно попытаться ответить на вопрос о почве как среде обитания почвенных микробов. Ведь почва служит для них и домом, где они живут и размножаются, и мастерской, где они «трудятся» над органическим материалом, превращая его в удобоваримый для своей жизни вид.

Как влияет внешняя среда на жизнь микробов

Жизнедеятельность микробов во многом зависит от температуры. В одних и тех же климатических условиях отдельные почвы различаются по тепловым свойствам из-за своей способности поглощать солнечные лучи, различного характера покрывающей растительности, неодинаковой теплоотдачи.

Соответственно этому и микробное население этих почв неоднородно.

Благоприятный интервал температур, при которых микробы почвы чувствуют себя наилучшим образом, лежит в промежутке от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. Но есть отклонения от оптимального теплового варианта. Теплолюбивые микробы, так называемые *термофилы*, развиваются и при $+50^{\circ}\text{C}$, а некоторые виды микроорганизмов могут размножаться при 0°C .

В действительности температурные пределы выживания микробов еще шире. Некоторые болезнетворные микроорганизмы сохраняли жизнеспособность в течение нескольких дней при -190°C . Есть «рекордисты», выдержавшие несколько часов подряд температуру -270°C .

К высоким температурам особенно устойчивыми оказались споры бацилл. Так, споры *бациллы* *стеротермофилос* выживают при пятиминутном действии пара, нагретого до $+121^{\circ}\text{C}$. А споры возбудителя сибирской язвы выносят полуминутное нагревание до 400°C ! Таким



образом, предельный интервал существования микробов равен 670° (от -270° до $+400^{\circ}\text{C}$).

Разумеется, в условиях почвы колебания температур значительно меньше, но в этом узком диапазоне различаются группы микроорганизмов: холодолюбивые (*психрофилы*), предпочитающие средние температуры (*мезофилы*), и теплолюбивые (*термофилы*). Термофилы живут

в гейзерах, в горячих источниках и выдерживают температуру до $+70-80^{\circ}\text{C}$. К психрофильным относятся некоторые микроскопические водоросли, которые живут на снегу и окрашивают его в кроваво-красный цвет. Подавляющая часть почвенных микроорганизмов относится к мезофильным живым существам.

Два важных для микробов фактора почвенной среды взаимодействуют, но одновременно являются антагонистами.

Это вода и воздух.

Вода — синоним жизни на Земле. Если тепло, проходящее на нашу планету от Солнца, присутствует в разной мере повсеместно, то распределение воды подвержено гораздо большим колебаниям. В одном месте ее много, в другом мало, в третьем и вовсе нет.

Все химические и биохимические реакции в почве и в клетках микроорганизмов протекают, как правило, в воде. Лучше всего микробы развиваются при влажности, равной 50—60% от максимальной влагоемкости (наибольшее количество воды, удерживаемое данным видом почвы).

Но и здесь, как при действии температуры, наблюдаются отклонения от оптимальных условий. Так назы-

ваемые анаэробы живут при более высокой влажности — 80—90 % и даже 100 %!

Вода присутствует в почве в виде почвенного раствора, содержащего минеральные соли и органические соединения. Степень насыщенности солями различна: одни почвы очень засоленные, другие бедны солями. Микробы обычно предпочитают незасоленную среду обитания, но некоторые микроскопические грибы рода *аспергиллюс* и рода *пенициллиум* могут развиваться в растворах, содержащих 20—30 % хлористого натрия.

Почвенный раствор — естественная питательная среда для микрофлоры, микробы поглощают из него большую часть веществ для своего роста и развития.

Когда в почве мало воды, ее место занимает почвенный воздух. По составу он заметно отличается от атмосферного, в нем намного меньше кислорода, в 5—20 раз больше углекислоты, больше азота. По своему отношению к почвенному воздуху микроорганизмы почвы делятся на: *аэробных* (развиваются исключительно в присутствии кислорода); *анаэробных* (избегающих кислорода, который для них смертельно вреден). Некоторые микробы могут относиться то к той, то к другой группе в зависимости от обстоятельств внешней среды.

Из такого подразделения ясно, что в переувлажненных почвах будут жить и развиваться главным образом анаэробные микробы, в сухих, хорошо проницаемых для воздуха, поселятся преимущественно аэробы.

Есть еще один фактор, регулирующий жизнь микробов в почве. Это реакция почвы (кислая, нейтральная, щелочная). Измеряется этот фактор степенью кислотности и обозначается латинскими буквами рН. Для нейтральной среды (чистая вода) рН всегда равен 7, у кислой среды рН меньше 7, у щелочной — больше.

Микроорганизмы почвы чутко реагируют на изменения степени кислотности, на колебания рН. Например, грибы лучше всего растут в кислой среде, бактерии — в нейтральной, слегка щелочной. Наиболее

приемлемый кислотный интервал существования микробов заключен в пределах рН от 3 до 9.

Можно направленно менять кислотность почвы. Исстари в земледелии применяется известкование кислотных участков пашни. Понятно, что изменение кислотности сказывается на переменах в составе микробных сообществ в почве.

Дом микробов

Назвав почву «живым особого рода телом», В. В. Докучаев провидчески предвосхитил новейшие исследования почвенных микробиологов, сформулировавших представление об экологических нишах в почвенной структуре.

Оказывается, почвенные микробы отнюдь не равномерно распределены по структуре пахотного слоя. Подобно всей живой материи земного шара, они группируются в местах, где содержится наибольшее количество питательных веществ.

Эти места были названы *экологическими нишами*.

Экологические ниши зависят от структуры почвы, степени ее измельченности и характера поступающих продуктов питания, будь то растительные остатки, живая и мертвая микрофауна или даже живые микроорганизмы.

По мере истощения запасов пищи, засорения и отравления ее продуктами выделения микробы либо погибают и становятся пищей других организмов, либо ищут новые места обитания.

Разнообразные перемены в пищевых ресурсах заставляют микробов кочевать в почвенной структуре. Это явление называют мозаичной, динамичной системой. Развитие и рост бесчисленного множества микроскопических существ в недрах почвы придает ей характер живого тела со своими характерными обменными реакциями. Если учесть способность почвы сохранять в оп-

ределенных пределах постоянство своей внутренней среды, так называемый *гомеостаз*, то аналогия с живым организмом еще больше усилится.

Микроорганизмы определяют биологические свойства почвы, а множественные химические и биохимические реакции между соседствующими физиологическими группами почвенных микробов связывают почвенные процессы в некое единство, обладающее внутренней устойчивостью при воздействии на нее факторов внешней среды. Метаболизм * почвы в общем виде зависит от системы внутренних взаимосвязей сообщества микробов. Разрыв одного единственного звена в микробиологической нише или подавление отдельной функции в этой системе может привести к нарушениям всей цепи питания.

Говоря фигурально, почва выступает как хрупкое существо, подверженное губительному действию резких воздействий и внешних перемен.

В этой связи особенно важно оценить перспективы почвообразовательного процесса в связи с загрязнением окружающей среды.

До сих пор почва вместе с населяющими ее организмами была универсальным биологическим адсорбентом (поглотителем) и нейтрализатором самых разнообразных органических соединений, что приводило к разложению большинства попавших в почву отходов хозяйственной деятельности человека. Отходы и отбросы



* Метаболизм — обмен веществ, способность живого вещества перерабатывать и усваивать сложные соединения.

служили источником углерода или других элементов, необходимых для жизнедеятельности почвенных организмов.

В наше время микробам все труднее справиться с переработкой массы веществ, поступающих во внешнюю среду. Научно-техническая революция сказалась и на работе микроскопических санитаров. Промышленное производство выбрасывает во внешнюю среду колоссальные количества промышленных стоков, ядохимикатов, удобрений, отходов с крупных животноводческих ферм.

Например, в ФРГ объем жидких отходов составляет более 9 млрд. м³ в год, что приводит к гибели рыб и живых организмов в реках. Для нейтрализации и окисления их расходуется масса кислорода. Отравляющие вещества с речной водой попадают в Мировой океан, который тысячелетиями обезвреживал ядовитые стоки, но сегодня и он не справляется со своими санитарными задачами.

Дело в том, что в отходы идет поток синтетических веществ, к разложению которых природа еще не подобрала ключи, и природные экологические системы разрушаются, подвергаясь смертоносному действию искусственных химических ядов.

В цикле круговорота углерода основная роль микроорганизмов заключается в том, что они разлагают массу органических веществ, делая их компоненты пригодными для употребления в других звеньях экологической системы.

Почва и водоемы в этом процессе служат природными биофильтрами. Лишь наиболее стойкие из органических соединений вроде лигнинов разрушить биохимическим путем не удастся, и они накапливаются, образуя запасы органического вещества в биосфере. К таким запасам относится и ископаемое топливо.

Некоторые синтетические соединения, не перерабатываемые биофильтрами, также накапливаются в поч-

венных горизонтах, что приводит к нарушению жизнедеятельности биологических микрониш, к заболеванию почвы как целостного живого организма.

Главным симптомом (признаком) заболевания почвы из-за загрязнения внешней среды служит снижение плодородия. Больная почва не может обеспечить растению нужные условия среды и питания — это знает каждый земледелец.

Только борьба с загрязнением среды промышленными предприятиями, контроль над применением ядохимикатов, гербицидов и удобрений позволит сохранить здоровье почв, их плодородие и урожайность.

ЗНАКОМЬТЕСЬ, МИКРОБЫ!



Какие микробы живут в почве

Уже не первый год пишут фантасты свои повести и рассказы о параллельных мирах. Такие миры как бы сосуществуют с нашей реальностью и пронизывают ее. Волей своих творцов параллельные миры наделены самостоятельностью, внутренними законами развития, сходными или отличными от известных земных правил бытия.

Жизнь микробов отдельными чертами напоминает параллельный мир: они невидимы невооруженному глазу, вездесущи, подчинены своим законам развития. Лишь повсеместная ежесекундная связь видимого и невидимого мира нарушает стройность этой аналогии.

Микробы почвы — один из важнейших факторов процесса жизни на земле. Благодаря им совершается миллионы лет не прекращающийся беззвучный круговорот веществ и энергии, связывающий неживую и живую природу. Зеленые растения с помощью энергии Солнца способны превращать простейшие неорганические соединения — углекислый газ, воду и минеральные соли — в сложнейшие органические вещества своих клеток и тканей.

Затем в следующей стадии круговорота веществ органика, созданная растениями, поглощается травоядными животными, а последние становятся добычей хищников. Но и растения, и травоядные, и хищники, умирая, превращаются в объект питания для бактерий, простейших, насекомых, и после смерти всех живых существ их органические остатки разлагаются сапрофитами — микробами, выполняющими роль санитаров на земной поверхности. *Сапрофиты* — гнилостные бактерии, грибы разрушают трупы всех животных и растений (в том числе и самих сапрофитов) на простейшие химические соединения — углекислоту, воду, соли.

Замыкание круга, по которому движутся вещества нашей планеты, берут на себя почвенные микробы в поверхностных слоях почвы. Здесь атомы и молекулы, заимствованные у минерального мира миром органическим, возвращаются хозяину. Долг отдается с тем, чтобы начался новый цикл, следующий этап движения материи.

Круговорот веществ неотделим от круговорота энергии. Энергия, идущая на выполнение полезной работы (свободная энергия), запасается в химических связях молекул. В простых молекулах углекислоты и воды свободная энергия минимальна. В сложных органических молекулах углеводов, белков и жиров она на несколько порядков больше. Особые вещества, образующиеся при фотосинтезе и дыхании, могут накапливать огромные запасы энергии, например аденозинтрифосфат (АТФ), настоящий молекулярный аккумулятор солнечной энергии.

При круговороте энергии происходит нечто вроде перекачивания ее с одного уровня на другой. Самый большой скачок происходит при фотосинтезе: из веществ, бедных энергией — углекислоты и воды (CO_2 , H_2O), образуются энергетически богатые соединения — органика зеленых растений. Все остальные живые существа, потребляя, только видоизменяют накопленную

растениями энергию. И так — вплоть до сапрофитов, доводящих энергетические ресурсы органического вещества до исходного рубежа — углекислоты и воды.

Кто же они, эти невидимые труженики, вращающие колесо жизни? Какова их физиология, «быт», возможности?

Чтобы разобраться в жизнедеятельности почвенных микробов, нужно понять их строение, или морфологию, функции в общем круговороте веществ биосферы.

Среди микроскопических тружеников почвы различают группу истинных бактерий (неспоробразующие псевдомонады, споробразующие бактерии, шаровидные и извитые бактерии) и группу микроорганизмов, отличающихся от истинных бактерий рядом признаков — это почкующиеся бактерии, спирохеты, цианобактерии, миксобактерии, актиномицеты, коринебактерии, микоплазмы и вирусы. Существенную роль в почве играют также микроскопические грибы и водоросли, а также невидимые невооруженным глазом простейшие животные (протозоа).

В почве преобладают представители истинных бактерий и близких к ним организмов, а также микроскопические грибы и водоросли; их много, и деятельность их более ощутима во внешних проявлениях, чем у простейших животных (протозоа), хотя и последние имеют большое значение в почвенных процессах.

Почвенные микробиологи обычно изучают истинных бактерий и близких к ним организмов, в то время как простейших животных изучают зоологи. Поэтому наше внимание в дальнейшем изложении будет сосредоточено на истинных бактериях и примыкающих к ним существах, а также на микроскопических грибах и водорослях.

У каждого представителя мира микроорганизмов можно различить особенное своеобразие, удивительную жизнеспособность, необыкновенную приспособленность к условиям внешней среды.

Истинные бактерии. Нет во всем мире почв, лишенных этих микроорганизмов. Они обнаружены даже на глубине около 5 м, но наиболее многочисленны их скопления в верхнем слое почвы (0—20 см).

Их клетки очень малы, от 1 до 10 мкм* в длину и 0,2—1 мкм в ширину. Средний вес бактерии 0,000000004 мг. Основная масса бактерий состоит из одной клетки, но существуют и цепочки рыхло связанных клеток, и шаровидные формы — кокки. Встречаются и спиралевидные бактерии.

Палочковидные бактерии встречаются в виде отдельных палочек или цепочек из таких палочек. Кокки бывают одноклеточными (*монококки*) и двуклеточными (*диплококки*); иногда встречаются формы, имеющие вид длинных цепочек (*стрептококки*) или пакетиков, состоящих из 8—12 клеток (*сарцины*).

Из спиральных форм известны два типа: бактерии, похожие на запятую (так называемые вибрионы), и спириллы — бактерии, имеющие несколько изгибов.

Малые размеры бактерий сильно затрудняют изучение деталей их строения. Из схемы ультратонкого среза бактериальной клетки видно, что бактерия имеет клеточную стенку. В отличие от целлю-



* 1 мкм (микромметр) = 0,001 мм.

лозной стенки растительных клеток она состоит из вещества, близкого к хитину. Последний, как известно, входит в состав жесткого покрова тела насекомых и других членистоногих. У большинства бактерий клеточная стенка окружена снаружи слизистой капсулой, служит дополнительным защитным слоем.

В густой цитоплазме (основное содержимое) бактериальных клеток находят гранулы гликогена, белков и жиров. Есть ли у бактерий ядро (нуклеоид), долгое время было неизвестно. Однако в настоящее время усовершенствованные методы окраски бактериальных клеток и электронная микроскопия позволяют обнаружить нуклеоид в клетках микроорганизмов.

Многие бактерии находятся в непрерывном движении. У них есть специальный «двигательный аппарат» — тончайшие выросты клетки, называемые жгутиками. Такие жгутики имеются у большинства палочковидных и спиралевидных бактерий. У шаровидных бактерий они, как правило, отсутствуют. Взмахивая жгутиками, некоторые бактерии могут за час преодолевать расстояния, превышающие длину их тела в 2000 раз. Перемещение бактерий, которое может происходить только в жидкостях, напоминает движение пловца в реке.

Обычно бактерии размножаются бесполым путем — делением клетки на две. Некоторые бактерии перед делением увеличиваются в размерах, вытягиваются, другие растут после деления. Имеются виды бактерий, которые размножаются почкованием или дроблением.

Бактерии делятся очень часто, иногда через каждые 20 минут. При такой скорости размножения одна бактериальная клетка, обеспеченная достаточным запасом питательных веществ и не встречающая помех, могла бы дать начало 500 тыс. клеток в течение 6 часов. Через 24 часа образовавшаяся масса бактерий весила бы 1 млн. 800 тыс. кг, и менее чем за неделю одна един-

ственная бактерия дала бы начало массе бактерий размером с земной шар. К счастью для всех остальных живых существ, бактерии не могут долго размножаться с большой скоростью, так как недостаток питательных веществ и накопление продуктов распада ограничивают размножение.

Способность быстро размножаться приводит к преобладанию бактериального населения в составе микрофлоры почвы.

Современные данные свидетельствуют о том, что у бактерий изредка может происходить явление, напоминающее половое размножение. Оно заключается в контакте двух разных клеток и в обмене носителями наследственности.

При неблагоприятных условиях, например при высыхании субстрата, некоторые виды бактерий (бациллы) образуют споры и переходят в состояние покоя, когда обмен с окружающей средой сведен к минимуму. В данном случае образование спор — это не способ размножения, так как каждая клетка образует всего одну спору, и общее число особей при этом не возрастает. При образовании споры часть клетки уплотняется, округляется в пределах имеющейся клеточной стенки и образует новую толстую стенку внутри старой. Как только условия вновь становятся подходящими для роста, окружающая спору стенка разрывается, и из нее выходит вегетативная бактериальная клетка. Споры могут сохранять жизнеспособность в течение многих лет. Так, некоторые почвенные бациллы сохраняют жизнеспособность после 250—320-летнего пребывания в виде спор.

На твердых питательных средах бактерии образуют слизистые или пастовидные видимые невооруженным глазом скопления, получившие название *колоний*.

Научное название всем организмам, в том числе и бактериям, дается на латинском языке. Родовое наименование бактерий определяется их морфологически-

ми особенностями, а видовое нередко отражает физиологические свойства микроорганизмов. Например, сарцина, разлагающая мочевины, называется *сарцина уреэ* (урина — моча), молочнокислый стрептококк — *стрептококкус лактис* (лактис — молоко) и т. д.

Почкующиеся бактерии. Эти организмы представляют собой клетки или нитевидные структуры. Размножаются они почкованием. Почки образуются в строго определенных для каждого рода местах: либо непосредственно на клетках, либо на конце нити. У большинства видов почки подвижны. Организмы обычно одиночные, почкующиеся бактерии иногда существуют в виде агрегатов — микроколонии довольно сложной формы.

Миксобактерии. Из почвенных микроорганизмов большой интерес представляют миксобактерии. Среди них обнаруживаются представители как с кокковидными, так и с палочковидными клетками. Оболочка у миксобактерий эластична, поэтому клетки при движении изгибаются, и форма у них может меняться. Миксобактерии не имеют жгутиков. Они передвигаются, используя реактивный принцип. Выбрасывая комочки слизи, миксобактерии способны покрывать большие расстояния.

Миксобактерии размножаются делением и перешнуровыванием. У них относительно сложный цикл развития. В известный период жизни они образуют особые плодовые тела, по характеру строения которых проводится их классификация.

Миксобактерии — сапрофиты. Распространены в почве, навозе, разлагающихся растительных остатках и т. д. Многие из них разлагают целлюлозу, хитин и другие вещества растительного и животного происхождения.

Актиномицеты. Актиномицеты, подобно грибам (описанным ниже), образуют обширный разветвленный мицелий, однако, как и бактерии, представляют со-

бой одноклеточные организмы. Многие из них размножаются спорами, очень похожими на бактериальные клетки. Эти микроорганизмы могут быть аэробами (живущими при доступе воздуха) или анаэробами (живущими без доступа воздуха), патогенными (болезнетворными) или сапрофитами (питающимися мертвым органическим веществом), устойчивыми или неустойчивыми к кислотам. Очень многие из них образуют один или несколько пигментов (красящих веществ). Наконец, они отличаются высокой пластичностью (приспособляемостью).

Для почвенной микробиологии представляют интерес роды актиномицетов (актиномицес) и родственных им микромонопор (микромонопора), микобактерий (микобактериум) и проактиномицетов (проактиномицес).

Среди других почвенных микробов, не относящихся к истинным бактериям, актиномицеты наиболее широко распространены в почвах. Они обнаруживаются в почвах всех типов, в том числе в некоторых кислых торфяниках, целинных и окультуренных, плодородных и неплодородных. Актиномицетов особенно много в почвах, в которых происходит активное превращение органических веществ. В песчаных почвах актиномицеты встречаются в небольшом количестве. Численность их несколько увеличивается весной и осенью, в тот период, когда почва обогащается органическим веществом.

С глубиной число актиномицетов в почве уменьшается. Нейтрализация кислой почвы, внесение удобрений, особенно органических, чрезвычайно сильно стимулируют развитие актиномицетов. Выявлено, что нет веществ, содержащих углерод, стойких и наименее усваиваемых, которые не использовались бы актиномицетами.

Актиномицеты могут использовать также разнообразные источники азота.

Грибы. Особую группу микроскопических одно- и многоклеточных организмов составляют грибы. Сейчас ученые имеют в своем распоряжении достаточно данных, чтобы сказать: представители группы грибов отличаются высокой организацией.

Гриб состоит из нитей, или *гиф*, совокупность которых образует *мицелий*, или тело гриба. Мицелий бывает нечленистым и членистым. В первом случае мицелий не имеет внутренних перегородок и представляет собой как бы одну клетку, содержащую большое количество ядер и имеющую разветвленные гифы. Это характерно для таких грибов, как *фикомицеты*. Во втором случае тело гриба имеет внутренние перегородки и состоит из разветвленных гиф. Примером могут служить *аскомицеты*.

Отдельные участки мицелия могут превращаться в различные специальные образования, служащие либо для сохранения гриба, либо для его размножения. Встречаются также различные образования, связанные с питанием грибов: *петли*, или *ловушки*, у *форм*, улавливающих таких почвенных животных, как *нематоды*. Наконец, на мицелии могут развиваться органы, служащие для прикрепления к субстрату или для поглощения питательных веществ.

Мицелий грибов может плодоносить, образуя споры, с помощью которых гриб размножается. Примитивные формы грибов образуют обычно подвижные споры или зооспоры.

Совершенные формы грибов размножаются половыми спорами, возникающими в результате слияния клеток и их ядер. Несовершенные грибы образуют бесполое споры без предварительного слияния ядер. Чаще всего у разных представителей одного и того же рода можно встретить оба способа размножения.

Грибы, как никакие другие почвенные организмы, способны использовать разнообразные источники питания. Их можно назвать всеядными. Они, например, мо-

гут использовать почти все виды минеральных и органических соединений азота.

Источниками углерода для грибов служат разнообразные органические вещества растительного и животного происхождения. Имеются указания, что некоторые виды грибов используют и газообразную углекислоту — CO_2 .

Грибы нуждаются в минеральных элементах (фосфор, калий, магний, сера) и в микроэлементах (цинк, железо, марганец, медь, молибден и др.).

Грибы любят воздух, поэтому аэрация почвы, как правило, способствует их росту. Однако грибы могут существовать и при частичном отсутствии кислорода.

В настоящее время роль грибов достаточно хорошо установлена. Грибы принимают активное участие в разложении сложных азотных и углеродсодержащих органических соединений.

Водоросли. Представители микроскопических водорослей распространены повсеместно, особенно в поверхностных слоях почвы, где благодаря влажности и достаточному освещению условия для них наиболее благоприятны.

Влага — самый важный экологический фактор, определяющий распространение водорослей.

Морфологическое разнообразие водорослей очень велико, но почти все виды, встречающиеся в почве, имеют микроскопические размеры и состоят из одной клетки.

Почвенные водоросли представляют собой простые одноклеточные организмы, нити или же колонии. У одних почвенных водорослей стенки клеток покрыты толстым слоем смолистых (клейких) веществ, у дру-



гих пропитаны кремнеземом. Потребность водорослей в питательных веществах очень различна.

На свету благодаря наличию хлорофилла водоросли используют минеральный углерод — CO_2 . Источники азота для водорослей бывают двух типов: молекулярный азот для тех видов, которые способны к его связыванию (фиксации), и минеральный азот для остальных видов. Нитраты усваиваются водорослями легче других соединений.

Водоросли, живущие в темноте (в глубоких слоях почвы), нуждаются в источниках органического углерода и отыскивают его в растительных остатках или среди продуктов обмена веществ бактерий. Лучшим источником азота для них в этих условиях служит аммонийный азот.

