

Меркурий Гиляров, Дмитрий Криволицкий

ЖИЗНЬ В ПОЧВЕ

Часть 1

Москва ИЛКО 2013 год

СОДЕРЖАНИЕ

О чем эта книга?

Неведомая земля

У истоков науки

Незримые соседи.

Начала почвенной зоологии

Корни растений

Живое прошлое и эволюция почв

Следы из земных глубин

Химия и жизнь почвы

Круговорот веществ

Живое вещество

Судьбы элементов-биогенов

Биомасса, гумус и их превращения

Мир, который у нас под ногами

Новая наука раскрывает старые тайны

Имя им - легион

В подземных лабиринтах

Простейшие

Обитатели пленочной воды

Мезофауна

Микрофауна в естественных скважинах

Млекопитающие-землерои

Зоологический метод диагностики почв

Зеркало окружающих условий

О чем эта книга!

Известный чешский писатель Карел Чапек как-то заметил, что "человек, в сущности, совершенно не думает о том, что у него под ногами. Всегда мчится... И самое большое - взглянет, как прекрасны облака у него над головой. ...И ни разу не поглядит себе под ноги, не похвалит: как прекрасна почва!".

Наша животворная земля действительно прекрасна.

Тонким рыхлым слоем выстилает почвенный покров всю "твердь земную". Если приглядеться внимательно (а еще лучше - вооружиться микроскопом), откроются картины необыкновенные. Взору предстанут причудливые архитектурные сооружения, сложнейшие лабиринты, пронизанные ходами, "галереями", "залами", состоящие из бесчисленного множества мельчайших ниш, пор и скважин. И всюду кишит жизнь.

Одних обитателей увидеть несложно. Это - дождевые черви, многоножки, личинки насекомых, мелкие клещи, бескрылые насекомые. В тончайших пленках воды, которые обволакивают почвенные частицы, снуют коловратки, жгутиконосцы, ползают амёбы, извиваются круглые черви.

Другой мир недоступен невооруженному глазу. Но в тайны его проникают с помощью микроскопа. Именно благодаря ему мы знакомимся с микроорганизмами - невидимыми тружениками, проделывающими титаническую работу.

И наконец, третий живой компонент почвы - корни высших растений. Они неподвижны, но они живут - растут, дышат, "работают", доставляя из глубин почвы в надземные части растения воду и минеральные соединения, не говоря уже о том, что многие подземные части растений нас еще и кормят.

Но весь этот многообразный почвенный мир редко привлекает внимание.

Когда в начале лета мы входим в цветущий лес, мы замечаем, как порхают бабочки, поют птицы, скачут лягушкн. И радуемся, если неожиданно встретим ежа или зайца. И складывается представление, будто именно эти крупные и хорошо заметные животные и составляют основу нашей фауны. А на самом деле все животные, которых легко увидеть в лесу, составляют лишь ничтожную ее часть. Основу же населения наших лесов, лугов и полей слагают почвенные животные.

Некоторые из них известны всем - хотя бы дождевые черви или кроты. Те, кто связан с сельским хозяйством, кто работает на садовых участках или огородах, конечно, вспомнят и о таких вредителях, как проволочники, медведки или филоксера.

Между тем только в средней полосе СССР на каждом квадратном метре почвы можно встретить до 1000 разных видов почвенных обитателей. Численность же их достигает огромных величин.

Весь этот мир живет по своим законам и совершает в природе работу огромной важности: перерабатывает мертвые растительные остатки, очищая от них почву, создает систему ходов и скважин, по которым к корням проникает воздух и вода, прочную структуру, способную противостоят влаге и ветрам. Как и земледельцы, почвенные животные постоянно перепахивают почву, вынося наверх частицы из нижних слоев.

Многие из них могут разлагать ДДТ и другие органические ядохимикаты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве; они также захоранивают продукты промышленных и радиоактивных загрязнений. Иными слоями, эти незаметные существа поддерживают в чистоте наш общий дом - Землю. Более того, они еще предупреждают об опасности, которая грозит этому дому, когда люди неразумно ведут себя по отношению к природе.

В наш век бурной перестройки биосферы почвенное население не сдает своих позиций. Например, на пастбищах одних только дождевых червей приходится на один гектар больше (по весу), чем скота, который может прокормиться на той же площади. На полях и в культурном ландшафте почвенные животные остаются последним реликтом бывшего некогда естественного животного населения.

Многого об этом огромном мире мы все еще не знаем.

Открытия следуют одно за другим. Только в СССР за последние два десятилетия описано свыше 1000 неизвестных ранее видов животных. Мириады видимых и невидимых почвенных организмов обеспечивают нас пищей, поддерживая плодородие почв. Благодаря им нормально функционируют те природные механизмы, без которых существование человека как биологического вида было бы невозможно. О том, как все это происходит и как человек может использовать деятельность почвенных животных, мы и хотели рассказать в своей книге.

Неведомая земля

В истории не раз случалось, что те или иные науки "вырывались вперед", привлекали наибольшее внимание, становились "модными". Другие же научные дисциплины ждали своего часа, своих открытий, чтобы познакомить человечество с новыми тайнами окружающего мира.

По мере развития науки как бы обособливались друг от друга, углубляясь в свою узкую сферу. Но вот настал момент, когда понадобилось объединить усилия ученых разных специальностей. И на стыке наук стали возникать новые дисциплины.

Так родились физическая химия, химическая физика, молекулярная биология, экологическая физиология. Такой же самостоятельной отраслью научного знания является почвенная биология.

Известно определение почвы, в свое время данное В. В. Докучаевым: "Почвой следует называть дневные, или наружные, горизонты горных пород (все равно каких), естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых". Таким образом, деятельность организмов, в том числе животных, - один из факторов почвообразования.

Ученик В. В. Докучаева В. И. Вернадский, основатель биогеохимии и представлений о биосфере и ноосфере (сфере разума на планете), анализируя различие между живыми и косными (то есть неорганизованными) телами, ввел понятие "биокосных естественных тел". Так он обозначил "закономерные структуры, состоящие из косных и живых тел одновременно" (например, почвы).

Своеобразие почвы, позволяющее рассматривать ее как особое естественноисторическое тело, свойства которого зависят и от населяющих его различных организмов, должно было бы, казалось, привлечь внимание биологов

всех специальностей, в том числе и зоологов. Но этого долго не происходило. Земля - та, что у нас под ногами, - оставалась поистине terra incognita - "землей неведомой".

Отец современной систематики шведский натуралист XVIII века К. Линней различал лишь три категории природных тел: минерал, растение, животное. Докучаев определял почву как "четвертое тело природы" и превратил почвоведение в самостоятельную естественную науку, имеющую свой объект изучения и требующую специфических методов исследования. У Докучаева еще не было достаточных данных, чтобы оценить роль животных в почвообразовании, но мысль об этом уже приходила в голову - не случайно в его экспедициях принимали участие зоологи. А в своем классическом труде "Русский чернозем" ученый приводит данные о численности и массе разных групп вредных почвенных насекомых.

В 1839 году по возвращении из кругосветного плавания на "Бигле" Ч. Дарвин опубликовал первый набросок работы о роли дождевых червей в формировании органического слоя почвы. В 1881 году вышла его книга "Образование растительного слоя деятельностью дождевых червей", над которой он работал почти всю свою жизнь. Примечательно, однако, что слово "почва" Дарвин еще не употреблял.

В. В. Докучаев был знаком с трудом Ч. Дарвина и даже высказывался о нем в работе "Русский чернозем", но считал, что данные английского натуралиста завышены или имеют лишь локальное значение.

Некоторая недооценка роли животных Докучаевым объясняется, во-первых, тем, что он работал летом в степях, где, как известно, климат сухой, а в летнее время деятельность почвенных беспозвоночных, и особенно дождевых червей, в этих условиях не слишком многочисленных, вообще прекращается. Во-вторых, 100 лет назад после блестящих открытий Л. Пастера и бурного расцвета микробиологии разложение остатков растений и животных в почве стали связывать именно с деятельностью микроорганизмов. Успехи молодой науки затмили еще не сформировавшиеся представления о роли животных в этом процессе. И в-третьих, надо учитывать, что точных данных о том, какова численность и масса почвенных животных, во времена В. В. Докучаева, в сущности, не было. Отрывочные же сведения обобщить и экологически осмыслить не представлялось возможным. Да и экология еще не сформировалась как наука.

У истоков науки

Изучая биологию почвы, ученые опирались на громадный практический опыт земледельцев, накопленный за многие тысячелетия.

Люди издавна знали о многих почвенных животных (дождевых червях, кротах, насекомых - вредителях корней) и, не ведая ни о каких микробиологических процессах, на практике заботились о земле, чтобы она была плодородной. Хорошо освоил земледелец и те растения, у которых в пищу шли корневые части (например, свеклу, картофель, маниоку). И таким путем постепенно накапливались знания, которые во второй половине прошлого века положили начало новой отрасли науки - биологии почвы.

Здесь необходимо одно отступление. Середина прошлого века была временем, когда начали понимать, какие же реальные биологические процессы происходят в почве, когда осознали, что почва - живая, постоянно меняющаяся среда и что человек способен регулировать ее плодородие. Такому повороту во взглядах естествоиспытателей в огромной степени способствовали работы выдающегося немецкого химика Ю. Либиха. Именно он, как теперь бы сказали, "чистый" химик, а не биолог, заставил самых разных специалистов обратить пристальное внимание на то, что происходит в почве, заглянуть в эту темную, "грязную", на взгляд обывателя, среду.

Да что там начало девятнадцатого века, время декабристов и разгула крепостного права! Еще и сейчас многие люди с высшим образованием никак не свыкнутся с мыслью, что основа всех экосистем суши, начало всех трофических цепей, основная часть животной и почти вся микробная масса, половина продуцируемого экосистемой белка, 2/3 генетического фонда живых организмов приурочены к почве.

А что же конкретно сделал Ю. Либих? В первые месяцы 1840 года одновременно на французском, немецком и английском языках появилась его книга "Органическая химия в применении к сельскому хозяйству и физиологии" (или просто "Сельскохозяйственная химия"), которая принесла Либиху огромную популярность при жизни и благодарную память потомков. Его работу высоко оценил К. Маркс: "Выяснение отрицательной стороны современного земледелия, с точки зрения естествознания, представляет собой одну из бессмертных заслуг Либиха".

К. Маркс использовал выводы Ю. Либиха в "Капитале", где сказано: "Капиталистическое производство, постоянно увеличивая перевес городского населения, которое это производство скопляет в крупных центрах, накапливает тем самым, с одной стороны, историческую силу движения общества вперед, а с другой стороны, препятствует обмену веществ между человеком и землей, то есть возвращению почве ее составных частей, использованных человеком в форме средств питания и одежды, то есть нарушает вечное естественное условно постоянное плодородия почвы".

Точными химическими опытами Либих доказал, что в состав всех растений входят десять основных элементов: "углерод, кислород, водород, сера, железо, кальций, магний, азот, калий и фосфор. Первыми тремя элементами в достатке снабжают атмосфера и вода: углекислота обеспечивает растения углеродом, а вода - кислородом и водородом. Остальные элементы, минеральные, поставляет земля. Анализы почвы убедили Либиха, что она может в достатке дать растениям все нужные элементы, кроме азота, фосфора, калия. И был сделан правильный вывод, который вроде бы напрашивался сам собой, но никем ранее не был ни четко осознан, ни методически "чисто" доказан, ни недвусмысленно высказан: для поддержания плодородия почвы надо постоянно вносить в нее эти элементы причем столько, сколько она теряет, "выдавая" сельскохозяйственную продукцию.

Доказательство необходимости возвращения полям утраченных ими минеральных веществ, а следовательно, производства и применения минеральных удобрений - главная заслуга Либиха. Существовавшую в его время систему земледелия он называл "системой грабежа" и приводил яркие

примеры: "Действия земледелия, основанного на грабеже, нигде не были так очевидны, как в Америке, где первые колонисты в Канаде, в штате Нью-Йорк, в Пенсильвании, Виргинии, Мэриленде и т. д. находили пространства земли, доставлявшие вследствие одной вспашки и после того много лет подряд постоянные урожаи пшеницы и табака, причем земледельцу вовсе не нужно было думать о возвращении полям того, что он у них отнимал в составе хлеба и табачных листьев.

Все мы знаем, что стало с этими полями. Менее чем в течение двух поколений эти столь богатые нивы были превращены в пустыни, и во многих районах они были приведены в такое состояние, что даже после оставления их под пар в течение целого столетия они уже не давали более вознаграждающих урожаев зерновых".

Увы, такая порочная система земледелия и сейчас еще практикуется во многих районах Земли, где минеральные удобрения из-за их высокой стоимости недоступны миллионам мелких единоличных крестьянских хозяйств. Между тем уже земледельцы древности знали, что поля нужно удобрять.

В XIX веке на помощь практике пришла теория, объяснившая, как биогенный, то есть вызванный живыми существами, круговорот элементов осуществляется в природе. Оказалось, что растения лишь одно из звеньев в этом сложном механизме: они обеспечивают синтез органических веществ, избирательное накопление отдельных элементов. Основным потребителем живых тканей растений и части их мертвых остатков выступают животные, а трупы животных и значительную долю остатков растений перерабатывают микробы, доводя разложение до простейших химических соединений и возвращая почве то, что когда-то поглотили растения. Так совершается биологический, или биогенный, круговорот вещества.

А составными звеньями этого круговорота в почве является "великая триада": микроорганизмы, корни высших растений и почвенные животные.

Немалая заслуга в изучении почвы принадлежит Д. И. Менделееву. Его как исследователя интересовали прежде всего методы рационального ведения сельского хозяйства. Еще в студенческие годы он опубликовал в "Журнале Министерства народного просвещения" такие работы, как "Влияние азотнокислых солей на растения", "Откуда берется азот в растениях".

В апреле 1866 года на заседании Вольного экономического общества России Менделеев предложил программу возделывания опытных полей. Общество ассигновало на эти опыты около 7 тысяч рублей. Так удалось, хотя средства были и невелики, организовать в России четыре опытных поля. Наблюдения вели ученики и знакомые Д. И. Менделеева: К. А. Тимирязев - в Симбирской губернии, Г. Г. Густавсон - в Смоленской, Т. А. Шмидт - в Московской, А. В. Советов - в Петербургской. По точности и многосторонности, географическому подходу менделеевские опыты стали исключительным событием не только для России, но и для всего мира.

Думая о будущем России, ученый ставил такие проблемы развития сельского хозяйства, осуществление которых стало возможным лишь в советское время. Это - введение травопольных севооборотов с системой удобрений, механизация сельскохозяйственных работ, мелиорация и орошение, полезащитное лесоразведение. Он писал:

"Наибольшего и наивернейшего успеха, по моему мнению, можно ждать от устройства орошения больших пространств земли по сухим в климатическом отношении берегам низовьев Волги, Урала, Дона и Днепра. Особую важность во всех отношениях... должно иметь устройство обширных площадей орошения по берегам Волги..."

Вера в неисчерпаемые возможности позволила ему сделать вывод, правильность которого подтверждена историей: "Сила народная будет определяться умелым сочетанием индустрии и сельского хозяйства".

Незримые соседи

Микроорганизмы - мельчайшие живые существа, в большинстве своем одноклеточные, были открыты голландцем А. Левенгуком в конце XVII века. Левенгук создал уникальные микроскопы, имея в объективе всего лишь одну двояковыпуклую линзу, они давали увеличение в 250-300 раз. Очень долго прогресса в изучении этого загадочного живого мира не наблюдалось, пока гениальный французский ученый Л. Пастер не проник в тайны многих процессов в природе, регулируемых микробами. К этому времени, середине XIX века, были созданы вполне пригодные для повседневной работы микроскопы, а знаменитый немецкий микробиолог Р. Кох, современник Л. Пастера, придумал ряд простых приемов, позволяющих не только изучать, но и культивировать микробы. Эти приемы используются в лабораториях и поныне.

Незримый мир бактерий, риккетсий, вирусов, лучистых грибов и плесневых грибов, дрожжей и других микроорганизмов повсюду окружает нас. Воздух, которым мы дышим, вода в прудах, озерах, морях и океанах, почва, дающая жизнь растительному царству, руда, из которой выплавляется металл, пищевые продукты, приобретенные на рынке или в магазине, книга, которую мы читаем, и рука, переворачивающая очередную страницу, густо населены микроорганизмами. Они живут в самой глубокой океанской впадине и на высочайшей земной вершине - Эвересте, их находят во льдах Арктики и Антарктиды и в подземных источниках горячих вод.

Их обнаружили в пробах воздуха, взятых на высоте 85 километров геофизическими ракетами, и в охладительных контурах атомных реакторов.

Тысячи лет назад люди научились использовать процессы брожения для получения сыра, кваса, хлеба. Но то, что брожение вызывают особые микробы и что они обычный компонент почвенной микрофлоры, стало известно лишь в середине прошлого века благодаря гигантским успехам микробиологии.

Основы ее заложил Л. Пастер. Остроумнейшими опытами он опроверг прежнее представление о самозарождении микробов. Ученый показал, что брожение, гниение и заразные болезни вызываются особыми микробами.

Он предложил простые способы обеззараживания продовольственных продуктов и хирургических инструментов; эти способы с тех пор так и называются по имени автора - пастеризацией.

В мире микробов действуют те же законы, что и в остальной живой природе. И здесь идет жестокая повседневная борьба за существование, борьба за пищу и место, за право оставить потомство.

У микробов для защиты и нападения есть и свое оружие. Это химические вещества, которые образуются и накапливаются внутри клетки или выделяются в окружающую среду. Но микробы враждуют не только с внешним миром, а и между собой. Этот антагонизм между микроорганизмами как внутри одного вида, так и между разными видами отметил впервые Л. Пастер в 1877 году.

-И вскоре возникла мысль использовать этот антагонизм для лечения инфекционных заболеваний. Ее всесторонне и глубоко обосновал И. И. Мечников. Он доказал, что молочнокислые микробы подавляют развитие вредных гнилостных бактерий, обитающих в кишечнике животных и человека. Ученый полагал, что хроническое действие ядовитых продуктов гниения и маслянокислого брожения в кишечнике приводит к преждевременному старению. И он предложил использовать болгарскую простоквашу и применяющиеся при ее изготовлении молочнокислые бактерии для лечения кишечных заболеваний.

Это была первая в истории науки успешная попытка применения микробов-антагонистов и продуктов их жизнедеятельности для лечения и предупреждения заболеваний, вызванных другими микробами.

В Пастеровском институте, созданном в 1888 году в Париже на средства, собранные по международной подписке, была организована и первая в мире лаборатория почвенной микробиологии. Ее возглавил русский ученый С. Н. Виноградский (1856-1953). Основоположник почвенной микробиологии, он в 1890-1892 годах доказал, что микроорганизмы могут создавать органическое вещество из неорганического соединения - углекислоты, используя энергию окисления минеральных веществ, например окисления аммиака в азотную кислоту. А в 1953 году, также впервые в мире, была организована кафедра микробиологии почв на биолого-почвенном факультете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Первым заведующим кафедрой стал Н. А. Красильщиков - член-корреспондент Академии наук СССР, удостоенный в 1951 году Государственной премии СССР за работы по изучению микробов как организмов, способных создавать антибиотики.

Мы редко задумываемся о том, насколько лик нашей планеты зависит от деятельности микробов. А между тем именно эти организмы, появившиеся задолго до растений и животных, смогли из газов первичной атмосферы Земли (метана, водорода, аммиака, углекислоты, водяного пара) образовать ту привычную для нас атмосферу, где 78 процентов приходится на молекулярный азот, а 21 - на кислород. Со временем высшие растения заняли место микробов, которые, правда, тоже могли использовать солнечный свет, но, вероятно, не столь эффективно. Однако высшие растения не способны усваивать молекулярный азот, и без содружества с микробами они не смогли бы существовать долгое время. А животные?

Микроорганизмы населяют желудочно-кишечный тракт животных и человека, и без них невозможны важные биохимические процессы превращения веществ, биосинтез аминокислот, витаминов и других необходимых биологически активных соединений. Почвенные микробы также тесно взаимодействуют с почвенными животными.

Еще в начале нашего века известный польский микробиолог К. Бассалик исследовал микробы, обитающие в кишечном канале дождевых червей. В ту

пору было известно, что черви пропускают через кишечник огромное количество земли, но никто не знал, как это отражается на почве. К. Бассалик доказал, что в кишечнике червей происходит гумификация - превращаются в перегной такие органические соединения, как целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, и что в этой специфической среде постоянно обитает около 90 видов микробов.

Позднее подобные наблюдения проводились и над другими животными. Оказалось, например, что у термитов, являющихся основными разрушителями растительного - опада (опавших листьев, плодов, ветвей) в тропиках, жизнь и пищеварение целиком зависят от микроорганизмов, которые обитают в кишечниках этих насекомых.