Водорослям благоприятствует высокое содержание органических веществ, поэтому они встречаются в больших количествах в окультуренных и садовых почвах.

Основную активность водоросли проявляют в процессах превращения азота. Они используют минеральный (нитратный и аммонийный) азот и превращают его в органические соединения азота, входящие в состав их протоплазмы. Многие водоросли способны использовать и газообразный азот воздуха (сине-зеленые водоросли, или цианобактерии). Таким образом, уменьшаются потери азота, так как последний накапливается в почве.

Водоросли участвуют также в накоплении органических веществ в формирующихся почвах. Особенно важное значение имеют в этом отношении сине-зеленые водоросли, фиксирующие атмосферный азот. Благодаря потреблению углекислоты и выделению кислорода водоросли благоприятствуют аэрации рисовых полей.

Водоросли обладают высокой приспособляемостью, особенно по отношению к температуре. Существуют зеленые водоросли, живущие на снегу, и водоросли, способные развиваться при высоких температурах, напри-

мер сине-зеленые и диатомовые водоросли горячих источников.

Наукой и практикой отмечено положительное влияние азотфиксирующих сине-зеленых водорослей (цианобактерий) на рост сельскохозяйственных растений. Рисовые поля даже специально заражают азотфиксирующими сине-зелеными водорослями.



Так, в Международном институте риса на Филиппинах были проведены опыты по использованию комплекса сине-зеленых водорослей «Азолла-анабена» в качестве азотного удобрения рисовых плантаций. Оказалось, что в полевых условиях этот комплекс водорослей фиксировал из воздуха около 120 кг азота на 1 га; этот азот в высокой степени был доступен для растений риса и существенно повышал его урожай.

Массовое культивирование азотфиксирующих сине-зеленых водорослей весьма перспективно и по другим причинам. Например, по содержанию аминокислот сине-зеленые водоросли можно приравнять к растениям, дающим наиболее ценные белковые корма. Известно также, что сине-зеленые водоросли способны синтезировать витамин В₁₂. Причем общая концентрация этого вещества (свыше 1 мг на 1 г сухого веса) в водорослях примерно такая же, как и у некоторых бактерий.

Простейшие. Это единственные животные среди микробов. Встречаются жгутиковые, корненожки и инфузории. Простейшие зачастую — паразиты и хищники.

Морфологически довольно разнородны. Их тела, размером до нескольких десятков микрометров, могут иметь шаровидную, овальную, сплюснутую или развет-

вленную форму. Простейшие обычно подвижны и пластичны, то есть легко изменяют форму тела.

Для обитающих в почве простейших характерна способность образовывать цисты, устойчивые к неблагоприятным условиям. Цисты отличаются высокой сопротивляемостью и жизнестойкостью, они выживают даже после высушивания и обработки кислотами. Значение простейших в почве велико: поглощая бактерии, грибы, водоросли, они регулируют микробиологические процессы в почве.

* * *

Заканчивая описание микроорганизмов, обитающих в почве, хочется сказать несколько слов об их количественном учете и распространении в почвах. Для количественного учета применяют метод прямого микроскопирования почвы, принцип которого был предложен С. Н. Виноградским. При этом способе готовят почвенную суспензию и в определенном объеме ее под микроскопом подсчитывают общее число микроорганизмов. Последующим пересчетом можно установить, сколько микроорганизмов приходится на 1 г исследуемой почвы. С. Н. Виноградский готовил препараты на предметном стекле и просматривал их под микроскопом. В поле зрения попадались палочковидные бактерии мелкие и крупные, шаровидные бактерии (кокки), иногда обрывки мицелия грибов, актиномицетов и других микроорганизмов.

Прямой метод дает представление об общем количестве микроорганизмов в почве. Однако внешний облик микроорганизмов не позволяет судить о том, что они делают в почве, то есть об их физиологических функциях. Поэтому дополнительно определяют в почве отдельные группы микроскопических существ (бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли и т. д.). Они могут быть определены посевом почвенной болтушки на

твердые питательные среды, на которых затем клетки нанесенных микроорганизмов развиваются. В микробиологической практике обычно используют агаризованные или желатинизированные питательные среды.

После выдерживания засеянных чашек в термостате подсчитывают выросшие на твердой питательной среде колонии. Допуская, что каждая колония произошла из одной клетки того или иного микроорганизма, можно установить число клеток живых организмов во взятом образце почвы.

Характеризуя состав микроскопических существ различных почв, прежде всего следует отметить большую его динамичность. Количество микроорганизмов в почве довольно сильно меняется в течение не только года, но и месяца. Этот процесс — следствие колебаний температуры и влажности почвы, состояния растительного покрова и т. д.

В южной зоне, особенно в неорошаемых почвах с летним дефицитом влаги, колебание количества микроорганизмов выражено более резко. Летом в период иссушения здесь преобладают менее требовательные к влаге актиномицеты, а весной и осенью — бактерии, количество которых летом сильно уменьшается. Увлажнение почв коренным образом меняет положение дел. В более северной зоне, где обычно бывает достаточно влаги, сезонные колебания численности отдельных групп микроорганизмов выражены значительно меньше.

Во всех почвах наблюдается бóльшая или меньшая активизация деятельности микроорганизмов весной. Очевидно, это связано с обогащением почв отмершей за осеннее-зимний период растительностью.

В последнее время почвы разного происхождения были детально изучены микробиологами, которые выявили большое богатство микрофлорой почв южной зоны. Этот факт можно объяснить специфическими климатическими условиями.

Чем питаются микробы

Микробы нуждаются в пище, как и все живое на нашей планете. Им нужна энергия. В клетках этих мельчайших существ каждую секунду совершаются тысячи химических реакций. Их направляют и ускоряют биологические катализаторы-ферменты. Под влиянием ферментов различные молекулы взаимодействуют друг с другом, обмениваются группами, воссоздаются, распадаются. Клетка — это маленький очаг жизни. Чтобы жизнь не прекратилась, необходима энергия, и микробы добывают ее, используя энергетические материалы природы.

Питание обеспечивает микробов не только энергией, но одновременно и веществами, которые впоследствии входят в состав цитоплазмы. Необходимые элементы питания микроорганизмов — углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, сера и др. Это те строительные материалы, из которых создается клетка.

Процесс питания микробов ошеломляет исследователя своеобразием. У различных видов почвенных микроорганизмов этот процесс неодинаков, здесь трудно найти общее правило, пригодное хотя бы для большинства видов.

У высокоорганизованных существ, таких, как растения и животные, имеются две основные схемы питания. Зеленые растения растут за счет углекислоты воздуха и некоторых простых минеральных веществ почвы, используя солнечную энергию. Животным для питания не нужна солнечная энергия, они потребляют кислород, а также вещества растительного и животного происхождения. Свободный кислород, сжигая органические соединения, поставляет энергию, необходимую для жизнедеятельности животного.

Питание микробов не укладывается в рамки двух указанных схем. Оно значительно разнообразнее и сложнее. Высокая приспособляемость микроскопичес-

ких жителей почвы позволила им выработать разнообразные способы питания. Например, существуют микробы, способные расти на чисто минеральных средах, но в отличие от зеленых растений совсем не нуждающиеся в солнечной энергии. Есть микробы — животные. Для питания им необходим кислород и органическое вещество. Но среди них попадаются виды, которые потребляют только органические соединения. Наконец, существуют поистине удивительные формы питания микробного населения почвы. Так, имеются микробы, для роста которых требуется лишь одно инертное в химическом отношении вещество — углеводород парафинового ряда.

Не менее удивительна форма существования анаэробных микробов. Они процветают при недостатке свободного кислорода. Присутствие кислорода вредно действует на анаэробов, угнетает их активность. Предполагают, что анаэробные бактерии — древнейшие живые существа на Земле. Их появление относится к тем временам, когда жизнь на нашей планете только зарождалась, и атмосфера еще не содержала достаточного количества кислорода.

По способу добывания энергии микробы делятся на три типа: фотоавтотрофы, хемоавтотрофы и гетеротрофы. *Фотоавтотрофы* живут за счет солнечной энергии, *хемоавтотрофы* используют энергию, выделяющуюся при окислении минеральных соединений, а *гетеротрофы*, как и высшие животные организмы, потребляют энергию, образующуюся при окислении органических соединений.

Как автотрофы, так и гетеротрофы способны усваивать углекислоту воздуха и синтезировать из нее вещества, входящие в состав клетки, но эта способность у них неодинакова. Различие между автотрофными и гетеротрофными формами микробов заключается в том, обеспечивает ли данный организм все свои потребности в углеводе за счет углекислоты или нет. Если для усвое-

ния углекислоты воздуха автотрофам требуется внешний источник энергии — солнечные лучи или энергия, выделяемая при окислении неорганических веществ, то гетеротрофы используют органические вещества, например сахара, одновременно и для получения энергии, и для создания своей цитоплазмы. Количество энергии, необходимое для включения углекислоты в состав клетки, значительно больше, чем количество энергии, необходимое для усвоения какого-либо органического соединения, например сахара.

Способ потребления энергии характеризует свойства почвенных бактерий. Это своеобразный паспорт микроорганизмов, по которому можно судить об их происхождении, развитии и «характере».

Типичными представителями фотосинтезирующих организмов (фотоавтотрофов), помимо зеленых растений, являются водоросли. Некоторые бактерии также входят в эту группу. Все они содержат хлорофильные пигменты, например бактериохлорофилл*.

Фотосинтезирующие бактерии отличаются от водорослей и высших растений тем, что они не выделяют молекулярный кислород в процессе фотосинтеза. Фотосинтезирующие бактерии снабжают почву энергетическими материалами в значительно меньшей степени, чем зеленые растения, так как на каждую усвоенную молекулу CO_2 они запасают меньше энергии, чем высшие организмы.

Хемоавтотрофные почвенные микроорганизмы получают необходимую им энергию при окислении различных минеральных веществ. Так, нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак или азотистую кислоту, а серобактерии окисляют серу или сероводород.

Большинство почвенных бактерий, актиномицетов, почти все грибы и простейшие относятся к гетеротро-

* Хлорофилл — зеленый пигмент растений, бактериохлорофилл — хлорофилл в клетках бактерий.

фам. Необходимая им энергия образуется при брожении или окислении органических соединений.

Основное питательное вещество микробов почвы — азот. Автотрофы используют простые минеральные азотистые соединения, например соли аммония и азотной кислоты, но среди автотрофов попадаются фотосинтезирующие организмы, которые усваивают и атмосферный азот.

Способы питания гетеротрофов многообразны. Наименее специализированные микроорганизмы усваивают азот, содержащийся в минеральных соединениях, а некоторые бактерии используют даже атмосферный азот. Существуют микробы, «добывающие» азот из сложных органических соединений, и микробы, для которых необходимы специфические соединения, так называемые факторы роста.

Источники углерода для разных микробов также неодинаковы. Ими могут быть и наиболее простые соединения (углекислота), и очень сложные (жирные кислоты). Промежуточное место среди этих соединений занимают сахара, например глюкоза, которую используют большинство гетеротрофов.

Соединения, содержащие кислород и водород, имеются в почве в достаточных количествах. В плохо дренированных почвах, где ощущается недостаток кислорода, некоторые микроорганизмы способны использовать кислород минеральных солей, таких, как нитраты или сульфаты.

Наряду с углеродом, азотом, кислородом и водородом микроорганизмам необходимы минеральные элементы, аналогичные тем, которые требуются высшим растениям. Микроорганизмы почвы поглощают значительные количества калия и фосфора, меньшие количества натрия, магния, кальция, железа и серы. Кроме того, используют и микроэлементы. Для питания микробов достаточно иногда следов таких элементов, как медь, марганец и цинк. Микроэлементы хотя и потреб-

ляются микробами в незначительных количествах, играют в их существовании особую роль. Без микроэлементов немисливо осуществление важнейших жизненных функций этих существ, так как микроэлементы, как правило, входят в состав ферментов. Например, железо и медь содержатся в порфиринах, играющих роль переносчиков кислорода в процессах дыхания. Молибден и ванадий в составе ферментов принимают участие в процессе фиксации азота из атмосферы. Такой азотфиксирующий микроорганизм, как азотобактер, не способен «работать» при полном отсутствии этих двух элементов.

Как микробы получают энергию

Как известно, все явления жизни микроскопических обитателей почвы — рост, движение, размножение, питание и другие — требуют расхода энергии. Все живые клетки получают биологически полезную энергию в основном за счет дыхания — цикла ферментативных реакций, в ходе которых электроны переходят с одного энергетического уровня на другой.

У большинства организмов электроны воспринимают кислород, который, реагируя с ионами водорода, образует молекулу воды. Передача электронов кислороду происходит при участии ферментной системы, заключенной в цитоплазматической мембране — системе переноса электронов. Электроны отнимаются от пищевого вещества (под действием специфических ферментов) и переносятся на первичный акцептор (воспринимающее вещество).

Другие ферменты отнимают электроны от первичного акцептора, последовательно передают их различным компонентам системы переноса электронов и в конце концов присоединяют их к кислороду.

Процесс, в котором атомы или молекулы теряют электроны, называют *окислением*, а обратный про-

цесс — добавление электронов к атому или молекуле — *восстановлением*. Все окислительные реакции должны сопровождаться восстановлением.

В передаче электронов участвуют окислительно-восстановительные реакции, которые объединяются под названием биологического окисления.

Все реакции биологического окисления происходят с участием ферментов, причем каждый фермент строго специфичен и катализирует либо окислительную, либо восстановительную реакцию лишь определенных химических соединений. При дегидрировании могут отщепляться лишь определенные атомы водорода, занимающие определенное пространственное положение в молекуле.

Микроорганизмы почвы выработали различные способы дыхания. облигатным * аэробам необходим доступ свободного кислорода, факультативные анаэробы ** не нуждаются в нем, а облигатные анаэробы *** могут осуществлять процесс получения энергии только в отсутствие свободного кислорода; этот процесс носит название *брожения*. Большая часть почвенных микроорганизмов, как правило, требует хорошей аэрации.

Источниками энергии для гетеротрофных микробов служат сахара, главным образом глюкоза. Процесс

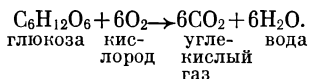


* Облигатные аэробы (обязательные, или строгие аэробы) — организмы, развивающиеся только в присутствии кислорода.

** Факультативные анаэробы — организмы, способные жить как в отсутствие, так и в присутствии кислорода.

*** Облигатные анаэробы (обязательные или строгие анаэробы) — организмы, развивающиеся только в отсутствие кислорода.

аэробного дыхания обычно состоит из расщепления молекулы сахара через ряд промежуточных реакций на две молекулы пировиноградной кислоты. Под действием кислорода из пировиноградной кислоты образуется ацетилкофермент А, а затем через цикл Кребса — углекислота и вода:

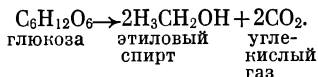


Механизм расщепления сахара связан с последовательным переносом электронов (атомов водорода) по стадиям цикла дыхания. На каждой стадии перемещение двух электронов сопровождается выделением небольшого количества энергии, так что микроорганизм за счет серии таких превращений получает непрерывный приток энергии, необходимый для реакций синтеза внутри клетки.

При брожении, проходящем в отсутствие кислорода, реакции переноса электронов прекращаются, как только все промежуточные акцепторы переходят в восстановленное состояние. Расщепление глюкозы в этих условиях ведет к накоплению пировиноградной кислоты (поскольку из нее не может образоваться ацетилкофермент А). Пировиноградная кислота принимает атомы водорода при молочнокислом брожении:



или превращается в ацетальдегид, который принимает атомы водорода с образованием этилового спирта в случае спиртового брожения:



Существенное различие между брожением и аэробным дыханием заключается в количестве выделяемой

энергии. Окисление глюкозы до углекислоты и воды, происходящее при аэробном дыхании, освобождает около 690 килокалорий на грамм-молекулу окисляемого сахара, а окисление глюкозы до молочной кислоты, характерное для анаэробов, дает всего лишь 47 килокалорий.

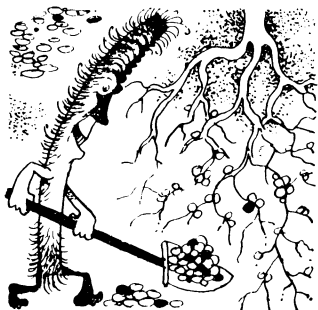
Таким образом, для получения одинакового количества энергии анаэробные организмы должны использовать значительно больше органического вещества, чем аэробные организмы. И, наоборот, одно и то же количество органического вещества способствует большему повышению микробиологической деятельности в аэробных условиях, чем в анаэробных.

Каким же образом в одной и той же почвенной частице одновременно существуют и облигатные анаэробы, и факультативные анаэробы, и облигатные аэробы?

Развитие аэробных микроорганизмов на поверхности почвенной частицы сопровождается интенсивным поглощением кислорода. От периферии частицы к ее центру концентрация кислорода резко падает. Поверхностная пленка аэробных микроорганизмов создает мощный барьер, препятствующий проникновению внутрь свободного кислорода. В центре почвенной частицы создаются анаэробные условия. Поэтому частица почвы состоит из микрозон, где живут и развиваются микробы с разной потребностью в кислороде воздуха.

Мастера на все руки

Зеленое растение представляет собой замечательную лабораторию, где при участии солнечной энергии происходит образование органических соединений из углекислоты воздуха, воды и минеральных веществ. Среди минеральных элементов, поглощаемых корневой системой растений из почвы, находится азот, сера, калий, железо, фосфор. Многие другие элементы необходимы растениям в значительно меньших количествах.



Отмершие растения или трупы животных снова возвращаются в почву, однако составные части этих организмов находятся в виде органических соединений и, следовательно, не могут непосредственно использоваться растениями. Для того чтобы содержащиеся в органических веществах минеральные элементы могли усваиваться

растениями, необходимо разложение этих веществ или, как принято говорить, *минерализация*.

Процесс минерализации обеспечивают микробы. Эти микроскопические существа участвуют в превращениях всех жизненно важных веществ на земле — азота, углерода, фосфора и других элементов. В результате не прекращающейся ни на минуту работы маленьких тружеников из отмерших растений, отбросов, трупов животных высвобождаются указанные вещества, которые затем после ряда изменений становятся пищей для растений.

В почве существуют незримые «пищевые фабрики», готовящие свежий и консервированный (в виде перегноя) «корм» для растений.

Разрушая остатки растений и трупы животных, микробы способствуют очищению поверхности земли, то есть являются великими санитарами природы. Можно себе представить страшные последствия гибели всех почвенных микробов: жизнь на земле не просуществовала бы и 30 лет.

Микробы поддерживают на определенном уровне состав азота в почве. Из-за непрерывных потерь (вымывание водой, улетучивание в атмосферу) содержание азота в почве сильно изменилось бы, если бы микробы

постоянно не возвращали молекулярный атмосферный азот в почву.

Точнее говоря, все процессы образования новых веществ и биологической минерализации идут благодаря длинной цепи последовательных и тесно переплетающихся между собой реакций, осуществляемых микробами. При этом минеральные элементы могут переходить из окисленного состояния в восстановленное и обратно. Часть веществ вовлекается в почвенные обменные реакции и включается в состав резервных веществ почвы — гумуса или перегноя.

Обычно биологические реакции обратимы. Как правило, они образуют циклы повторяющихся биохимических процессов. Ни одно органическое вещество, ни одна промежуточная стадия синтеза или минерализации не может быть устойчивой.

Допустим на мгновение, что в результате жизнедеятельности микроорганизмов образуется какое-то очень стойкое вещество, не принимающее участия в обменных реакциях. За время геологических эпох такого вещества скопилось бы огромное количество. Его хватило бы для того, чтобы покрыть толстым слоем весь земной шар. Микробы спасают мир от захламления, от отходов, оставляемых живыми существами. Одна из важнейших функций микроорганизмов — их участие в кругообращении веществ в природе.

Рассмотрим некоторые круговороты наиболее важных элементов в природе.

Круговорот азота. Основные запасы азота на нашей планете находятся в атмосфере. Растения не способны усваивать этот азот. Среди живых существ только некоторые почвенные микроорганизмы имеют такие ферменты, которые позволяют использовать атмосферный азот в обмене веществ для синтеза белков.

Первый этап цикла обращения азота заключается в его фиксации. Микроорганизмы — фиксаторы атмосферного азота — встречаются среди свободноживущих



аэробных, анаэробных и фотосинтезирующих бактерий, среди бактерий, находящихся в симбиозе * с бобовыми, наконец, среди некоторых водорослей. К какой бы группе ни относился микроб-фиксатор, конечный продукт обмена, куда включен азот, всегда принадлежит к соединениям белковой природы. Благодаря процессам фиксации молекулярный азот поступа-

ет в почву в виде органических соединений. Он входит в состав белковых веществ. Это касается и азота, усвоенного микробами, и азота растительных и животных тканей, зеленых удобрений, навоза или компоста, а также азота, содержащегося в гумусе. Лишь одна масса бактерий составляет приблизительно 6 т органических веществ (преимущественно белковых) на 1 га. К ней добавляется масса бесчисленных микроскопических грибов, простейших, водорослей, насекомых, нематод и т. д. В общем на 1 га приходится более 20 т «живого веса» микроскопических существ.

Но, как выше сказано, органический азот не усваивается растениями. Для них необходим минеральный азот в виде нитратов. В почве происходит минерализация органического азота с образованием аммиака. Этот биологический процесс носит название *аммонификации*, в нем принимают участие бактерии, актиномицеты и грибы. Аммонификация — второй этап цикла обращения азота.

Как осуществляется в почве процесс аммонификации? Первыми на белковые соединения азота действуют

* Симбиоз — обоюдовыгодное сожительство микробов и растений.

внеклеточные ферменты * микробов, так называемые *протеазы*, вызывая расщепление больших сложных молекул белка на более простые мелкие молекулы аминокислот. Последние проникают в клетку микроорганизма и там уже подвергаются воздействию внутриклеточных ферментов. Ферменты, расщепляющие аминокислоты, носят название *дезаминаз*. Они способствуют освобождению аммиака из белковых соединений.

В процессе аммонификации используются самые разнообразные азотсодержащие вещества: белковые соединения, аминсахара, нуклеиновые кислоты, пуриновые основания, амиды, фосфатиды, алкалоиды, амины, мочевая кислота и мочевины. Разрушение столь многообразных соединений обеспечивают различные микроорганизмы.

Этот процесс могут вызывать многие виды бактерий, в том числе некоторые аэробные споровые бациллы и анаэробные клостридии. Наиболее распространенными аммонифицирующими бактериями в почвах оказались спороносные представители рода псевдомонас.

Аммонификация развивается строго определенным образом. В начале процесса преобладают бактерии и особенно бациллы — спороносные палочки. В период максимального выделения аммиака к бактериям присоединяются актиномицеты. В конце процесса усиленно развиваются микроскопические грибы.

Каково же значение этого процесса для сельского хозяйства?

Аммиак, освобождающийся в биохимических реакциях почвы, расходуется весьма разнообразно. Одна часть его адсорбируется на глинисто-гумусовых частицах или нейтрализует кислоты почвы. Другая немедленно превращается в белки бактерий или грибов многочисленными гетеротрофными микроорганизмами. По-

* Внеклеточные ферменты — ферменты, выделяемые микробами в окружающую среду.

следнее происходит только при условии, что в распоряжении гетеротрофов находятся усваиваемые углеродсодержащие соединения, способные служить источником энергии.

Какая-то часть аммиака окисляется также автотрофами в нитриты и нитраты, и, наконец, в определенных условиях некоторое количество аммиака остается свободным и выделяется в атмосферу.

Самая нежелательная форма расходования азота из всех перечисленных — именно последняя. Аммиак, свободно уходящий в атмосферу, уносит с собой многие тонны урожая. В результате потерь аммиака почва обедняется, снижается ее плодородие.

Какие же факторы вызывают потери аммиака? Их немало, иногда они выступают поодиночке, иногда в комплексе, но всегда представляют опасность, с которой следует бороться.

Потерям аммиака способствуют нейтральные и особенно щелочные почвы, высокая влажность и плохая аэрация, жаркий климат, внесение больших масс органических удобрений. Когда часть их остается на поверхности почвы, развиваются процессы, ведущие к значительным потерям этого драгоценного продукта.

В практической деятельности необходимо учитывать все факторы, которые вызывают удаление аммиака из почвы. Только предотвращая или сводя к минимуму этот процесс, можно добиться устойчивой урожайности сельскохозяйственных культур.

Третий этап круговорота азота характеризуется частичным окислением аммонийного азота. Образуются нитраты — соединения, пригодные для питания высших растений.

Окисление аммиака проходит в две стадии: сначала образуется нитритная форма окисла (NO_2), затем — нитрат (NO_3).

Обе стадии окисления обеспечиваются двумя различными группами бактерий: нитрозными бактериями

типа нитрозомонас и нитратными бактериями типа нитробактер. Окисление аммиака сопровождается выделением тепла. Эта энергия используется нитрифицирующими бактериями весьма своеобразно. С ее помощью восстанавливается углекислота, служащая для них источником углерода.

Образовавшиеся при окислении аммиака нитраты поступают в растения через корневую систему. Нитрозные и нитратные бактерии распространены почти повсеместно. Их можно обнаружить во всех почвах, за исключением очень кислых. Они встречаются обычно в больших количествах в поверхностном слое почвы. У кислых почв, наоборот, более богаты этими микробами средние слои.

Содержание нитратов в почве всегда изменчиво и невелико, оно обычно не превышает 2—20 мг на 1 кг почвы.

Состояние почвы сильно влияет на содержание нитратов. Количество азотных соединений изменяется в зависимости от того, находится ли почва под паром или под какой-либо культурой. Влажность и обеспеченность почв кислородом также оказывают большое влияние на накопление нитратов. Этому процессу способствует правильная обработка почвы (вспашка, боронование), создающая благоприятную влажность и циркуляцию воздуха. Температурные границы накопления нитратов лежат в пределах от +10 до +33°C. Наилучшие температурные условия — около +30°C.

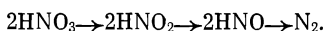
Наибольшее количество бактерий-нитрификаторов (до 1 млн. на 1 г) содержат окультуренные, плодородные почвы. Считается, что плодородие почвы и содержание в ней нитрификаторов тесно связаны между собой.

Нитраты, однако, обладают нежелательными свойствами. В то время как аммиак поглощается почвой, из нее легко вымываются соли азотной кислоты. Кроме того, нитраты могут восстанавливаться в результате де-

нитрификации до молекулярного азота (N_2), что также обедняет почву азотом. Все это существенно снижает использование нитратов растениями. В растительном организме соли азотной кислоты при их использовании для синтеза должны быть восстановлены, на что тратится энергия.

Желание сохранить азот в почве побуждает исследователей ставить вопрос о возможности искусственного подавления процесса нитрификации путем использования специфических веществ — ингибиторов, задерживающих активность бактерий-нитрификаторов и безвредных для других организмов.

На четвертом этапе цикла обращения азота нитратный азот частично восстанавливается. Конечный продукт восстановления — молекулярный азот. Этот процесс носит название *денитрификации*:



Так завершается круговорот азота в природе.

Денитрификацию вызывают многие почвенные микроорганизмы, а также некоторые виды автотрофных бактерий, обладающие довольно сложным обменом веществ.

Процесс денитрификации значительно усиливается при достаточном количестве органических веществ и анаэробных условиях. В тяжелых, насыщенных водой почвах, с большим количеством органического вещества денитрификация приводит к значительным потерям азота.

Как видно из сказанного, круговорот азота в природе совершается только благодаря деятельности невидимых организмов.

Круговорот углерода. Высшие растения ежегодно синтезируют миллиарды тонн различных органических веществ. При этом из всего усвоенного высшими растениями углерода около половины его приходится на клетчатку.

Клетчатка — одно из самых распространенных органических соединений. В большом количестве она попадает с растительными остатками в почву, на дно различных водоемов. Значительную часть грубых кормов для животных — сена, соломы, половы — также составляет клетчатка.

Как же совершается в природе процесс разложения клетчатки, какие микроорганизмы и каким путем осуществляют его? Такие вопросы поставил перед собой один из учеников С. Н. Виноградского — В. Л. Омелянский.

Следуя указаниям своего учителя, В. Л. Омелянский при изучении процессов микробиологического разложения клетчатки стремился прежде всего создать условия для выявления специализированных видов бактерий. Эти условия должны быть как можно более близкими к условиям жизни предполагаемых видов бактерий в природе.

В. Л. Омелянский приготовил питательную среду для обнаружения тех разлагающих клетчатку бактерий, которые живут без доступа кислорода на дне водоемов, в пищеварительном тракте животных и т. д. Вместе с необходимыми для питания бактерий минеральными солями в жидкую среду помещали полоски фильтровальной бумаги (клетчатка). В колбы с такой средой вносили речной ил или свежий навоз. Через несколько дней на полосках фильтровальной бумаги появились пятна, которые затем превратились в дыры, а немного позже полоски становились изъеденными, сетчатыми. С частично разрушенных полосок фильтровальной бумаги В. Л. Омелянским были впервые в науке выделены анаэробные бактерии, разлагающие клетчатку.

В честь В. Л. Омелянского основной вид бактерий, вызывающих анаэробное брожение клетчатки, назван *кlostридиум омелянский*.

Способность разлагать клетчатку обнаружена у многих видов бактерий и микроскопических грибов. Среди



бактерий, разлагающих клетчатку, имеются анаэробные и аэробные формы. Анаэробные бактерии, разлагающие клетчатку, имеют вид барабанной палочки. Сюда относятся более десяти видов микроорганизмов. Основной представитель — клостридиум омегианский.

В процессе брожения клетчатка расщепляется до глюкозы, которая сбраживается с образованием углекислого газа и водорода (CO_2 и H_2). Образуются также органические кислоты (уксусная, реже муравьиная и масляная) и этиловый спирт.

Среди аэробных бактерий, разлагающих клетчатку, известны миксобактерии родов цитофага, сорангиум и полиангиум, а также бактерии из рода целлвибрио.

При выращивании на волокнах клетчатки бактериальные клетки располагаются вдоль волокна. Иногда их расположение напоминает витой шнурок. Это связано с тем, что фермент целлюлаза, разлагающий целлюлозу, из клетки бактерий во внешнюю среду не выделяется. Считают, что они (то есть ферменты) находятся на поверхности бактериальной клетки. Поэтому разложение целлюлозы идет только при непосредственном соприкосновении микробов с ее волокнами.

Микроскопические грибы имеют наибольшее значение в разложении клетчатки, они способствуют разрушению клетчатки в кислых почвах (лесные подстилки, кислые торфяники и подзолы).

Систематическое изучение различных видов бактерий и грибов, расщепляющих клетчатку, открыло очень большое разнообразие микроорганизмов, обладающих этой способностью.

В почвах любого типа и в самом различном климате существуют виды, способные доводить расщепление клетчатки до конца — до образования углекислоты и воды. Расщепление клетчатки с большей или меньшей скоростью происходит в природе почти повсеместно, при условии, что микроорганизмы имеют в своем распоряжении достаточное количество азота и некоторые минеральные элементы, необходимые для обмена веществ.

В хорошо аэрируемых, нейтральных или слабокислых почвах преобладают аэробные бактерии; в хорошо аэрируемых кислых почвах главенствуют грибы, а в тяжелых почвах, особенно в жарком климате, преобладают анаэробные бактерии.

В почве наблюдается сочетание различных групп и видов микроорганизмов, разрушающих клетчатку.

Под посевом кормовых трав в почве весной активно размножаются аэробные бактерии. Они лучше приспособлены к сравнительно низким температурам и легко находят необходимый им минеральный азот. В течение первой половины лета активизируются микроскопические грибы. Они, как известно, способны усваивать как минеральный, так и органический азот. Во второй половине лета, когда скапливаются остатки растительных тканей и образуется большое количество нитратов, развиваются миксобактерии, в частности цитофага. После этого начинается интенсивный рост аммонифицирующих бактерий и численность микробов, расщепляющих клетчатку, снижается.

Многочисленными исследованиями установлено, что разрушающие клетчатку (целлюлозу) микробы имеют важное значение во многих отраслях хозяйства. Анаэробные целлюлозоразрушающие бактерии в процессе жизнедеятельности образуют спирт, различные органические кислоты и в зависимости от условий метан или водород. В настоящее время предлагают использовать метан, образовавшийся при сбраживании различных

растительных отбросов. Считают, что этот газ может стать новым источником энергии в народном хозяйстве. Подобно тому, как сейчас широко используются запасы природного газа земли, так, вероятно, в будущем можно будет использовать метан, образуемый анаэробными целлюлозоразрушающими бактериями.

В круговороте углерода большое значение имеют анаэробные бактерии, участвующие в разложении пектиновых веществ.

Пектиновые вещества представляют собой как бы склеивающую основу клеток отдельных тканей растений.

Разрушение этих веществ необходимо, например, при обработке волокнистых растений. С этой целью применяют мочку стеблей льна, конопли. В процессе мочки в результате жизнедеятельности пектипразрушающих анаэробных бактерий освобождаются волокна растений.

Полученное таким образом волокно поступает затем в промышленную обработку.

Разнообразные многочисленные почвенные микроорганизмы обеспечивают расщепление и других соединений углерода (гемицеллюлозы, крахмала, лигнина), содержащихся в различных составных частях растительных тканей. Но на каждом этапе разрушения часть углеродсодержащих соединений исключается из процессов минерализации и включается в новые реакции синтеза.

Среди этих реакций особо важное значение для плодородия почв имеют реакции, приводящие к образованию резервного вещества — гумуса.

Реакции, обеспечивающие углеродное питание нитрификаторов, наглядно показывают переплетение и взаимосвязь циклов углерода и азота. Без бактерий все имеющиеся атомы углерода и азота оказались бы связанными в телах погибших растений и животных, и жизнь прекратилась бы из-за недостатка сырья для синтеза

новой цитоплазмы, причем конец ее наступил бы очень быстро.

Таким образом, разрушая органическое вещество, обеспечивая круговорот азота и углерода, микроскопические жители почвы выполняют колоссальную работу и заслуживают благодарности всех живых существ нашей планеты.

Не менее важна роль микробов и в круговороте минеральных веществ.

Круговорот минеральных элементов. Независимо от того, идет ли речь о таких важнейших элементах, как фосфор, сера, железо и т. д., или же об элементах второстепенных, все они в результате многообразной деятельности множества растений и микроорганизмов переходят последовательно из органических соединений в минеральные и обратно.

Минеральные соединения, включающие различные элементы, могут быть восстановленными или окисленными, растворимыми или нерастворимыми, и, следовательно, усваиваться или не усваиваться растениями. В почве минеральные соединения находятся в свободном состоянии или же включены в состав гумуса (перегноя). Различные состояния минеральных веществ регулируются микроорганизмами, активность которых зависит от биологических условий в почве. Круговорот минеральных элементов тесно связан с круговоротом углерода и азота.

Современным ученым удалось определить, какое количество фосфора усваивается азотфиксирующими бактериями на 1 г фиксированного азота.

Сейчас мы не знаем практически ни одного элемента, который бы не подвергался воздействию почвенной микрофлоры. Она вызывает превращения разнообразнейших химических соединений, ассимилируя, окисляя или восстанавливая их, осаждавая или растворяя, создавая комплексы или же, наконец, освобождая химические соединения из уже существующих комплексов.

Микроорганизмы почвы — это, образно говоря, интенсивно работающая химическая лаборатория.

Каково же хозяйственное значение химической лаборатории микробов? Сможет ли человек использовать некоторые типы невидимок, управляющих определенными химическими процессами?

Работы В. Л. Омелянского указывают путь прямого использования микроорганизмов для получения разнообразнейших химических веществ. Он пишет, что задача ученых — выяснить взаимосвязь между условиями роста микробов и их химической деятельностью, уловить наиболее полезные продукты, образующиеся при этом.

В настоящее время подтвердился указанный выдающимся ученым путь развития микробиологии в ее союзе с химией. Неизменно растет количество видов микробов, которые используются в промышленном производстве для получения различных продуктов. Невидимые химики-микробы не только применяются в хлебопекарной, пивоваренно-винодельческой промышленности, но и служат для получения лекарственных препаратов — пенициллина, стрептомицина, различных витаминов и многих других веществ.

Микроорганизмы во много раз чувствительнее точнейших химических методов определения. Например, один из видов зеленой плесени «обнаруживает» присутствие соединений мышьяка в веществе с точностью до одной миллионной доли миллиграмма, а другой плесневый гриб очень чувствителен к соединениям серебра. Установлено, что он не способен прорасти в растворе с содержанием одной миллиардной доли миллиграмма солей серебра.

В. Л. Омелянский всегда связывал огромную роль микробов в природе как разрушителей органического вещества с использованием их полезной деятельности для нужд человека. Он образно называл их созидателями и разрушителями.

Трудно переоценить роль микроорганизмов в восстановлении утраченного сейчас экологического равновесия между человеком и природой. Микробы сегодня стали участниками широко развивающихся промышленных систем микробиологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности, бытовых и производственных отходов крупных промышленных центров, сельскохозяйственных предприятий. Природные санитары понемногу приобретают техническую квалификацию и культуру, они трудятся для человека по графику, с заданной производительностью в условиях строгой технологии.

ДЕЛА ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИЕ И МИКРОБЫ

Растения — покровители микробов



Ученые столкнулись с загадочным явлением. Почва из-под растений всегда содержит в сотни и тысячи раз больше микробов, чем почва, на которой растений нет. Впервые над этим фактом задумались ученые в начале XX века. Но эту загадку разрешили только в наше время.

Выяснилось, что в процессе жизнедеятельности растения через корневую систему выделяют в почву различные вещества: минеральные соли, содержащие фосфор, кальций, натрий, и органические соединения — сахара, органические кислоты, аминокислоты, витамины, ростовые вещества, ферменты и т. д. Эти вещества, усвоенные микроорганизмами, влияют на их развитие и состав. Наряду с корневыми выделениями микроорганизмы используют для питания отмершие корни, корневые волоски и постоянно обновляющиеся их части — слущивающиеся клетки корневых чехликов, эпидермиса корня и т. д. В непосредственной близости от корней высших растений создается *ризосфера* — зона, благоприятная для развития почвенных микроорганизмов.

Ризосфера по микробному населению резко отличается от почвы вне ризосферы. Об этом позволяют судить следующие данные о количестве бактерий (тыс. клеток) в 1 г почвы, взятой из ризосферы и вне ее:

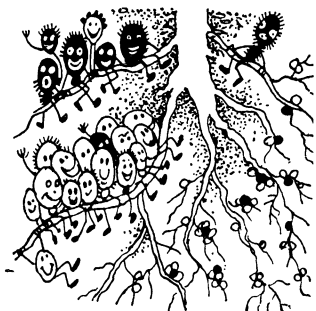
	<i>Почва вне ризосферы</i>	<i>Почва ризосферы</i>
Дерново-подзолистые почвы (пшеница)	2 500	1 750 000
Каштановые почвы (пшеница)	14 000	2 100 000
Сероземы (хлопчатник)	74 000	3 500 000
Красноземы (табак)	500	500 000

По нашим данным, количество бактерий маслянокислых клостридиев в 1 г почвы пара составляет 69,7 тыс., а в ризосфере — 10,7 млн., то есть в ризосфере бактериальных клеток более чем в 1 000 раз больше.

Подсчитано, что вес бактерий в ризосфере люцерны примерно вдвое больше, чем в почве вне ризосферы, и составляет соответственно около 5 т и 2,25 т на 1 га.

Влияние растения на почвенных микробов различно. Оно зависит от вида самого растения, стадии его развития, почвенных условий. В ризосфере бобовых культур микрофлора более обильна, чем в ризосфере злаковых. Это связано, по-видимому, с составом корневых выделений бобовых: они содержат много азотистых и углеродистых веществ. По нашим данным, в ризосфере бобовых насчитывается от 84,5 до 284 млн. клеток азотфиксирующих клостридиев на 1 г почвы, а в ризосфере злаковых — от 339 до 991 тыс. Подобные различия отмечаются и для других групп микробов.

Количество микробов в ризосфере меняется и в течение вегетации растений. Больше всего их бывает в период, когда растение наиболее интенсивно растет и выделяет корнями органические вещества. Ко времени созревания растения количество микробов в ризосфере обычно уменьшается.



Ризосфера формируется очень рано, вскоре после прорастания семян. Установлено, например, что у пшеницы, овса и люцерны между пятым и пятнадцатым днями развития количество микробов в ризосфере возрастает в 10—30 раз.

Как же распределяются микроорганизмы на корнях вегетирующего растения?

Ученые считают, что в ризосфере бывает как равномерно диффузное разрастание микробов на корнях, так и существование более или менее изолированных колоний. Большие колонии мелких бактерий располагаются гроздьями или даже слоями вокруг корневых волосков*, огромное количество подвижных бактерий находится в тонкой водной пленке, обволакивающей корешки.

Особенно много микробов бывает сосредоточено в непосредственной близости к тонким корням. Плотность микробов здесь настолько велика, что корни оказываются окруженными как бы плотной муфтой, которая практически полностью изолирует их от почвы.

Растение не просто способствует накоплению в ризосфере микробов, а отбирает (селекционирует) определенных представителей микронаселения, поэтому микрофлора ризосферы отличается от микрофлоры почвы не только по количеству микробов, но и по их составу.

Первое место в ризосфере занимают, как правило, неспоровые бактерии. Второе место принадлежит микобактериям. Актиномицеты, грибы и споровые бактерии обнаруживаются здесь в небольших количествах. Например, по данным французских микробиологов Пошо-

* Корневые волоски представляют собой выросты поверхностных клеток молодой части корня.

на и де Баржака, соотношение различных бактерий в ризосфере хлопчатника и в почве без растений таково (%):

	<i>Почва без растений</i>	<i>Ризосфера</i>
Неспоровые палочки	20	67
Кокки	40	12
Споровые палочки	30	1

Из приведенных данных видно, что неспоровые бактерии — преобладающая группа почвенной микрофлоры в ризосфере.

К неспоровым бактериям принадлежат азотфиксаторы: азотобактер, клубеньковые, фотосинтезирующие бактерии, азотомонас. Все они тяготеют к ризосфере растений. Здесь же накапливаются и другие представители азотфиксирующей флоры — маслянокислые, микобактерии, водоросли. Количество азотобактера и клубеньковых бактерий может достигать в этой зоне значительных величин: от сотен тысяч до нескольких миллиардов клеток в 1 г почвы (клубеньковые бактерии) и до 200 млн. клеток (азотобактер). Клубеньковые бактерии встречаются не только в ризосфере бобовых растений, они с успехом могут развиваться и в ризосфере злаков.

В ризосфере наблюдается и более интенсивное размножение водорослей. В зоне корней содержится обычно в 2—3 раза больше водорослей, чем вне этой зоны. Например, в ризосфере клевера обнаружено 149 тыс. клеток, а вне ризосферы — только 99 тыс. клеток в 1 г почвы.

Кроме уже названных микроорганизмов, в ризосфере развиваются и другие группы микробов — аммонификаторы, денитрификаторы, нитрификаторы. Общее количество этих микробов достигает миллионов и даже миллиардов клеток в 1 г почвы. Активность азотфиксаторов и других микробов, принимающих участие в круговороте азота, в ризосфере всегда значительно выше.

Высокая концентрация представителей микрофлоры в ризосфере способствует развитию простейших и нематод, которые питаются бактериями.

Таким образом, в почвах, занятых растениями, микроорганизмы развиваются интенсивнее, чем в почве без растений. Здесь активнее идет фиксация атмосферного азота и его дальнейшее превращение.

С помощью агротехнических приемов, таких, как известкование, внесение органических и минеральных удобрений, орошение в засушливых районах, можно направленно менять состав микрофлоры ризосферы и активно влиять на микробиологические процессы, определяющие условия питания растений.

Симбиоз с невидимками

Около 2000 лет назад было замечено, что возделывание бобовых культур возвращает плодородие истощенной почве. Это особое свойство бобовых связывали с своеобразными образованиями у них на корнях (в виде узелков, клубеньков), но объяснить не могли.

Много различных предположений было высказано учеными, много кропотливых, но неудачных опытов было предпринято для выяснения этой загадки.

В 1838 г. французский химик Буссенго заметил, что

в урожае культур, посеянных после бобовых, накапливается значительно больше азота, чем после злаков. Но объяснения этому явлению он не дал. В 1840 г. знаменитый тогда немецкий химик Либих выступил с отрицанием фактов, установленных Буссенго. Да и сам Буссенго в своих последующих опытах (1851—1853 гг.), выращивая



бобы и люпин на прокаленном песке, не получил никакого увеличения содержания азота в урожае посеянных после них растений (в результате прокаливании песка в нем были убиты клубеньковые бактерии).

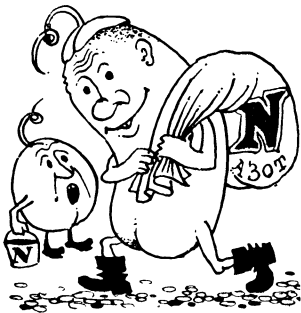
Однако через несколько лет английские ученые Лоз и Джилберт подтвердили результаты первых опытов Буссенго.

Русский ботаник М. С. Воронин, которому были хорошо известны обширные и тщательные опыты Буссенго, решил узнать, откуда все-таки растения гороха получают азот. Он начал исследования с анализа песка на содержание в нем азота до посева гороха. Обнаружив очень незначительное количество этого элемента, ученый пришел к выводу, что растения гороха для своего питания используют свободный азот атмосферы. Теперь требовалось изучить подробно строение клубеньков на корнях бобовых растений и проследить, какова зависимость между процессом их образования и усвоением азота бобовыми растениями.

Тысячи срезов просмотрел ученый под микроскопом, изучая ткань корневой системы бобовых в разном возрасте.

Обнаружилось, что клетки ткани клубеньков резко отличаются от клеток ткани корня, на котором они образуются. В клетках ткани клубеньков содержится несметное количество палочковидных телец, клетка как бы начинена этими тельцами. Оказалось также, что тельца обладают самостоятельным движением. М. С. Воронин отнес их к живым организмам микроскопически малых размеров. Причем под микроскопом были видны не только клетки палочковидной формы, но и сильно раздутые клетки, начинающие ветвиться.

Ученый делает смелый для того времени вывод о том, что клубеньки на корнях бобовых растений образуются в результате деятельности бактерий, которые проникают в клетки корня. Он высказывает предположение о существовании связи между усиленным деле-



нием клеток ткани корня и реакцией растения на внедрение в клетки бактерий.

Таким образом, открытие клубеньковых бактерий принадлежит М. С. Воронину и относится к 1866 г.

Понадобилось по крайней мере 20 лет напряженных изысканий, прежде чем удалось бесспорно доказать, что бактерии в клубеньках бобового растения находятся не

случайно, а выполняют там важную функцию — связывают азот атмосферы. Эти доказательства были получены только в 1888 г. уже другими учеными в опытах с бобовыми и небобовыми растениями. В этих опытах выяснилось, что в урожае овса количество азота всегда бывает несколько меньшим, чем внесено в песок вегетационного сосуда, а в урожае гороха, наоборот, его всегда оказывается больше, чем внесено в сосуд. Далее было замечено, что на корнях бобовых, выращенных на нестерильной почве, можно обнаружить клубеньки, а на корнях бобовых, выращенных на стерильной почве, клубеньки отсутствуют, и такие растения не способны усваивать азот атмосферы. Эти данные в полной мере подтвердили правильность мнения М. С. Воронина, что причиной образования клубеньков действительно являются клубеньковые бактерии, вступающие в тесное сожитительство с растениями.

Впоследствии голландским ученым Бейеринком (1888 г.) были выделены в чистую культуру бактерии, вызывающие образование клубеньков, изучены их свойства, проверена их способность при искусственном заражении вызывать на корнях бобовых растений образование клубеньков. По этому свойству они и получили название *клубеньковых бактерий*.