Очень показателен пример жвачных животных. В обиходе принято считать, что они питаются растительной пищей - травой, сеном, силосом и т. д. На самом деле теленок, корова, так же как ягненок или баран, усваивают в основном не сами растительные корма, а продукты переработки этих кормов микробами (бактериями, инфузориями, грибами, в том числе дрожжами).

Трава, сено, силос, съеденные теленком, коровой или быком, после разжевывания попадают в преджелудки, рубец, сетку и книжку, где становятся добычей великого множества микробов. Преджелудки и главная их часть рубец - это не что иное, как своего рода биохимический завод, в котором мириады микробов днем и ночью преобразуют углеводистые и азотистые вещества кормов в высокоценный белок, аминокислоты, витамины и другие питательные вещества, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма животного.

У взрослых быка или коровы емкость рубца составляет от 100 до 250 литров, а в каждом миллилитре рубцовой жидкости насчитывается от 8 до 15 миллиардов бактерий, иногда же их количество достигает 40-46 миллиардов. Под действием микробных ферментов в преджелудке переваривается от 70 до 80 процентов сухих веществ корма. Полагают, что от 50 до 80 процентов азотистых веществ рациона перерабатывается в микробный белок, который и служит для животного организма источником аминокислот.

Таким образом, жвачные животные питаются не столько белком кормов, сколько более ценным белком микроорганизмов. В рубце коровы за сутки синтезируется от 700 до 900 граммов бактериального белка, а в рубце овцы от 20 до 100 граммов. При среднем удое в 20 килограммов корова выдает с молоком за сутки около 700 граммов белка. Следовательно, этот расход может полностью покрываться микробным белком, поступающим из рубца. Поэтому экологи говорят о "внутренних пищевых цепях" в организме жвачных. Но такие же процессы свойственны и другим травоядным животным, в том числе многим почвенным, которые заметную часть белкового питания получают, переваривая микробов.

Трофические (пищевые) цепи всего населения планеты начинаются с растений и микроорганизмов, которые в результате фотосинтеза или хемосинтеза продуцируют, создают из простых минеральных веществ очень сложные органические вещества, богатые связанной энергией солнечных лучей или химических соединений.

Далее пищевые цепи включают растительных и животных. Они поедают организмы, создающие первичное органическое вещество (продуценты), и, в свою очередь, служат пищей для плотоядных (например, мелких хищников, которые часто сами становятся кормом для более крупных хищников, настигающих свою жертву на лету, на бегу или в воде). Сюда же относятся паразиты животных.

Закрывают пищевые цепи сапрофаги (от греческих слов "сапрос" - гнилой и "фагос" - пожиратель).

В основном это микроорганизмы - бактерии и грибы, которые питаются трупами, растительным опадом, постепенно разлагая, минерализуя органические вещества и возвращая их в мир неживой природы. Среди сапрофагов - множество почвенных животных, которые переваривают мертвые ткани растений вместе с заселяющими их микробами. Но окончательное разложение и самих животных - сапрофагов, и их экскрементов выпадает на долю микробов.

Академик А. М. Уголев обратил внимание, что процессы поглощения и распада органических веществ в природе на всех уровнях трофической цепи, на всех уровнях организации биологических систем имеют очень много общего. Сейчас происходит становление новой научной дисциплины - трофологии, которая изучает закономерности ассимиляции (то есть поглощения и усвоения) веществ живыми организмами на всех уровнях.

Доказано, что, несмотря на фантастическую разницу в масштабах явлений, которые происходят на клеточном уровне, в организме или в биосфере в целом, многие закономерности ассимиляции универсальны. Взять хотя бы такой процесс, как деполимеризация (гидролиз, переваривание) пищевых продуктов, в результате чего уничтожается их специфичность, принадлежность определенному виду животных или их органу, и образуются такие формы утилизируемых веществ, которые могут транспортироваться через клеточные мембраны. Сравнительно недавно стало понятно, что у всех живых организмов - от бактерий до млекопитающих - есть три основных типа пищеварения: внеклеточное, мембранное и внутриклеточное.

При внеклеточном пищеварении клетка выделяет растворимые ферменты "наружу", где они разрушают крупные молекулы и агрегаты пищевых веществ, осуществляя их начальное переваривание. Ферменты, которые связаны с клеточной мембраной, гидролизуют мелкие молекулы и способствуют всасыванию полученных полупродуктов. После того как эти вещества проникли внутрь клетки, их переваривание завершают ферменты в цитоплазме или в специальных полостях - вакуолях.

Поразительно сходны у всех живых существ, включая бактерии и дрожжи, механизмы переноса пищевых веществ через клеточные мембраны. Это единство механизмов переваривания пищи, как и единство химического состава организмов, является основой, на которой разные живые существа могут находить между собой "общий язык", совместно или поэтапно ассимилировать одну и ту же пищу, например растительные ткани.

Но нам бы хотелось обратить внимание на другое: именно благодаря деятельности микроорганизмов смогла возникнуть на суше основа существования растений, животных и человека - плодородная почва. Не

случайно в земледелии многие приемы агротехники направлены на создание благоприятных условий для деятельности почвенной микрофлоры, от которой зависит урожай.

По своей численности и плодovitости микробы значительно превосходят все другие организмы, вместе взятые.

И по своим функциям микробы служат опорой всего живого - ведь они важнейшие звенья в круговороте веществ на планете. Да и по возрасту они самые древние среди живых существ.

И вот что любопытно: животные и растения не могут существовать ни друг без друга, ни без микробов. Микробы же не нуждаются в чужих соседях. Два миллиарда лет назад только они одни и существовали на нашей планете. Все другие формы жизни возникли не более одного миллиарда лет назад, причем и растения и животные могли произойти лишь от тех же самых микробов.

С микробами теснейшим образом связаны и высшие растения.

В середине XIX века одной из острых проблем практического земледелия было обеспечение почвы азотом в доступной растениям форме (атмосферный молекулярный азот они не усваивают). И здесь давний практический опыт заставил приглядеться к бобовым растениям, особенно к клеверу, поскольку было доказано, что они обогащают почву азотом. Но как это происходит?

Руководитель одной из сельскохозяйственных опытных станций в Германии Г. Гельригель в 80-х годах прошлого столетия обнаружил, что атмосферный азот бобовые растения усваивают благодаря особым клубенькам на их корнях. Гельригель предположил, а затем доказал экспериментально, что фиксируют азот не сами бобовые растения, а какие-то еще неизвестные в то время микроорганизмы, которые являются симбионтами (сожителями) растений.

Заслуга же открытия клубеньковых бактерий принадлежит русскому микробиологу М. С. Воронину, который в 1866 году опубликовал подробнейшее описание возникновения клубеньков на корнях ольхи и люпина и развития микроорганизмов в этих клубеньках. Гельригель знал о работах Воронина и опирался на установленные им факты. Работы Воронина вызвали оживленную полемику в научных кругах: не все приняли его вывод о бактериальном происхождении клубеньков, некоторые полагали, что здесь присутствуют споры гриба или же "выродившиеся" грибы.

Вопрос этот окончательно решен был лишь выдающимся голландским микробиологом М. Бейеринком, который взялся проверить данные Воронина. Довольно быстро Бейеринк убедился, что в клубеньках бобовых живут действительно бактерии, но он пошел значительно дальше и получил чистую культуру этих бактерий в специально разработанной им среде. В своем капитальном исследовании "Бактерии из клубеньков бобовых растений", опубликованном в 1888 году, Бейеринк подробно описал выделенную бактерию и дал ей латинское название *бациллюс радициола* (корневая бацилла).

Между тем агрохимики доказывали, что в почвах происходит накопление азота и без участия бобовых растений. Например, А. Н. Энгельгардт, ученый-химик, пропагандист агрохимии в России, автор популярной в свое время книги "Химические основы земледелия", утверждал, что луга обогащаются азотом независимо от наличия бобовых культур. Такие же наблюдения были сделаны в Германии, Франции и Англии. И только после того, как С. Н. Виноградский

показал, что выделенная им бактерия клостридиум может усваивать молекулярный азот воздуха, а затем и получил эту бактерию в чистой культуре, наука и земледелие получили ясный ответ: связанным азотом, который доступен растениям, почву обогащают микроорганизмы.

Но благотворное влияние невидимок на почву, а следовательно, и на весь зеленый мир планеты не ограничивается фиксацией молекулярного азота. Микробы разрушают трупы животных, остатки корней, стеблей и листьев растений и превращают мертвое органическое вещество в плодородный гумус, или перегной. Многие органические вещества они преобразуют в более простые минеральные вещества, растворимые в воде и поэтому доступные для растений. Так обеспечивается на Земле непрерывность процессов образования все новой и новой органической, живой материи. И неудивительно что многие приемы современной агротехники направлены на интенсификацию микробиологических процессов в почве.

Начала почвенной зоологии

Почвенная зоология развилась на стыке зоологии и почвоведения. Зоология - одна из старейших отраслей естествознания, зародившаяся в глубокой древности и нашедшая отражение уже в трудах великого энциклопедиста античного мира Аристотеля. Почвоведение же - сравнительно молодая наука, получившая признание и современное развитие благодаря трудам замечательного русского естествоиспытателя В. В. Докучаева.

Роль животных в круговороте веществ в природе известна натуралистам давно. К. Линней писал, что в тропиках три мухи с их потомством съедают труп лошади быстрее, чем лев. Английский естествоиспытатель В. Кирби в 1800 году описал процесс разрушения мертвых деревьев в лесу и участие в нем насекомых и грибов примерно так же, как ученые, вернувшиеся к этой проблеме через полтора столетия.

Наблюдения петербургского профессора П. А. Костычева, современника В. В. Докучаева, показали, что именно деятельность животных (в его опытах личинок грибных комариков) способствует превращению гниющих листьев в аморфный перегной. Без животных, если разложение происходит только при участии грибов и бактерий, листья много лет сохраняют свою структуру.

И. И. Мечников в 1880 году писал, что в наших степных районах личинки жука кузьки и близких видов играют такую же роль, как и дождевые черви в более влажных районах. И немудрено, что в последних трудах В. В. Докучаева мы уже читаем: "Попробуйте пройти по такой целинной древней степи и вырезать из нее кубик почвы, увидите вы, что в нем больше корней, трав, ходов жучков, личинок, чем земли. Все это бурлит, сверлит, точит, роет почву, и получается несравнимая ни с чем губка". Так изменились взгляды В. В. Докучаева менее чем за 20 лет!

Немецкий исследователь Р. Франсэ в 1912 году на страницах нашего старейшего журнала "Почвоведение" выступил со статьей, где говорилось о взаимосвязанных, обеспечивающих циркуляцию материи организмах, никогда не оставляющих почву, - сообществе, аналогичном планктону водоемов.

Почвенная фауна привлекала все большее внимание, методы исследования совершенствовались. Итальянский зоолог А. Берлезе в 1905 году предложил

новый способ быстрого извлечения мелких членистоногих из проб почвы и других субстратов, а когда в 1918 году для нагрева почвы датчанин А. Тульгрэн применил в приборе электрическую лампочку, метод получил название "автоматической выборки". Новые приемы, позволяющие учитывать живущих в почве личинок, ввели у нас в практику З. С. Головянко и другие энтомологи.

В начале XX века в разных странах стремительно накапливались материалы, касающиеся почвенных беспозвоночных.

В 30-е годы уже было собрано довольно много сведений о численности ряда групп животных в почвах разного типа, под различного типа растительностью, об экологических требованиях некоторых представителей почвенной фауны, об их деятельности в почвах и т. д. Все это позволило М. С. Гилярову обобщить разрозненные материалы, опубликованные в советской и зарубежной печати, и дать в 1939 году в журнале "Почвоведение" краткие обзоры: "Почвенная фауна и жизнь почвы" и "Влияние почвенных условий на фауну почвенных вредителей".

Эти статьи привлекли внимание почвоведов Московского университета, и автору предложили организовать при почвенном отделении геолого-почвеняого факультета небольшую лабораторию. Там он составил первую сводку по методам количественного учета групп почвенных беспозвоночных. В этот период проводились исследования взаимосвязи численности почвенных животных, микроорганизмов и корневой массы.

В 1956 году в Институте эволюционной морфологии и экологии животных имени А. Н. Северцова Академии наук СССР в Москве была создана первая в мире специализированная лаборатория почвенной зоологии. Она и по сей день - центр почвенно-зоологических работ в нашей стране.

По мнению М. С. Гилярова, почва представляет собой особую среду обитания, которая для многих групп животных оказалась переходной от водного образа жизни к наземному. Посвященная этой проблеме монография "Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых", изданная в 1949 году, способствовала рождению новой отрасли биологии почвенной зоологии. Несколько позже стали появляться специальные книги по почвенной зоологии в ГДР, Австрии, Ашлии, Франции, ФРГ, ЧССР, Польше и других странах.

Деятельность животных в почвах многообразна. Они не только непосредственно перерабатывают растительный опад, но и стимулируют активность микроорганизмов. При отсутствии животных микробы разлагают опад в два-шесть раз медленнее, он накапливается на поверхности, в лесах резко возрастает опасность пожаров. Рассеивая экскременты по поверхности и в толще почвы, животные разносят и микробов, создают благоприятные очаги для их размножения и деятельности.

Л. С. Козловская в Карелии описала своеобразные отношения между почвенными беспозвоночными и микроорганизмами на примере животных торфяных почв.

При прохождении пищи через кишечник животных одни группы микроорганизмов стимулируются, другие подавляются. При этом либо стимулируется активность разрушителей клетчатки, либо, наоборот, разложение клетчатки подавляется и интенсифицируется трансформация соединений,

содержащих азот, с последующим образованием молекул гуминовых соединений. В кишечнике сапрофагов создаются благоприятные условия для массового развития тех или иных представителей микрофлоры.

В процессе трансформации органического вещества большое значение имеет деятельность микроорганизмов-аммонификаторов, фиксаторов молекулярного азота и разрушителей клетчатки. Почвенные беспозвоночные успешно сожительствуют с представителями всех этих групп микрофлоры.

Пропуская через кишечник массу растительных тканей, животные размельчают их и тем самым многократно увеличивают суммарную поверхность растительного материала, доступную микроорганизмам, а также воздействию воздуха и воды.

С помощью собственных ферментов и ферментов симбиотических микроорганизмов беспозвоночные расщепляют целлюлозные компоненты клеток и высвобождают лигнин, который находится в сложном соединении с клетчаткой, что имеет большое значение для развития процессов гумификации органических остатков в почве.

В ходе пищеварения в кишечнике почвенных беспозвоночных происходит частичная минерализация растительных остатков, а у некоторых групп - и частичная гумификация. Экскременты животных - одна из составляющих почвенного гумуса.

Многие почвенные животные заглатывают вместе с органическими пищевыми веществами минеральные частицы почвы, способствующие перетиранию в кишечнике пищи. Проходя через кишечник, минеральные частицы (глинистые, песчаные) перемешиваются, спрессовываются и склеиваются выделениями кишечника, образуя разной величины зернистые комочки. И чем их больше, тем плодороднее почва.

Совершая вертикальные миграции в почве, животные заносят растительные остатки в глубокие горизонты и перемешивают органические и минеральные частицы. Передвижения животных способствуют и улучшению аэрации почвы, что в первую очередь стимулирует аэробные процессы разложения органических остатков.

Корни растений

В обычной почве очень много корней. Мы в этом воочию убеждаемся, когда видим бурты выкопанного картофеля, сахарной свеклы или же маниоки и батата в тропиках. Но не меньше их в естественных, "диких" условиях.

Несколько цифр.

В кустарниковых тундрах масса корней достигает 200-300 центнеров на гектар, что составляет около 80 процентов массы всего растительного покрова.

В лесах на долю корней приходится не столь большая часть всей массы растений (15-30 процентов), поскольку слишком велика здесь масса стволов и ветвей деревьев. И все же абсолютные величины стоят того, чтобы о них упомянуть. В тайге это 300-800, в дубравах несколько больше, а в субтропических и тропических лесах масса корней достигает 900-1000 центнеров на гектар.

Корни проникают в глубину почвы на многие метры, поставляя растениям воду и растворенные минеральные вещества. Корневые системы растений оказывают очень сильное влияние на химический состав и физические свойства почвы, ее проницаемость для воды и воздуха, на образование гумусовых веществ и их распределение.

Корни участвуют в разложении минералов почвы, снабжают органическим веществом большинство почвенных микробов и животных.

Очень важна и способность корней выделять органические растворы экскретов. Они вызывают глубокие изменения в химическом составе почвенной среды, влияют на жизнь микробов, животных, на жизнь других растений.

Изучение физиологии корней, их роли в питании надземной части растения насчитывает почти два с половиной столетия: первая книга на эту тему появилась во Франции в 1758 году. Большой вклад в изучение корневых систем растений внесли наши известные почвоведы Д. Н. Прянишников, В. Р. Вильямс, Н. А. Качинский, С. П. Костычев.

Самые ближайшие к корню слои почвы, так называемая ризосфера, служат ареной бурной микробиологической активности бактерий, актиномицетов, грибов, водорослей и микроскопических животных: простейших, нематод, колероваток. Микробов привлекают не только органические вещества, выделяемые корнями, но и сами корни, живые и отмирающие. А животные равнодушны еще и к самим микробам, которыми они питаются.

Корни любого растения выполняют множество функций: с них создают опору для всего растительного организма, закрепляя его в почве, они поглощают воду, минеральные вещества, в корнях происходит синтез многих органических соединений, через корни выделяются продукты обмена. Для моркови или свеклы корень - место хранения запасов, для осины или сирени - орган вегетативного размножения: от корней идут новые побеги.

"Рабочий орган" корней - корневые волоски - выросты клеток поверхностного слоя молодого корня. Они увеличивают всасывающую поверхность корней, выделяют ненужные вещества, служат опорой для растущей верхушки корня.

Удивительным образованием является микориза (порусски - грибокорень) взаимовыгодное сожительство гриба с корнем высшего растения, например гриба подосиновика с осинкой или подберезовика - с березой.

Корневые волоски живут недолго, обычно один сезон.

По мере роста корня на его верхушке все время образуется зона новых корневых волосков, а старые отмирают.

Строение корней разных растений почти так же разнообразно, как и строение надземных частей. У деревьев многие корни живут десятилетия, даже столетия, а у степных трав после плодоношения вся корневая система может полностью отмирать.

Полагают, что количество растительной массы, создаваемой зерновыми культурами, составляет 60-110 центнеров на гектар, а отношение надземной массы к корневой в среднем равно 4:1. Так, в частности, обстоит дело с пшеницей, ячменем, кукурузой, овсом. Но нет ничего более утомительного, чем изучение продуктивности корневых систем в полевых условиях. Методика здесь сложна, кропотлива, а ошибки все же возможны, так как отмыть (а без этого

невозможно изучать корневые системы) самые мелкие корешочки не всегда удается.

В песчаных пустынях масса корней во много раз, иногда в 10-20, превышает массу надземной растительности.

В прериях Северной Америки ежегодно обновляется около 0,5 килограмма корней на каждом квадратном метре почвы, или 25 процентов их биомассы. Отмирающие органические вещества пополняют запас перегноя в почве, но чтобы "набрать" современное содержание гумуса, требуется столетие для верхней и около шестисот лет для нижней части почвенного слоя. Разница объясняется тем, что большинство корней сосредоточено в самом верхнем слое, в глубину проникают немногие, а значит, и мала их масса; в глубине к тому же медленнее идут процессы обновления.

Каждый вегетационный сезон происходит нормальное природное отмирание корней и у плодовых растений (корнепад) или циклическое обновление, смена корневой системы.

Мы не всегда отдаем себе отчет, в каких гигантских количествах корни "пьют" воду, а цифра - весьма внушительна: для леса она равна почти 10 тысячам тонн на гектар.

Многие корни используются в пищу человеком, а еще чаще - дикими животными, поскольку содержат крахмал, сахара, масла, витамины. Существуют даже специализированные животные, например слепыши, которые питаются только корнями растений, для чего проделывают в почве длинные ходы.

Сложные и многообразные отношения складываются между корнями и почвенными беспозвоночными. Беспозвоночные - сапрофаги проделывают исключительно важную работу, вместе с микробами утилизируя мертвые корневые остатки, освобождая место и питательные вещества для нового поколения растений. Прокладывая подземные лабиринты, они облегчают корням проникновение в глубину, обеспечивают их воздухом и водой.

Но эти отношения далеко не всегда складываются к обоюдной пользе. Многие беспозвоночные, особенно личинки насекомых, питаются живыми корнями растений.

Перегрызая корни всходов и сеянцев, особенно у молодых посадок сосны, у свеклы, хлопчатника, насекомые способствуют их заболеванию или даже гибели. Так, за "чахотку" табака в Крыму принимали повреждения корней личинками жука песчаного медляка, настолько были похожи симптомы у заболевших растений и тех, которые пострадали от этих личинок. Личинки долгоносиков сит он развиваются в клубеньках на корнях бобовых там же, где и клубеньковые бактерии, и это тоже вредит растениям.