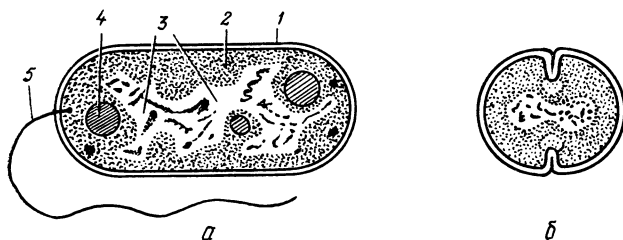
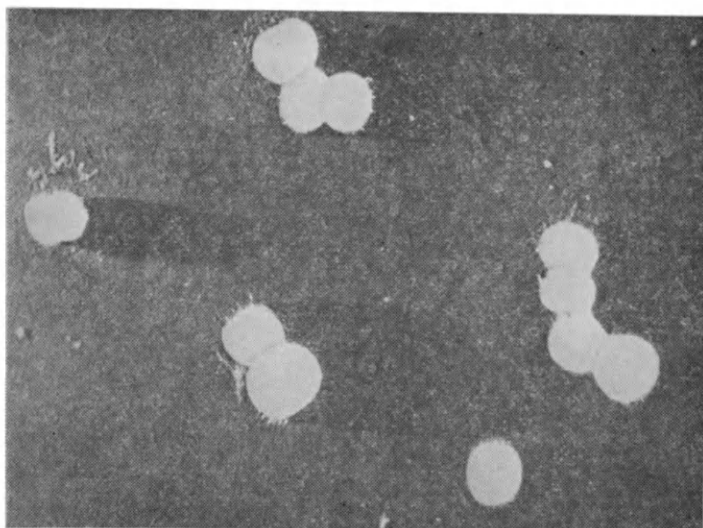
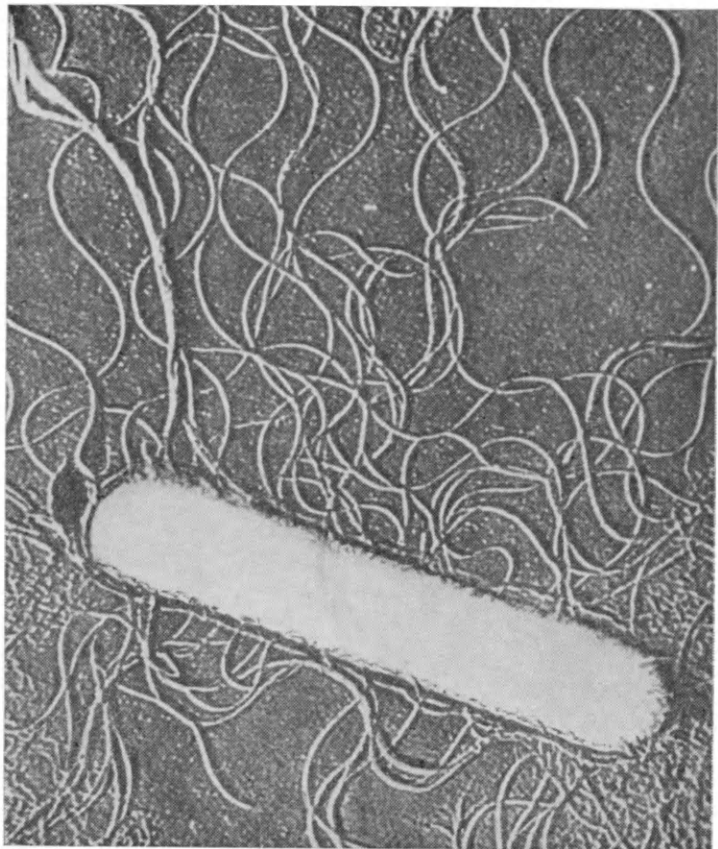


Схема ультратонкого среза бактериальной клетки

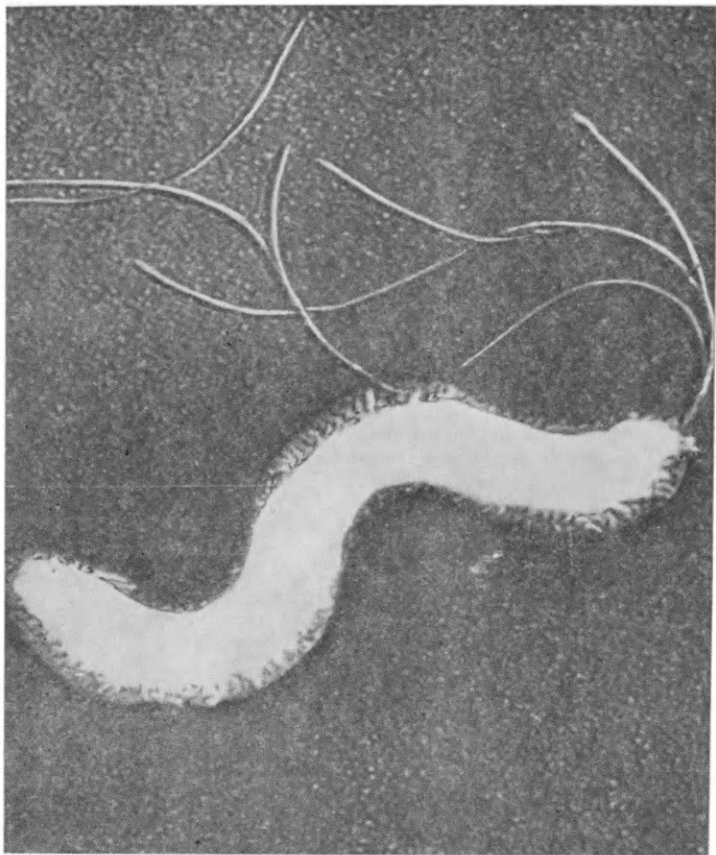
(а — продольный и б — поперечный срезы): 1 — клеточная стенка; 2 — цитоплазма; 3 — нуклеоид; 4 — гранула запасного питательного вещества; 5 — жгутик.



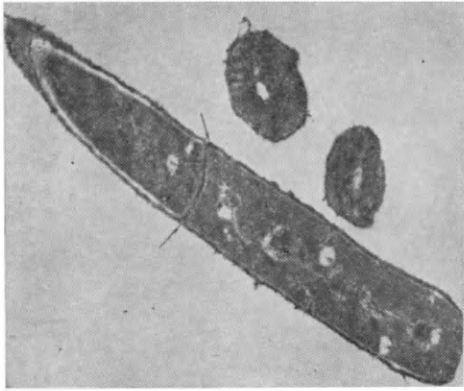
Шаровидные бактерии — монококки, диплококки и стрептококки под электронным микроскопом.



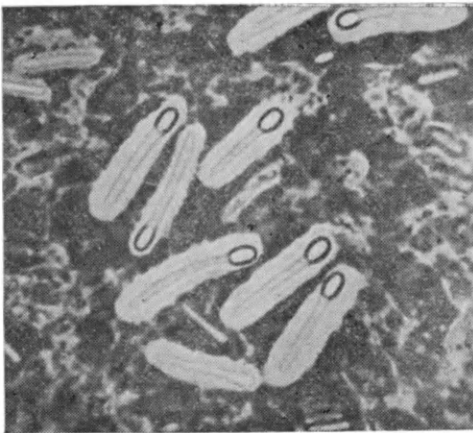
Палочковидная бактерия со жгутиками под электронным микроскопом.



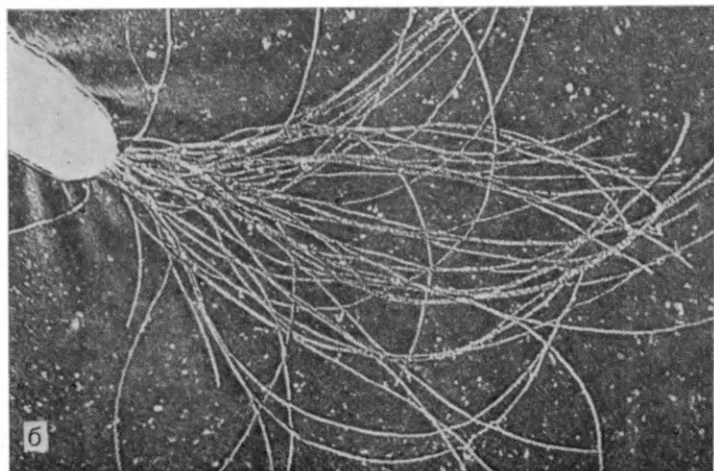
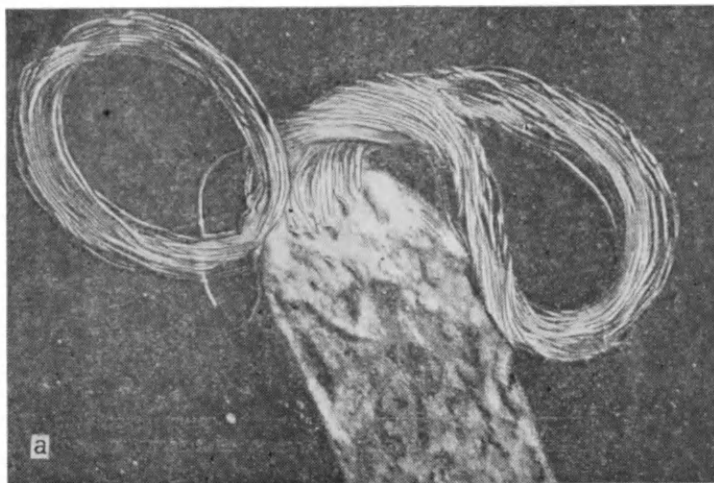
Спирилла с пучком жгутиков под электронным микроскопом.



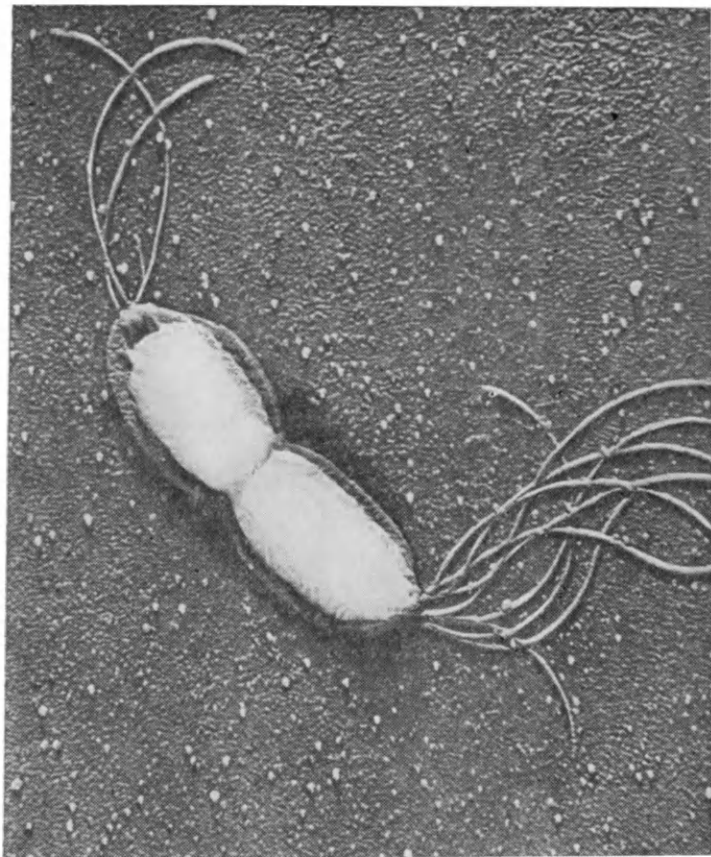
Ультратонкий разрез двух клеток почвенной бактерии *бациллюс цереус*. Хорошо видна клеточная стенка, цитоплазма и прерывистый нуклеоид (аналог ядра).



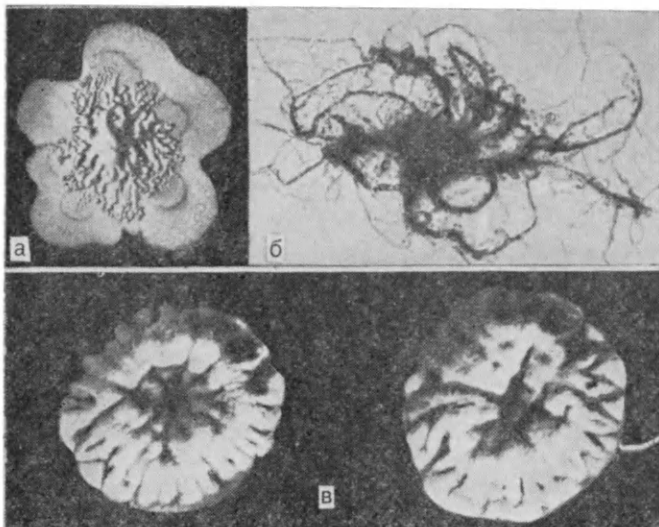
Спорообразующие клетки почвенных бактерий рода *кlostридиум*. Вокруг клеток со спорами видны слизистые капсулы.



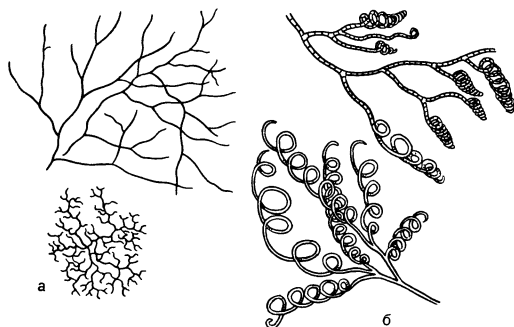
Пучки жгутиков на конце микробной клетки, увеличенные в несколько десятков тысяч раз (*a* — почвенная бактерия, *б* — спирохет).



Электронномикроскопический снимок делящейся клетки бактерии.

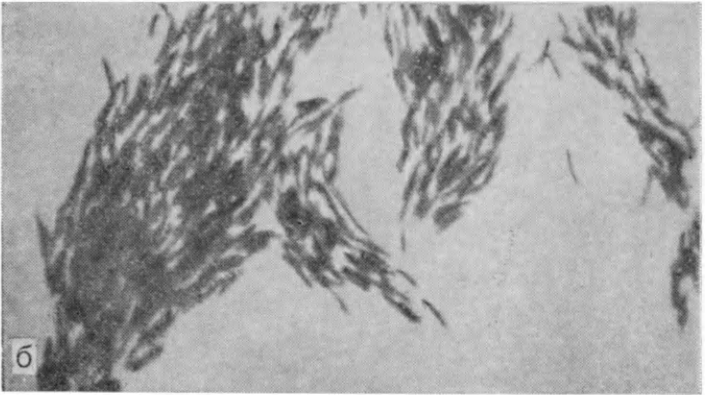
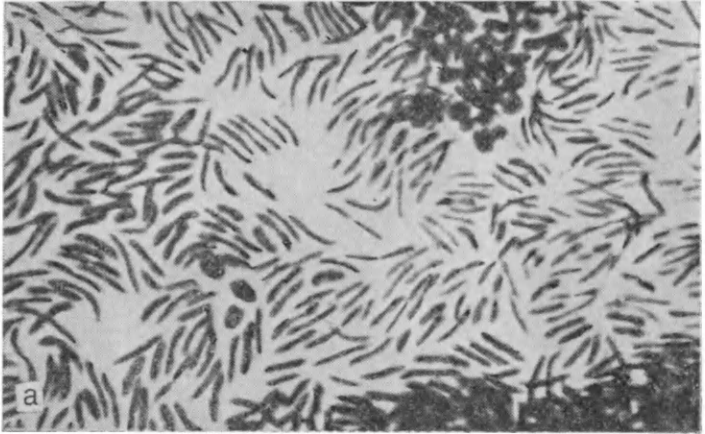


Колонии бактерий (а, б) и актиномицетов (в) на поверхности твердой питательной среды (увеличение в 5—10 раз).

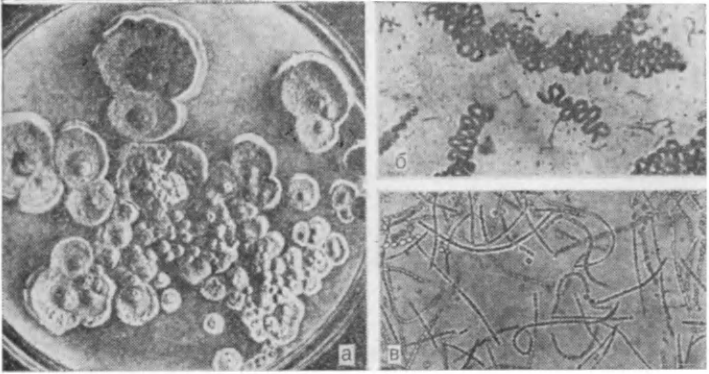


Почвенные актиномицеты:

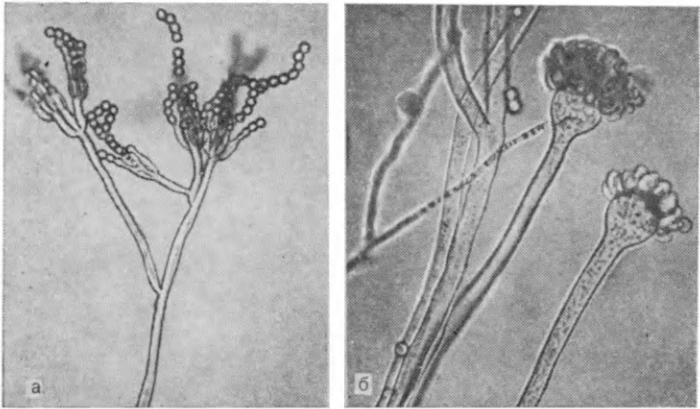
а — мицелий; б — спороносцы со спорами.



**Миксобактерии под большим увеличением микроскопа:
а, б — вегетативные клетки, среди которых видны округлые цисты.**

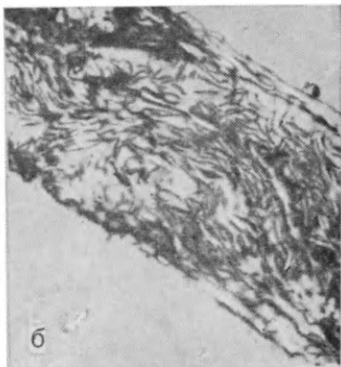
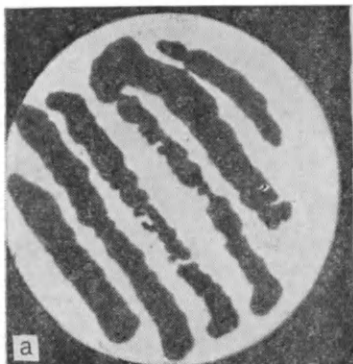


Колонии гриба из рода *пенициллиум* на твердой питательной среде (а); почвенные микроскопические водоросли под микроскопом (б, в).



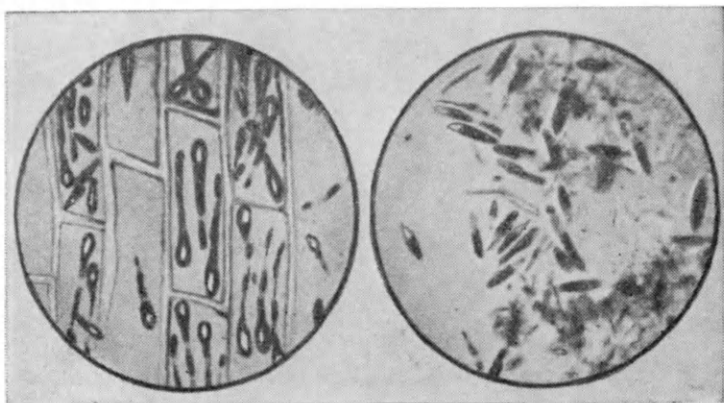
Конидиеносцы с конидиями при большом увеличении:

а — гриб из рода *пенициллиум* (видны разветвленные конидии и конечные цепочки сферических конидий); б—гриб из рода *аспергиллюс*.

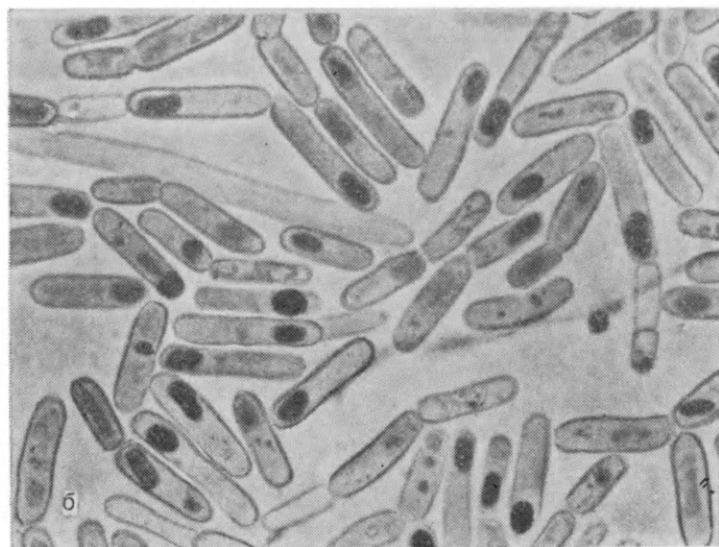
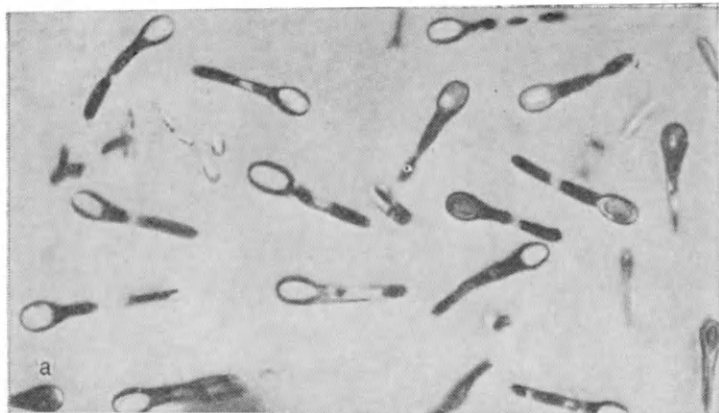


Разложение фильтровальной бумаги бактериями из рода *цитофага*:

а — фильтровальная бумага, изъеденная микробами; *б* — целлюлозное волокно в местах роста бактерий, которые его разрушают.

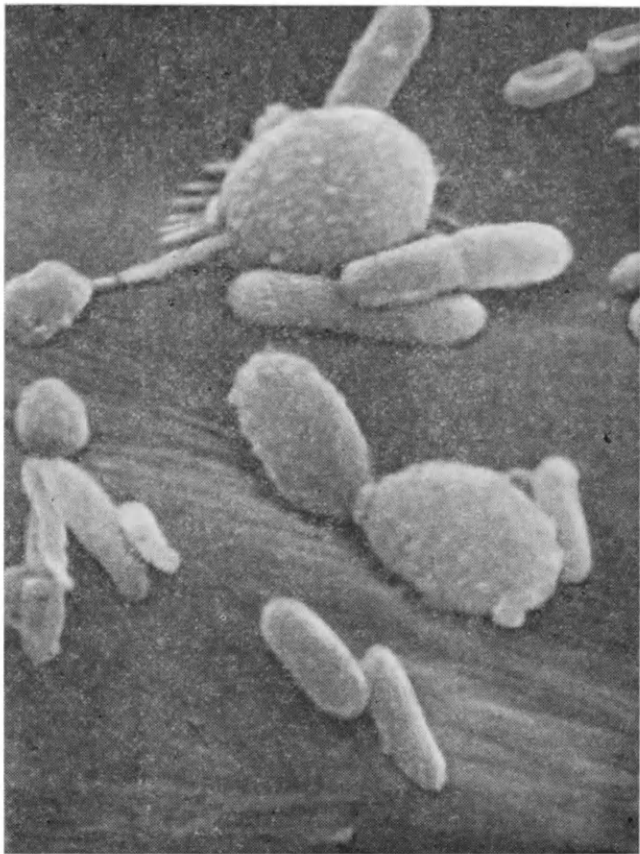


Клетки анаэробных пектинразлагающих бактерий в клетках коры льна.

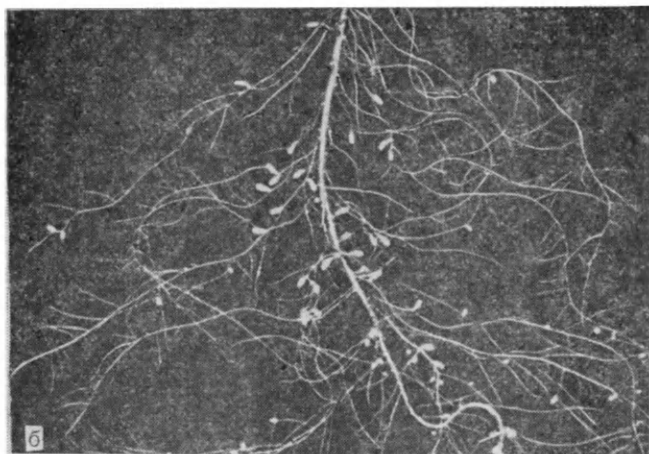
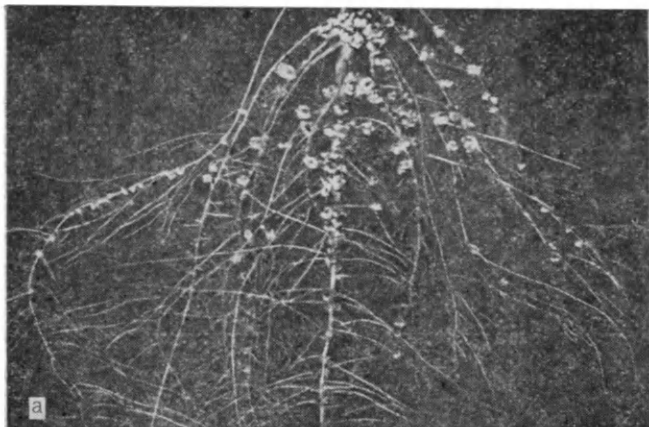


Почвенные бактерии, разлагающие белок:

а — в аэробных условиях (род *бациллюс*); **б** — в анаэробных условиях (род *кlostридиум*).



Клетки бактерий и дрожжей на поверхности корня растения под сканирующим электронным микроскопом.



Клубеньки на корнях бобовых растений:

а — корневая система соевых бобов; б — корневая система красного клевера.

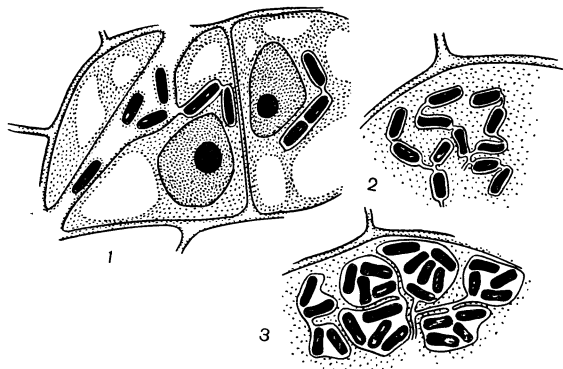
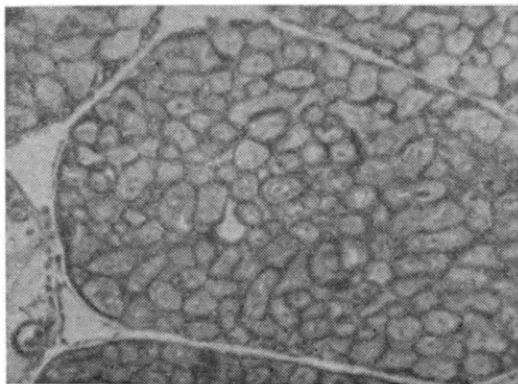
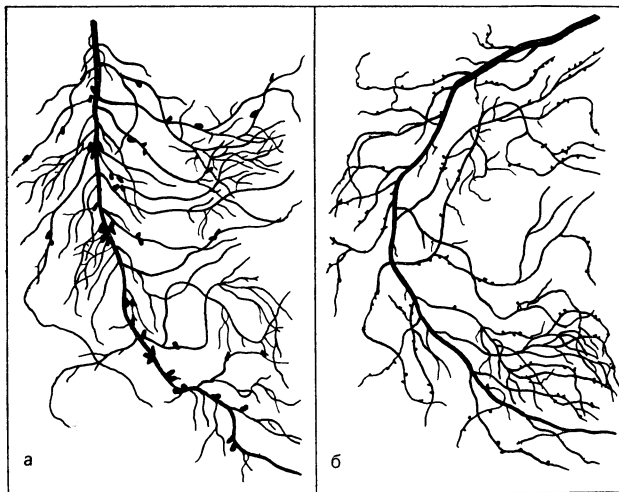


Схема развития бактерий в корневых клубеньках:

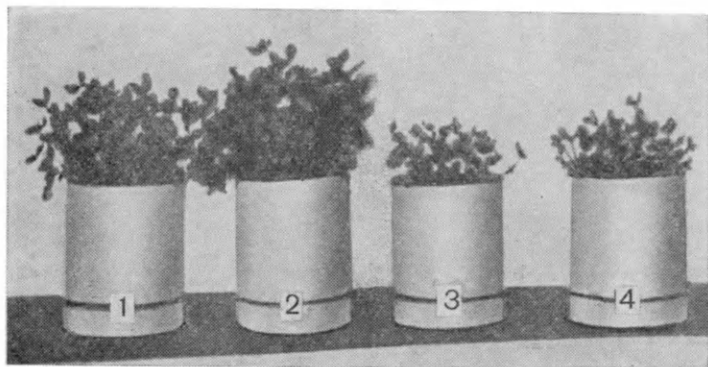
1 — проникновение бактерий в клетку; 2 — размножение бактерий; 3 — распространение бактерий в клетки корня.



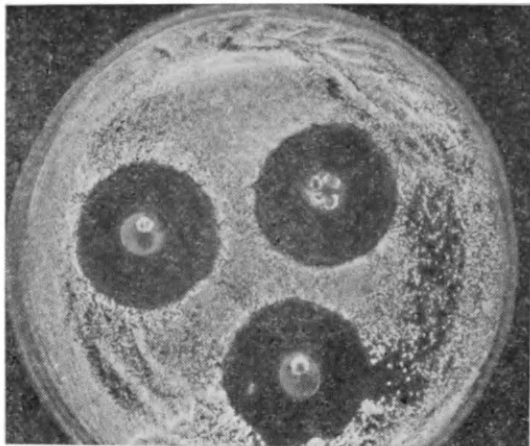
Клетка клубеньковой ткани клевера, наполненная бактериоидами (видоизмененными клубеньковыми бактериями).



Клубеньки на корнях бобовых:
а — эффективные; *б* — неэффективные.



Влияние эффективных (1 и 2) и неэффективных (3 и 4) рас клубеньковых бактерий на урожай клевера.



Антагонистическое действие актиномицета на нокардии. Видны зоны подавления роста нокардий вокруг блоков с культурой актиномицета.



Лечебный эффект антибиотика гризина при бактериальном увядании абрикосов отчетливо виден на этих снимках. Одно из деревьев (справа) обработано антибиотиком.

В дальнейшем потребовалось провести еще очень много исследований, чтобы окончательно доказать роль бобовых культур и живущих в симбиозе с ними бактерий в фиксации газообразного азота атмосферы. Учеными разных стран была раскрыта природа и детально изучены свойства этих замечательных существ.

Клубеньковые бактерии живут с бобовыми растениями в симбиозе, то есть приносят друг другу взаимную пользу: клубеньковые бактерии усваивают азот атмосферы и переводят его в соединения, которые могут быть использованы бобовыми растениями; растения, в свою очередь, снабжают клубеньковые бактерии веществами, содержащими углерод.

По виду клубеньковые бактерии — обычно маленькие палочки размером 1,2—3 мкм в длину и 0,5—0,9 мкм в ширину.

В процессе жизнедеятельности они проходят сложный и довольно длительный для таких маленьких существ цикл развития, состоящий из различных фаз, или стадий. В зависимости от фазы развития меняется и внешний облик бактерий. Появляются формы в виде шариков (кокков) или палочек, подвижные или неподвижные.

Вне клубеньков (на искусственных питательных средах) клубеньковые бактерии могут развиваться при температурах от 0 до +37°C, а наиболее благоприятные (оптимальные) для них температуры +20—31°C. Наилучшее развитие наблюдается обычно в нейтральной среде (при pH 6,5—7,2). Все клубеньковые бактерии обладают приблизительно одинаковой устойчивостью к щелочной реакции среды, но совершенно по-разному относятся к кислым почвам.

В большинстве случаев кислая реакция почвы отрицательно сказывается на жизнедеятельности клубеньковых бактерий, в кислых почвах образуются неактивные или неэффективные (не фиксирующие азот воздуха) расы этих бактерий.

Интересная физиологическая особенность клубеньковых бактерий заключается в их способности синтезировать различные витамины и ростовые вещества.

Изучая возможность фиксации азота клубеньковыми бактериями при выращивании их на искусственных питательных средах, ученые получили в последние годы положительные результаты. Однако для сельскохозяйственной практики важна способность бактерий фиксировать азот, находясь в клубеньках бобовых растений.

Первые исследователи клубеньковых бактерий предполагали, что эти бактерии могут вызывать образование клубеньков у большинства видов бобовых культур. Но затем было установлено, что клубеньковые бактерии обладают специфичностью, они поселяются в растениях в строгом соответствии со своими потребностями. Та или иная раса клубеньковых бактерий может вступать в симбиоз с бобовыми растениями только определенного вида.

В настоящее время клубеньковые бактерии подразделяют на следующие группы (по растениям, на которых они поселяются): 1) клубеньковые бактерии люцерны и донника; 2) клубеньковые бактерии клевера; 3) клубеньковые бактерии гороха, вики, чины и кормовых бобов; 4) клубеньковые бактерии сои; 5) клубеньковые бактерии люпина и сераделлы; 6) клубеньковые бактерии фасоли; 7) клубеньковые бактерии арахиса, вигны, коровьего гороха и др.

Специфичность клубеньковых бактерий различных групп бывает неодинаковой. Если клубеньковые бактерии клевера отличаются очень строгой специфичностью, то о клубеньковых бактериях гороха этого сказать нельзя.

Способность образовывать клубеньки свойственна далеко не всем бобовым, хотя и широко распространена у представителей этого огромного семейства, произрастающих на всех континентах земного шара. Из 12 тыс. видов бобовых было специально изучено 1 063 вида.

Оказалось, что 133 из них не способны образовывать клубеньки.

Способность к симбиозу с азотфиксаторами, по-видимому, свойственна не только бобовым растениям, хотя в сельском хозяйстве они единственные важные азотфиксирующие культуры. Как установлено, атмосферный азот связывают бактерии, живущие в клубеньках на корнях лоха, облепихи, шефердии, сосны лучистой, ногоплодника, ежи сборной, субтропических растений рода каузарина. Способны к фиксации азота и бактерии, живущие в узлах листьев некоторых тропических кустарников семейства мареновых (например, паветты).

Земледельцы о. Шри Ланка используют листья паветты в качестве азотного зеленого удобрения.

Фиксировать азот могут также актиномицеты, живущие в клубеньках корней ольхи, и, возможно, микроскопические грибы, живущие в корнях райграса и некоторых вересковых растений.

Для сельского хозяйства наибольший практический интерес представляют, конечно, бобовые. Большинство отмеченных небобовых растений сельскохозяйственного значения не имеют.

Очень важен для практики вопрос, как долго живут клубеньковые бактерии в почве до поселения в корнях растений? Оказывается, клубеньковые бактерии могут очень долго сохраняться в почве при отсутствии бобовых растений-хозяев. Приведем такой любопытный пример. В Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева некоторые опытные поля были заложены еще Д. Н. Прянишниковым примерно 65 лет назад. На них бессменно культивируют определенные сельскохозяйственные растения и сохраняют бессменный пар, на котором в течение этого времени не выращивают никаких растений. Анализ почв этого пара и поля бессменной ржи показал, что в них в значительных количествах имеются клубеньковые бактерии. Под бессменной рожью их несколько больше, чем в пару.

Следовательно, клубеньковые бактерии сравнительно благополучно переживают отсутствие бобовых растений. Но в этих условиях они теряют свое замечательное свойство — фиксировать азот. Неизвестно, как отражается эта утрата на бактериях (для человека она, конечно, невыгодна), но они сразу же прекращают свободный образ жизни, как только на их пути попадает подходящее бобовое растение. Бактерии внедряются в корни и создают свои уютные домики — клубеньки.

Как же происходит поселение бактерий в корнях, иначе говоря, заражение (инфицирование) бобового растения?

Развитие клубеньков разделяют на четыре стадии: заражение, образование клубенька, зрелость клубенька, и, наконец, его перерождение — дегенерация.

Клубеньковые бактерии, проникнув в корни бобовых растений через корневые волоски, вызывают их изменение (они изгибаются в виде ручки зонтика). Это изменение происходит под влиянием выделений клубеньковых бактерий (в состав выделений входит бетаиндолилуксусная кислота — гетероауксин).

Клеточные оболочки корневых волосков растворяются, и проникшие внутрь бактерии располагаются в корневом волоске в виде тяжа, или так называемой инфекционной нити, которая представляет собой слизистую массу, состоящую из палочковидных клеток клубеньковых бактерий. Затем клубеньковые бактерии выходят из инфекционной нити и распространяются в клетках корней, активно размножаясь. Зараженные клетки корня и соседние клетки, находящиеся под их сильным стимулирующим влиянием, начинают интенсивно делиться. Наступает вторая стадия — развитие клубеньков. Теперь о дальнейшей судьбе клубеньковых бактерий в корне заботится само растение. Бактерии расселяются в корне, совершенно не утруждая себя хлопотами: они пассивно переходят в новые клетки вместе с клеткой корня растения-хозяина при ее делении.

После массового размножения клеток корня в нем наступает обособление (дифференциация) тканей. Это третья стадия. В корне можно различить четыре дифференцированные зоны: кора, зона меристемы (делящиеся клетки), сосудистая ткань и бактериальная (бактероидная) ткань. Такое название внутренняя часть клубенька получила потому, что здесь имеются бактериоиды — видоизмененные клетки клубеньковых бактерий. В настоящее время большинство ученых считают, что именно в бактериоидной ткани происходит фиксация азота.

Клубеньки сохраняются на корнях бобовых недолго, особенно у однолетних культур. У многолетних бобовых растений (кустарников и деревьев) клубеньки могут сохраняться до 5—6 лет.

Перерождение, или дегенерация, клубеньков происходит обычно постепенно. Разрушение тканей клубенька сопровождается растворением (лизисом) клубеньковых бактерий и клубеньков. Последние отделяются от бобового растения. Оставшиеся в живых клубеньковые бактерии покидают свой домик и переходят в почву.

В сложном процессе образования клубеньков принимают участие три фактора: два живых организма — бактерия и растение, между которыми устанавливаются тесные симбиотические взаимоотношения, и условия внешней среды. Каждый из этих факторов — активный участник процесса образования клубеньков.

Одна из важных особенностей клубеньковых бактерий состоит в их способности выделять стимулирующие рост вещества. Благодаря неравномерному росту в начале заражения происходит искривление корневых волосков, а на последующих стадиях развития клубенька ростовые вещества бактерий способствуют интенсивному размножению тканей.

Вторая особенность клубеньковых бактерий — их способность проникать в корни определенных растений и вызывать образование клубеньков, иначе говоря, их

инфекционная способность. Инфекционная способность, как уже говорилось, неодинакова у разных рас клубеньковых бактерий.

Роль бобовых растений в образовании клубеньков состоит в их способности выделять вещества, стимулирующие развитие клубеньковых бактерий определенных рас. На стадии заражения эти вещества способствуют проникновению бактерий в корень.

В опытах известного английского ученого Натмана установлено, что бобовые растения (клевер, люцерна, вика) при совместном выращивании на одной и той же среде образуют значительно меньше клубеньков, чем растения, выращиваемые по отдельности. Как было выяснено позже, корни бобовых выделяют токсические вещества, угнетающие жизнедеятельность чужих рас клубеньковых бактерий. Были поставлены опыты с внесением под совместные культуры бобовых древесного угля для удаления токсических веществ. Известно, что уголь активно поглощает (адсорбирует) различные вещества.

В результате внесения угля угнетение клубеньков на корнях бобовых растений исчезло. Полагают, что уголь поглощает выделяемые растениями угнетающие вещества. Этим же физико-химическим явлением адсорбции пользуются, чтобы снять «клевероутомление» почвы, которое наблюдается при ежегодном выращивании клевера на одном и том же участке. На таких участках клевер перестает давать урожай. Внесением древесного угля удается улучшить почву. В 1957 г. в Австралии бобовые растения были посеяны на участке из-под леса. Почвы участка были однородными, однако на одной его части лес был уничтожен пожаром, а на другой — выкорчеван. Оказалось, что на той части участка, где был лесной пожар и в почве сохранились зола и уголь, на корнях бобовых обнаруживались клубеньки, а на другом участке, где лес был выкорчеван, клубеньков на корнях бобовых не было.

Большое влияние на восприимчивость бобового растения к заражению клубеньковыми бактериями оказывает содержание в его тканях углеводов и азотистых веществ. Обилие углеводов в тканях бобового растения стимулирует образование клубеньков, а повышение содержания азота, напротив, угнетает их. Таким образом, чем выше соотношение углерода и азота в растении, тем лучше развиваются клубеньки.

Азот, содержащийся в тканях растения, как бы мешает внедрению азота прищельца. Отсутствие же его позволяет чужеродному азоту спокойно проникать в корни растения.

Внешние условия (освещение, элементы питания и т. д.) оказывают на характер процесса клубенькообразования также значительное влияние.

Инфекционная способность, или способность к образованию клубеньков, не всегда еще говорит о том, насколько активно клубеньковые бактерии фиксируют азот атмосферы. Активность клубеньковых бактерий называют их эффективностью. Чем выше эффективность бактерий, чем больше коэффициент их полезного действия, тем более ценны они для растения, а значит, и для сельского хозяйства вообще.

В почве обнаруживаются различные по эффективности расы клубеньковых бактерий: эффективные, неэффективные и переходные между этими двумя группами. Заражение бобовых растений эффективной расой клубеньковых бактерий способствует активной фиксации азота. Неэффективная раса образует клубеньки, но азотфиксации в них не происходит, следовательно, напрасно расходуется строительный материал, растение даром кормит своих «постояльцев».

Эффективность клубеньковых бактерий меняется в зависимости от внешних условий. Особенно легко происходит образование неэффективных рас из эффективных. Это можно наблюдать при длительном культивировании микроорганизмов на искусственных питатель-

ных средах, хранении в стерильной почве и т. д. Добиться превращения неэффективных рас в эффективные значительно труднее.

Чем можно объяснить, что в одних случаях бобовые растения в симбиозе с клубеньковыми бактериями накапливают значительные количества азота, а в других случаях этот симбиоз оказывается бесплодным и азотфиксации не происходит?

К разрешению этого вопроса ученые подходили с разных сторон. Одни исследователи считали, что эффективность симбиоза зависит только от клубеньковых бактерий, среди которых есть постоянные, наследственно закрепленные эффективные и неэффективные расы. Другие приписывали ведущую роль бобовым растениям, полагая, что эффективность симбиоза зависит от индивидуальных особенностей растения. В настоящее время выяснено, что эффективность симбиотической азотфиксации определяется взаимодействием клубеньковых бактерий и бобового растения. По-видимому, существует тесная координация функций этих двух организмов.

Более детально изучение эффективности симбиотической азотфиксации связано с решением вопроса о механизме фиксации азота. Обе эти важные проблемы еще не решены. Но они должны быть решены, и над этим много и неустанно работают виднейшие ученые как в нашей стране, так и за рубежом.

Имеются ли различия между эффективными и неэффективными расами клубеньковых бактерий? До сих пор таких различий в форме или в поведении бактерий на искусственных питательных средах не удалось найти. Но клубеньки, образованные эффективными и неэффективными расами бактерий, несколько различаются. Существует мнение, что эффективность связана с объемом зараженных бактериями тканей корня (у эффективных рас он в 4—6 раз больше, чем у неэффективных) и длительностью функционирования этих тканей. В зараженных эффективными бактериями тканях

всегда обнаруживаются бактериоды и красный пигмент. Его называют леггемоглобином или левоглобином, то есть гемоглобином бобовых (от латинского названия семейства бобовых — легуминозе).

При химическом анализе этот пигмент оказался очень близким к гемоглобину крови, что и послужило основанием для его названия. Гемоглобин бобовых имеет важное значение не только потому, что это пока единственный представитель гемоглобинов, обнаруженных в растениях, но также и потому, что его образование возможно только при симбиозе бобовых растений с клубеньковыми бактериями. Ни бобовые, ни клубеньковые бактерии, взятые в отдельности, не обладают способностью образовывать это вещество.

Неэффективные клубеньки имеют меньший объем инфицированной ткани, в них отсутствует леггемоглобин, бактериоды обнаруживаются не всегда и выглядят иначе, чем в эффективных клубеньках.

Эти морфолого-биохимические отличия используют для выделения эффективных рас клубеньковых бактерий.

Влияние внешних условий на фиксацию клубеньковыми бактериями атмосферного азота можно показать на нескольких примерах. Так, значительную роль в эффективности азотфиксации играет содержание в почве азотнокислых и аммиачных солей. В начальных фазах развития бобового растения и образования клубеньков присутствие в почве небольших количеств этих солей оказывает благоприятное влияние, а позже это же количество азота (особенно нитратной его формы) угнетает азотфиксацию.

Следовательно, чем богаче почва доступным для растения азотом, тем слабее фиксация азота. Азот, содержащийся в почве, так же как и находящийся в теле растения, как бы препятствует привлечению новых его порций из атмосферы.

Среди других элементов пищи растений отмечено

влияние на азотфиксацию молибдена. При добавлении небольших порций этого элемента в почву азота накапливается в растении заметно больше. Объясняется это, по-видимому, тем, что молибден входит в состав ферментов, осуществляющих фиксацию атмосферного азота.

В настоящее время достоверно установлено, что бобовые, выращиваемые на почвах, содержащих недостаточное количество молибдена, развиваются удовлетворительно и образуют клубеньки, но совершенно не усваивают атмосферный азот. Оптимальное количество молибдена для эффективной симбиотической азотфиксации составляет около 100 г молибдата натрия на 1 га.

Значение бобовых культур в повышении плодородия почвы совершенно ясно. Накапливая азот в почве, они препятствуют истощению его запасов. Особенно велика роль бобовых в тех случаях, когда они используются на зеленые удобрения.

Практиков сельского хозяйства, естественно, интересует вопрос, какое количество азота может быть накоплено в почве при культивировании тех или иных бобовых растений? Сколько азота остается в почве, если урожай увозится с поля, и сколько — если он запаховывается как зеленое удобрение? На эти вопросы современная наука может ответить.

Известно, что в случае заражения бобовых эффективными расами клубеньковых бактерий они могут связывать от 50 до 200 кг азота на 1 га посева в зависимости от почвы, климата и вида растения.

По данным уже упомянутых ученых Пошона и де Баржака, в обычных полевых условиях бобовые культуры фиксируют приблизительно следующие количества азота (кг на 1 га):

Люцерна . . .	217	Бобы	100
Клевер (разные сорта) . . .	105—200	Вика	89
Люпин	169	Фасоль	44
Соя	65	Чечевица	115
Горох	80	Бобовые на пастбище	118

Корневые остатки однолетних и многолетних бобовых растений при разных условиях культуры возделывания и почвах содержат неодинаковые количества азота. Учитывая площади, занятые бобовыми в СССР, академик АН СССР Е. Н. Мишустин подсчитал, что они возвращают ежегодно почвам нашей страны около 3,5 млн. тонн азота. Это больше, чем вырабатывала в недалеком прошлом наша промышленность. Таким образом, азот, добываемый из воздуха бобовыми в симбиозе с бактериями, занимает ведущее место в азотном балансе земледелия нашей страны. К тому же в 3,5 млн. тонн входит не весь азот, который получен бобовыми, ведь часть его уносит с поля урожай. Это еще почти 2,5 млн. тонн. Правда, азот урожая частично возвращается в почву с навозом.

Очень важно отметить, что симбиотическая ассоциация клубеньковые бактерии — бобовые растения требует незначительных материальных затрат, обеспечивающих эффективность этого основного поставщика азота.

Микробный азот

Запасы азота в почвах довольно велики. Например, в 20-сантиметровом слое окультуренные дерново-подзолистые почвы содержат более 3 т азота на 1 га, а в таком же слое черноземов 10 т азота и более. Даже для получения очень высоких урожаев этих запасов могло бы хватить на многие десятки лет. Но основная часть азота почвы входит в трудно разлагаемые микроорганизмами перегнойные соединения, и поэтому сельскохозяйственные культуры обычно испытывают недостаток в азоте даже на черноземах.

Внесение азотных минеральных удобрений (технический азот) служит одним из наиболее эффективных способов увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Производство азотных удобрений на зем-



ном шаре растет значительно быстрее, чем других удобрений.