Однако даже такие обитатели почвы наносят не только ущерб: и они прокладывают растениям ходы, выедают подгнившие участки корня, способствуют расселению полезных микроорганизмов, экскременты животных служат питательной средой микробам. Правда, не все такие микробы полезны. Порой животные заражают растения вредными микробами, которых заносят в поврежденные участки корня, например нематоды, личинки луковой мухи и луковой мухи-журчалки. Но и корни своими выделениями создают иногда непригодные условия для жизни животных.

На этом основан один из методов борьбы с вредителями растений, которые разыскивают в почве нужные им растения по их "запаху" - корневым выделениям.

Выращивание нескольких сельскохозяйственных культур на одной и той же площади приводит к изменению популяции вредителей, - так утверждает группа биологов из Кембриджского университета. Дело в том, что взрослые насекомые не прочь поживиться и за счет других растений, которые, однако, оказываются совсем неподходящими для них. Обнаружив ошибку, вредители поспешно убегают, не успевая подчас отложить яйца.

В этом смысле защитником капусты может выступить фасоль, а моркови лук, который не только отвлекает внимание вредителей, но и блокирует их обоняние острым запахом.

И наконец, надо сказать о дыхании корней. Ведь выдыхаемая углекислота может в почве, где затруднен газообмен, достигать концентрации 10-12 процентов против 0,03 процента в атмосферном воздухе. Все ли животные способны это выдержать?

Так непросто складываются в почве отношения между корнями, микробами и растениями.

Живое прошлое и эволюция почв

Почвы изменяются со временем. Об этом известно любому земледельцу, который, заботясь о плодородии почвы, заправляет ее удобрениями, поддерживает комковатую структуру. Если этого не делать, плодородие иссякает, разрушается водопропускная структура, убывает гумус.

Постоянные изменения почв происходят и без воздействия человека. И такие изменения наглядны, их легко наблюдать: на чистых песчаных наносах поселяются растения, за ними другие, и вот уже песок закреплен, он медленно превращается в почву. Или обнажилась скальная поверхность. Прошло время, и ее заселили лишайники, потом мхи, за ними травянистые растения, и в скором времени образовался слой почвы, в котором успешно поселяются первые деревья.

Во всех этих явлениях действующей силой выступают живые организмы: сначала микробы, затем лишайники, мхи и высшие растения. Им всюду сопутствуют и почвенные животные: простейшие, нематоды, клещи, ногохвостки, личинки насекомых и дождевые черви.

При этом горная порода превращается в почву, все более мощную, все более богатую гумусом.

Было бы неправильным не видеть в этом процессе, называемом эволюцией почвы, также действия атмосферного воздуха, воды и растворенных в ней химических веществ. Наконец, в современную эпоху, названную в начале века известным нашим геологом академиком А. П. Павловым антропогенной, то есть определяемой деятельностью человека, на почвенный покров все большее влияние оказывает человек.

Русскому почвоведению, начиная с работ В. В. Докучаева, было всегда присуще понимание динамики почвенного покрова, изменения почв в пространстве и во

времени. В советское время вопросы эволюции почв не раз широко обсуждались, причем иногда эти обсуждения были очень бурными.

Не чужды эти идеи и работам зарубежных почвоведов. Особенно подробно динамика почвообразования, эволюция почв рассмотрены в книге французского почвовед-а профессора Филиппа Дюшофура, переведенной в 1970 году на русский язык. На большом материале Ф. Дюшофур показывает, как под влиянием эволюции минеральной части почвы, ее глин, органического вещества, органо-минеральных комплексов, ионных равновесий в почвенном растворе, влиянием растительности на биологический цикл элементов меняются во времени почвы холодного, умеренного и жаркого климата. Ученый предлагает убедительные схемы стадийного развития почв в условиях избытка воды, кальция, натрия, железа и других компонентов. (Менее подробные, но удобные и вполне обоснованные схемы строили и наши почвоведы, одну из них в 1911 году предложил П. С. Коссович, другую в 1927-м - С. А. Захаров.)

Нашли последователей среди почвоведов и идеи яркого американского геоботаника Ф. Клеменса, который в развитии растительности различал промежуточные стадии (сукцессии) и заключительную устойчивую фазу (климакс).

В нашей стране горячо обсуждались взгляды В. Р. Вильямса о "едином почвообразовательном процессе". Все зональные типы почв ученый рассматривал в качестве стадий, этапов единого процесса.

В работах советских почвоведов в 30-е годы, в том числе Н. П. Ремезова, В. А. Ковды, С. В. Зонна, были описаны конкретные случаи эволюции почв в лесах, степях. В трудах нынешних почвоведов идеи эволюции почв нашли отражение в классификации почвенных типов, где учтены особенности современных почвенных процессов ("почва-момент") и реликтовых свойств, оставшихся от прошлого ("почва-память").

Особое место в исследованиях по эволюции почв занимает небольшая книжка профессора А. А. Роде "Почвообразовательный процесс и эволюция почв", увидевшая свет в Москве в 1947 году. Алексей Андреевич здесь не только четко систематизировал все имевшиеся в науке на тот период данные об эволюции почв, но и определил ее движущие силы. Он выделил четыре фактора эволюции:

- действие сил внешних по отношению к биогеоценозу;
- воздействие соседних биогеоценозов;
- саморазвитие почв из-за действия внутренних сил в биогеоценозе;
- филогенез растений и других живых организмов, обладающих новыми геохимическими особенностями.

Последнее обстоятельство первым среди почвоведов отметил А. А. Роде. А ведь именно оно является главной движущей силой эволюции почв в масштабах геологической шкалы времени.

Авторы имели удовольствие не раз обсуждать с Алексеем Андреевичем вопросы эволюции почв во время экспедиций в черноземной зоне России, в Западном Казахстане. Этот удивительно обаятельный человек и энциклопедически образованный ученый прекрасно разбирался не только в вопросах почвоведения, но и в зарождавшейся в 50-е годы биогеоценологии.

Он неоднократно подчеркивал, что почвы по тем масштабам времени, которыми пользуются геологи, - эфемеры, образования с недолгой жизнью. До него такого

четкого представления у почвоведов не было. В общих словах подобные идеи высказывались, но Роде конкретно показал, в чем заключается движущая сила эволюции жизни для почвообразовательного процесса.

Растения, которые обеспечивают значительную часть биогенного круговорота на суше, избирательно накапливают отдельные элементы и соединения. Большинство современных растений создает круговорот веществ, в котором на первом месте стоят азот, фосфор, калий, кальций, магний и натрий, на втором - кремнезем, а на третьем - разные окислы, изредка хлор и сера. А вот древнейшие растения - хвощи и плауны резко отличаются по своему зольному питанию. Хвощи накапливают в первую очередь кремнезем, а плауны - глинозем. Нетрудно сделать вывод, что характер почвообразования под палеозойскими хвощовыми и плауновыми лесами был иным, нежели сейчас.

На это обстоятельство обращал внимание академик Л. С. Берг в работе о происхождении уральских бокситов. Он полагал, что глинозем избирательно накапливался растениями карбонового периода, но в почвоведении эта идея ранее не рассматривалась.

Заключая главу о факторах эволюции почвы, А. А. Роде писал: "...в трех из четырех намеченных нами возможных случаев эволюции движущей силой эволюции является растительность или - шире - живое вещество". Именно эволюция живого покрова - "биоты", как сейчас говорят, является постоянно действующим фактором активного изменения биогеоценоза, а с ним и почвы.

Есть даже смелые гипотезы, что жизнь возникла именно в грунте первичных материалов Земли, что древнейшие существа планеты - почвенные микробы, что именно сын появились первыми в земном реголите - грунте, похожем на грунт Луны. Кстати, низшие растения действительно могут расти на грунте такого состава, это доказано экспериментально.

В едином многоплановом процессе почвообразования ученые часто выделяют отдельные элементы, из которых этот процесс складывается. Советские почвоведы предложили схемы классификации таких элементов, которые профессор А. А. Роде обозначал как микропроцессы почвообразования, а известный географ академик И. П. Герасимов называл элементарными процессами почвообразования.

А. А. Роде под микропроцессами подразумевал простейшие реакции и явления, на которые может быть разложен каждый из процессов образования почвы. Он подразделял их на три группы. Первая - обмен веществом и поступление энергии в почву и из нее, взаимодействия между почвой и другими природными телами. Вторая - химические и энергетические превращения в самой почве. Третья - процессы перемещения веществ и энергии в почве.

Самое интересное, что в основе множества мельчайших, элементарных процессов почвообразования лежит биохимическая деятельность микроорганизмов. А некоторые микропроцессы - чисто микробиологические, как превращения азота, например: аммонификация, нитрификация, денитрификация.

Поэтому ленинградский микробиолог профессор Т. В. Аристовская предложила выделять в почве элементарные почвенно-биологические процессы, те простейшие "кирпичики", которые строят сложный мир химических превращений почвы, особенно превращений органического вещества. Здесь нас

интересует только один процесс - разложение минералов той горной породы, на которой образовалась почва.

Разложение микробами горных пород имеет огромное значение для биосферы. Не будь его, живые организмы очень быстро исчерпали бы ресурсы большинства биогенных элементов. Особенно важно это в условиях влажного климата, где дожди постоянно промывают почву и выносят все растворимые элементы минерального питания, которые не успели перехватить другие микроорганизмы или же корни растений.

Есть множество микробов (в их числе бактерии, водоросли, грибы, актиномицеты, дрожжи), способных разрушать минералы и извлекать нужные им элементы или химические соединения - кислород, азот, железо, серу, калий и др. Как же мельчайшим живым существам удастся сокрушить горные породы?

Для этого у них есть целый арсенал могучего химического оружия: ферменты, слизи, кислоты. Ферменты - средство строго избирательного воздействия. Например, с помощью ферментов серобактерии окисляют содержащие серу минералы. Многие микробы, попав в анаэробные условия, то есть в условия, где нет кислорода, способны с помощью особых ферментов "отнимать" кислород у окислов железа. А содержащие железо минералы при этом разрушаются.

Не столь избирательное, но еще большее по масштабам действие оказывают на минералы различные слизи, выделяемые микробами. Многие бактерии в почвах буквально погружены в слизь. Именно она составляет основную массу органических полимеров, особенно полисахаридов. Содержащиеся в слизи уроновые кислоты могут разрушать кристаллические решетки минералов, тем самым переводя в раствор, в усвояемое состояние нужные микробам вещества.

Микробы выделяют кислоты и в чистом виде, даже такие сильные, как азотная и серная. Иногда эти кислоты для микробов являются не оружием нападения на минералы, а просто экскретами, отбросами. Автотрофные микроорганизмы, в частности нитрификаторы и серобактерии, могут порой "захлебнуться" в выделяемых ими же самими кислотах.

Минералы легко растворяются многими кислотами, даже когда самим разрушителям это совершенно не нужно.

Однако в биогеоценозе живут и другие существа, которые охотно поглощают минеральные соединения растворенных горных пород.

Но многие микробы, особенно гетеротрофные, разлагают минералы, например алюмосиликаты, целенаправленно. При этом используются чаще всего не минеральные, а органические кислоты: муравьиная, уксусная, масляная, лимонная, молочная, щавелевая, янтарная, винная, различные аминокислоты. Так поступают многие бактерии, но наиболее ярко выражена способность к кислотообразованию у микроскопических грибов. С помощью кислот микробы извлекают из минералов фосфор, многие металлы. В разложении горных пород достаточно велика и роль гумусовых кислот, фенольных соединений.

В процессе жизнедеятельности микробы выделяют и щелочи, особенно при разложении органики, аммонификации. Накоплению в почве щелочей способствует внесение навоза и других органических удобрений, если они содержат много азота. И вот уже щелочи растворяют кварц, труднорастворимые фосфаты, алюмосиликаты, нефелины.

Микробы выделяют и такие сильные химические реагенты, как водород, сероводород, метан, которые также разрушают минералы.

Все эти явления очень важны для почвообразования, для снабжения растений элементами минерального питания, для всей жизни биогеоценоза. Но совершенно очевидно, что эти же процессы еще важнее для эволюции почвы, для формирования почвенного слоя, накопления запаса ооигенных элементов в живом веществе экосистемы при развитии почв на чистой скальной поверхности, песко или глине. Здесь свободно поселяются автотрофные микроорганизмы, лишайники (они тоже выделяют кислоты и могут растворять минералы), а все остальное - дело времени.

Обратите внимание: все процессы микробиального разложения горных пород могли идти на суше сотни миллионов лет назад, задолго до появления наземных растений и животных. Причем идти так же, как они идут и сейчас, обеспечиваемые теми же видами микробов. Есть и прямые доказательства исключительной древности микробов, которые способны разрушать камни. "Живые ископаемые", "колодец в прошлое" - каких только ярких эпитетов не использовали, чтобы подчеркнуть неизменность литотрофных ("питающихся" камнем) микроорганизмов на протяжении последнего миллиарда лет истории Земли.

Однако микробы не только разрушают минералы, но и способствуют созданию многих новых, особенно содержащих кальций, фосфор, кремний, железо и алюминий.

Микробы, только они используют запасенную ранее энергию минеральных соединений. Еще в начале нашего века в экспериментах с микробами из кишечника дождевых червей было доказано разложение измельченных горных пород. Правда, микробы поглощают не все элементы, а преимущественно нужные им самим. Например, плесневые грибы в опытах за неделю извлекали из размельченного базальта 54 процента железа, 59 - магния, 11 - алюминия, немало кремния.

О том, что микробы могли жить на суше в протерозое, свидетельствуют и многие данные о физиологии этих организмов, их умении противостоять неблагоприятным физическим факторам среды, способности питаться самыми простыми веществами. Академик А. А. Имшенецкий доказал, что даже занесенные ветром на высоту 84 километра, в стратосферу и мезосферу, микробы сохраняют жизнеспособность. Есть микробы, которые обладают защитными пигментами: черными, зелеными, серыми, коричневыми. Такие формы не боятся высушивания, охлаждения до минус 196 градусов, больших доз ультрафиолетовой радиации.

А недавно микробиологи открыли новый мир среди бактерий - архебактерии. Они - продуценты метана, того самого газа, который мы сжигаем в газовых горелках в кухонных плитах. Эти строго анаэробные бактерии встречаются на Земле повсюду, в том числе и в почвах.

Они разлагают органические вещества без доступа кислорода. Поразителен набор веществ, которые они используют в пищу: водород, углекислота, соли уксусной кислоты, простейшие органические молекулы с одним атомом углерода. Что же могло препятствовать таким или им подобным

микроорганизмам жить на суше в докембрии? Очевидно, таких препятствий не было.

Пока это только предположение - остатков докембрийских почв с микробами еще никто не находил. Но согласимся с известным специалистом по докембрию академиком Б. С. Соколовым, который писал, что, как бы ни относиться к такой гипотезе, за время, прошедшее после 1947 года, когда она впервые была высказана Л. С. Бергом, ее никто не смог опровергнуть.

Как видим, важнейшие химические процессы в почвах регулируются деятельностью живого вещества, особенно микробов и высших растений. Поэтому почвы столь же изменчивы, непостоянны по своим свойствам, как и жизнь организмов, которые их создали.

Следы из земных глубин

Наши знания о химизме биосферы, о тех условиях, в которых появилась жизнь и почвенный покров, покоятся на очень прочном научном фундаменте. Достаточно упомянуть классическую работу академика В. И. Вернадского "Химическое строение биосферы Земли и ее окружения", написанную в 30-е годы. Современная жизнь привнесла нечто совершенно новое в познание начальных этапов эволюции планет - прямые наблюдения в космосе. Космонавтика позволила "заглянуть" в такие процессы и обстановку ранних периодов жизни Солнечной системы, отстоящих от нас на 3-4,5 миллиарда лет.

Геохимики пришли к убеждению, что все планеты земного типа, а это Луна, Меркурий, Земля, Венера и Марс, имеют одинаковый состав. Разная масса этих планет определяет различия в степени сжатия вещества в их глубинах, а также то важнейшее для жизни обстоятельство, будет ли у планеты атмосфера и какого именно состава.

Химический и минералогический состав поверхности довольно сходен. Вся поверхность Луны сложена магматическими силикатными породами, содержащими много кремния, а также продуктами их разрушения. Здесь присутствуют известные и на Земле минералы: ортоклаз, плагиоклаз, диопсид, оливин, ильменит, апатит и другие.

Слоем раздробленных силикатных пород сложена поверхность Марса, а поверхность Венеры - базальтами и гранодиоритами.

Одинаковы всюду и доминирующие химические элементы. Тщательно изучен состав метеоритов - пришельцев к нам из глубин Солнечной системы. Они бывают разные по своему составу: железные, каменные и другие, но особенно интересуют ученых так называемые углистые хондриты - метеориты из темного, похожего на уголь вещества, которое содержит много органических соединений. Около 40 таких метеоритов найдено в Антарктике, в других районах Земли их разыскать труднее: кто обратит внимание на темный тусклый камешек? А среди вечных льдов он сразу бросается в глаза.

Так вот, в углистых хондритах много сложных органических соединений, в том числе и аминокислоты.

Определение абсолютного возраста метеоритов показывает, что в Солнечной системе сложные органические соединения были уже по меньшей мере за миллиард лет до возникновения жизни на Земле: ведь большинство метеоритов

- остатки того вещества, из которого сложены планеты. Вполне логично предположить, что эти первичные органические вещества могли послужить основой для развития жизни. Физики остроумно отметили, что окружающее нас вещество похоже на золу космического пожара, в котором оно было создано.

Мы уже говорили, что толщи первичных грунтов на древних материках издревле должны были быть заселены микробами. Но на саму "дневную" поверхность Земли организмы - а это были зеленые растения - взошли далеко не сразу.

Многие геохимики считают, что свободный кислород в очень малом количестве существовал и 4,5 миллиарда лет назад. Он - результат разложения молекул воды солнечным излучением. Но чтобы достичь уровня Пастера (0,01 процента от современной) - той концентрации, при которой дыхание микробам в 30-50 раз энергетически выгоднее брожения, микроорганизмам потребовалось 2,5 миллиарда лет "работы".

Уровень Пастера был преодолен только в позднем протерозое, не ранее одного миллиарда лет назад. Только тогда зеленые растения, еще без корней и листьев, ближайшие потомки водорослей, стали заселять сушу по побережьям океанов. Это имело колоссальные последствия для всей биосферы: масса живого вещества после заселения суши увеличилась в 800 раз, возникли почвы, образовался гигантский по разнообразию мир почвенных организмов.

Полагают, что первое время жизни на суше мешало жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца и обитали здесь лишь низкорослые псилофиты и мелкие почвенные беспозвоночные. Но около 400 миллионов лет назад, когда количество кислорода в атмосфере достигло около 10 процентов современного, образовался и озоновый экран в атмосфере. К этому времени приурочено появление уже целых лесов из псилофитов, а также выход на сушу первых позвоночных животных.

Завоевание континентов растениями и животными вызвало образование континентальных отложений. Здесь самое значительное - появление органических отложений: угольных и торфяных толщ. В девоне возникли первые угольные месторождения, а следующий геологический период даже получил название "карбон" - так много в нем угольных отложений ("карбон" платины и есть "уголь").

Нет нужды говорить, что сейчас такого не увидишь: вся мертвая органика в лесах, степях, пустынях, в мангровых зарослях по берегам морей быстро перерабатывается животными-сапрофитами и микроорганизмами.

Биологи не раз высказывали предположение, что угли могли раньше образовываться только потому, что, когда растения на суше уже были и отмершие их остатки на землю падали, почвенных животных и микробов, способных питаться этой органикой, еще не существовало. Или, может быть, их было еще слишком мало?

Как и когда появились на суше животные?

На этот вопрос современная палеонтология дает довольно точный ответ. Бесспорно, предки наземных животных - сначала это были беспозвоночные

обитали в морях. Первые беспозвоночные, которые могли дышать атмосферным воздухом, появились в кембрии. Правда, известны они только из морских отложений. Но ведь и так бывает: ветром или водой наземные животные или растения сносятся в воду, в моря или озера, а там они попадают в осадки.

В ордовике отдельные участки суши были уже плотно заселены низшими растениями: грибами, одноклеточными водорослями, не говоря уже о бактериях. А о беспозвоночных, которые могли ими питаться, мы знаем очень мало. Никогда нельзя с уверенностью сказать, были ли и это настоящие наземные жители или же обитатели мелководных водоемов, которые лишь изредка выползали на берег.

По всей видимости, почвенная фауна материков стала формироваться в следующем периоде палеозоя - силуре, одновременно с заселением суши высшими растениями.

А уже в девоне мы знаем множество чисто наземных, подстилочных и почвенных обитателей. Особенно многочисленны были микроартроподы бескрылые насекомые, паукообразные, древнейшие многоножки. Удивительными существами той поры были многоножки-артоплевры. Их длина достигала полутора метров при толщине 10-12 сантиметров.

В карбоне на суше жили представители не менее 13 отрядов паукообразных и 12 отрядов настоящих насекомых, которые именно в это время научились летать.

Как видим, к карбону суша уже давно и основательно была заселена растениями и беспозвоночными животными. Вероятно, именно обилие напочвенных беспозвоночных побудило стремиться к выходу на сушу позвоночных животных. Здесь для них уже было достаточно пищи, а врагов никаких.

В конце девона - начале карбона первые земноводные, а именно стегоцефалы (панцирные земноводные), вышли на сушу. Здесь произошло то же явление в экологии, что ранее случилось в эволюции микроорганизмов:

новые группы организмов, вселяясь в уже освоенную их предшественниками среду, не уничтожали ранее существовавшие здесь экосистемы, а только перестраивали их, удлинняя и усложняя пищевые цепи. Так произошло и с почвенной фауной: мир почвенных беспозвоночных остался неизменным и продолжал развиваться по своим законам.

В карбоне произошла и первая в наземной фауне "экологическая катастрофа": вымерла половина отрядов наземных паукообразных, а остальные измельчали. Они не смогли конкурировать с первыми наземными позвоночными, хотя те бывали иногда размером с небольшую ящерицу. Часть паукообразных, а они до тех пор были самыми крупными и сильными хищниками на суше, пала в битве с земноводными, а остальные поспешили скрыться в такие экологические ниши, куда позвоночные проникнуть не смогли.

От этого удара мир паукообразных уже не оправился: сотни миллионов лет шло бурное развитие жизни на суше, а разнообразие отрядов наземных паукообразных так и не достигло уровня начала карбона. Сейчас их 13 отрядов против 15 в карбоне.

К сожалению, очень многие почвенные беспозвоночные не имеют скелета, их остатки не сохранились в геологической летописи. Таковы столь обильные и разнообразные черви. Панцирные клещи оказались в этом отношении удачливее

- их панцири мы изучаем в континентальных отложениях разного возраста. Самая древняя находка недавно сделана в США: в отложениях девонского времени обнаружили примитивнейших панцирных клещей. Панцирные клещи вполне современного облика открыл в юрских отложениях в СССР палеоботаник В. А. Красилов, а несколько позже они были найдены в южной Швеции.

Поразительно, что среди 6 известных к настоящему времени родов орибатид юры 2 - современные, успешно "проживающие" и поныне. А ведь прошло 140 миллионов лет. Такие организмы, почти не меняющиеся с течением времени, выдающийся сподвижник Ч. Дарвина Т. Гексли назвал персистентами. Почему же сохранились в почвах такие "живые ископаемые"? Вероятнее всего, из-за устойчивости, стабильности самой почвенной среды и экосистем в ней.

Труднее судить об эволюции отношений между растениями, животными, микроорганизмами и минеральной частью почвы в прошлом. Но что эти отношения изменялись - несомненно. Высшие сосудистые растения, которые начали в силуре наступать на континенты, были потомками морских водорослей и очень сильно отличались от современных. Потребовалось много времени, чтобы у растений появился слой коры, защищавший их от высыхания, прочные опорные ткани стебля для противодействия ветрам и силе тяжести. В водной среде таких забот растения не знают. Потребовались корни, чтобы доставать из почвы воду и минеральные соли, система каналов, сосудов для доставки питательных веществ всем органам и тканям. Ничего подобного у предков наземных растений, к которым относятся столь привычные нам деревья, кустарники или травы, ранее не было.

Не было корней - не было и корневых выделений, не могло быть и микоризы, и клубеньковых бактерии на корнях, и огромной массы микробов, которые питаются органическими веществами, выделяемыми корнями растений. Не было и самой ризосферы. Условием успешной эволюции высших растений была плодородная почва, а в ее образовании участвовали множество почвенных микробов, сине-зеленых водорослей, грибов, лишайников, беспозвоночных.

Наземные растения, отмирая, оставляли на поверхности почвы скопища стеблей, состоящих из клетчатки и лигнина. Древнейшие сосудистые растения - псилофиты, которые процветали на суше с силура по конец девона, положили не только конец безраздельному господству водорослей на нашей планете. Они открыли эру отложения совершенно иного по своему химическому составу расщепленного материала.

Похоже, что тогда ни микробы, ни животные переваривать клетчатку не очень-то умели. В начале девона на суше возникли и другие сосудистые растения - плауны, хвощи, папоротники, мхи. Из их остатков в конце девона образовались первые мощные залежи торфа, который постепенно превратился в каменный уголь. Это тоже символизировало начало нового важного этапа в эволюции геохимического состава биосферы: массовое образование целлюлозы и лигнина, сложных органических молекул, нерастворимых, с трудом разлагаемых и абиотическими и биологическими факторами.

Низшие, древнейшие почвенные животные питались и питаются главным образом грибами и водорослями, а целлюлозу могут разлагать в своих

кишечниках только с помощью микроорганизмов. Так же поступают и терупты, для которых целлюлоза служит основной пищей, а вернее, пищей для содержащихся в их кишечниках микробов. Такие трофические цепи, экологические отношения сохранялись на суше многие миллионы лет.

Химия и жизнь почвы Круговорот веществ.

Среди многих ярких достижений наук XX века достойны быть отмеченными успехи биогеохимии, которая изучает роль живых организмов в химическом преобразовании поверхности Земли, ее вод и атмосферы.

Рождение этой науки связано с именем В. И. Вернадского, который пришел к своим фундаментальным обобщениям в значительной мере благодаря изучению химии почвенных процессов, прекрасно зная не только геохимию, но и агрохимию своего времени.

Немаловажно и то, что его учитель В. В. Докучаев, прежде чем стать великим почвоведом, был магистром геологии и минералогии Санкт-Петербургского университета, прекрасно знал агрохимию. Докучаевское определение почвы как естественного тела, образовавшегося под воздействием климата и живых организмов на геологической породе, стало началом не только науки о почвах.

Установленная Докучаевым связь между живыми и неживыми компонентами природы имела большое значение для развития таких научных дисциплин, как ландшафтоведение, биогеоценология, экология, биогеохимия.

Краеугольное понятие всех перечисленных наук - представление о биосфере. Ее определение было дано академиком В. И. Вернадским: биосфера это часть литосферы, гидросферы и атмосферы, где распространена жизнь, где существует живое вещество, где химические свойства среды определяются действием живых организмов.

Наука, изучающая химизм природных процессов, законы миграции, концентрации и рассеяния атомов химических элементов на Земле, могла появиться только после открытия Д. И. Менделеевым периодического закона и создания Н. Бором теории строения атомов. "Геохимия - наука XX века" - так начал свои лекции в Сорбонне 60 лет назад В. И. Вернадский.

Как всякая точная наука, геохимия начинается с измерения. Прежде всего она определяет содержание химических элементов в земных породах и минералах, природных водах и живых организмах. Только совершенная аналитическая техника смогла обеспечить необходимую точность этих измерений, доверие к результатам наблюдений.

"...Земная газовая оболочка, наш воздух есть создание жизни" - эти слова принадлежат В. И. Вернадскому.

В них ответ на вопрос о роли ландшафта в формировании современной атмосферы Земли. Важнейшая ее часть - свободный кислород - образуется в результате фотосинтеза, который непрерывно протекает на суше и в поверхностных горизонтах моря вот уже свыше миллиарда лет. Фотосинтез единственный распространенный на Земле процесс, который высвобождает из различных соединений кислород. Во всех остальных реакциях - дыхание организмов, окисление железных, серных, марганцевых и других минералов происходит преимущественно связывание свободного кислорода.

Вместе с тем при фотосинтезе зеленые растения не только выделяют кислород, но и поглощают из воздуха углекислый газ (CO_2). За период геологической истории растительность Земли практически очистила атмосферу от углекислого газа, содержание которого сейчас составляет лишь 0,03 процента. Углерод же, который был в составе углекислого газа воздуха, частично снова возвращается в атмосферу в результате дыхания, горения и других процессов, а частично входит в состав гумуса, торфов, известковых раковин животных. В дальнейшем из этих остатков образуются каменные и бурые угли, нефть, многие известняки. Развитие жизни на Земле и биологический круговорот - взаимосвязанные и взаимообусловленные явления.

Биологический синтез органических соединений и их последующее разложение, перевод в минеральную форму составляют сущность и жизненных процессов, и биологического круговорота. В процессе разложения органические вещества проходят длинную цепочку превращений, связанных с жизнедеятельностью гетеротрофных организмов, то есть организмов, которые могут жить и развиваться только за счет готовых органических веществ.

В. Р. Вильяме в своих работах, исходя из ограниченности запасов необходимых растениям "биогенных" элементов, неоднократно подчеркивал, что если 75 процентов общего количества ежегодно синтезируемого растениями органического вещества не будет минерализовано гетеротрофами, то через три-четыре года жизнь на Земле должна прекратиться.

Живые существа регулируют круговорот немногих химических элементов: кислорода, азота, в меньшей степени фосфора, серы, углерода и микроэлементов. Для других элементов гораздо большую роль играют физические факторы: перемещение горных пород, вода, ветер (геологический круговорот веществ).

Важнейшая составная часть воздуха, молекулярный азот, как предполагал В. И. Вернадский, - результат деятельности микроорганизмов.

Газообразный химический элемент, из которого на 78 процентов состоит наша атмосфера, назван азотом, что значит нежизненный. В истории химии вряд ли отыщется другой случай, когда название было бы столь неудачным.

Основа любого организма - белок, а в нем содержится 15-17,5 процента азота. Удобрения для полей тоже в значительной степени азот. И не случайно его теперь именуют элементом плодородия.

Биогенного происхождения и подавляющая часть углекислоты в атмосфере. Поступающий в атмосферу углекислый газ образуется при дыхании организмов, главным образом корней растений и бактерий. Это неудивительно, так как бактерии (в пересчете на живой вес) дышат в двести раз интенсивнее человека, а их масса на каждом гектаре измеряется тоннами.

Что касается круговорота воды, то масштабы этого процесса поистине грандиозны: в него ежегодно вовлекается более 1 миллиона (1040 тысяч) кубических километров воды. Только на территории СССР в виде дождя и снега выпадает около 8,5 тысячи кубических километров воды, реки же сбрасывают примерно половину этого количества.

Но влагооборот не только движение воды. В этот мощный геохимический поток вовлекаются огромные массы различных химических элементов. Например, с территории СССР воды выносятся 40 миллионов тонн кальция в год.

Помимо растворенных химических элементов, воды переносят огромные массы мелких частиц во взвешенном состоянии. Можно подсчитать, какое количество химических элементов ежегодно мигрирует с единицы площади.

Оказывается, что в различных районах Русской равнины с одного гектара выносятся от 0,2 до 2 центнеров твердых частиц и от 1 до 4 центнеров химических элементов в растворенном состоянии.

Вынос химических элементов с суши частично компенсируется обменом веществ между литосферой и атмосферой. На поверхность всей земной суши с атмосферными осадками ежегодно выпадает 1800 миллионов тонн солей.

Установлено, что на каждый гектар европейской части СССР в год из атмосферы поступает от 3 до 33 килограммов кальция, от 5 до 12 килограммов серы, 5-10 килограммов хлора.

Через атмосферу переносятся и огромные массы твердых частиц. Известен случай, когда пылевые бури за несколько дней только на юге Украины вынесли около 25 кубических километров почвы.

Наряду с обменом веществ в системе литосфера - гидросфера - атмосфера существует "биогеогенный" круговорот - перераспределение химических элементов, вызываемое деятельностью живых организмов. Живые существа захватывают огромные массы химических элементов и вовлекают их в сложную миграцию. Особенно велика здесь роль растений и микроорганизмов.

В обмене веществ между живой и неживой природой наиболее важно перераспределение газов. Растения, синтезируя органическое вещество, поглощают из атмосферы углекислый газ и выделяют кислород. Связывание в органическом веществе 1 грамма углерода сопровождается выделением 2,7 грамма кислорода. В СССР с каждого гектара луговой степи за год в атмосферу выделяется 10-12 тысяч кубических метров этого газа.

Кислородный характер воздуха, которым мы дышим, - важнейшая химическая особенность нынешней атмосферы Земли. А ведь в течение очень длительного периода эволюции нашей планеты этого свойства она была лишена. Считают, что жизнь на суше стала возможна именно тогда, когда в земной атмосфере образовалось значительное количество свободного кислорода и создались условия для формирования в атмосфере озонового слоя, предохраняющего наземную жизнь от губительного действия ультрафиолетовых лучей. Это произошло лишь в последние 400 миллионов лет (напомним, что история Земли насчитывает 4,5 миллиарда лет), хотя в океане жизнь возникла уже 3 миллиарда лет назад.

Правда, такое мнение отнюдь не бесспорно, поскольку первыми поселенцами суши могли быть микробы, которые обходятся и без свободного кислорода и легко переносят большие дозы ультрафиолета, да и хорошо защищены от него в толще почвы. Недаром академик Л. С. Берг озаглавил одну из своих статей сорокалетней давности так: "Жизнь и почвообразование на докембрийских материках".

Есть все основания полагать, что образование почв происходило задолго до появления наземной растительности (в девонское время) и что биогеогенный круговорот веществ на материках, отнюдь не безжизненных, многие сотни миллионов лет поддерживался одними микробами.

Перехватывая различные соединения своими корнями, растения частично задерживают вынос веществ из почвы.

Поэтому так называемые биогенные элементы, необходимые для жизни растений, - фосфор, азот, калий, магний и другие - накапливаются, концентрируются в гумусовых горизонтах почв.

Необходимость регулирования круговорота таких элементов, как азот, фосфор, калий, давно уже признана земледелием. Впервые баланс азота в земледелии исследовал французский физиолог растений и агрохимик Ж.-Б. Буссенго, учеником которого с гордостью называл себя основоположник отечественной физиологии растений К. А. Тимирязев. опыты Буссенго по обогащению почвы азотом при выращивании клевера и люцерны стали классическими, это и дало повод ученику Тимирязева академику Д. Н. Прянишникову считать, что агрохимия возникла в 1836 году - в год опубликования работ Буссенго.

Главная задача агрохимии, по определению Прянишникова, изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на этот круговорот, которые могут повысить урожай или улучшить его качество. В сельском хозяйстве без удобрений не обойтись: с каждой тонной урожая пшеницы с поля выносятся 37 килограммов азота, 13 - фосфора, 23 - калия. Для картофеля на тонну урожая вынос значительно меньше: 6 килограммов азота, 2 - фосфора, 8 - калия, а вот конопля - один из рекорсменов, она выносит с поля на одну тонну полученного волокна 200 килограммов азота, 62 - фосфора и 100 - калия.

Углерод растение получает с углекислотой из воздуха, а минеральные элементы ему должна дать почва.

При этом в почве многие из них находятся в виде связанных с гумусом соединений. Например, 95-98 процентов азота содержится в почве в виде органического вещества и только 2-3 процента - в минеральных соединениях, непосредственно доступных растениям. Многие микроэлементы в больших количествах содержатся в живой биомассе растений, животных, микроорганизмов и, пока не погибнут их живые "носители", недоступны для других организмов.

Велико значение почвы и как своеобразного геохимического экрана. Это особенно актуально в связи с загрязнением ландшафтов тяжелыми металлами, такими, как свинец, ртуть, кадмий. Сейчас встает задача обеспечить замкнутый круговорот воды и многих других веществ, создать искусственные среды, из которых в окружающее пространство токсичные компоненты практически не выносятся бы. И конечно, абсолютно недопустимо, чтобы те или иные государства использовали для захоронения вредных отходов территории слаборазвитых стран, где "мало отходов и много окружающей среды". Так геохимия соприкасается с социальными и политическими проблемами современности.

Живое вещество

Само понятие "живое вещество", весь комплекс представлений о его геохимической деятельности введены в науку В. И. Вернадским. Гениальная его работа "Биосфера" известна достаточно широко, но не все знают, что к

созданию учения о биосфере и ноосфере, многих принципиально новых направлений в науке Вернадский пришел через почвоведение.

На Украине он начинал свой путь под руководством В. В. Докучаева с оценки черноземов Полтавщины и Приднепровья. На протяжении всей своей долгой творческой жизни ученый сохранил глубокий интерес к почвоведению, к практике сельского хозяйства. Значительная часть громадного научного наследия Вернадского непосредственно связана с разработкой фундаментальных проблем почвоведения.

Его интересовала роль живого вещества в создании почвы, биогеохимическая роль алюминия и кремния в почвах, значение почвенной атмосферы и ее биогенной структуры, роль почвенных растворов в биосфере, биогеохимический круговорот, распространение радиоактивных элементов и их накопление живыми организмами.

Учениками Вернадского были ученые, работы которых определили лицо и проблематику геохимии: академики А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, Д. И. Щербаков, А. А. Полканов, А. П. Виноградов, А. А. Твалчрелидзе, члены-корреспонденты Академии наук СССР А. А. Сауков, К. А. Власов, К. А. Ненадкевич.

В 1919 году Вернадский организовал Украинскую академию наук и стал ее первым президентом. Судьба, однако, распорядилась так, что многие фундаментальные работы Вернадского о деятельности живого вещества в биосфере стали известны широкому читателю несколько десятилетий спустя после смерти их автора, в том числе написанная в начале 20-х годов и опубликованная в 1978 году книга "Живое вещество". А в 1984 году январский номер журнала "Наука и жизнь" украсила впервые увидевшая свет работа Владимира Ивановича "Об участии живого вещества в создании почв", которая 65 лет лежала в архивах. Что же именовал ученый живым веществом?

"Под именем живого вещества, - писал В. И. Вернадский в 1919 году, - я буду подразумевать всю совокупность всех организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки зрения эта совокупность организмов имеет значение только той массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией. Очевидно, только с этой точки зрения имеет значение живое вещество и для почвы, так как, поскольку мы имеем дело с химией почв, мы имеем дело с частным проявлением общих геохимических процессов... Живое вещество, вошедшее в состав почвы, обуславливает в ней самые разнообразные изменения ее свойств, обычно не учитываемые в почвоведении. На первом месте я остановлюсь здесь на его влиянии на мелкоземистость почвы, ибо это свойство почвы является самым основным и резким ее отличием от всех других продуктов земной поверхности. Оно же определяет ход всех химических реакций в почве и делает из почвы активнейшую область с химической точки зрения в биосфере".

Тогда же ученый впервые высказал мысль об органогенном парагенезисе как факторе геохимических преобразований - совместном нахождении химических элементов в живом веществе, которое определяется биологическими свойствами организмов, а не химическими свойствами элементов. К основным элементам органогенного парагенезиса Вернадский относил С, О, Н, N, S, P, Cl, K, Mg, Ca, Na, Fe, к которым обычно присоединяют еще Si, Mn, F, J, Co, B, Ba, Sr, Pb, Zn,

Ag, Br, V и т. д. В живом организме всегда содержится не менее 20-25 химических элементов, эти элементы оказываются вместе после гибели живого в исключительно малых объемах, высоких концентрациях и в соотношениях, которые определяют жизнь.

Вернадский здесь высказался с присущей гению ясностью: "...в почве нет химических процессов вне участия в них живой материи и продуктов ее, изменения".

Но измерять количество живого вещества в почвах и на планете в целом биологи и почвоведы научились не сразу, даже когда поняли, что делать это необходимо. Еще медленнее шло познание химического состава растений, животных, микробов, тех химических реакций, которые благодаря им осуществляются в почве.

Еще Вернадский отмечал, что масса растений в 10- 100 тысяч раз превышает массу животных, и ему было хорошо известно о почвообразующей деятельности дождевых червей и грызунов, термитов и муравьев, о биохимических процессах в почвах, вызываемых микробами. Но точную количественную меру всем этим явлениям биологи нашли только в наши дни.

Многие поколения ученых интересовались жизнью корневых систем растений, почвенных животных и микроорганизмов. Они вели наблюдения, собирали и классифицировали материал. Постепенно вырабатывались и точные количественные методы учета. А подвела итоги всей этой работы Международная биологическая программа - МБП.

В 60-х годах нашего века началось планомерное изучение всей биосферы, в том числе и наземных биогеоценозов. Исследовали состав растительного покрова, его массу, ее ежегодный прирост, отмирание и разложение растительных остатков. Учитывали количество разных химических элементов, поступающих в растения и возвращающихся в почву с спадом. Определяли, какую часть биомассы составляют корни, листья, стебли. Исследован! я по международной программе резко изменили оценку роли животных и микроорганизмов в биологическом круговороте и почвообразовании.

Международная биологическая программа предусматривала "глобальное комплексное изучение биологических основ продуктивности и благосостояния человека" и первоначально была рассчитана на восемь лет. В ней присутствовали 58 стран, и еще в 33 странах разрабатывались отдельные пункты программы. Основные исследования велись самостоятельно каждой страной на строго добровольных началах, за счет национальных средств.

Об окончательных научных итогах говорить пока рано, но некоторые выводы сделать все же можно. Вероятно, главный из них в том, что первый опыт международного сотрудничества в области биологии показал плодотворность разработки на международной основе тех ее клпитальных проблем, которые трудно решить в национальных границах. МБП активизировала изучение продуктивности биосферы, что имеет очень большое значение.

Собранные в разных ландшафтно-климатических зонах земного шара сведения помогут провести другую международную программу - "Человек и биосфера", которая в известной мере явится продолжением МБП.