Растения поглощают азот в довольно больших количествах. В среднем можно считать, что с урожаем 10 ц зерна с 1 га поля (в виде зерна и соломы) уносится около 30 кг азота. Коэффициент использования азотных удобрений в практических условиях не превышает 50%. Поэтому если покрывать потребность растений в азоте только минеральными удобрениями, то для получения урожая в 20 ц/га нужно вносить 120 кг азота на гектар, а для обеспечения урожая в 30 ц/га — 180 кг азота. В природных условиях азот приходит к растению частично из почвенных запасов, и названные дозы должны быть снижены.

Можно сделать дозировки азотных удобрений менее высокими, если использовать биологический азот, фиксируемый микроскопическими организмами из воздуха.

Мы уже говорили о том, что в почве находятся две группы микроорганизмов, связывающих молекулярный азот. Одна из них «работает» в симбиозе с высшими растениями, образуя клубеньки на их корнях, другая группа азотфиксаторов живет независимо от растений в почве.

В симбиозе с бактериями, связывающими молекулярный азот, живут бобовые растения, положительное влияние которых на плодородие почвы было замечено давно.

Еще до наступления новой эры (III—I вв. до н. э.) об этом писали греческий философ Теофраст и римляне Варрон и Катон. Варрон, в частности, отмечал, что бобовые растения, особенно на легких почвах,

надо сеять не столько ради их урожая, сколько ради той пользы, которую получают последующие культуры.

Знаменитые опыты немецкого земледельца Шульца, проведенные в 80-х годах прошлого века, показали, что на песчаных почвах при предшествующей культуре люпина урожай картофеля можно поднять с 8 до 20 т/га при одновременном обогащении почвы азотом.

Многие русские исследователи, работавшие во второй половине XIX в., также пришли к несомненному выводу о пользе бобовых растений.

Накопленный к настоящему времени большой материал показывает, что не все бобовые растения в равной степени обогащают почву азотом. Однолетние и многолетние бобовые существенно различаются по этому признаку. У многолетних бобовых значительная часть фиксированного азота остается в корнях, а у однолетних к моменту созревания практически весь ассимилированный азот переходит в надземную часть.

Экономические причины побуждают выбирать в тех или иных условиях земледелия определенные культуры бобовых растений. Однако при использовании однолетних бобовых культур необходимо помнить, что накопленный ими азот практически полностью уносится с урожаем. Поэтому такой азот следует возвращать в почву в виде навоза.

Нельзя забывать и того, что бобовые растения не только обогащают почву азотом, но также дают продукцию, богатую белком, азот которого в основном получен из молекулярного азота воздуха.

Решение вопроса о кормовом белке рациональнее всего связывается с более широким использованием в кормах бобовых растений.

Бурное развитие производства азотных минеральных удобрений потеснило бытовавшую в XIX в. популярность биологического азота. По мнению академика Е. Н. Мишустина, в ближайшее десятилетие целесообразно увеличить долю биологического азота в земледелии.



Это предлагается сделать в первую очередь в результате резкой интенсификации производства бобовых: поднятия уровня их семеноводства, снабжения посевов фосфорными и калийными удобрениями, предпосевной обработки семян препаратами активных клубеньковых бактерий.

Но как бы ни были заманчивы перспективы получения азота при выращивании бобовых, вряд ли разумно занимать ими более $\frac{1}{4}$ всей пашни.

В 1973 г. по нашей стране растения накопили за счет фиксации молекулярного азота около 3 млн. тонн азота, половина которого осталась в поле. Следует учесть, что азот кормов также частично возвращается в почву в виде навоза (до 40—50%). Доля бобовых в азоте навоза равна примерно 20%. В расчетном 1973 г. с навозом и экскрементами сельскохозяйственные угодья нашей страны получили около 4,4 млн. тонн азота. Примерно 0,8 млн. тонн азота падает на азот бобовых растений. Таким образом, общее поступление в почву биологического азота от бобовых растений примерно было равно 2,5 млн. тонн.

Азот остатков бобовых растений на 40% используется последующими двумя культурами. Основная часть практически трансформируется в перегнойные соединения и служит фоном для повышения потенциального плодородия почвы.

В дальнейшем при росте урожайности бобовых и увеличении занятых ими площадей объем биологического азота может быть удвоен.

Продуктивное накопление азота бобовыми культурами требует эффективного симбиоза бобовых растений

с клубеньковыми бактериями. Большое значение для накопления азота имеет влага, содержание в почве доступного фосфора, калия, кальция и других макро- и микроэлементов. Из последних особенно молибден и бор благоприятствуют симбиозу бобовых растений и клубеньковых бактерий. Существенное влияние на интенсивность фиксации азота имеет реакция почвы. Некоторые бобовые (клевер) предпочитают нейтральную среду, другие же (люпин) — более кислую.

Небольшие дозы азота (25—50 кг на 1 га) способствуют накоплению азота. Подкормка молодых бобовых растений азотом усиливает их рост и образование клубеньков. Более высокие дозы азотных удобрений уже сказываются неблагоприятно и подавляют инфекционный процесс, формирование клубеньков, а в конечном итоге — фиксацию азота.

Обычно азотфиксации бобовых культур помогает искусственное заражение высеваемых семян чистыми культурами клубеньковых бактерий (препаратом нитрагином). Такая обработка (нитрагинизация) усиливает образование клубеньков и положительно сказывается на процессе фиксации азота в целом.

На рост бобовых растений и фиксацию азота благоприятно действуют также соломистые удобрения, особенно если их вносят в верхний слой почвы. Поскольку бобовые обладают автономным аппаратом, снабжающим их азотом, они не страдают на почве, удобренной соломой или соломистым навозом.

В почве имеются разнообразные свободноживущие микроорганизмы, фиксирующие молекулярный азот. Большинство из них — сапрофиты, нуждающиеся в органическом веществе. Некоторые свободноживущие микроорганизмы (бактерии и водоросли) относятся к фотосинтетикам.

Сапрофитные азотфиксирующие микроорганизмы используют корневые выделения растений и пожнивные остатки как источник энергии. Эти источники позволя-

ют микробам почвы фиксировать ежегодно 10—25 кг азота на гектар. Внесение в почву солоmistых остатков заметно стимулирует деятельность сапрофитных азотфиксаторов.

Связывать молекулярный азот могут также некоторые автотрофные микроорганизмы — анаэробные фотосинтезирующие бактерии и аэробы — сине-зеленые водоросли. Они проявляют себя достаточно активно в сильно увлажненных и затопленных почвах, например на рисовых полях.

Примерные подсчеты позволяют заключить, что на окультуренных почвах свободноживущие азотнакопители могут давать около 15—20 кг азота на гектар в год. Этот азот накапливается медленно и не может быть сразу использован растениями. В основном он служит резервом повышения потенциального плодородия почвы. На пахотной площади СССР свободноживущие азотфиксаторы в общем накапливают не менее 2,5—3 млн. тонн азота в год.

По материалам многолетнего опыта Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева, на делянках бессменной ржи ежегодное азотнакопление при известковании почвы равнялось 28 кг/га, а на неизвесткованном фоне, где условия для азотфиксаторов были хуже, эта величина была в 2,5 раза меньше.

На Ротамстедской опытной станции (Англия) в многолетнем опыте были учтены все возможные статьи расхода и поступления азота в почву. Расчеты показали, что в среднем за год свободноживущие азотфиксаторы в неудобренной окультуренной почве фиксировали 17 кг азота в год, а в удобренной почве — 25 кг (в расчете на гектар). Примерные аналогичные данные приводятся и другими исследователями. В тропических условиях активность свободноживущих азотфиксаторов намного выше.

Почему смена растений на полях обновляет почву

Крестьяне давно оценили значение чередования культур (севооборота) в поговорке: «Хлеб по хлебу сеять — ни молоть, ни веять».

В истории сельского хозяйства был период, когда севооборот и удобрения противопоставляли друг другу. Так, после известных работ немецкого ученого Ю. Либиха в середине XIX в. в Германии стали широко использовать минеральные удобрения, но перестали заботиться о севообороте. Первоначально урожаи резко возросли. Однако вскоре пришло разочарование — нормы удобрений увеличивались, а урожаи не поднимались, даже падали.

Несмотря на давно установленную пользу от культурных севооборотов, в царской России преобладало трехполье, истощавшее почву. Лишь после Великой Октябрьской социалистической революции на смену трехпольке пришли травопольная и плодосменная системы, включавшие посев травосмесей. При травополье травами занимают до 30—40% почвы, при плодосмене — 25%. В каждой почвенно-климатической зоне требуется свое чередование культур.

Как же предшественник может влиять на последующую культуру и какая роль в этом процессе принадлежит микробам? Несомненно, здесь мы встречаемся с комплексом явлений: избирательным потреблением растениями тех или иных элементов, изменением химических и физических свойств почвы и т. д. Некоторые из этих причин установлены, но многие из них до сих пор не ясны.

Под некоторыми растениями, например пропашными, почва истощается и ее структура ухудшается. Если сельскохозяйственные растения имеют общих вредителей, в том числе вредителей-микробов, то их возделывать друг за другом не рекомендуется. Например, под

озимой пшеницей накапливаются возбудители корневых гнилей злаковых растений, снежная плесень и т. д.

Однако между сменяющимися друг друга растениями были обнаружены связи химического характера, вызывающие так называемое аллелопатическое взаимодействие растений. Термин «аллелопатия» в свое время был предложен немецким ученым Г. Молишем для определения химического воздействия одного растения на другое.

Большинству покрытосемянных растений присуща способность вырабатывать те или иные токсические вещества, в том числе алкалоиды. Эти соединения аккумулируются в тканях растений, но частично выделяются и в почву. Существует гипотеза Т. Суэйна, по которой динозавры вымерли из-за того, что покрытосемянные растения, богатые алкалоидами, уступили место нетоксичным голосемянным. Динозавры, поедавшие огромные количества растительной массы, «отравились» новой пищей. Эта теория оспаривается, но несомненна способность высших растений синтезировать токсические соединения, являющиеся для них средством самозащиты.

Большинству культурных растений присуще свойство продуцировать растительные яды — *фитотоксины*. Так, корневая система овса выделяет скополетин (вещество, близкое к кумарину), лен — ароматические соединения (феруловая, гидрооксibenзойная кислоты и т.д.), люцерна — алкалоиды, сахарная свекла — циклические соединения (гидрооксibenзойная, кумаровая, феруловая, ванилиновая кислоты) и т. д.

Н. Г. Холодным, а затем другими исследователями было установлено, что аллелопатическое действие оказывают многие летучие соединения растений. Среди них обнаружены альдегиды, терпены, этилен, эфирные масла и т. д.

В пожнивных остатках находятся токсически действующие на растения вещества. Например, в соломе

злаков найдена целая серия циклических соединений (р-кумаровая, р-гидрооксibenзойная, феруловая, сиреневая кислоты и другие вещества). Сильное аллелопатическое действие оказывают хиноны.

Практически все растения содержат в пожнивных остатках соединения, которые могут задержать прорастание семян и развитие последующей культуры. Нужен определенный период времени, чтобы токсические соединения разложились в почве и освободили ее от яда. Наблюдения показывают, что для этого требуется 1—2 месяца теплой погоды при хорошей аэрации почвы. Отмечено, что нижние горизонты пахотного слоя обладают токсическими свойствами, влияющими на задержку роста растений. Вероятнее всего здесь проявляется действие разного рода фитотоксинов, которые сохраняются продолжительное время в глубине почвы.

Токсические для растений вещества могут накапливаться в почве и многие микроорганизмы, развивающиеся в зоне корневой системы (ризосфере) растений и на растительных остатках. Так найдено, что бактерии рода *псевдомонас* образуют феназин-карбоновую кислоту, диацетилфлороглюцин и другие соединения, вредные для растений. Фитотоксины продуцируются многими почвенными грибами: *аспергиллюс фумигатус* образует гельволевую кислоту, *пенициллиум* — патулин, *триходерма* — виридин и т. д.

В общем целый ряд причин определяет факторы, могущие оказать токсическое действие предшественника в севообороте. Очевидно, научно обоснованное чередование культур должно строиться с учетом способности растений вырабатывать ядовитые алкалоиды. На-



пример, известно, что после сахарной свеклы плохо растет кукуруза, после овса резко падает всхожесть семян пшеницы, при вторичном посеве ячменя резко снижается его урожайность. Однако кукурузу и картофель без существенного ущерба можно высевать на одном месте много лет подряд. Такая химическая преемственность растений должна учитываться практикой сельского хозяйства.

Феномен вспашки и жизнь микробов в почве

Вспахивая почву, люди ежегодно проделывают титаническую работу. Согласно вычислениям советских ученых, каждый год на земном шаре при вспашке почвообрабатывающими орудиями переворачивается до 1000 км³ почвы. С помощью вспашки образуется слой почвы, благоприятный для развития корней растений, в самой же почве создаются условия для накопления питательных веществ.

Значение глубокой вспашки признавалось многими видными учеными нашей страны. Но наряду с установившимися взглядами были и другие мнения. Так, в начале нашего столетия русский агроном И. Е. Овсинский выдвинул идею о мелкой безотвальной вспашке (на 5 см).

Новая система, по предположениям автора, создавала условия, близкие к природным, когда корневая система разлагается в почве, а надземные части растений — в ее поверхностном слое.

Для проведения мелкой безотвальной обработки И. Е. Овсинский сконструировал специальный культиватор.

Почетный академик ВАСХНИЛ Т. С. Мальцев предложил глубокую вспашку (на 40—50 см) без перемещения горизонтов пахотного слоя. Подобная обработка делается специальным безотвальным плугом.

По мнению Т. С. Мальцева, ежегодная вспашка с оборотом пахотного слоя ухудшает структуру почвы. При глубокой безотвальной вспашке растительные остатки лучше гумифицируются в пахотном слое, который при этом не подвергается сильной аэрации. Т. С. Мальцев полагает, что для поддержания структуры почвы достаточно пожнивных остатков однолетних растений.

Т. С. Мальцев рекомендует производить глубокую безотвальную обработку почвы один раз в 5—6 лет, а в промежутках между вспашками — безотвальное лушение почвы.

Ученые Всесоюзного научно-исследовательского института зернового хозяйства разработали почвозащитную систему земледелия для целинных и залежных земель Казахстана. Основная черта ее — замена отвальной вспашки плоскорезной обработкой, при которой на поверхности полей сохраняется стерня. Покров из пожнивных остатков защищает почву от ветров, задерживает осенние и зимние осадки, предохраняет почвенную влагу от испарения.

Упомянутая работа, проведенная под руководством академика А. И. Бараева, дала эффективные результаты. Она была отмечена Ленинской премией.

Накопленный к настоящему времени достаточно богатый экспериментальный материал позволяет говорить о биологической разнокачественности пахотного слоя. По мере углубления в почву почвенных микробов становится все меньше.

Снижение микробиологической активности по глубине хорошо характеризуется таким показателем, как «дыхание» почвы, то есть выделение углекислого газа — продукта жизнедеятельности микроорганизмов. Энергичнее остальных «дышат» верхние слои почвы.

Как же следует понимать неблагоприятное влияние глубины на свойства растений и микроорганизмов? Видимо, в глубоких слоях почвы содержатся какие-то ток-



сические соединения. Возможно в их роли выступают продукты неполного распада растительных остатков, особенно ароматического ряда, а также органические летучие кислоты, обладающие токсическим действием. Поскольку глубоко лежащие горизонты пахотного слоя хуже аэрируются и окислительные процессы в них протекают за-

медленно, токсические вещества не распадаются, а накапливаются.

Эффект оборота пахотного слоя заключается в том, что подвижные органические вещества при перемещении вверх в условиях лучшего аэрирования (доступа воздуха) быстрее подвергаются минерализации и тем повышают плодородие почвы. При этом токсические вещества также перемещаются наверх, где в условиях лучшего аэрирования подвергаются разрушению. Таким образом, пахотный слой в целом становится более благоприятной средой для развития корневой системы растений, а оборот пахотного слоя полезен.

Но как часто нужно делать оборот пахотного слоя? Очевидно, что не так быстро накапливаются резервные соединения в глубине пахотного слоя. Это зависит от системы земледелия и почвенно-климатических условий.

Не исключена вероятность того, что целесообразно чередовать отвальную пахоту с безотвальной. Периодичность таких вспашек не может быть всюду одинаковой. Ее следует установить опытным путем для условий того или иного хозяйства.

На примере сравнения глубокой безотвальной вспашки по методу Т. С. Мальцева с отвальной видим, что рыхление обычно не затрагиваемого обработкой

подпахотного слоя (30—50 см) приводит к оживлению в нем жизнедеятельности микроорганизмов. Конечно, это оказывает положительное действие, особенно на почвах, богатых гумусом. Вспашка по способу Т. С. Мальцева, по существу, дает углубление пахотного слоя.

Разная вспашка неодинаково формирует тип корневой системы сельскохозяйственных растений. Как известно, основная масса вторичных корней образуется в зоне запаханых растительных остатков. Поэтому при безотвальной вспашке растения имеют разветвленную корневую систему в верхнем слое почвы, а при отвальной вспашке она размещается более глубоко. Первый тип корневой системы менее устойчив к засухе, чем второй.

В зоне с достаточным увлажнением может дать хорошие результаты именно безотвальная обработка почвы. Ее удобнее применять в условиях относительно холодного и достаточно влажного климата с коротким летом. При этом растительные остатки будут находиться в хорошо прогреваемом и аэрируемом верхнем слое почвы, могут быстро минерализоваться.

В условиях теплого климата, особенно в условиях орошаемого земледелия, нередко большую пользу дает задержка распада органических остатков, которая получается при глубокой их запашке. Например, подтверждено опытом, что в Средней Азии люцерновый пласт лучше всего действует на хлопчатник при глубокой заделке отвальной вспашкой. Мелко заделанный травяной пласт быстро разлагается, и продукты его распада не полностью ассимилируются растениями хлопчатника.

Короче говоря, земледельцы должны выбирать способы обработки почв с учетом почвенно-климатических условий своей зоны.

Вода — микробы — плодородие

Мелиоративные мероприятия имеют огромное значение в повышении плодородия почв. Их характер может быть весьма различен. Сюда относятся орошение почв в зонах, имеющих недостаточное количество осадков, осушение избыточно увлажненных почв, внесение в кислые и щелочные почвы соединений, нормализующих реакцию, удаление избыточных солей из почвы и т. д.

Мелиорация земель в СССР получила широкое применение во всех важнейших сельскохозяйственных районах страны. За годы девятой и десятой пятилеток площади орошаемых земель увеличились на миллионы гектаров, проведены работы по улучшению естественных кормовых угодий и пахотных земель. Во многих районах страны созданы новые крупные оросительные и осушительные системы.

Мелиорация почв оказывает большое влияние на жизнедеятельность почвенных микробов. Микробиологические процессы приостанавливаются при недостатке влаги, и большая часть микроорганизмов переносит засуху в состоянии анабиоза (слабой активности). Увлажнение почвы активизирует микрофлору, что приводит к лучшему накоплению питательных для растений минеральных соединений.



Осушение переувлажненных почв также сказывается весьма благоприятно на составе микрофлоры, что вызывает в конечном результате повышение плодородия.

Для химической мелиорации кислых подзолистых и дерново-подзолистых почв широко применяется известкование. Внесение извести устраняет вредную кислот-

ность и уменьшает содержание в почве подвижного алюминия, оказывающего токсическое действие на многие микроорганизмы и растения.

Известкование пополняет в кислых почвах недостаток кальция, которого там обычно не хватает. С известкованием в почву вносится также и магний. Все это способствует улучшению ее свойств.

Известь резко изменяет соотношение отдельных групп микроорганизмов почвы и активизирует деятельность некоторых их видов. Увеличивается количество бактерий (в том числе бацилл) и актиномицетов. Интенсивно начинают размножаться и нитрификаторы. Вместе с тем уменьшается численность микроскопических грибов. В известкованных почвах появляются микроорганизмы, свойственные высокоплодородным почвам, — азотобактер, целлюлозоразлагающие миксобактерии и вибрионы.

Внесение извести улучшает образование клубеньков у бобовых растений, особенно у люцерны и клевера.

В нейтрализованной кислой почве значительно лучше размножаются клубеньковые бактерии. Количество этих микроорганизмов довольно сильно увеличивается в почве, находящейся под бобовыми растениями, и уменьшается под другими сельскохозяйственными культурами. Однако в известкованных почвах средняя численность клубеньковых бактерий всегда более высока.

МНОГОЛИКАЯ ХИМИЯ НА ПОЛЯХ



Второе дыхание

Химия подарила земледелию второе дыхание. Внедрение химии в сельское хозяйство способствовало поднятию урожайности культурных растений и повышению производительности труда.

Еще в 1867—1869 гг. гениальный химик Д. И. Менделеев, проведя опыты в четырех губерниях России, показал огромное значение минеральных удобрений в повышении урожая. Страстным популяризатором минеральных удобрений был К. А. Тимирязев, проводивший опыты Д. И. Менделеева в Симбирской губернии.

Ученик К. А. Тимирязева, выдающийся ученый Д. Н. Прянишников стал основателем агрохимической школы в нашей стране.

Развитие химической промышленности в Советском Союзе неразрывно связано с именем В. И. Ленина. Он придавал химизации сельского хозяйства огромное значение. «Данные о расходах на удобрение и о стоимости орудий и машин служат самым точным статистическим выражением степени интенсификации земледелия», — писал В. И. Ленин (Полн. собр. соч., т. 27, с. 159—160).

Ускоренное развитие химической промышленности

в нашей стране дало возможность быстро увеличить производство минеральных удобрений, химических средств защиты растений и других необходимых сельскому хозяйству препаратов.

За десять лет (1970—1979) в СССР в условиях стационаров, а также на полях колхозов и совхозов было проведено до 70 000 опытов с удобрением основных сельскохозяйственных культур. Эта огромная работа показала, что у нас практически нет зон и почв, где бы удобрения не повышали урожай и его качество.

Все отмеченное делает понятным, почему партия и правительство придают огромное значение производству и применению удобрений. Ни одна страна мира не имеет таких высоких темпов увеличения производства удобрений, как СССР.

Химизация сельского хозяйства вообще, и земледелия в частности, не умаляет роли микроорганизмов.

Производя и применяя минеральные удобрения, человек взял на себя роль почвенных микробов в снабжении растений элементами корневого питания в «готовом виде». При этом, разумеется, основной процесс минерализации органического вещества микроорганизмами продолжает оставаться необходимым звеном в круговороте веществ на нашей планете, а биологическая азотфиксация — самым дешевым и безопасным способом снабжения растений азотом.

Ежегодно почвенные микроорганизмы фиксируют десятки миллионов тонн атмосферного азота, а мировая промышленность уже сейчас производит в виде минеральных удобрений свыше 30 млн. тонн этого важного элемента питания. Масштабы природного и промышленного производства связанного азота сближаются, и можно предсказать время, когда вперед выйдет химия.

Впрочем, она уже сейчас вышла вперед, так как удобрения применяют только на культурных почвах и доля технического азота в земледелии выше биологического.

Урожай уносит из почвы громадные количества азота, фосфора, калия. Этот убыток нельзя компенсировать только полезной деятельностью микробов почвы или внесением навоза. Выходит, что в большинстве случаев сегодня формирование достаточно высоких урожаев только за счет естественного плодородия почв нереально. Напрашивается вывод о решающей роли минеральных удобрений для получения обильных урожаев. Высокие дозы химикатов сегодня и завтра останутся спутниками урожайности.

При этом, конечно, несколько снизится роль микробной азотфиксации. Мало того, деятельность азотфиксаторов может пойти не на пользу растению.

Выяснилось, что почвенные микробы могут отнимать у растений немалую часть азотных удобрений. В процессе денитрификации азот нитратов обращается в газ и улетучивается.

Микробы поглощают азот и в процессе размножения. Специальные опыты с использованием тяжелого изотопа азота N_2^{15} показали, что микробы почвы «съедают» на культурном поле до 30% азотных удобрений. Вот почему, видимо, сегодня коэффициент использования минеральных удобрений растениями еще не всегда достаточно высок. Содержащие азот удобрения усваиваются растениями не более чем на 50—60%. Остальная часть их непроизводительно тратится, поглощенная почвенными микроорганизмами.