МБП убедительно доказала опасность неблагоприятных изменений природной среды, особенно загрязнения в результате деятельности человека. И в рамках

МБП возникла идея создания глобальной биологической службы, без которой невозможно определить тенденции таких изменений.

Так сколько же биомассы вокруг нас? В умеренной полосе СССР в лесах основная биомасса сосредоточена в древесине, ее - от 100 до 400 тонн на гектар. Эта биомасса многолетняя, в почву ежегодно поступает только 3,5-9 тонн опада листвы и сучьев. Масса корней составляет одну четверть от надземной части деревьев, но ежегодно и они дают 3-5 тонн сухого вещества за счет ежегодно отмирающих мелких корневых волосков.

В травянистых сообществах ежегодно отмирает большая часть как наземной, так и корневой биомассы, в степях и на лугах эта величина может быть очень значительной; так, опад в луговых степях только наземной части растений равен И тоннам на гектар.

Урожай с полей собирает человек, поэтому в биологический круговорот включаются только остатки жнивья и отмирающие корни. В дерново-подзолистых почвах, на суглинках, на полях однолетних культур остается 0,3-1,9 тонны таких остатков и 1,3-5 тонн корней (сухого вещества) на гектар.

Труднее определить биомассу микробов. Она зависит от продуктивности наземной растительности, содержания гумуса и азота почвы, продолжительности теплого времени года, когда микробы могут активно функционировать. В тундрах, например, активное время жизни микробов ограничено 1-2 месяцами, а на юге они способны развиваться, если хватает влаги, круглогодично. По данным ленинградского профессора Т. В. Аристовской, в разных типах почв бактерии дают 3-15 поколений в месяц, но в среднем за год это составит, по-видимому, 10-15 поколений, учитывая разную продолжительность активной жизнедеятельности микробов.

По данным известного исследователя Э. Рассела, живой вес бактериальных клеток в пахотных почвах южной Англии составляет 2-4 тонны на гектар. При этом на долю бактерий приходится 0,5-1 процент от веса органического вещества почвы; биомасса грибов примерно такая же. По другим подсчетам, в пахотных почвах обитает около 20 тонн живых микробов на гектар. Академик Е. Н. Мишустин для разных типов почв дает цифру от 0,6 до 5 тонн сырого веса (0,1 -1,3 тонны сухого веса).

Для водорослей Э. А. Штина определила биомассу порядка 60-500 килограммов сухого веса в почвах под естественной растительностью, в исключительных случаях - до 1400 килограммов на гектар, при четырех поколениях в год - в условиях средней полосы СССР. Велика биомасса почвенных водорослей в агроценозах - порядка 0,2- 2,2 тонны на гектар.

Таким образом, общая продукция микрофлоры в почвах средней полосы европейской части СССР может быть оценена в 2-3 тонны сухого вещества на гектар в год.

На долю почвенных животных приходится 15-20 процентов от веса всех живых существ почвы, то есть около 1-1,5 тонны сухого вещества.

Биомасса млекопитающих в гайге - 141 килограмм на квадратный километр, в смешанных лесах - 511, лесостепи - 1230, степи - около 600. Птиц меньше: в тайге их около 80 килограммов, в смешанных лесах - 40.

лесостепи - 60, степи - около 13 килограммов на квадратный километр. Величины эти очень малы, если иметь в виду, что речь идет о "живой", а не о "сухой" биомассе, и притом на квадратный километр, а не на гектар.

В некоторых зарубежных странах биомассу животных в естественных ландшафтах удалось определить достаточно полно благодаря наблюдениям, которые велись десятилетиями. К таким районам в первую очередь относятся леса северо-западной Европы на бурых лесных почвах.

Так, в Бельгии на гектар лесной растительности приходится 4 тонны листвы, 270 тонн ветвей и стволов, 1 тонна травы, ежегодная первичная продукция составляет 12 тонн, из них 52 процента составляют древесные растения и 8 процентов травы.

Потребителями этой первичной продукции являются (в живом весе) крупные млекопитающие (косули, кабаны - 2 килограмма на гектар), мелкие млекопитающие (грызуны, хищные, насекомоядные) - 5 килограммов, около 1,3 килограмма - птицы и около 1000 килограммов - почвенные беспозвоночные. Суммарная сухая масса всех животных составляет не более 100 килограммов на гектар. Какие же изменения в сообществах живых организмов на суше происходят под влиянием хозяйственной деятельности человека?

Расхожее мнение, будто человек лишь губит живой покров Земли, разрушая его, не соответствует истине.

Научно обоснованная, продуманная деятельность человека отнюдь не ведет к обеднению биосферы. По важнейшим биологическим показателям продуктивности, количеству белка, генетическому разнообразию экосистем агросистемы и другие культурные ландшафты не только не уступают естественным, но часто и превосходят их.

И это вполне понятно: человек резко интенсифицирует протекание биологических процессов в биосфере, внося в почву минеральные удобрения, повышая продуктивность засушливых или переувлажненных бесплодных земель, выводя все более продуктивные породы растений, животных, а в последнее время - и микроорганизмов.

Правда, структура естественных сообществ нередко упрощается в агросистемах, но надо учитывать, что созданные человеком экосистемы несравнимо лабильнее. Это и дает основание экологам быть оптимистами, думая о будущем нашей планеты.

Судьбы элементов-биоенов

По сравнению с составом земной коры биомасса растений гораздо богаче азотом, углеродом, водородом и кислородом, а биомасса животных, кроме того, еще серой и фосфором. Все это - биогенные элементы, жизнь без них попросту невозможна. Больше всего в живом веществе, не считая воды, углерода, азота, кальция, калия, кремния, фосфора, серы, стронция, бора, цинка, молибдена, меди, никеля. Именно эти элементы - главные в биогенном круговороте веществ (если, конечно, не забывать, что 2/3 любого живого вещества составляет вода). Общая продолжительность биогенного круговорота на суше в целом, по мнению В. А. Ковды, около 300 - 400 лет. Правда, цифра эта относится в основном к

лесам, а в агроценозах круговороты биогенных элементов идут во много раз быстрее.

Всего в тканях живых организмов встречается 66 - 68 элементов, причем 47 из них постоянно. Жизненно необходимыми, как это твердо установлено, являются многие микроэлементы, в том числе медь, кобальт, цинк, бор, йод, молибден, железо, фтор и др. Можно выделить три группы элементов:

1) те, что постоянно содержатся в тканях и незаменимы в пище (O, C, H, N, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Cu, I, Mn, V, Mo, Co, Se);

2) те, что постоянно встречаются в живом организме, но физиологическая роль их изучена плохо и неизвестно, оказывает ли отрицательное влияние их отсутствие (Sr, Cd, Br, F, B, Si, Cr, Be, Ni, Li, Cs, Sn, Al, Ba, Rb, Ti, Ag, Ga, Ge, As, Hg, Pb, Bi, Sb, U, Th, Ra);

3) те, что иногда обнаруживают в тканях, но их количество и физиологическая роль неясны (Sc, Tl, Nb, J, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dv, Er, Ib, W, Re, Au).

Основную массу нашего тела, так же как растений и микроорганизмов, составляют так называемые макроэлементы - углерод, водород, азот, кальций и т. д. Микроэлементы дают в сумме всего лишь 0,04-0,06 процента веса тела. Но без них невозможны нормальный рост и развитие организма.

Казалось бы, какое значение может иметь крупица меди? Ее всего-то в организме около 100 миллиграммов.

Но если не хватает даже 1/3 этой "крупички", в крови снижается уровень адреналина, замедляется биосинтез гемоглобина, процессы кроветворения нарушаются. Самым отрицательным образом сказывается недостаток меди на тканевом дыхании, обменных процессах. Вот почему медь относится к группе незаменимых микроэлементов. В эту же группу входят цинк, марганец, кобальт и некоторые другие элементы. Все они обеспечивают высокую химическую и биологическую активность окислительно-восстановительных биосинтетических процессов.

При этом каждый элемент выполняет свою функцию.

Цинк, например, участвует в синтезе ряда ферментов, а также инсулина и полового гормона. Главная роль марганца - активизация окислительно-восстановительных процессов, но он также благотворно действует на рост и половое развитие, участвует в регуляции уровня артериального давления. Без кобальта невозможно образование витамина B12.

Совершенно особое место занимает железо. По количественному содержанию - в органах и тканях взрослого человека около четырех граммов железа - его относят к макроэлементам, а по участию в биохимических процессах - к микроэлементам. Значение железа трудно переоценить. 70 процентов этого элемента содержится в гемоглобине. Железо - важная составная часть ферментов крови, а также дыхательного пигмента мышц - миоглобина.

До сих пор речь шла о незаменимых микроэлементах.

Но в организме имеются еще и такие элементы, которые физиологически неактивны и токсичны. Их роль недостаточно изучена.

Неоднократно пытались выяснить, есть ли какая-то закономерность распределения биологически важных химических элементов в таблице Д. И. Менделеева. По мнению академика А. П. Виноградова, существует один закон для распространения химических элементов в литосфере и в живом веществе:

состав организмов отражает химический состав окружающей среды. Виноградов установил также, что количество тех или иных химических элементов в живом веществе находится в обратной зависимости от их атомного веса, то есть живой организм богаче легкими элементами. Такие элементы и их ионы меньше по размеру и при прочих равных условиях "подвижнее".

Кроме того, очень важно, насколько легко вовлекаются элементы в круговорот воды. Академик Б. Б. Польшов предложил определять интенсивность водной миграции как отношение количества элементов в минеральном остатке речной или грунтовой воды к содержанию этого же элемента, в земной коре, водоносной породе и т. д.

Оказалось, что наиболее подвижными мигрантами в биосфере являются Cl, S, B, Br, J, Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, U, Mo.

Какие же неорганические вещества служат пищей растениям?

На 90 процентов растительные ткани состоят из воды.

Значение ее для живых организмов общеизвестно - это и среда, в которой находятся компоненты клетки, и растворитель, и химический реагент.

Примерно 9 процентов от веса растения составляет углерод, входящий в состав всех органических соединений. Растения получают его из углекислого газа, находящегося в воздухе. Углерод усваивается растением в процессе фотосинтеза, идущего с поглощением световой энергии и с выделением кислорода.

На долю остальных элементов приходится лишь один процент от веса растения, причем около четверти этого процента составляет азот. Усваивать атмосферный азот растения не могут (такой способностью наделены только некоторые микроорганизмы) и вынуждены всасывать его корнями из почвы в виде соединений. Обычно в почве таких соединений недостаточно, поэтому земледельцам приходится подкармливать выращиваемые растения искусственно полученными производными азота - азотными удобрениями.

Фосфора содержится в растениях 0,06 процента.

В почве его тоже часто не хватает, поэтому и производятся в огромном количестве фосфорные удобрения. Например, суперфосфат, состоящий из смеси гидрофосфата кальция с сульфатом кальция. Комбинированное фосфорное удобрение, аммофос, помимо фосфора, содержит и ионы аммония, то есть может удовлетворять потребность растений в обоих важнейших элементах-биогенах.

Когда в середине XIX века родилась агрохимия, земледельцы получили действенное средство для повышения урожая. В 1832 году был пущен первый завод по производству суперфосфата.

Роль фосфора в организме велика. Он входит в состав вещества наследственности - нуклеиновой кислоты. Благодаря аденозинтрифосфорной кислоте клетка запасает впрок, переносит, хранит и использует по мере надобности энергию. Кроме того, фосфор входит составной частью в другие важные биологические вещества.

Металлы, в частности калий, позволяют растению всасывать из почвы воду и необходимые соли: полупроницаемые для солей клеточные перегородки и

повышенная концентрация калия в клетке создают "насос", постоянно накачивающий воду в растение.

Подобно азоту и фосфору, калия тоже в почве не хватает. Его дефицит восполняется калийными удобрениями.

Они представляют собой смесь хлоридов калия и натрия или смесь хлорида калия с сульфатом магния.

Но, помимо калия, растение нуждается и в других металлах. Так, кальций служит для нейтрализации, связывания органических кислот; магний входит в состав хлорофилла - неперемного участника фотосинтеза; железо, марганец, кобальт, молибден, медь участвуют в окислительно-восстановительных процессах. Правда, потребность в этих элементах невелика, и их почти всегда оказывается достаточно в почве. Из неметаллов растениям необходима также сера, входящая в состав аминокислот и других веществ.

Одна из важнейших задач, поставленных Продовольственной программой перед химиками, - дальнейшее увеличение производства минеральных удобрений, повышение их эффективности и качества. Ведь, чтобы получать высокие и устойчивые урожаи, в почву нужно вносить все то, что она отдает растениям, прежде всего соединения азота, фосфора и калия.

Животные и человек также нуждаются в солях, но в отличие от растений сами не могут синтезировать ни органических соединений, ни витаминов, а должны потреблять их готовыми, в пище. А пищу нашу составляют три основных компонента: белки, жиры, углеводы. Мы получаем их вместе с растительными и животными продуктами питания. А поскольку мясо-молочными продуктами нас обеспечивают травоядные животные, то получается, что органическими веществами нас снабжают в конечном счете именно растения.

Химические преобразования в почве, которые происходят под воздействием живых организмов, не ограничиваются накоплением тех или иных элементов. Не меньшее значение имеет воздействие микробов, а также продуктов жизнедеятельности растений, животных и тех же микробов на почвенные минералы, на подстилающую материнскую породу. Образование почвенных минералов и их "биогенная деструкция" давно находятся в поле зрения микробиологов. Разлагая алюмосиликаты, микробы способны накапливать железо, алюминий, кремний, марганец. Они же образуют новые минералы с этими элементами.

В нашей стране профессор Московского университета М. А. Глазовская, а затем Т. В. Аристовская из Центрального музея почвоведения имени В. В. Докучаева в Ленинграде исследовали роль микробов в разрушении горных пород и образовании новых минералов. Американские микробиологи доказали, что микробы могут растворять даже базальтовые скалы.

Так что недаром почву сравнивают с гигантским химическим комбинатом, который перерабатывает не только все вещества, которые в него попадают, но и окружающие его воду, воздух, горные породы.

Биомасса, гумус и их превращения

Все живые существа состоят из разнообразных химических соединений углерода, иначе говоря - из органических соединений. Поэтому познание круговорота органики в природе необходимо, чтобы разобраться в жизни биогеоценозов, в образовании почвы.

Органика, углерод - отличные энергоносители. Человек привык пользоваться газом, нефтью, углем, дровами, а в основе - это все углерод, который выделяет энергию при реакции окисления. То же самое происходит и в живой природе. Еще в конце XVIII века Лавуазье установил, что дыхание это медленное горение, то же окисление углерода. А энергия нужна всюду, где есть жизнь.

В том числе и для фиксации атмосферного азота: для накопления 1 грамма азота бактерия азотобактер утилизирует 50 граммов углеводов, а другая бактерия, клостридий, - 170 граммов.

Не случайно говорят, что гумусовая оболочка Земли - аккумулятор и распределитель энергии в масштабах всей планеты. Даже глубинные химические процессы в поверхностных горизонтах горных пород, то есть уже под почвой, в значительной мере идут за счет энергии, первоначально накопленной гумусом, а уже потом преобразованной в энергию химической связи минералов. Этой проблемой плодотворно занимались почвоведы Азербайджана:

академик В. Р. Волобуев и С. А. Алиев. Фактически они стали родоначальниками особого направления - энергетики почвообразования, за что в 1980 году оба были удостоены Государственной премии СССР.

Энергия, накопленная в гумусе (а в нашей стране "рекордсменом" в этом смысле являются черноземы), настолько значительна, что если производить расчет в калориях, то в Венгрии, например, она составит более 60 процентов энергетических ресурсов страны, включая уголь, нефть и газ. Тот факт, что гумус является энергоносителем в почве, отмечался еще в 30-е годы известным агрохимиком и микробиологом З. Ваксманом в США и В. Р. Вильямсом в нашей стране.

Любая биомасса, как и любой человек, рано или поздно погибает и, разлагаясь, превращается в более простые химические соединения и, наконец, в углекислоту. Но для развития растений нужна именно углекислота, поэтому органические соединения почвы - след жизни прошлой и предпосылка жизни будущей.

Итак, на поверхность почвы падают осенние листья, засохшие ветви, отмершие деревья; в толще те почвы отмирают корни деревьев, трав, умирают микроорганизмы, почвенные животные.

Какие превращения ждут их дальше? Отмершие ткани растений подвергаются действию микроорганизмов, особенно низших грибов. В первую очередь разрушается клетчатка, а затем лигнин. При этом образуется много сильных органических кислот: щавелевой, масляной, уксусной, муравьиной, янтарной. Эти кислоты растворяют известняки, фосфаты, апатиты, разлагают алюмосиликаты, то есть разрушают саму горную породу.

И вот теперь настало время подробно рассказать о гумусе, о котором не раз упоминалось выше. Гумус - аморфное органическое вещество, которое образуется в почве в результате микробиологического и физико-химического преобразования органических соединений растительного и животного происхождения. Процесс образования гумуса называют гумификацией.

Вся цепь превращений органических веществ от растений к разного вида животным - это так называемая трофическая, или пищевая, цепь. Каждый живой организм в процессе питания преобразует органическое вещество и передает его

дальше по цепи. Почва помогает веществам и элементам, потребленным животным, снова включиться в природный круговорот. Точнее сказать, не сама по себе почва, а те микроорганизмы, которые в ней живут.

Каждый комочек, каждая крупница почвы содержат мириады невидимых обитателей. От этих микробов зависит существование и растений, и животных, и человека на поверхности нашей планеты. Если бы в результате какой-нибудь катастрофы погибли все почвенные микроорганизмы, то уже через 30 лет растения израсходовали бы весь запас двуокиси углерода из воздуха и весь азот из почвы и погибли бы от голода. А животные? Они не "протянули" бы и месяца. Дольше продержались бы только те, которые находились бы в состоянии спячки, или анабиоза.

Механически разрушают растительный материал в почве только животные. В процессе такого разрушения многократно увеличивается поверхность растительных тканей, доступная для микроорганизмов. Таким образом, животные одним лишь механическим воздействием на растительные остатки стимулируют процессы химического разложения, осуществляемые микрофлорой. В разных типах почв животные поедают от 20 до 100 процентов массы растительных остатков, ежегодно поступающих в почву в виде опада.

При разложении органических веществ, попадающих в почву, наблюдается сложная сукцессия (смена стадий) комплексов организмов, которые зависят сначала от характера разлагающегося вещества, а затем от стадии разложения, от наличия или отсутствия других организмов.

Связано это с тем, что одни из организмов потребляют других. Так, известно избирательное поедание многими видами панцирных клещей и ногохвосток отдельных видов грибов и бактерий.

Много органического вещества попадает в почву в виде навоза. В почве и на ее поверхности он разрушается не только микроорганизмами, но и беспозвоночными. Известно, что экскрементами травоядных млекопитающих питаются различные навозники, причем некоторые из этих жуков "специализируются" на помете определенных видов млекопитающих. Масса растительного вещества, перерабатываемого навозниками на пастбищах, достигает $\frac{1}{4}$ растительной массы, потребленной скотом. Известны случаи, когда, например, в Австралии из-за отсутствия навозников пастбища теряли свою продуктивность, так как кучи навоза не разлагались и мешали возобновлению трав.

Минеральные вещества, прошедшие весь цикл от растения до животного, тоже поступают в почву, освободившись из органического вещества. Из почвы углекислый газ выделяется в атмосферу, откуда его перехватывают растения, а освободившиеся минеральные вещества поглощаются корнями растений.

Отмирающие растения возвращают в почву минеральные соли, которые ранее забрали, но происходит это путем сложных превращений мертвой органики, через ее разложение. Вообще растительная органика по своему химическому составу является хорошим удобрением.

В сельском хозяйстве более двух тысяч лет существует специальный прием - сидерация, когда запахивают специально высеянные травы для удобрения почвы под урожай следующего года. Так можно добиться повышения плодородия совершенно разрушенных почв на пустырях, пустошах, при этом

почва не только запасается пищей для растений, но улучшается ее структура, способность впитывать влагу, увеличивается количество гумуса. Но такой прием эффективен только для почв, где высока активность микроорганизмов разрушителей органики, да и растительные остатки пригодны не всякие: древесина будет разлагаться многие годы, а уголь может остаться неизменным и тысячелетия.

Еще в конце прошлого века исследования немецкого агронома-почвоведа Э. Вольни позволили прийти к выводу, что микроорганизмы активно участвуют в процессах разложения органических веществ в почве. А в 1884 году француз П. Дегерен выяснил, что и при отсутствии кислорода растительные остатки все же могут разлагаться, и происходит это благодаря микробам-анаэробам.

Сейчас невозможно представить наш мир без организмов и органических веществ. Но когда-то было именно так. Геохимическая история Земли делится на два больших периода: первый - когда органическое вещество отсутствовало, второй - когда оно появилось и стало оказывать огромное влияние на эволюцию планеты.