Экономический эффект от высоких доз удобрений оказался не таким большим, как того ждали специалисты. При усилении химизации урожаи увеличиваются, но не в прямой пропорции от роста дозировки удобрений, что приводит к удорожанию продукции.

Эффективность минеральных удобрений может быть существенно повышена, если их вносить в почву с учетом уже существующего запаса питательных элементов. Необходимо, чтобы каждый колхоз и совхоз имел почвенные карты и картограммы, позволяющие учиты-

вать свойства почв и помогающие определять потребность их в тех или иных удобрениях.

Говоря о химизации сельского хозяйства СССР, нельзя забывать и об органических удобрениях (навоз, компосты, городские отходы и т. д.), которые по-прежнему нужны нашим полям.

Использование усваиваемого микроорганизмами биологического азота позволяет, по существу, бесплатно обогащать почву азотом, в чем заключается возможность экономить азотные минеральные удобрения.

Наряду с производством минеральных удобрений резко расширился выпуск гербицидов, инсектицидов и фунгицидов, так как болезни, вредители и сорняки наносят огромный ущерб сельскому хозяйству. Однако накопление в почве токсических веществ оказалось опасным явлением и привело к снижению урожая.

Минеральные и органические удобрения, пестициды и другие вещества вызывают те или иные сдвиги в почвенной биодинамике. Интенсивная химизация земледелия приводит к существенному загрязнению источников водоснабжения и водных бассейнов вообще, что наносит ущерб рыбному хозяйству. Поэтому вопросы охраны природы при широком использовании химических средств в сельском хозяйстве приобретают особое значение.

Удобрения в действии

Внесение удобрений в почву улучшает не только питание растений, но и условия существования почвенных микроорганизмов, которым также нужны минеральные



элементы. Микробы в этом случае выступают конкурентами растений.

При благоприятных климатических условиях количество микроорганизмов и их активность после удобрения почвы значительно возрастают.

В Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева на дерново-подзолистой почве более 65 лет тому назад Д. Н. Прянишниковым был заложен опыт с разной системой удобрений. В среднем за год на 1 га вносилось с минеральными удобрениями следующее количество питательных для растений веществ: азота 32 кг, фосфора 32 и калия 45 кг. Навоз вносили по 20 т на 1 га ежегодно.

Микробиологический анализ показал, что парующая почва бедна сапрофитными микроорганизмами. Это понятно, так как в нее поступает ограниченное количество растительных остатков. Минеральные удобрения активизировали деятельность бактерий. Минеральный азот позволял микробам легче разлагать и использовать перегной. Внесение минеральных удобрений также усиливало размножение микроскопических водорослей. Становилось меньше актиномицетов, увеличивалось грибное население.

Навоз, как и следовало ожидать, оказал на все группы сапрофитного микронаселения почвы весьма благоприятное действие. Минеральные удобрения приводили к усиленному размножению бактерий таких, как *целлвибрио* и *миксобактерий*, а унавоживание почвы вызывало рост *цифофаги*. Смена малоактивной грибной микрофлоры более активной бактериальной свидетельствует об усилении микробиологических процессов.

Урожай на удобренных почвах был существенно выше, чем на контрольных. Так, например, картофеля с контрольного участка (без удобрений) собрали 76,6 ц/га, с участка, удобренного минеральными веществами (азот, фосфор, калий), — 148,9 ц/га, с унавоженного участка — 172,9 ц/га.

Минеральные и органические удобрения усиливают деятельность микроорганизмов, в результате чего углубляются процессы превращения веществ в почве.

Известны случаи, когда внесение в почву минеральных удобрений, особенно в высоких дозах, крайне неблагоприятно сказывалось на плодородии почвы.

Пример подобного неблагоприятного действия минеральных удобрений наблюдался на легких малоплодородных песчаных и супесчаных подзолистых почвах Соликамской сельскохозяйственной опытной станции (Е. Н. Мишустин, В. Н. Прокошев). В описываемом опыте в почву ежегодно вносили азот и фосфор по 90 кг/га, калийное удобрение 120 кг/га, навоз давался 2 раза в три года по 25 т/га, а известь была дана из расчета на полную гидролитическую кислотность (4,8 т/га).

Применение в течение ряда лет минеральных удобрений существенно снизило численность микроорганизмов в почве. Не пострадали лишь микроскопические грибы.

Через 14 лет урожай при внесении минеральных удобрений фактически снизились до нуля. Применение известкования и навоза способствовало получению достаточно высокого урожая. В общем, микрофлора почвы реагировала на изменение почвенного плодородия примерно так же, как и растительность.

При правильном использовании минеральных удобрений не бывает каких-либо неприятных последствий, связанных с ухудшением свойств почвы и ее биологии. На малобуферных почвах и при внесении высоких доз удобрений целесообразно подбирать, однако, физиологически нейтральные соединения. В частности, сульфат аммония следует заменять азотнокислым аммонием или мочевиной.

Несколько замечаний следует сделать о микроэлементах. Некоторые из них, такие, как молибден, входят в ферментную систему азотфиксирующих микроорга-



низмов, и процесс усвоения молекулярного азота осуществляется такими микробами лишь в присутствии молибдена. Для азотфиксации иногда необходим также бор, от которого зависит формирование нормальной сосудистой системы у растений, а следовательно, и успешное протекание процесса азотоусвоения. Большинство других микроэлементов (медь, марганец, цинк и т. д.), как правило, усиливает интенсивность микробиологических процессов в почве.

Говоря о действии удобрений на почвенную микрофлору, следует отметить, что не на всей удобренной почве микроорганизмы размножаются равномерно. Наблюдения позволяют заключить, что вокруг внесенных в почву кусочков минеральных или органических удобрений создаются радиальные микрзоны с разной концентрацией питательных веществ и различным значением рН. В каждой из таких зон размножается своеобразное сообщество микроорганизмов, характер которого определяется составом удобрений, их растворимостью и т. д.

Таким образом, удобренная почва в разных точках имеет разнохарактерную микрофлору. Имеющиеся данные позволяют установить весьма интересный факт. Оказывается, что эффективность минеральных удобрений весьма различна на отдельных почвах.

Наблюдения и опыты показывают, что удобрения наиболее сильно действуют на тех почвах, где деятельность микроорганизмов подавлена.

Наиболее ценное органическое удобрение — навоз. В его состав входят основные элементы, необходимые

для сельскохозяйственных культур, поэтому его считают полным удобрением.

Навоз используют в сельском хозяйстве в огромных количествах. Объем его применения будет еще более возрастать в связи с ростом поголовья скота.

При созревании навоза в нем бурно развиваются микробиологические процессы, характер которых зависит от его состава и условий хранения. Наилучшим способом хранения навоза считают приготовление «холодного» навоза при немедленном его уплотнении в навозохранилище.

В настоящее время многие хозяйства переходят на бесподстилочный метод содержания скота. При этом экскременты животных удаляются гидросмывом. При этой системе жидкий навоз собирают и затем вывозят машинами на поля, расположенные недалеко от хозяйства.

Дальний вывоз жидкого навоза обходится дорого и экономически нерентабелен. Удаление жидкого навоза из хозяйства и распределение его на полях требуют особого машинного парка.

Сейчас как у нас, так и за рубежом усиленно обсуждается вопрос о переработке жидкого навоза промышленными методами на местах его скопления. В большинстве предложений авторы останавливаются на термофильном брожении навоза. Это приводит к его обеззараживанию и накоплению большой микробной массы, богатой белком. После механического удаления воды получается твердая масса, содержащая 20—25% белка. Она может быть использована в качестве добавки в комбикорм.



Химические защитники урожая

Химические средства защиты урожая от различных вредителей сельскохозяйственных культур, так называемые *пестициды*, в настоящее время широко используются в сельском хозяйстве. Сюда входят гербициды, применяемые для борьбы с сорняками, фунгициды, защищающие растения от фитопатогенных грибов, инсектициды — средства защиты от вредных насекомых, нематоциды — препараты против вредителей-нематод и другие вещества.

Применение химических средств защиты урожая началось после 1939 г., когда швейцарский ученый П. Мюллер показал перспективность использования ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) в борьбе с вредителями сельского хозяйства, за что был удостоен Нобелевской премии.

Позднее оказалось, что ДДТ очень медленно разлагается, может в почве, а также в растениях накапливаться и оказывать вредное влияние на организм человека и животных. Поэтому в настоящее время использование ДДТ, а также других стабильных пестицидов запрещено.

Все отрицательные последствия применения пестицидов заставляют относиться к ним крайне осторожно и отбирать для практического использования менее вредные и быстроразлагающиеся соединения. Отказаться совсем от использования пестицидов невозможно, так как сорняки и вредители наносят огромный ущерб сельскому хозяйству.

Рядом опытов, да и практикой установлено, например, что химизация земледелия без использования гербицидов не дает положительных результатов. Сорняки на удобренных полях бурно растут и заглушают посев культурных растений.

В мировой практике для борьбы с сорняками и вредителями растений используют более 1 000 препаратов.

Наша промышленность выпускает около 50 соединений (примерно 70 наименований).

Следует прежде всего отметить, что химическая природа пестицидов весьма разнообразна — они относятся более чем к 20 различным группам соединений.

В качестве инсектицидов применяют в больших количествах фосфорорганические соединения и карбаматы, а также различные вещества, содержащие хлор, мышьяк и растительные яды. В качестве фунгицидов используют карбаматы, соединения меди, ртути и т. д.

Отмечая трансформацию гербицидов и других пестицидов в почве, можно указать, что они могут изменяться под воздействием химических и физических факторов, а также в зависимости от поглощения почвенными частицами и т. д. Однако главным фактором, вызывающим изменение гербицидов в почве, являются микроорганизмы.

Из чисто химических процессов, затрагивающих гербициды, следует отметить прежде всего реакцию гидролиза, которая часто ускоряется глинистыми минералами.

Гидролизу в почве подвергаются весьма различные соединения (триазины, фосфорорганические препараты и т. д.), а дальнейшее разрушение их осуществляется микроорганизмами.

Каждое химическое вещество разлагается в почве лишь определенными группами микроорганизмов. Его «едят» многие виды бактерий родов *бактериум*, *ахромобактер*, *микобактериум* и т. д.

Возникает весьма важный в практическом отношении вопрос: за какой срок обезвреживаются в почве



внесенные в нее гербициды? Пока нельзя сделать точных научно-обоснованных выводов для каких-либо конкретных случаев.

Оказалось, что на разложение гербицидов в почве влияет целый ряд факторов, свойства самой почвы, ее температура, влажность, и в зависимости от этого срок разложения гербицидов в почве может существенно сокращаться или удлиняться.

Без учета химического состава гербицидов и почвенно-климатических условий нельзя получить даже примерного представления о скорости их распада. Известны случаи, когда в европейских странах практика сельского хозяйства ориентировалась на данные о разложении симазина, полученные на Американском континенте.

Но оказалось, что европейские особенности климата внесли свои коррективы, и в результате пшеница, посеянная после кукурузы, обработанной симaziном, резко снижала урожай.

На быстроту распада гербицидов большое влияние могут оказать присутствующие в почве легкодоступные для микроорганизмов органические и минеральные соединения.

Гербициды легче всего разлагаются при одновременном развитии микроорганизмов, окисляющих разные органические вещества. Такие сопряженные микробиологические реакции получили наименование кометаболизма (Г. К. Скрябин, Л. А. Головлева). При кометаболизме разрушение пестицидов осуществляется смесью культур разных микроорганизмов. Иногда при частичном разрушении гербицида могут возникать сильно токсичные вещества.

Некоторые гербициды (симазин и др.), а также продукты их распада образуют с перегнойными соединениями почвы прочные комплексы, что задерживает процесс их обезвреживания (детоксикация). При определенных обстоятельствах образующиеся из гербицидов вещества

конденсируются в трудноразлагаемые сложные соединения.

В общем, как видим, скорость обезвреживания пестицидов в почвах и окружающей среде (грунтовые воды, водные бассейны и т. д.) зависит от географических, почвенных, гидрологических и прочих локальных условий.

Весьма важно поэтому составление карты, дающей представление о способности почвы отдельных областей самоочищаться от вносимых в нее токсических соединений.

Подобная работа начата научно-исследовательскими учреждениями Советского Союза, в частности Институтом агрохимии и почвоведения АН СССР.

Отмечая влияние гербицидов на почвенное микронаселение, следует учесть, что обычно применяемые в практике их дозировки существенно не влияют на жизнь почвы. Это важно: почва сохраняет свой предохранительный барьер, свою сопротивляемость. Иногда, правда, устанавливается некоторая задержка процесса нитрификации, так как нитрификаторы очень чувствительны к различного рода сильным воздействиям. Вообще же найдено, что гербициды даже в дозах, в 50—100 раз превышающих используемые на практике, не оказывают на микроорганизмы почвы особо вредного действия.

Все же разные микроорганизмы неодинаково чувствительны к гербицидам. Это становится заметным при повышенных концентрациях гербицидов, когда неспорообразующие бактерии оказываются более устойчивыми к токсическим соединениям, чем бациллы. Актиномицеты, как и бактерии, по-разному сопротивляются гербицидам. Но грибы относительно легко ими подавляются.

Изучая сложный механизм воздействия пестицидов на почву, растения, микробов, многие ученые приходят к выводу, что прием защиты растений путем химичес-

кого истребления сорняков и вредителей сильными и чуждыми природе ядами не оправдал надежд.

Культурные растения не получили избавления от вредителей, наоборот, их стало больше, и возникли многие неожиданные последствия, с которыми раньше человек никогда не встречался.

Все это ставит вопрос о новых подходах к защите растений. Оказалось, что и здесь почвенные микроорганизмы могут внести положительный вклад в защиту растений и в сочетании с минеральными и органическими удобрениями успешно противостоять сорнякам и вредителям.

НЕВИДИМЫЕ САНИТАРЫ НА СЛУЖБЕ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Добрые и недобрые удобрения



Раньше микробы почв работали в основном в союзе с земледелием: помогали выращивать урожай, реализовать естественное плодородие почвы. Сегодня на плечи невидимых гигантов легли еще задачи, связанные с охраной среды от загрязнения. Почвенные микробы приобрели специальность пурификаторов (очистителей) и нейтрализаторов всех вредных отходов, идущих от заводов, фабрик, шахт, крупных ферм.

Но заботы о плодородии не сняты и сегодня с почвенных микробов. Наоборот, интенсификация сельского хозяйства выдвигает все более множественные требования по эксплуатации почвенной микрофлоры. Постепенно обозначилась область, где почвенные микроорганизмы могут сочетать в одном действии функции агента плодородия и очистителя окружающей среды. Эта область в какой-то мере противопоставлена засилию химических препаратов в сельском хозяйстве. Разумеется, речь идет не о глобальном, а лишь о частичном вытеснении химии из традиционных областей применения — удобрение, защита растений, повышение урожайности.

Необходимо такое удачное сочетание бактериальных и химических приемов, которое позволит получать высокие урожаи без существенного нарушения установившихся биоценозов * и без отравления среды.

Например, в помощь, а частью и в замену минеральным азотным удобрениям для бобовых культур предложены бактериальные удобрения на основе клубеньковых бактерий.

Мы уже говорили о полезной форме стимулирования симбиотического процесса азотфиксации с помощью клубеньковых бактерий (так называемая нитрагинизация). Применение этого бактериального удобрения приводит к существенному повышению содержания белка в бобовых растениях.

Американцы добились повышения содержания белка в клеверном сене на 3,5%, а наши ученые смогли увеличить белок в бобовых растениях на 10%.

Широкое применение *нитрагина* (так называется бактериальный препарат, приготовленный из клубеньковых бактерий) даст существенную прибавку урожая. Даже если нитрагинизировать только половину бобовых, то дополнительно будет получен 1 млн. тонн белка в год. Цифра внушительная — такое же количество белка содержат несколько миллионов тонн зерновых. Причем не потребуются ни расширения площадей, занятых бобовыми, ни серьезных дополнительных затрат. Такого количества белка хватило бы для удовлетворения годовой потребности 30 млн. человек.

Ранее упоминались свободноживущие азотфиксаторы, кустарники, способные фиксировать азот. Размеры такой азотфиксации порой бывают очень значительны. Так, под некоторыми видами ольхи количество азота может возрастать на 100 кг/га и более ежегодно. Уче-

* Биоценоз — сообщество растений, животных и микроорганизмов, населяющих определенную территорию.

ные ведут поиск в этом направлении с надеждой на успешное решение задачи.

Вообще же, сейчас подыскиваются различные возможности снижения доз химических препаратов в сельскохозяйственной технологии.

Известный агрохимик французский ученый Андре Вуазен оценивал эффект от удобрений в первую очередь биологическим качеством урожая, а не объемом продукции. Он показал, что погоня за количеством при обильном использовании минеральных удобрений (азот, фосфор, калий, кальций) постепенно нарушает плодородие почв. При этом падает не только питательность урожая, но и продуктивность животных, полученная на этом урожае. В конечном счете скот болеет и даже гибнет, что сказывается на вершине пищевой пирамиды — на человеке.

Еще в 1949 г. голландский ученый Мульдер сообщал, что азотные минеральные удобрения ведут к исчезновению из почвы усвояемой растениями меди. Если систематически в высоких дозах удобрять почву техническим азотом, то содержание меди в ней снижается, и этот процесс сопровождается нарушением медного обмена у животных (дойных и мясных коров в первую очередь), а затем перекидывается и на человека, прежде всего на детей. А. Вуазен и другие ученые показали, что балансирование азотных удобрений медью (например, медным купоросом) устраняет этот недостаток. С 1960 г. французские фирмы готовят специальные азотные удобрения с добавкой меди.

Вот еще один пример издержек, к которым иногда приводит повсеместная химизация. Известно, что большие дозы азота (без меди), вносимые в почву в качестве удобрения, дают резкое повышение содержания нитратов и нитритов в растениях. Известно также, что нитриты и нитраты ядовиты для теплокровных животных. В одном хозяйстве кормили телят замечательной сочной травой, но телята от этой травы гибли. Анализы



подтвердили предположение: в корме и в тканях телят было обнаружено повышенное количество нитратов и нитритов, пришедших из азотных минеральных удобрений.

При применении других химических удобрений также наблюдается сходная картина обеднения почвы за счет вытеснения одних элементов другими. Так, фосфорное удобрение влияет на железо, кобальт, цинк, марганец и другие микроэлементы. Калийные удобрения ведут к исчезновению из почвы усвояемых магния, бора и натрия. Поэтому, применяя названные удобрения, нельзя забывать о том, что требуется строгая дозировка сбалансированных элементов.

Андре Вуазен, уже цитированный нами, сформулировал три правила внесения удобрений:

обязательный возврат в почву исчезнувших (от применения удобрений) питательных элементов;

учет вредности избытка минеральных удобрений;

ориентация на преимущество биологического качества сельскохозяйственной продукции перед количеством.

Ученый приветствует переход к полностью сбалансированным минеральным удобрениям, сочетаемым с органическими. Только тогда через почву и растение будет дано все возможное животному и человеку. В противном случае неизбежен дисбаланс в организме и нарушение здоровья.

В свете сказанного бактериальные удобрения соответствуют самым строгим требованиям охраны окружающей среды и здоровья человека. Они не токсичны, обладают широким спектром положительного действия: способствуют накоплению азота в растениях, стимули-

руют их рост, выделяют витамины, ускоряют ферментативные процессы.

И все же пока эффект и характер воздействия таких бактериальных препаратов, как, например, азотобактерин, фосфоробактерин, не дают повода для оптимизма: слишком неоднозначны результаты употребления этих удобрений, слишком низок экономический выход.

Землеудобрительные бактериальные препараты пока еще не могут весомо конкурировать с блестящими достижениями химической промышленности.

Зато в деле защиты растений от сорняков, насекомых, вредителей у микробов почвы были найдены широкие возможности и благоприятные перспективы. Здесь почвенная микробиология может оказать существенную услугу борьбе за чистоту среды, изъяв из употребления вреднейшие ядохимикаты. Например, пестициды, столь прославленные успехом в борьбе с вредителями, сорняками и болезнетворными микробами на листьях растений, оказались беспомощными перед корневой инфекцией: проникать в корень растения труднее, чем в лист, а насыщать ядами почву опасно, можно погубить и полезных микробов.

Типичные примеры корневых инфекций — вилт хлопчатника и корневые гнили злаковых. Из года в год их возбудители накапливаются в почве, и никакие пестициды не могут их уничтожить по названным выше соображениям. При этом урожай хлопчатника становится в прямую зависимость от вилтовой инфекции — именно она определяет развитие растения, а не питательные вещества, влага или тепло. Создаются особые вилтоустойчивые сорта, но не они, а органическое удобрение приходит здесь на помощь земледельцу. Внесение органического вещества вызывает к жизни почвенных микроорганизмов, подавляющих болезнетворные грибы. Установлено, что при запашке растительных остатков снижается развитие гриба — возбудителя вил-

та хлопчатника. Запашка зеленой массы озимых промежуточных культур подавляет спорообразование у этого гриба.

Органическое вещество, запаханное в почву, сильно стимулирует размножение микробов с разнообразными свойствами, в том числе и таких, которые разлагают гербициды и инсектициды.

Микробные пестициды

Среди микробов широко распространено явление антагонизма. Одни микроскопические существа угнетают рост других. Это объясняется тем, что микроорганизмы способны вырабатывать так называемые *антибиотики* — вещества, подавляющие рост или уничтожающие определенные группы микробов. Каждый антибиотик имеет характерный для него спектр действия, то есть он подавляет группу лишь определенных микроорганизмов.

Антибиотики отличаются друг от друга характером своего воздействия на микроорганизмы. Одни из них приостанавливают рост микробов или, как говорят, имеют бактериостатическое действие, а другие убивают микробные клетки, то есть действуют бактерицидно. Третьи вызывают не только гибель, но и лизис (распад) клеток микроорганизмов. Подчас воздействие антибиотика меняется в зависимости от его дозировки.

В настоящее время антибиотики в ряде случаев с успехом применяют для защиты растений от вредителей. Антибиотики в небольших количествах вводят в корма для ускорения роста молодых животных.

Практическое значение антибиотиков стало вырисовываться в 40-х годах текущего столетия. Однако явление антагонизма у микроорганизмов было известно давно. Еще Л. Пастер отметил угнетение сибиреязвенной бациллы культурой синегнойной палочки. И. И. Меч-

ников изучал явление антагонизма у кишечной микрофлоры. В 70-годах прошлого столетия русские врачи В. А. Манассеин и А. Г. Полотебнов обнаружили в культуре гриба *пенициллиум* антибактериальное вещество и пытались его использовать в лечебных целях. Интерес к антибиотикам резко возрос за последнее время.

Продуцировать антибиотики могут различные микроорганизмы — грибы (виды пенициллиум, аспаргиллус и др.), многие актиномицеты, а также неспорообразующие и спорообразующие бактерии.

Выделено и изучено несколько сот различных антибиотических соединений. Среди них имеются вещества, оказывающие лучший лечебный эффект, чем химические препараты. Однако, конечно, не все антибиотики по разным причинам годны для практического использования.

По химической природе антибиотики очень разнообразны и относятся к различным группам химических соединений. Здесь имеются соединения ациклического и ароматического строения, производные хинонов, содержащие азот гетероциклические вещества, липептиды и т. д.

Учение об антибиотиках выросло в самостоятельный раздел микробиологии, имеющий большую область практического приложения. Микробы-антагонисты и вырабатываемые ими антибиотики имеют важное значение при борьбе с фитопаразитами.

Некоторые патогенные микроорганизмы способны жить в почве довольно долго. К подобным формам можно, например, отнести возбудителя сибирской язвы, а также грибы, вызывающие вилт хлопчатника и фузариозные заболевания разных растений.

Длительность существования отдельных микроорганизмов в почве отчасти зависит от их способности к сапрофитному существованию, а также от устойчивости их к микробам-антагонистам.

Освобождению почв от фитопаразитов помогают мероприятия агротехнического и агрохимического характера. Они могут интенсифицировать деятельность микрофлоры почвы и ускорить распад остатков, на которых живут многие фитопатогенные микроорганизмы. Это приводит к более быстрой гибели возбудителей заболеваний.

Для освобождения почвы от фитопаразитов может иметь значение усиленное размножение в ней микробов-антагонистов возбудителей тех или иных заболеваний. Например, посевы люцерны способствуют очищению почвы от возбудителя вертициллезного вилта хлопчатника. Корневая система люцерны не только выделяет в почву алкалоиды, угнетающие многие микроорганизмы, но и способствует размножению в почве антагонистов возбудителя вертициллеза. Вот почему сокращение посевов люцерны в хлопково-люцерновых севооборотах приводит к усилению вертициллезного вилта хлопчатника.