В известняках, возраст которых насчитывает 2,5 миллиарда лет, находят первые редкие следы древних организмов и органического вещества. Это было время становления биосферы, когда появился фотосинтетический кислород и началось интенсивное окисление серы, аммиака, метана, металлов. С тех пор живое вещество и продукты его распада играют всевозрастающую роль в геохимических реакциях, изменяя их течение. Однако почвенный перегной выполняет еще одну функцию - он накапливает редкие и рассеянные металлы. В состав гумуса входят кислоты, которые задерживают германий, уран, ванадий и другие металлы. Так, концентрацию германия гумус увеличивает в 10 тысяч раз, извлекая его из природных вод.

Органические кислоты и углеводы гумуса восстанавливают ионы железа, марганца и других элементов. Например, в тропических болотах иногда полностью отсутствует железо - оказывается, оно извлечено гумусом.

Содержащиеся в гумусе кислоты растворяют горные породы, образуя легкоподвижные соединения. Способность гумуса образовывать с металлами соли гуминовой кислоты (гуматы) приводит к тому, что ряд химических элементов оседает на дне водоемов. На севере, где органические вещества окисляются очень медленно, или в тропиках, где они превращаются в воду и углекислоту быстрее, но их очень много, так называемые черные реки несут массу гуматов железа, никеля, марганца.

Процесс превращения органических веществ в биосфере полностью еще не изучен. Но четко вырисовывается определенная тенденция - их разложение до самых стойких в условиях биосферы молекул двуокиси углерода и воды, а также образование угля, гумуса, хитина, желтого вещества морской воды. Хотя, как заметил академик А. П. Виноградов, в осадочных породах, нефти и других содержащих углерод соединениях можно обнаружить почти все органические молекулы, которые создаются в тканях и органах растений и животных.

Как правило, почвы с высоким содержанием перегноя благодатны для растений. Известно, что в черноземных районах урожай выше, чем на других почвах. Внесение минеральных удобрений, и в частности навоза, тоже заметно увеличивает урожай. А поскольку и навоз и перегной содержат азот, то пришли

к выводу: растения питаются почвенным гумусом. Такая точка зрения была выдвинута в конце XVIII - начале XIX века немецким ученым А. Д. Тэером. Так появилась на свет гумусная теория питания растений.

Тэер считал, что из органического вещества гумуса растения строят свое тело и берут все другие элементы.

Поэтому он предлагал перестроить систему земледелия таким образом, чтобы поддерживать содержание гумуса в почве на постоянном уровне. Решение проблемы ученый видел в плодосмене, в чередовании сельскохозяйственных культур с разными корневыми системами. Введение плодосмена - несомненная заслуга Тэера, но что касается роли гумуса в питании растений, то здесь он ошибся.

Существует еще одна гипотеза, объясняющая высокое плодородие гумуса, так называемая микробиологическая теория.

Уже говорилось о том, что жизнь растений тесно связана с микроорганизмами. Микробы живут на листьях растений, на их корнях. Они фиксируют из них питательные элементы. Микроорганизмы могут выделять в почву ферменты и тем активизировать почвенные процессы.

И возникла мысль, что плодородие черноземов в конечном счете зависит от самого гумуса, а не от законсервированных в нем соединений азота и даже не от благоприятных физических свойств, создаваемых гумусом.

И то, и другое, и третье, несомненно, важно. И все же главное - то, что гумус создает благоприятный режим для жизни микроорганизмов. А уже микробы помогают растению, снабжая его и азотом, и другими питательными элементами, и, возможно, микроэлементами.

Академик Д. Н. Прянишников на основе многолетних опытов показал, что сами по себе органические удобрения, навоз урожая не увеличивают. Повышают урожай азот, фосфор, калий, которые в этой органике заключены.

Более того, даже применение одних лишь минеральных удобрений может повысить содержание гумуса в пахотной почве; при хорошем минеральном питании лучше развиваются растения, а значит, и их корни. После уборки урожая корни перегнивают, частично превращаясь в гумус.

Можно попытаться оценить гумус как источник питательных веществ. Ю. Либих первым определил, сколько питательных веществ содержится в растениях, следовательно, сколько их потребляется из почвы. Получилось, что при средних урожаях сельскохозяйственных культур с одного гектара выносятся: 19-40 килограммов азота, 8-14 килограммов фосфора, 22-40 килограммов калия.

В то же время в слое почвы в 20 сантиметров на гектаре содержится 3-11 тонн азота, 20-40 тонн калия, 400 килограммов фосфора. Но соединения, связанные с гумусом, в частности азот, менее всего доступны растениям: они хуже растворяются, чем минеральные соединения азота.

Почвенный гумус постоянно вымывается дождями, а часть его окисляется до углекислоты микробами.

В среднем в течение года исчезает из почвы 6-7 центнеров гумуса в подзолистых почвах и до тонны в черноземах. Поскольку запасы гумуса на гектаре для слоя в 20 сантиметров исчисляются для подзолистых почв в 60 тонн, а для черноземов в 130-220 тонн, то, очевидно, имеющихся запасов гумуса в

гектаре почвы, если он не будет восстанавливаться, хватит на 100 лет. На самом деле все намного сложнее, так как гумус в почве непрерывно образуется вновь. Современная наука научилась точно определять возраст гумусовых веществ почвы, пользуясь радиоуглеродным методом датировки. Результаты оказались интересными и даже неожиданными. То, что растительность на земле непостоянна, изменчива, не вызывает удивления:

лес сменяют пашни, поля зарастают лесом или травой, березняки сменяются ельниками и т. д. А что же почвенный гумус?

Оказалось, что и у него есть свой "век", свой возраст, причем неодинаковый для разных его химических форм.

Например, возраст гуминовых кислот на поверхности черноземов европейской лесостепи составляет 660- 1700 лет. Чем глубже, тем гумус древнее: на глубине 20 сантиметров ему 100 лет, полуметра - 2700 лет, метра - 4700 лет, а в самом глубоком горизонте почвы - на двух с половиной метрах, - 12 500 лет. Иначе говоря, в самой глубине почвы гумус сохранили с тех времен, когда в районе Курска и Воронежа еще бродили мамонты. Объясняется это просто: верхний слой гумуса сносится водой, его съедают микробы, он постоянно обновляется, а глубинный лежит как законсервированный. Так что не весь гумус участвует в ежегодном круговороте веществ.

То, что богатые гумусом почвы плодородны, стало известно довольно давно. Но химики установили, что действие гумуса вовсе не ограничивается снабжением растений элементами минерального питания и удержанием почвенной влаги. Гумус обладает еще буферным действием: он может закреплять микроэлементы, чем спасает их от выноса из почвы, а в случае химического загрязнения снимает их токсичность.

Как и другие природные органические вещества и образования, например подстилка из хвои и листьев в лесу, гумус - это кладовая некоторых нужных растению веществ, в особенности азота. Гумус обладает еще исключительной способностью поглощать воду: от 4 до 20 граммов воды на 1 грамм гумуса. Поглощая воду, он разбухает, а затем медленно отдает ее корням, воздуху почвы.

Таким образом, гумус стабилизирует и водный режим почвы.

Итак, восстановление плодородной силы земли связано с "заправкой" пашни органикой, а не только минеральными удобрениями. Органика, навоз, торф снабжают растения элементами питания, поддерживают сложные экологические системы почвенных организмов,

Мир, который у нас под ногами. Новая наука раскрывает старые тайны

Обычный городской житель вряд ли представляет себе, сколь многообразен мир организмов, населяющих почву. Даже специалисты, занятые в сельском хозяйстве, не могут похвастаться широкой осведомленностью, разве что расскажут о вредителях, от которых надо защищать растения, да о дождевых червях, то есть о тех почвенных животных, которые были известны земледельцам еще 4-5 тысяч лет назад. А уж когда дело доходит до цифр, то они столь невообразимы, что ум человеческий воспринимает их как чистую абстракцию. В самом деле, можно ли вообразить, что под одним квадратным метром почвы скрываются 20 миллиардов простейших существ?!

Роль их в круговороте веществ трудно переоценить, так же как и их огромное воздействие на жизнь всего окружающего мира. Они необычайно полезны, перерабатывая мертвые растительные остатки, возвращая в почву элементы питания растений, разрыхляя почву и создавая ее зернистую структуру, но они способны наносить и немалый ущерб урожаю. Естественно, земледельцев интересует прежде всего их практическое значение. Внимание же зоологов привлекает и другое: им важно выяснить закономерности развития животного мира почвы и его значение в эволюции жизни на Земле.

Безжизненных почв не бывает, ибо сама почва - результат деятельности многих организмов. В мертвой ыа первый взгляд почве тундры обитает на одном квадратном метре до 200 тысяч нематод и десятки тысяч мельчайших членистоногих. Масса разнообразных простейших населяет перевеваемые пески, высокогорные почвы около вечных снегов. В почвах арктических и антарктических островов можно встретить много как простейших, так и многоклеточных почвенных животных. Ежегодно описывая десятки их новых видов, зоологи нередко находят представителей неведомых групп. Так, в 1907 году был описан новый, ранее неизвестный науке отряд, теперь даже выделяемый в подкласс бессяжковых насекомых, причем описан не где-нибудь, а в Италии, на земле, тысячелетия перекопанной и перепаханной, в стране, где изучение животного мира, в том числе почвенной фауны, имеет глубокие традиции. Сравнительно недавно в таком же "истоптанном" районе - в Провансе, на юге Франции, французские зоологи обнаружили огромных дождевых червей, толщиной почти в два пальца и длиной около метра. Как могли их не замечать ранее?

Столь же неожиданное открытие было сделано в нашей стране в 20-е годы: в соленых подпочвенных водах в пустыне Каракумы Л. А. Бродский, один из создателей Среднеазиатского университета в Ташкенте, первого вуза в Туркестане, обнаружил представителей особого подкласса простейших фораминифер, которые до этого считались чисто морскими жителями.

Почвенными животными занимается особая наука - почвенная зоология. Наука эта молодая (ей всего лишь три с половиной десятка лет!), развивается она бурно, обогащаясь новыми фактами, гипотезами, методами и, конечно, молодыми кадрами исследователей.

Почвенная зоология развилась на стыке почвоведения и зоологии - одной из старейших отраслей естествознания, зародившейся еще в глубокой древности; не случайно ей уделял столько внимания великий энциклопедист античного мира Аристотель.

В 1839 году по возвращении из кругосветного плавания на "Бигле" Чарлз Дарвин впервые высказал соображения о роли дождевых червей в формировании органического слоя почвы. Эта проблема занимала его все последующие годы. Итогом его работы стала вышедшая в 1881 году книга, ставшая его "лебединой песнью".

Отвечая читателям, сомневающимся в том, что ничтожные черви способны проделывать огромнейшую работу, Дарвин с горечью писал: "Здесь мы снова сталкиваемся с тем неумением суммировать результаты постоянно совершающихся явлений, которое часто уже задерживало движение науки

вперед, как это ранее было в случае геологии, а затем в связи с основами эволюции".

Труд великого натуралиста, который называли "самой интересной книгой, когда-либо написанной о почве", по сути дела, прокладывал дорогу будущей науке - почвенной зоологии.

Роль животных как фактора почвообразования признавал и В. В. Докучаев, хотя специально ее не исследовал. Больше внимания уделили этой проблеме его ученики Г. Н. Высоцкий, Н. А. Димо, изучавшие почвообразовательную деятельность животных.

В 1899 году Высоцкий, занимавшийся степным лесоразведением на юге Украины, показал, что почвенные животные, в частности дождевые черви, обеспечивают зернистую структуру почвы, создавая обильные ходы в черноземах, а это помогает корням растений проникать в глубь земли. Вообще он считал деятельность дождевых червей одним из главных факторов черноземообразования.

Н. А. Димо, работавший в начале XX века в сухих районах, обратил внимание на большую роль в почвообразовании муравьев и термитов.

Наблюдения Димо, сопровождавшиеся точными подсчетами и данными химических и физических анализов, заинтересовали почвоведов, но в их кругах царил убеждение, что деятельность почвенных животных существенна только в крайне сухих условиях, поскольку видов почвенных животных там немного, зато численность особей велика и потому особенно заметна деятельность встречающихся видов. А в почвах лесов и лугов, где почвенное население разнообразнее и обильнее, труднее выявить роль отдельных видов.

Хотя начало XX века и ознаменовалось стремительным развитием экологии с применением методов количественного учета, данных о численности почвенных животных в разных почвах почти не было. Недаром до конца 20-х годов почти во всех экологических сводках фигурировала маленькая заметка Мак Эти, опубликованная в 1907 году, о "численности животных на 4 квадратных футах" и результаты первых исследований почвенной фауны на известной Ротэмстедской станции в Англии (1913 год).

Как самостоятельная наука почвенная зоология сформировалась в нашей стране. Первые работы были начаты еще до революции, но приобрели широкий размах после Октября. И здесь прежде всего надо назвать исследования Н. А. Димо, изучавшего влияние на почвы глинистых пустынь пустынных мокриц, значение дождевых червей на поливных землях в Средней Азии, а в Грузии выявившего роль полевок как почвообразователей. К ним примыкают исследования А. И. Панкова, показавшего, как грызуны способствуют формированию мощных черноземов.

Изучалось и воздействие почвенных животных на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях вегетационных опытов.

Становлению почвенной зоологии содействовали и достижения прикладной энтомологии, интенсивно развивавшейся в связи с организацией государственной службы, прогнозирувавшей опасность со стороны вредителей как в лесном, так и в сельском хозяйстве. Служба эта регулярно обследовала поля, засеянные сахарной свеклой, проверяя, насколько почва заселена

вредителями. Энтомологи составили и первые таблицы для определения обитающих в почве групп личинок насекомых, включающих вредные виды.

Пробы почвы брали, чтобы определить степень зараженности их вредителями, определить не только численность, но и распространение групп животных в равных зонах и районах.

Еще одним источником формирования новой науки стали работы университетских зоологов. До первой мировой войны университетские зоологи, как правило, вели исследования на морских биологических станциях. В годы первой мировой и гражданской войн следовать этой традиции стало трудно, и зоологи обратились к более близким и доступным объектам, среди которых особенно благодатными оказались почвенные животные. Изучение "скрытого мира" почвы открыло перед университетскими зоологами новые перспективы для экологических исследований.

В Ташкентском университете А. Л. Бродский исследовал почвенных простейших, "живые ископаемые", а позже перешел и к изучению других групп почвенных беспозвоночных. В другом молодом университете, Воронежском, К. К. Сент-Илер занимался фауной почв, в основном на пойменных лугах. В Пермском университете В. Н. Беклемишев и его школа организовали широкие количественные экологические исследования, в том числе и комплексов почвенных беспозвоночных. В Петроградском университете В. А. Догель с учениками занимался почвенными членистоногими и другими группами. Несколько позже в Киевском университете почвенную фауну днепровских террас изучал А. Ф. Крышталъ.

В 30-е Годы уже был накоплен обширный материал о численности тех или иных групп животных в почвах разного типа, под различного тщ растительностью, о биологии некоторых представителей почвенной фауны, об их деятельности в почвах и т. д. Правда, многочисленные факты оставались разрозненными, их не объединяла общая идея. С 1944 года в Институте имени А. Н. Северцова Академии наук СССР была начата работа по исследованию экологии и эволюции почвенных беспозвоночных.

Выяснилось, что почва не только особое природное тело, как подчеркивал В. В. Докучаев, но и совершенно своеобразная среда обитания для многих групп организмов. В ней всегда присутствует вода, связанная с твердыми поверхностями. В почвенной влаге растворены различные соли и органические вещества. Воздух в почвенных полостях практически всегда насыщен водяным паром и, как правило, характеризуется повышенной концентрацией углекислоты. Все эти особенности почвы делают ее (в смысле экологическом) как бы промежуточной средой между водной и типично наземной.

В почве, как и в водоемах, возможно питание разлагающимися остатками организмов; по сравнению с открытой атмосферой здесь сглажены колебания температуры:

в разных слоях наблюдается такой же сезонный ход температуры, как и в водоемах; в почве возможны вертикальные миграции животных, как и в воде. Но почва, как и открытая атмосфера, позволяет дышать не растворенным, а газообразным кислородом без сколько-нибудь существенной потери влаги (как и в воде!). По физиологическим особенностям, в первую очередь в отношении водного режима, почвенные животные занимают промежуточное положение

между водными жителями, обитателями открытой поверхности суши. В частности, через покровы обитателей почвы могут проникать вода, газы и ионы (как у водных обитателей), но в то же время они способны к воздушному дыханию (как и все сухопутные животные).

С 20-х годов изучение почвенной фауны интенсивно проводится во многих странах и достигнут определенный прогресс в усовершенствовании и унификации методов полевого сбора животных. Изучение процессов круговорота веществ, в которых принимают участие животные, разработка методов борьбы с вредителями - все это требовало кропотливого труда систематиков по идентификации собранного материала. Но эта работа, начатая еще К. Линнеем и его учениками на заре научной зоологии, пока еще далека от завершения. Достаточно одного примера - в лаборатории почвенной зоологии Института эволюционной морфологии и экологии животных имени академика А. Н. Северцова за время ее существования (с 1956 года - времени ее организации) было описано более 500 ранее неизвестных видов почвенных животных.

Имя им - легион

Мы уже говорили о невероятных, поражающих воображение цифрах, характеризующих численность почвенных животных. Удалось подсчитать, что в почве средней полосы СССР на каждом квадратном метре можно встретить до тысячи разных видов почвенных обитателей. Среди них - до миллиона клещей и ногохвосток, сотни многоножек, личинки насекомых, дождевых червей, 50 миллионов круглых червей, численность же простейших даже трудно выразить. Весь этот мир живет по своим законам и совершает в природе работу огромной важности: перерабатывает мертвые растительные остатки, очищая от них почву, поддерживает водопрочную структуру. Как и земледельцы, почвенные животные постоянно перепахивают почву, вынося наверх частицы из нижних слоев.

В экологии давно установлена закономерность, которая получила название "пирамиды чисел": обычно тех организмов, которые служат пищей, должно быть по массе раз в 10-12 больше, чем тех, которые ими питаются. А организмы, которые связаны пищевыми отношениями между собой, составляют так называемые пищевые "цепи". Правильнее же говорить о пищевых "сетях", поскольку пищевые цепи в природе сплошь и рядом переплетены друг с другом и в изолированном виде почти что не встречаются.

Животных, чья жизнь связана с почвой, можно разделить на три основные группы: 1) геобионтов - тех, кто проводит в почве всю свою жизнь; 2) геофилов, у которых с почвой связана часть их жизненного пути; 3) геоксенов - случайных обитателей почвы или же использующих почву лишь в качестве убежища. По характеру питания среди них различают: 1) хищников, 2) паразитов, 3) некрофагов - тех, кто питается трупами животных, 4) сапрофагов - тех, кто питается разлагающимися остатками растений, 5) фитофагов - потребителей живых тканей растений.

Животные далеко не безразличны к свойствам почвы.

Например, низкое содержание кислорода и большие количества углекислоты подавляют их жизнедеятельность.

Естественно, что и среду обитания они используют по-разному.

Большая часть их (коловратки, простейшие, тихоходки, гастротрихи и многие круглые черви-нематоды) обитают в тончайших пленках воды, обволакивающей почвенные частицы. Это так называемые геогидробионты. У них уплощенная или удлинённая форма, они очень невелики, нередко в десятки раз мельче родственных им обитателей пресных вод. Дышат они кислородом, растворенным в воде, и приспосабливаются к недостатку влаги, впадая в оцепенение и теряя при этом подвижность, а также обычно образуя цисты, коконы с прочными защитными стенками.

Другую часть составляют обитатели воздушной среды почвы. Они дышат кислородом воздуха. К ним, так называемым геоатмобиионтам, относят большинство насекомых, паукообразных, ракообразных, многоножек, моллюсков, рептилий, амфибий (есть в тропиках такая группа - почвенные амфибии), млекопитающих - обитателей почвенного яруса.

Из-за насыщенности почвенного воздуха водяными парами в почве могут жить животные, которые остаются "физиологически водными", то есть не имеющими специальных приспособлений для обитания в сухой атмосфере. Таковы многие черви, ракообразные, моллюски. В почве живут и настоящие водные формы - в тончайших пленках воды, которая обволакивает почвенные частицы.

Долгое время этих обитателей пленочной воды считали обычными пресноводными или морскими жителями, но оказалось, что это не так. Почву заселяют особые, почвенные организмы, а в пресных и солоноватых водах живут их близкие родственники, относящиеся к другим родам и видам.

Как же оценить количество животных в почвах? Для сравнения обратимся ко всем нам хорошо известному позвоночным.

Известна биомасса позвоночных животных в разных природных зонах. Так, на один гектар биомасса птиц в степи составляет 0,13, а млекопитающих - 6 килограммов, в лесостепи соответственно 0,6 и 12 килограммов, в смешанных лесах - 0,4 и 5,0 килограмма, в тайге - 0,83 и 1,4 килограмма живого веса.

Сводные данные по нашей стране таковы (в килограммах живого веса на один гектар): тундра - 90, северная тайга - 100-150, южная тайга 160-350, смешанные леса - 800-1000, широколиственные леса - 1000-1500, лесостепь - 500-900, степь - 200, пустыня - около 20.

Если, как утверждают специалисты, общая продукция органического вещества на суше равна 53 миллиардам тонн, а в растительной продукции белка содержится примерно столько же, сколько в овощах, то растительность Земли на материках ежегодно производит около 320 миллионов тонн белка. Что касается диких животных, то, учитывая среднюю биомассу позвоночных и беспозвоночных в разных природных зонах и площадь каждой растительной формации, нетрудно подсчитать, что биомасса диких беспозвоночных, не используемых в пищу человеком, составляет около 57 миллионов тонн (в пустынях, тундрах, лесах, лугах), что равнозначно 7 миллионам тонн белка. Биомассу беспозвоночных, преимущественно почвенных, приходится оценивать величиной не менее 2,1- 2,5 миллиарда тонн, если же учесть, что относительное содержание белка в них такое же, как и в морских беспозвоночных, то получится около 55,6 миллиона тонн белка.

В целом содержание белка в представителях животного мира и в человеке на суше составит 116 миллионов тонн - треть того количества, которое содержится в растительности, хотя растительная биомасса на суше составляет 53 миллиарда тонн против 2,65 миллиарда тонн животной биомассы.

В подземных лабиринтах

Как известно, жизнь - это прежде всего движение.

Когда речь идет о наземных животных, все предельно ясно. А каково тем, кто блуждает в подземных лабиринтах?

Животные, которые не покидают почвенных глубин, поразительно медлительны. Простейшим, чтобы преодолеть путь в 10 сантиметров, нужно не меньше трех недель. То же можно сказать и о других обитателях пленочной воды. Правда, когда воды в почве избыток, она, стекая вглубь и по поверхности, проникая по капиллярам, сама разносит таких животных. Но это - пассивный путь расселения. Мы же имеем в виду передвижение активное, самостоятельное. Животные используют для этого естественные скважины или сами прокладывают ходы; иногда для освоения новых угодий выходят на поверхность и перебираются на другое место. Для движения по естественным скважинам нужно, чтобы размеры тела или хотя бы его диаметр были очень малы, иначе по тонкому ходу не пролезть.

В жизни этих мелких животных есть свои сложности.

Они крайне чувствительны к недостатку влаги. Кроме того, их распространение зависит от физических свойств почвы: в плотных, не имеющих зернистой структуры тяжелых глинах с мельчайшими порами, ка" и в каменистых почвах с малым количеством мелкозема, число мелких обитателей скважин невелико.

По естественным скважинам передвигаются все так называемые микроартроподы - мелкие членистоногие с размерами тела 0,1 - 1 миллиметр. У многих червей и многоножек тело гораздо длиннее, зато ширина его крайне невелика. При длине около 150 миллиметров ширина тела некоторых многоножек составляет всего 2 миллиметра. Кроме того, они способны менять ширину тела.

Многие почвенные животные роют ходы самостоятельно, но делают это по-разному: одни раздвигают почвенные частицы, как бы вклиниваясь в них, другие измельчают почву.

В первом случае животное фиксирует задний конец тела в ходе, выносит передний конец тела вперед и как бы ввинчивает его в почву, затем закрепляет на новом рубеже передний конец тела и подтягивает вперед заднюю его часть. Так передвигаются дождевые черви, личинки многих двукрылых, ряд многоножек и животные, обитающие в грунте водоемов. Этот способ имеет свои минусы. Так можно двигаться только в рыхлой почве, которая вжимается в стенки норки. Позади животного остается ход, по которому его могут настичь хищники. Кроме того, в таком открытом ходе, когда почва подсыхает, недостает влажности, что, как уже говорилось, почвенные животные ощущают очень остро.

Более рационально измельчение частиц почвы, которое осуществляется личинками многих насекомых, мокрицами, млекопитающими-землероями и другими животными. Для этого им нужны приспособления для рыхления и

отгребания почвы, а также (у многих личинок насекомых) для закупоривания хода. У личинок таких жуков, как шелкоуны, чернотелки, жужелицы, есть зубы или выросты на заднем конце тела, которыми личинка упирается в стенки хода; подвижное сочленение сегментов позволяет изменять длину тела. На заднем конце тела у многих личинок шелкоунов и чернотелок образуется особая площадка, "тачка", с помощью которой личинка затыкает ход измельченной землей.

Самостоятельно прокладывают ходы и так называемые С-образные личинки, например, хорошо многим знакомые личинки майских жуков. Такие личинки проникают в глубь земли до двух метров, но движутся здесь они совершенно иначе: ногами и головой измельчают почву и отгребают ее к заднему концу тела, хвостовой частью и спиной земля вдавливаются в стенку камерки. Затыкая ход, животные поддерживают в камерке постоянную высокую влажность воздуха, а главное - они могут не опасаться нападения хищников, которых в почвах более чем достаточно. Но чтобы активно прокладывать ход, нужны немалые усилия, а это доступно только более крупным животным. Ни одна из групп микрофауны так передвигаться не может.

А вот позвоночные животные могут двигаться таким способом и по проложенным ранее чужим ходам. Подземные лабиринты прокладывают самыми разными способами: кроты работают передними лапами, слепушонки отгребают почву сильными задними ногами, слепыши рыхлят землю, прокладывая ход зубами. Некоторые африканские грызуны роют всей семьей: упираются друг в друга, помогая переднему копать, а затем время от времени меняются местами. Крупные звери, например барсук, устраивая нору, много трудятся и задними лапами, выбрасывая землю из хода. Поселиться же в чужих готовых норах любителей предостаточно: ласки, горностаи, хори, лисы, змеи, ящерицы, жабы, совы.

Как бы ни была разнообразна роющая деятельность животных, суть ее сводится к перемещению материала из нижних горизонтов на поверхность, затаскиванию вглубь растительных остатков и гумусного поверхностного слоя, изменению химического состава и структуры почвенного покрова. В разных почвенных зонах интенсивность этого процесса различна, но в наиболее благоприятных для животного населения почвы условиях они могут перерабатывать на одном гектаре до 225 тонн почвенной массы за год, полностью перемешивать поверхностный корнеобитаемый слой примерно за 20 лет.

Жизнь в почве решающим образом влияет на физиологию и образ жизни животных. Дело в том, что у почвенных животных водные предки. Условия в воде и на суше настолько различны, что сразу такой переход совершить невозможно. Почва и оказалась той промежуточной средой, через которую водные животные заселяли сушу. При переходе на сушу самой сильной угрозой для водных животных была гибель из-за потери воды - ведь никаких специальных приспособлений у них для защиты от высыхания нет. А вот у наземных форм таких приспособлений множество. Во-первых, их покровы, непроницаемые для воды, во-вторых, экономное использование воды, в частности, выделение обезвоженных продуктов обмена.

О приспособлении к окружающей среде говорят и способы размножения: наземные существа не могут, в отличие от многих водных, просто выбрасывать

сперму и яйца наружу, поскольку они сразу же высохнут и погибнут. Отсюда внутреннее оплодотворение, живорождение, формирование прочных, непроницаемых для воды стенок У яиц.

И конечно, животные сами всячески стремятся восполнить запас воды: они всасывают ее через кожу, пьют капли росы, очень экономно обращаются с водой, которая была в пище. Наглядный пример - платяная моль, которая прекрасно обходится, питаясь одной лишь сухой шерстью, а необходимую воду получает в процессе переваривания и окисления пищи; такую воду называют метаболической - она образуется в процессе метаболизма, химических превращений.

Необходимость приспособливаться диктует и определенное поведение животных, например, выбор места, пригодного для жизни, а также наиболее подходящего времени для удовлетворения потребности в пище, воде, размножении. Убедительное свидетельство такой приспособляемости - вертикальные миграции животных. То, что дождевые черви при наступлении холодов или при засухе уходят в глубокие слои почвы, известно было давно. Позднее обнаружили, что регулярные вертикальные миграции совершают практически все активно передвигающиеся животные: личинки хрущей, проволочники, мокрицы, ногохвостки, клещи и т. д., причем все они реагируют на малейшие изменения среды, даже если относительная влажность уменьшится на 0,5 процента, а температура, скажем, возрастет на 0,5 градуса.

Мелкие членистоногие (клещи и ногохвостки) совершают миграции в глубоких слоях почвы даже зимой, когда верхний слой замерзает. Во время оттаивания почвы эти животные перемещаются в более поверхностные слои, хотя температура среды в это время часто не превышает 1-1,5 градуса Цельсия.

В засушливых областях при неблагоприятных условиях животные меняют свой образ жизни: они становятся наиболее активны в ночное время, питаются сочными корнями растений, даже сокращают время своего развития. Быстрое развитие, кстати, характерно и для многих почвенных животных севера, в распоряжении которых слишком короткий теплый период.

В какой-то степени почвенные обитатели изменяют и среду обитания: личинки насекомых, создавая в почве камеры, уплотняют их стенки, чтобы предотвратить уход влаги через них, поддерживают в камерах высокую относительную влажность воздуха. Так же поступают и дождевые черви, наносящие на стенки камеры экскременты, а термиты регулируют влажность в своих гнездах, соответствующим образом располагая камеры и создавая систему вентиляции.

Современная зоология насчитывает 72 класса животных в 23 типах. Почвенные формы имеются в 19 классах и 10 типов. Известны два класса животных, всегда связанных только с почвой, - многоножки; они не живут ни в море, ни в пресных водах, среди них нет паразитов.

Рассмотрим основные группы почвенных обитателей.

Простейшие

Мельчайшие одноклеточные существа, объединяемые в тип простейших, заселяют все типы почв. Как уже говорилось, на один квадратный метр может

приходится 20 миллиардов таких животных. В почвах можно встретить только представителей трех групп: корненожек, жгутиконосцев и инфузорий. Колоссальная численность и всесветное распространение не привели, однако, к столь же широкому видообразованию. Во всем мире насчитывается всего лишь около 300 их видов. В Европе обнаружены представители 34 видов жгутиковых, 58 - корненожек и 32 -- инфузорий, причем виды эти распространены крайне широко.

Простейшие различаются по своей экологии и численности: амёбы и жгутиконосцы достигают 103-Ю6 особей в грамме влажной почвы, инфузории 103, а раковинные амёбы - 104 в лесу и до 250 в грамме полевой почвы. Как ни малы размеры этих существ (обычная длина почвенных жгутиковых - 2-5 микрон, амёб - 10, инфузорий - 10-20 микрон), их биомасса из-за колоссальной численности может быть значительна и достигать 1 -10 граммов на квадратный метр. Еще значительнее их продукция в период активного существования, поскольку эти животные, состоящие из маленького кусочка протоплазмы и ядра, способны необыкновенно быстро расти. Известно, что, например, амёбы могут произвести массу протоплазмы, в пять раз превышающую их первоначальный вес, за 24 часа, а жгутиковые даже еще быстрее. В природе, разумеется, такие темпы размножения невозможны, и популяция простейших в почве обновляется за 1-3 дня, а в год бывает 50-300 генераций (по данным для Западной Европы).

Основная пища простейших - бактерии, которых они поедают в огромных количествах. Бактерии, как известно, оказывают человеку неоценимую помощь, перерабатывая отмершие растительные остатки. Поэтому англичанин Э. Рэссель, первым открывший питание простейших азотобактером в 1909 году, решил, что все они вредны, и предложил стерилизовать почву для защиты от простейших.

Опыты, однако, показали, что в природе все обстоит сложнее. Простейшие могут съесть лишь малую часть микробов, но этот ущерб перекрывается пользой, которую они приносят: они выделяют биологически активные вещества, стимулируют рост тех же микроорганизмов, корней растений, повышают всхожесть семян, подавляют активность вредных для растений грибов. И к тому же служат пищей многим другим организмам. Так что, освободив почву от простейших, например путем нагревания, мы едва ли получим пользу.

При наступлении неблагоприятных условий простейшие переходят в состояние покоя, образуют цисты. Такие цисты способны сохраняться десятки лет, а затем могут снова "воскреснуть", вернуться к активной жизни.

В форме цист простейшие легко разносятся ветром на огромные расстояния - этим и объясняется их распространение в разных зонах, на разных континентах и островах.

Особо стоит упомянуть о своеобразной группе корненожек - фораминиферах, обнаруженных советским зоологом А. Л. Бродским в подпочвенных водах пустынь Средней Азии, где эти простейшие живут только в грунтах, насыщенных засоленной водой (а обнаружить их можно в воде многих колодцев), и в почвенной влаге глубоких слоев песков в Каракумах. Вероятно, эти формы, имеющие родственные связи только с морскими обитателями, являются далекими потомками морской фауны, населявшей в отдаленные

геологические эпохи огромное море на территории теперешней Средней Азии. По мере усыхания моря они все больше связывали свою жизнь с грунтом, а когда море окончательно высохло, стали жить в соленой грунтовой воде.

Обитатели пленочной воды

В пленках воды вокруг почвенных частиц постоянно обитает множество очень мелких животных, относящихся к разным типам червей или к родственным червям группам.

Почва - сложная трехфазная среда, она включает твердую часть минеральную, воду и воздух. Благодаря мелким полостям в почву проникают воздух и вода. Возникают своего рода микроводоемы, служащие средой обитания для простейших даже в период засухи.

Условия существования в этих ограниченных жизненных пространствах передвижение в узких промежутках между частицами почвы, существенное отличие почвенной влаги от наземной (пониженная точка замерзания, иной химический и газовый состав, наличие коллоидов) - характеризуют своеобразие почвы как среды обитания мельчайших животных.

Среди обитателей пленочной воды в почвах различают несколько групп. Рассмотрим их подробнее.

Нематоды. Это мелкие, а подчас микроскопические животные, относящиеся к типу круглых червей. Как и простейшие, они обитают в тонких пленках воды или гниющих субстратах, а некоторые паразитируют на растениях. Численность же их обычно достигает нескольких миллионов на один квадратный метр, на кислых почвах она может снизиться до нескольких сот тысяч, а в особо благоприятных условиях возрастает до 50 миллионов.

Питаются эти прозрачные червячки гниющими останками животных, разлагающимися и живыми тканями растений, почвенной микрофлорой, водорослями, продуктами разложения тканей высших растений. Среди почвенных нематод много фитопаразитов и хищников, питающихся простейшими и более мелкими нематодами и другими беспозвоночными. Некоторые из нематод специализируются на питании грибным мицелием. Установлено, что нематоды ежедневно могут поедать такое количество бактерий, которое превосходит их собственную массу в десять раз.

Нематоды, помимо прямого участия в процессах разложения органических остатков, играют большую роль как регуляторы микрофлоры. Кроме того, нематоды принимают участие в механическом разрушении растительных тканей: они "вбуравливаются" в отмершие ткани и с помощью своих ферментов разрушают клеточные стенки, давая возможность проникнуть в растения бактериям и грибам. Деятельность нематод имеет большое значение при разрушении корней. Процесс отмирания корней часто начинается при заражении их паразитическими нематодами.

Все почвенные нематоды очень малы, длина их не превышает одного миллиметра. Исключение составляют мермитиды - длинные нитевидные черви длиной до 10-15 сантиметров, но это - паразиты насекомых, проводящие в почве только часть жизненного цикла и здесь не питающиеся.

Нематодам сопутствует дурная слава: в них прежде всего видят вредителей, от которых страдают культурные растения. Нематоды действительно разрушают корни картофеля, лука, риса, хлопка, сахарного тростника, сахарной свеклы, декоративных и других растений. Советские зоологи, однако, разрабатывают, и не без успеха, меры борьбы с ними на полях и в теплицах. Особенно весом вклад в изучение этой группы животных известного биолога-эволюциониста А. А. Парамонова.

Нематоды издавна привлекали внимание эволюционистов - и из-за огромного разнообразия, и тем, что они поразительно устойчивы к воздействию физических и химических факторов. Где бы ни начали изучать этих червячков, повсюду обнаруживают новые, неизвестные науке виды. В этом плане нематоды всерьез претендуют на второе - после насекомых - место в животном мире:

специалисты сходятся на том, что их не менее 500 тысяч видов, но есть основания полагать, что истинная цифра ближе к миллиону. Специалисты насчитывают около 2 тысяч видов почвенных нематод.

Энхитреиды - мелкие кольчатые черви длиной в 10-25 миллиметров обитают в местах, где много разлагающегося органического вещества; они встречаются как в почвах, так и в грунте водоемов. Особенно много их в кислых органических почвах - от 85 до 250 тысяч на квадратный метр. Биомасса энхитреид на таком же пространстве составляет часто 0,3-30 граммов. Энхитреиды перерабатывают органическое вещество, способствуют накоплению в почве гумуса, очистке сточных вод. В качестве корма для молоди рыб на осетровых заводах специально разводят "белого энхитрея".

Подобно дождевым червям, энхитреиды, совершая миграции в почве, прокладывают ходы, улучшают водный и воздушный обмен, а также в известной мере способствуют перемешиванию поверхностных слоев почвы, но заселяют они в основном самые верхние слои почвы - до 20-30 сантиметром.

Довольно велика роль этих червей в северных районах.

Так, в Якутии на вечномёрзлотных почвах биомасса энхитреид достигает 5-6 граммов на квадратный метр, что составляет половину от биомассы дождевых червей. Интересно, что энхитреиды охотно питаются экскрементами дождевых червей, которые, в свою очередь, едят экскременты энхитреид.

Энхитреиды - гермафродиты, но многие виды могут размножаться и партеногенетически; скорость развития зависит от температуры. В отношении водных форм известно, что их цикл продолжается от 68 до 261 дня.

По степени пигментации, размерам и экологическим особенностям различают энхитреид подстилки, гумусового и минерального слоев почвы.

Третью многочисленную группу обитателей влажных почв и других субстратов, таких, как подушки мхов, представляют тихоходки. У них четыре пары нечленистых ножек с коготками, короткое уплощенное тело, обычные размеры которого у почвенных тихоходок - 0,2-0,3 миллиметра.

Они обладают необыкновенной способностью быстро впасть в анабиоз и переносить в таком состоянии сильные физические воздействия: в течение 20 месяцев они выдерживают температуру минус 190 градусов, спокойно переносят облучение высокими дозами рентгеновских, гамма- и ультрафиолетовых лучей, высокие концентрации кислот и т. п.

Питаются тихоходки содержимым растительных клеток, мелкими животными. Их численность особенно высока в насыщенных водой мхах. В лесной зоне Европы обычно регистрируют 40-60 видов тихоходок в одном районе. В СССР, где эти животные изучены еще недостаточно, их известно всего 70 видов. Но и имеющиеся уже данные позволяют считать их, как и почвенных простейших, самыми настоящими космополитами. Отдавая себя на волю ветра и воды, эти маленькие всеядные существа способны перемещаться на огромные расстояния и приживаться в разных концах планеты.

Мезофауна

Это среднего размера, хорошо заметные и известные многим почвенные животные. Наибольшее значение в почве имеют дождевые черви, многоножки, насекомые.

С дождевыми червями люди знакомы довольно хорошо.

В нашей стране их около 100 видов, принадлежащих к трем семействам. Интересно, что 19 видов червей европейской фауны расселились по всей земле благодаря человеку, который культивировал в новых районах сельскохозяйственные растения, а в Европу, в свою очередь, проникли тропические виды - в теплицы, оранжереи.

Исключительно велика роль червей в почвообразовании.

Черви прокладывают в земле огромное количество ходов, затаскивают вглубь растительные остатки, выбрасывают на поверхность почву глубоких слоев. Черви составляют основу пищевых цепей: червями питаются кроты, мыши, птицы, землеройки, жабы, лягушки, хищные многоножки, насекомые.

В процессе пищеварения в кишечнике червей происходит разложение клетчатки и частичная минерализация растительных тканей. Кроме того, у этих беспозвоночных наблюдается интенсивное образование гумусовых веществ.

Черви стимулируют развитие ряда групп микроорганизмов, численность которых в их экскрементах значительно выше, чем в окружающей почве и в пище, заглатываемой животными. Благодаря этому почва обогащается ферментами, что активизирует ряд важных элементов питания растений. Результат стимуляции червями микробной активности - обогащение почвы витаминами группы В.

В средней полосе СССР урожайность многих культурных растений (ржи, ячменя, картофеля) прямо зависит от численности дождевых червей в почве.

Среди червей различают обитателей подстилки (они относительно мелкие, пигментированные, несколько уплощенной формы) и обитателей глубоких слоев почвы (они более крупные, цилиндрические, слабо пигментированные или бесцветные). Соотношение этих групп меняется в зависимости от почвенно-растительных условий. Для нашей страны обычны лумбрициды, размер которых от нескольких до 70-80 сантиметров.

В оранжереях и в субтропических почвах Колхиды можно найти мегасколецид. В СССР мегасколециды не отличаются по размерам от других дождевых червей, но более активны и обладают упругим цилиндрическим телом; именно к этому семейству относятся огромные дождевые черви Австралии, достигающие 1,5-3,5 метра длины и толщины в руку человека.