Установлено также, что возделывание некоторых растений (клевер, вика и т. д.) способствует быстрому освобождению почвы от сибиреязвенной бациллы. Другие же растения (житняк, картофель) благоприятствуют размножению этого микроорганизма.

Таким образом, в принципе возможна борьба с находящимися в почве болезнетворными микробами введением в севооборот тех или иных растений.

Значительно лучше выяснена возможность искусственного обогащения ризосферы сельскохозяйственных растений микробами-антагонистами, подавляющими рост определенных фитопаразитов, а следовательно, предупреждающими заболевание сельскохозяйственных культур. Для растений-хозяев эти микроорганизмы безвредны.

Исследовательская работа в этом направлении была начата в СССР Я. П. Худяковым (1935), который выделил бактерии, принадлежащие к роду *псевдомонас*.

Они способны лизировать (растворять) мицелий некоторых фитопатогенных грибов. Эти микробы-антагонисты (или миколитические бактерии) были успешно использованы в широких полевых опытах для борьбы с фузариозом пшеницы, льна и т. д.

Хороший оздоравливающий эффект от применения миколитических бактерий получил Н. А. Красильников при борьбе с фузариозом семян и саженцев сосны.

Украинские исследователи (Н. М. Пидопличко, В. И. Билай, С. Н. Московец и др.) провели большую и успешную работу по изучению антагонистических свойств гриба *триходерма* и использовали его для борьбы с заболеваниями хлопчатника, картофеля и других сельскохозяйственных растений.

Г. С. Муромцев и Т. И. Курахтанова установили, что гриб *дарлака филум* предупреждает заболевание кукурузы ржавчиной.

Подобных примеров можно было бы привести большее число.

Микробы-антагонисты не только угнетают фитопаразитов в зоне корня, но и вырабатывают антибиотики, которые проникают в ткани растений и делают их более устойчивыми против возбудителей заболеваний.

Микробов-антагонистов, вероятно, можно использовать также и против растений-паразитов. Так, некоторые микроорганизмы поражают заразиху, развивающуюся на помидорах и капусте. Растениям-хозяевам они не приносят никакого вреда. Не исключена возможность подбора микробных культур, действующих на определенные группы сорняков в качестве гербицидов.

Исследования по использованию микробов-антагонистов, несомненно, дадут практический результат. Применение антагонистов не может служить универсальным методом борьбы с заболеваниями сельскохозяйственных растений, но в ряде случаев препараты микробов-антагонистов следует широко использовать.



Привлекают внимание препараты антибиотических веществ, имеющие преимущества по сравнению с химическими средствами. Антибиотики обладают селективным (выборочным) действием — убивают вредителя, а на растительный организм не влияют или же в некоторых случаях оказывают стимулирующий эффект.

Многие антибиотики, несмотря на сложность их молекул, легко проникают в ткани растительного организма и даже всасываются корневой системой. Например, стрептомицин хорошо проникает в растения через корни, стебли и листовую поверхность, а также легко впитывается семенами. Ауреомицин же такой способности не имеет. При отборе антибиотиков это свойство должно приниматься во внимание.

Известны многие случаи успешного использования антибиотиков для протравливания семян. Так, биомицин, тетрацилин и другие антибиотические вещества хорошо действуют как протравители семян для предупреждения фузариоза тыквенных культур и гороха.

Антибиотик актиномицетного происхождения дает хороший результат при борьбе с гоммозом хлопчатника.

Положительные результаты получены при использовании антибиотиков для борьбы с болезнями вегетирующих растений. Так, в Японии для предупреждения заболевания риса очень опасной грибной болезнью пирикулярриозом и для лечения уже больных посевов широко используются антибиотики актиномицетного происхождения, в частности касугамицин, который получают с помощью культуры *актиномицес казигензис*. Этот антибиотик не фитотоксичен и не причиняет вреда людям.

Для борьбы с фузариозом риса (а также с паршой яблوك и груш) применяют антибиотик поликсин актиномицетного происхождения. Бактериальный ожог риса излечивается хлорамфениколом (продуцент *актиномицес венесуэле*) и т. д.

Широко применяемый в медицине антибиотик стрептомицин оказался хорошим средством и для борьбы с заболеваниями растений (бактериальной рябухи табака, рака цитрусовых, мягкой гнили крестоцветных овощных культур).

За рубежом (США, Англия, Чехословакия и т. д.) для борьбы с различными болезнями сельскохозяйственных растений выпускают антибиотические вещества. Чаще всего используют производные стрептомицина, актидиона, тетрациклина, гризеофульвина и других антибиотиков актиномицетного происхождения. Эти препараты применяют в чистом виде и в различных смесях.

Антибиотические препараты стремятся использовать против ржавчины пшеницы, гельминтоспориоза злаков, мучнистой росы бобовых, ряда заболеваний овощных культур, декоративных растений и т. д. Высокий эффект дают антибиотики при лечении древесных растений. Так, антибиотик актиномицетного происхождения агримидин хорошо действует при бактериозе фруктовых деревьев, встречающемся во многих странах.

В СССР Р. О. Мирзабекян с успехом использовал антибиотик актиномицетного происхождения для борьбы с бактериальным увяданием абрикосов и персиков. Эта болезнь вызывается неспорообразующей палочкой *бактериум армениака*. В одном из экспериментов заражали дички абрикосов пятилетнего возраста фитопатогенной бактерией. Через несколько дней часть сеянцев обрабатывали антибиотиком, и это привело к излечению растений. Зараженные и не обработанные антибиотиком дички погибли.

Удовлетворительные данные были получены при лечении от бактериального увядания плодоносящих абрикосовых деревьев. Если плодовые деревья были не слишком поражены, процесс их засыхания после введения препарата приостанавливался. На деревьях появлялись новые побеги, которые дальше развивались нормально. Даже сильно поврежденные деревья после введения антибиотика в ствол оживали — ниже засохшей и срезанной их части появлялись новые побеги.

Опыты под руководством Н. А. Красильникова проводили на многих плодах лимонов и мандаринов, пораженных бактериальным некрозом. При этом заболевании на поверхности плодов образуются характерные бурые пятна отмирающей ткани. Микроб-возбудитель поражает также побеги, вызывая на них образование некротических очагов. Найдены антибиотики, предупреждающие развитие бактериального некроза у цитрусовых. Плоды, обработанные этими веществами, сохраняются в течение длительного времени без признаков порчи. Это дает основание использовать полученные вещества не только для лечения вегетирующих растений, но и для предохранения пищевых продуктов от порчи. В некоторых странах, например, антибиотиками обрабатывают поверхность тушки птицы, рыбы, а также мясо для продления сроков их хранения. Представляет интерес попытка добавления антибиотиков в пленочные материалы, из которых изготовляют упаковки для продуктов. Эта новая область применения антибиотиков сулит интересные перспективы, но требует еще экспериментальной доработки.

Насекомые — под прицелом невидимок

Факт заболеваний насекомых был известен давно. Еще Аристотель (IV в. до н. э.) описал заболевание пчел. Итальянский ученый А. Басси в 30-х годах прош-

лого века обнаружил болезнь тутового шелкопряда, возбудителем которой был гриб, названный им ботритис парадосса (в настоящее время носит название *белая мушкардина*).

Басси не обладал познаниями в области микологии (науке о грибах), но сумел различить в ткани тела хозяина паразита. Он выяснил способ переноса инфекции и условия, способствующие заражению шелкопряда. Это позволило рекомендовать средство борьбы с болезнью.

Учитывая отмеченное, нужно признать А. Басси первым патологом насекомых.

В 60-х годах прошлого столетия Л. Пастер установил, что некоторые заболевания шелкопряда носят инфекционный характер и вызываются бактериями.

Несколько позднее И. И. Мечников, работая в институте имени Л. Пастера в Париже, также столкнулся с бактериальными заболеваниями насекомых. Он считал возможным практическое использование паразитов насекомых и писал, что на них следует возлагать большие надежды для защиты растений. В интересах сельского хозяйства следует вызывать эпизоотии * среди вредителей и таким образом бороться с возможными потерями урожая. И. И. Мечников установил у личинок хлебного жука — опасного вредителя зерновых культур — заболевание, вызываемое *зеленой мушкардиной* (*метарризидиум анисоплие*) и другим грибом — *ентомофтора анисоплие*. Имевшиеся в распоряжении



* Массовое распространение среди животных (в данном случае насекомых) заразного заболевания.



И. И. Мечникова материалы позволили ему на первом съезде представителей от губерний России, посева зерновых в которых были поражены хлебным жуком, сделать доклад: «О применении грибных болезней к истреблению вредных насекомых».

После исследований И. И. Мечникова в 1892 г. сотрудник института имени

Л. Пастера И. М. Красильщик из больных личинок хлебного жука выделил две энтомопатогенные бактерии.

Наблюдения других исследователей также показали, что насекомые могут страдать от инфекционных заболеваний, возбудителями которых являются бактерии, грибы и вирусы.

Все это побудило использовать микроорганизмы для борьбы с насекомыми-вредителями сельскохозяйственных культур или, как теперь чаще говорят, для биологического контроля насекомых-вредителей.

Микробы, паразитирующие на насекомых, обычно вызывают заболевание у какой-то узкой группы насекомых-вредителей. Для человека и животных они совершенно безвредны. Кроме того, заболевания насекомых должны принимать характер эпизоотий и широко распространяться. Химические же средства защиты растений действуют локально (ограниченно).

В первой четверти текущего столетия в период бурного развития прикладной микробиологии особенно больших успехов добился С. И. Метальников (сотрудник института имени Л. Пастера) в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур, в том числе хлопчатника.

Ученый испытывал против разных насекомых смеси микроорганизмов и получал отличные результаты.

Его препараты применялись также для опыления против вредителей сельскохозяйственных культур.

Высокая эффективность биопрепаратов Метальникова объяснялась тем, что в их состав входила культура *бациллюс турингиензис*, выделенная в 1915 г. немецким ученым Е. Берлинером. К этой культуре восприимчивы многие чешуекрылые насекомые.

Хотя опыты Метальникова проводились в относительно небольших масштабах, они показали возможность эффективного практического использования бактериальных препаратов для защиты урожая.

В настоящее время работа по микробиологическому методу борьбы с насекомыми-вредителями интенсивно ведется в нашей стране и за рубежом.

Сейчас уже наука достигла больших успехов в данной области. Полученные результаты внедрены в производство, и для практического использования выпускаются эффективные препараты.

В нашей стране большое внимание обращено на бактерии группы *бациллюс турингиензис*, поражающие многих вредителей сельскохозяйственных растений и леса. Характерное свойство таких микроорганизмов — содержание в их клетках кристаллического образования, токсичного для насекомых. Ядовитые свойства кристаллов проявляются только при попадании их в пищеварительный тракт насекомого. При введении кристаллов в лимфу токсикоза не наступает.

Внешне такой характер воздействия микробов на насекомых позволяет некоторым исследователям сравнивать эффективность бактерий группы *бациллюс турингиензис* с инсектицидами. Однако это вряд ли правильно, так как бактерии не только отравляют насекомых, но и вызывают их заболевание.

При попадании в кишечник гусеницы пищи, содержащей микробный токсин, последний задерживается там, где происходит его всасывание. Наступает паралич кишечника и распад его эпителия. Гусеница перестает

питаться и погибает. Отравление часто сопровождается поносом. После гибели тело гусеницы иногда бывает приклеено к растению белковым экссудатом.

Существуют и другие бактерии, близкие к *бациллюс турингиензис*, но не имеющие кристаллических включений. Их действие на насекомых связано лишь с инфекционным процессом.

Микроорганизмы также могут вызывать гибель насекомых-вредителей леса (в частности, сибирского шелкопряда), многих вредителей сада и сельскохозяйственных культур (капустной белянки, хлопковой совки и т. д.).

В лабораторных условиях из больных насекомых выделены чистые культуры болезнетворных бактерий группы *бациллюс турингиензис*. Отдельные микроорганизмы существенно различаются по своим свойствам и по спектру действия, что послужило основанием для выделения новых видов. Всего описано 24 разновидности, некоторые из них были выделены в СССР.

Е. В. Талалаев из больных гусениц сибирского шелкопряда выделил *бациллюс дендролимус*. Содержащий эту бактерию препарат дендробациллин может быть использован для борьбы с сибирским шелкопрядом, шелкопрядом-монашенкой, совкой хлопчатника и некоторыми другими насекомыми.

А. Б. Гукасян и Н. Г. Коломиец также из гусениц сибирского шелкопряда изолировали *бациллюс тувиензис* и *бациллюс инсектис*, несколько отличающиеся от *бациллюс дендролимус*. Препарат на основе *бациллюс инсектис*, названный инсектин, губительно действует на сибирского шелкопряда.

Н. П. Исакова с сотрудниками из гусениц пчелиной огневки выделила *бациллюс турингиензис*, вар. *галлерис*. Препарат, содержащий эту бациллу, энтобактерин — хорошее средство борьбы против большой группы листогрызущих вредителей овощных, плодовых и садово-парковых насаждений. Он поражает также хлеб-

ного жука, плодовую и яблоневую моль, капустную и репную белянок и гусениц других насекомых.

Институт сельскохозяйственной микробиологии ВАСХНИЛ предложил препарат битоксибациллин (БТБ-202), который содержит клетки *бациллюс турингиензис* и экзотоксин (яд, выделяемый в окружающую среду) этой бактерии. Препарат активен против колорадского жука, совок хлопчатника и других насекомых.

Приготовление препаратов бактерии группы *бациллюс турингиензис* затруднений не встречает.

За рубежом препараты, изготовленные на основе *бациллюс турингиензис*, находят широкое применение. Они имеют разное наименование: в США — турицид, дипел, биотрол; во Франции — бактоспеин; в Англии — ВІВ—183; в Чехословакии — бутарин; в Румынии — туринджин и т. д. Эти препараты отличаются один от другого спектром своего действия.

Энтомопатогенные (вызывающие болезни насекомых) препараты применяют, распыляя их на растительность, пораженную гусеницами насекомых. При обработке больших площадей препараты распыляют с самолета.

Эффект действия препаратов бывает очень хорошим и вызывает массовую гибель вредителей. Результативность микробиологической борьбы зависит от состояния насекомых, плотности их популяции (численности), климатических условий и т. д. Поэтому эпизоотии среди насекомых в результате инфекции возникают только при определенных условиях. Чтобы микробиологический метод борьбы с вредными насекомыми стал действительно массовым, нужна дополнительная, уточняющая условия его применения работа.

Насекомые заболевают не только от воздействия бактерий. Возбудителями болезней могут быть многие грибы. В поисках средств защиты урожая ученые обратили внимание на так называемые мускардинные грибы. Они вызывают у насекомых болезни — белую мускардину и зеленую мускардину. При этом под белой

мускардиной подразумеваются болезни, вызываемые грибами рода *беуверия*, а под зеленой мускардиной — болезни, вызываемые грибами рода *метарризиум*.

Конидии грибов рода *беуверия* прорастают на поверхностных тканях насекомого и могут проникнуть в тело даже через хитиновый покров. В гемолимфе (жидкость, выполняющая роль крови у насекомых) разрушаются лимфоциты, что приводит к гибели насекомого. Культура *беуверия бассиана* оказалась весьма эффективной при борьбе с многими вредителями сельскохозяйственных растений. Гриб поражает личинок бабочек — совки, соснового и тутового шелкопряда, яблонной плодовой жорки, стеблевого мотылька и репной белянки.

К грибу восприимчивы свекловичный долгоносик, вредная черепашка, колорадский жук. *Беуверия бассиана* паразитирует также на пилильщиках-короедах и садовых клещах.

Беуверия бассиана используется для приготовления весьма перспективного препарата боверин. Гриб легко культивируется на искусственных средах. Его споры отделяют центрифугированием и смешивают с наполнителем (тальком, мелом и т. д.).

Возбудитель зеленой мускардины — гриб *метарризиум анисоплие* — был описан еще И. И. Мечниковым. Он поражает хлебного жука, свекловичного долгоносика, майского хруща, колорадского жука, гусениц озимой совки и т. д. Споры гриба, попавшие на тело насекомого, проникают через покровы внутрь. Здесь мицелий разрастается и пронизывает все органы тела. Ткани хозяина исчезают, целиком потребленные паразитом.

Для борьбы с вредными насекомыми вполне целесообразно использовать вирусы насекомых. Известно около 300 вирусов, вызывающих болезни насекомых. Вирусы различаются по характеру и месту их включения в организм хозяина. Некоторые из них поражают ядра клеток разных органов эктодермы и мезодермы (ядерный

полиэдроз), другие локализуются в цитоплазме кишечного эпителия (цитоплазмальный полиэдроз). Существуют, наконец, вирусы, у которых тельца лишены оболочек («голые» вирусы).

Во многих случаях применение вирусных препаратов дало хороший результат. Так, в Канаде и некоторых других странах при борьбе с личинками пилильщиков используют вирус ядерного полиэдроза. Численность вредителя удалось снизить настолько, что он уже не представляет опасности для лесного хозяйства страны.

Вирусы ядерного полиэдроза успешно применялись в опытах при борьбе с гусеницами совок, репной белянки, белой американской бабочки и т. д. Заражение вирусами цитоплазмального полиэдроза ведет к уничтожению южного шелкопряда.

Изготовление вирусных препаратов затрудняется тем, что вирус размножается только в теле насекомых. Для массового получения препарата приходится проводить довольно сложную работу по культивированию и инфицированию насекомых. Размалывая их массу и смешивая ее с наполнителем, получают препарат для практического использования.

В СССР для борьбы с непарным шелкопрядом и совками готовят препарат вириин. Аналогичные препараты выпускают в США под названием ботрол.

В настоящее время разрабатывается методика применения для борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений комбинированных препаратов, в которые будут входить патогенные для насекомых микроорганизмы и инсектициды микробного происхождения.

Сейчас широко используется микробиологический метод борьбы с грызунами (мышами домашними, полевками, крысами). Известно несколько культур, вызывающих у грызунов кишечные заболевания, напоминающие брюшной тиф. Для человека и домашних животных эти микроорганизмы безопасны.

При всех своих достоинствах и бесспорных преимуществах в сохранении чистоты среды бактериальные препараты пока еще производятся в довольно ограниченных количествах, особенно в сравнении с химическими ядохимикатами. Прежде всего это связано с ограниченным выбором бактериальных пестицидов: из 1500 болезнетворных для насекомых микроорганизмов устойчивое практическое применение нашли только две бактерии. Одна, уже упоминаемая нами *бациллюс турингиензис* стала основой отечественного препарата энтобактерин, который по характеру действия на насекомых можно считать скорее биосинтетическим, чем биологическим агентом. Ведь содержащийся в зрелых клетках бактерии токсин отравляет насекомых как обычный яд при поедании, а не путем инфекции, от которой гибнут биологически зараженные существа.

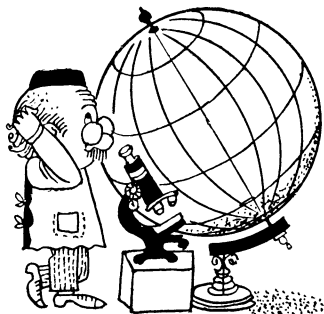
Вторая «популярная» бактерия — это *бациллюс копилля*. По действию на насекомых она напоминает *бациллюс турингиензис*. Общий недостаток — неспособность вызвать эпидемии у насекомых.

Гораздо перспективнее в этом отношении оказались вирусы, но мы уже писали, каковы трудности изготовления вирусных препаратов, связанные с разведением и заражением огромных количеств насекомых — продуцентов инфекции.

На перекрестке проблем

Охрана окружающей среды поставила перед человечеством много сложнейших проблем, решать которые предстоит десятилетиями. В круговороте этих проблем оказалась и почвенная микробиология как наука, связанная с почвой, с главным очистителем и нейтрализатором земной суши. Современным микробиологам почвы приходится выходить за рамки узкой специализации и обсуждать вопросы глобальных масштабов, касающиеся общечеловеческих интересов.

Например, до сих пор считалось, что внесение азотных удобрений имеет отношение только к практике сельского хозяйства. Да так оно и было, пока масштабы удобряемых полей не достигли планетарных размеров. Микробы почвы играют ведущую роль в круговороте азота, с их участием органический азот преобразуется в аммиачный, а затем в нитратный. Аммиачный азот довольно прочно закрепляется в почве благодаря своим физико-химическим свойствам. Нитраты хорошо растворимы и быстро вымываются водой, поэтому большое количество нитратов оказывается в реках, озерах, водоемах. Обильными источниками нитратов сейчас становятся отходы крупных животноводческих ферм, перешедших на смывной способ удаления навоза. Современное крупное животноводческое хозяйство дает десятки и сотни тысяч тонн жидкого навоза, рациональное использование которого требует своего решения: возить далеко на поля нерентабельно, а ближние почвы переунавожены с избытком.



Попадая в водоемы, нитраты, как всякое удобрение, стимулируют развитие водорослей, вызывающих цветение на поверхности водоемов. С цветением связано много неприятных последствий: обеднение воды кислородом, гибель рыбы, загрязнение, делающее воду непригодной для водопоя. Это наглядный пример вреда, который может принести «доброе», нужное сельскому хозяйству удобрение.

Но есть путь, не сразу различимый и гораздо более опасный. Известно, что некоторые микробы способны превращать безопасные нитраты в ядовитые нитриты. Токсичность нитритов лежит в самой взрывчатой, не

предсказуемой по своим последствиям области, — они обладают мутагенным действием (проникая в клетки живого организма, эти вещества порождают злокачественные образования, при вторжении в наследственный аппарат продуцируют тяжелые наследственные заболевания).

Таким образом, цепочка причинно-следственных связей, начавшаяся у минерального удобрения, вносимого в почву, привела нас к канцерогенной опухоли организма, далеко отстоящего от проблем сельскохозяйственной технологии. Узкоспециальное ведение хозяйства в наши дни кончается: слишком тесно связаны в едином биоценозе земного шара все его составляющие.

Почвенной-микробиологии, интенсивно разрабатываемой, злободневные вопросы повышения плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур, предстоит одновременно осуществить еще не один полезный вклад в общее дело сохранения окружающей среды.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Живая почва	7
Что мы знаем о почве?	7
Как влияет внешняя среда на жизнь микробов	15
Дом микробов	18
Знакомьтесь, микробы	22
Какие микробы живут в почве	22
Чем питаются микробы	36
Как микробы получают энергию	40
Мастера на все руки	43
Дела земледельческие и микробы	58
Растения — покровители микробов	58
Симбиоз с невидимками	62
Микробный азот	75
Почему смена растений на полях обновляет почву	81
Феномен вспашки и жизнь микробов в почве	84
Вода — микробы — плодородие	88

Многоликая химия на полях	90
Второе дыхание	90
Удобрения в действии	93
Химические защитники урожая	98



Невидимые санитары на службе охраны окружающей среды	103
Добрые и недобрые удобрения	103
Микробные пестициды	108
Насекомые под прицелом невиди- мок	114
На перекрестке проблем	122

Всеволод Тихонович Емцев

МИКРОБЫ, ПОЧВА, УРОЖАЙ

Редактор *Л. А. Шувалова*

Художники *Ю. Н. Владимиров* и *Ф. Е. Терлецкий*

Художественный редактор *Н. М. Коровина*

Технические редакторы: *Н. В. Новикова*,
В. А. Зорина

Корректоры: *А. В. Пригарина* и *И. В. Панкратова*

ИБ № 2394

Сдано в набор 14.04.80. Подписано к печати 03.11.80. Т-19815. Формат 70×100¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,16+8 вкл. Уч.-изд. л. 5,98. Изд. № 12. Тираж 39 000 экз. Заказ № 274. Цена 20 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, Садовая-Спасская, д. 18.

Белощерковская книжная фабрика республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Государственного комитета Украинской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 256400, г. Белая Церковь, ул. Карла Маркса, 4.

НОВЫЕ КНИГИ

**В 1981 г. в издательстве
«Колос»
выйдут в свет следующие
научно-популярные книги:**

**Балаян В. М., Короткий Р. М. Химический
язык насекомых. 6 л., 20 000 экз.**

**Либерштейн И. И. Зеленый пожар. 10 л.,
30 000 экз.**

20 коп.