На юге Приморского края в наиболее теплых и влажных почвах нередко можно встретить представителей третьего семейства - монилигастрид, которые обычны для Кореи, Японии, Китая и Юго-Восточной Азии.

Дождевые черви роют в почве норки, вбуравливаясь головным концом, а затем расширяя ход. Если почва настолько плотная, что не может быть впрессована в стенки хода, черви пропускают землю через кишечник и часть выбрасывают на поверхность. Ходами червей пользуются многие другие животные, в том числе и враги.

В наиболее благоприятных условиях (чаще всего это широколиственные леса) численность дождевых червей достигает 500-800 на один квадратный метр, а биомасса равна 290 граммам. Обычно же биомасса составляет от 40 до 120 граммов на квадратный метр. Червей нет лишь в сухих жарких районах, начиная от юга степной полосы и до пустынь. Там их можно встретить только в увлажненных местах (поймы рек, берега арыков, поливные земли).

В широколиственных лесах Европы черви ежегодно возвращают в почву около 100 килограммов азота на гектар. Если учесть, что в лесах с падением листьев обычно возвращается в почву лишь 30-70 килограммов азота в год, то значение червей станет особенно очевидным.

Эти малоподвижные животные, устойчивые к изменениям среды, - удобный объект для изучения того, как изменения в окружающей среде, вызванные деятельностью человека, отражаются на животном мире. В частности, дождевые черви оказались подходящим биоиндикатором при исследовании радиоактивных загрязнений. Многоножки. Под этим названием объединяют четыре самостоятельных класса трахейнодышащих членистоногих животных. Мелкие (несколько миллиметров длиной) симфилы могут быть хищниками, а могут питаться и гниющими тканями растений, и нежными проростками, иногда даже приносить вред. Еще более мелкие пауроподы с ветвистыми усиками немногочисленны и не имеют существенного значения.

Совсем иные животные - диплоподы, среди которых многим известны кивсяки. Да их и нельзя не заметить:

на юге они достигают немалого размера, до 10 сантиметров длиной. В тропиках кивсяки огромны - в палец толщиной и до 15-17 сантиметров длиной. Диплоподы отличаются тем, что почти на всех члениках их вытянутого тела по две пары ног; иногда их называют тысяченожками, хотя на самом деле ног у них не более 135 пар. Иногда они массами переползают через дороги, а в лесах Кавказа некоторые белые кивсяки выдают свое присутствие едким неприятным запахом. Кивсяки защищаются от врагов едкими выделениями, а некоторые тропические виды выбрызгивают из пор туловища даже синильную кислоту.

В почвообразовании диплоподы играют большую роль.

Питаются они мертвыми растительными остатками, вовлекая в почву листовый опад, способствуют его гумификации, их экскременты становятся мелкими зернистыми структурными элементами почвы. Кроме того, в своих твердых покровах они накапливают много углекислого кальция, который укрепляет водопрочность почвенной структуры. Последнее время кивсяке и другие диплоподы привлекают особое внимание как организмы, помогающие выявлять загрязнение среды, - в их панцире, в частности, накапливаются радиоактивные элементы (радиоактивный стронций, уран) и тяжелые металлы (свинец).

Кивсяки плохо переносят жизнь в кислых почвах.

Страдают они и от сильных морозов. Когда серых кивсяков вывезли из Ворошиловградской области в леса Зауралья, лето они прожили благополучно, а зимой вымерзли.

Многоножки-диплоподы замечательны своими массовыми миграциями. Еще римский автор II-III веков Клавдий Элиан описывал случай, когда нашествие многоножек заставило жителей одного города покинуть свои дома. Не раз наблюдали нашествия полчищ этих существ в США, Венгрии, во Франции, странах Балканского полуострова, несколько реже - в Швеции, Польше, странах Центральной Европы, Прибалтике. Миллиардными шеренгами ползут они, облепляя железные и шоссейные дороги, останавливая поезда, оставляя после себя только кучи землистых экскрементов и обглоданные пни. Масса многоножек погибает в пути, их трупы забивают колодцы, рвы, канавы, смрад стоит невыносимый. Ни одно животное не употребляет диплопод в пищу. До сих пор неизвестно, что заставляет многоножек мигрировать. Полагают - что перенаселенность пригодных для жизни мест обитания.

К классу губоногих многоножек относятся хищные формы. Более мелкие (1-3 сантиметра) - костянки - распространены по всей стране, крупных можно найти под камнями в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии. Сколопендры ядовиты!, и укусы их болезненны для человека.

А вообще эти хищники -* поистине гроза для почвенных наоекомых, мелких ящериц и другой напочвенной живности. Родственниками сколопендры в почвах, особенно южных, являются тонкие желтоватые геофилиды с числом члеников тела от 39 до 177; они спускаются за своей добычей (или же прячутся от засухи) на глубину до метра.

Геофилида тщательно охраняет свое потомство (яйца и молодь), обвиваясь как змея вокруг кладки. Хищные многоножки не слишком разборчивы в еде они поедают любую живность, на которую наткнутся, но особенно часто их добычей становятся мелкие дождевые черви, а также энхитреиды.

Паукообразные. В подавляющем большинстве относятся к мезофауне. Это пауки, сенокосцы, скорпионы, сольпуги. Все они - хищники, многие ядовиты.

О мелких паукообразных - клещах - речь еще впереди.

Насекомые. Эта гигантская группа животных включает, по разным оценкам, 1 - 1,5 миллиона разных видов животных. У 95 процентов из них жизненный цикл полностью или частично связан с почвой. Среди насекомых несчетное количество вредителей растений, паразитов домашних животных. Насекомые-вредители ежегодно уничтожают около 15 процентов урожая. Такие почвенные вредители, как проволочники, медведки, гусеницы совок, корневые тли, например, на винограде - филлоксера, самый настоящий бич растениеводства. От личинок майских жуков страдают молодые лесопосадки, от личинок рисового долгоносика - рис.

В некоторых районах разложению растительных остатков способствуют личинки двукрылых: разнообразных мух и комаров. Их множество - в широколиственных и хвойных лесах, в тундре, лесостепи и даже в полупустынях под пологом древесной и кустарниковой растительности. Личинки комаров-долгоножек встречаются в подстилке, почве, гниющей древесине. Благодаря им происходит первичное разложение листового опада,

при этом они активно переваривают клетчатку. Личинки мух бибионид и ликориид, живущие в почве многочисленными колониями, полностью разрушают растительные остатки, превращая их в тонкозернистую гумифицированную массу. Личинки мух могут разрушать и хвойный опад.

Личинки так называемых комнатных мух интересуют экологов как возможные потребители отходов свиноводческих комплексов. Эти отходы они перерабатывают в пригодное для полей удобрение, биомасса самих личинок, если обработать их горячим паром, может служить белковой добавкой к корму свиней. Такие опыты успешно проведены в Подмоскowie, в Эстонии.

На всей территории нашей страны привычны для нас представители еще одного отряда насекомых - жуки, особенно их личинки.

Интереснейшая группа обитателей южных почв - термиты. Подобно пчелам или муравьям, они животные общественные. Каждая их колония состоит из потомства одной гигантской семьи. В нашей стране они распространены широко, но особенно много их на юге Туркмении и Таджикистана. В тропических районах термиты сооружают обширные гнезда под землей или на ее поверхности в виде наземных холмиков. В жарких пустынях термиты прокладывают галереи в почве на глубину до восьми метров. По наблюдениям Н. А. Димо, который первым в нашей стране стал изучать почвообразующую деятельность термитов, в пустынях Узбекистана эти насекомые заселяют самые разнообразные почвы, нет их только на солончаках с уровнем грунтовых вод выше 2,5 метра.

Прокладывая ходы, термиты выбрасывают землю на поверхность, улучшают температурный, водный, газовый и солевой состав почвы, а затаскивая глубоко в ходы растительные остатки, повышают содержание перегноя на 20-40 процентов.

Поддерживая плодородие почв, термиты приносят несомненную пользу, но людям поселяться рядом с ними опасно. Эти насекомые разрушают жилье, поедая деревянные конструкции домов, что особенно ясно обнаружилось во время ашхабадского землетрясения в 1948 году. Термиты не выносят полива, а оставленные ими в почве ходы и полости способствуют усиленной фильтрации воды, так что для орошения ее требуется в два-три раза больше. Да еще почву приходится выравнивать, так как на месте подземных термитников почва проседает.

Термитники состоят из почвенных частиц, которые скреплены экскрементами насекомых и выделениями их слюнных желез. Интересно, что термиты сами не переваривают клетчатку растений, это делают за них особые простейшие симбиотические обитатели их кишечника.

Деятельность термитов изменяет состав почвы: песчаные и глинистые почвы превращаются в суглинки. Средняя продолжительность жизни термитников 5-10 лет.

После их разрушения материал построек равномерно распределяется по поверхности почвы. Гигантские термитники достигают высоты 2,7 метра и сохраняются до 700 лет.

В пустынях на юго-западе США термиты питаются на поверхности почвы живыми и отмершими остатками трав, сухой древесины и навозом, сооружая из почвы футляры вокруг пищевых объектов. Биомасса термитов составляет в

пустынных районах 5-22 грамма на квадратный метр. Суточный их рацион составляет 2,4 процента от массы тела.

Наряду с растительными остатками термиты потребляют и значительное количество живой растительной массы, чем наносят заметный ущерб растительному покрову.

Немаловажную роль в жизни почвы играют муравьи.

Их биомасса подчас равна 50 килограммам на гектар, и они регулируют численность других насекомых. В степных почвах и в лесостепи, а иногда и на лугах муравьи, устраивая свои гнезда в виде земляных холмиков, способствуют перемешиванию почвы.

В широколиственных лесах в первичном разложении листового опада и древесины участвуют рачки-мокрицы, которых немало также в степных и засушливых районах.

В пустынных сероземах мокрицы - одни из наиболее активных почвообразователей.

Большая часть мокриц относится к сапрофитам. Наземные подстилочные мокрицы потребляют в основном листовую опад и древесину. Они концентрируются в гумусном слое почвы, а также под корой пней и колод.

Мокрицы нуждаются в таких элементах, как кальций и медь. Первый необходим им для панциря, поэтому в спале они усваивают его на 79-94 процента. Медь же входит в состав дыхательного пигмента мокриц. Они извлекают ее из пищи фактически на 100 процентов. Наблюдения в лабораторных условиях показали, что наряду с растительной пищей мокрицы поедают свои экскременты, из которых усваивают остатки меди, выброшенные вместе с конечными продуктами обмена.

Пустынные мокрицы питаются остатками трав и полукустарников, которые собирают на поверхности почвы и затаскивают в норы. Экскременты ежедневно выбрасывают на поверхность земли вместе с частичками почвы, осыпавшимися со стенок ходов. Таким образом происходит перемешивание минеральных слоев почвы и верхний горизонт обогащается минеральными солями в доступной для растений форме.

Последняя группа мезофауны, о которой следует сказать, - моллюски. В почве проводят почти всю свою жизнь все известные слизни, обычные и в городах. А на юге нашей страны, в оазисах Средней Азии, в Молдавии, в Закавказье они являются злостными вредителями огородных культур.

Микрофауна в естественных скважинах

К микрофауне относят животных размером от 0,1 до 2-3 миллиметров. Это и мелкие паучки, термиты и муравьи. В условиях нашей страны надо особо выделить две группы - клещей и ногохвосток.

Клещей можно встретить в почвах везде, от Арктики до тропических лесов. Особенно многочисленны панцирные клещи (орибатиды). Численность их в лесах с мощной подстилкой доходит до 200-300 тысяч на квадратный метр при биомассе до 20 килограммов на гектар.

Питаются они гифами грибов и разлагающимися растительными остатками.

В пустынях (а в других зонах - на полях) на первый план выдвигаются растительноядные клещи - протисты. В СССР почвенных клещей известно не менее 1500 видов, из них половина - панцирные.

Численность и биомасса клещей зависят от обилия растительных остатков в почве, ее увлажнения, величины радиационного баланса. Любопытно, что в тайге на единицу площади биомасса панцирных клещей превышает биомассу птиц и млекопитающих, вместе взятых. Количество поколений этих клещей в разных природных зонах неодинаково. Если оценить общую биологическую продукцию орибатид за год, то в южной тундре она составит на квадратный метр 1 грамм, в тайге - 6, широколиственных лесах - 8, степях - 2,2, полупустынях - 1, пустынях - 0,1, влажных субтропиках - 13.

Стоит отметить, что "чистая продукция" орибатид вдвое выше, чем у грызунов, в 6,5 раза выше, чем у птиц, и в 3 раза выше, чем у муравьев.

Панцирных клещей не смущает присутствие человека и его деятельность, видоизменяющая ландшафт. Они спокойно живут в пахотных орошенных почвах, оставаясь одним из последних "реликтов" древнейшего животного населения.

Вред от клещей бывает немалым - ведь многие из них питаются соками и тканями растений, полезных для человека. Но люди научились эффективно бороться с такими вредителями, используя других, хищных клещей.

Об этом огромном мире, насчитывающем 50 тысяч видов, известно пока еще мало. Только в СССР ежегодно описывают 10-12 новых для науки видов. В трехтомном "Определителе почвенных клещей", вышедшем в свет в 1978 году, описано, например, 545 новых для науки видов и 57 новых родов. О них даже специалисты фактически ничего прежде не знали. Интересно, что один такой новый вид из этой группы был обнаружен в лесопарковом поясе Москвы.

Роль клещей в почвенных процессах особенно велика в северных районах, в тайге. Они являются первыми потребителями свежего еще опада листьев, они же распространяют споры грибов, некоторых простейших, что особенно важно для нижних горизонтов почвы.

Ногохвостки (коллемболы) - низшие бескрылые насекомые, - вторая по численности группа микроартропод, по нередко, например в тундре, их даже больше, чем клещей. В высокогорьях, в Арктике и Субарктике у них может быть одно-два поколения, южнее это число возрастает, а в лаборатории некоторые виды способны дать до 12 генераций в год. Численность ногохвосток колеблется в пределах 10-50 миллионов на квадратный метр, а биомасса - от 0,2 до 6,4 грамма. Они поразительно устойчивы к низким температурам и нередко бывают активны даже в мерзлой почве, а развитие их яиц не прекращается вплоть до плюс 2-3 градусов.

Удивительную картину можно видеть весной в районах вечной мерзлоты, особенно в сибирской тайге, после первых дождей: лужи в лесу покрыты сплошной пленкой из ногохвосток. В воде эти насекомые не тонут, а в глубь почвы (как и вода) уйти не могут - не пускает мерзлота.

Эти беспозвоночные обитают в основном в подстилке и верхнем слое почвы и не совершают глубоких миграций, но есть среди них и слепые обитатели нижних слоев почвы. Питаются ногохвостки низшими споровыми растениями, а в определенные сезоны в состав их рациона входит пыльца хвойных. Кроме

того, они потребляют в небольшом количестве ткани сильно разложившегося листового опада, остатки животных, а иногда выступают и в роли хищников. Некоторые коллемболы благополучно уживаются с микроорганизмами и с их помощью переваривают клетчатку. Нередко они встречаются в скоплениях экскрементов более крупных почвенных животных, например дождевых червей, и питаются непереваренными частицами растительных остатков, уже обработанных ферментами в чужом кишечнике. Ногохвостки довершают механическое разрушение клеточной структуры, их экскременты представляют собой тонкозернистую массу, которая внешне напоминает тот субстрат, который почвоведы называют зоогенным муллем. Но здесь необходимо небольшое отступление.

Почвообразующая роль микрофауны не была ясна до тех пор, пока не появился новый метод изучения почвенной структуры и деятельности почвенной фауны, в том числе микрофауны. Суть его сводится к тому, что почву пропитывают специальными составами, которые затвердевают, после чего делают тонкие срезы почвы и изучают их под микроскопом.

Еще до второй мировой войны была опубликована интереснейшая работа испанского почвоведов В. Кубиены "Микрочвоведение", которая положила начало новой области - микроморфологии почвы. Впервые микроскопическая техника была применена для исследования почвенных частиц, а также пор почвы непосредственно на стенках разрезов почвы. Немало сделали в микроморфологии и советские исследователи, которые в Почвенном институте имени В. В. Докучаева в 40-50-е годы начали микроморфологическое обследование почв нашей страны. Микроморфология при изучении форм гумуса в почвах, а также почвенных глинистых масс позволяет получать такие данные, которые иными способами добыть невозможно. И удалось выяснить немало.

В почвах гумус существует в трех основных формах, каждая из которых образуется по преимуществу одной группой живых организмов.

Грубый гумус волокнистый (мор) состоит из растительных остатков, подвергающихся разложению грибами; органические составляющие почвы здесь не имеют еще прочных связей с глинистыми минералами, деятельность животных и микроорганизмов если и проявляется, то - весьма слабо.

Промежуточный тип гумуса (модер) являет собой смесь растительных остатков с частицами, где органические соединения прочно связаны с минеральной частью почвы.

В мягком гумусе (мулле) преобладают глинисто-гумусовые комплексы с прочной связью обеих частей комплекса: образование таких форм гумуса тесно связано с деятельностью микрофлоры и почвенной фауны, которые зачастую действуют настолько взаимосвязанно, что выделить вклад каждого из этих живых компонентов невозможно. Почвенная фауна особенно активна в образовании именно мягкого гумуса. Это отмечали еще в конце прошлого века.

На тончайших шлифах, которые изготавливают после пропитывания почвы специальными фиксаторами, прекрасно видны следы жизнедеятельности животных: поры, ходы, выеденные ими мелкие корешки и разнообразные следы переработки органических остатков, в том числе экскременты животных, которые у каждой группы почвенной фауны четко отличаются по составу не только органических, но и минеральных соединений. Исследования И. Русека в

Чехословакии позволили прийти к выводу, что по таким шлифам можно объективно судить о деятельности животных в почве в целом и об относительном вкладе в почвообразование каждой группы не только крупных животных, но и микрофауны.

Под микроскопом на шлифах без труда различаются экскременты основных групп микрофауны: клещей, энхитреид, нематод, ногохвосток. Работы микроморфологов показали, что в некоторых почвах практически весь гумус составляют экскременты микрофауны или продукты дальнейшего разложения этих экскрементов микроорганизмами.

Млекопитающие-землерои

Множество млекопитающих использует почву только в качестве убежища. Здесь же речь пойдет только о тех животных, которые всю жизнь проводят в почве. В фауне СССР к землероям относятся кроты, слепыши, цокоры и слепушонки.

Кроты живут в лесах и лугах, избегая лишь сильно заболоченных участков и районов с высоким уровнем вечной мерзлоты. Различают несколько видов этих насекомоядных. Наиболее широко распространен европейский крот. Питаются кроты в основном почвенными беспозвоночными, особенно дождевыми червями. Иногда до 80 процентов их рациона составляют личинки насекомых, а в Западной Европе пищей им служат еще и трюфели - плодовые тела грибов аскомицетов.

Кроты роют запутанные подземные лабиринты, причем постоянные ходы располагаются на глубине 10- 20 сантиметров, а кормовые - до 10 сантиметров. Нередко, прокладывая кормовой ход, крот движется под самой поверхностью почвы. Эта поверхность и подстилка служат ему как бы сводом. Кроты выбрасывают на поверхность почву из глубин, поставляя тем самым в корнеобитаемый слой больше солей железа, алюминия и щелочноземельных металлов, чем их дает растительный опад.

В тех лесах, где кротов много, площадь их ходов может составлять до трети всей площади леса, а объем - до 15 процентов 10-сантиметрового поверхностного слоя почвы. Ходы, сделанные кротами, широко используются множеством лесных беспозвоночных, землеройками и всеми мышевидными грызунами.

Крот роет ходы, разгребая впереди себя грунт мощными передними лапами с уплощенными крепкими когтями, при этом немного поворачиваясь вдоль продольной оси тела. Земля порциями отбрасывается назад, а затем зверек головой выталкивает ее на поверхность.

Нередко наблюдается резкое сокращение численности кротов. Это случается, когда уменьшается численность дождевых червей или личинок хрущей (их основной корм) во время длительных засух или суровых малоснежных зим. Особенно губительны для крота сильные морозы после оттепелей, когда вода, затекая в ходы, образует там ледяные пробки, замуровывающие животных в ходах.

Роющая деятельность крота очень важна для формирования почвенного профиля и растительного покрова в южной тайге и смешанных лесах. В

Подмосковье выбросы крота охватывают половину всей поверхности почвы, на них появляются всходы древесных пород и мхи.

В лесостепи, степях и пустынях обитают землерои из отряда грызунов. Это слепыши, слепушонки и покоры.

Питаются они сочными корнями растений, в том числе и сельскохозяйственных. Все они прокладывают глубокие ходы, иногда на глубине до одного метра. Цокоры роют землю сильными короткими лапами с долотообразными когтями. Обитают к востоку от Алтая и имеют определенное промысловое значение - используется их шкурка. Слепыши и слепушонки разрыхляют землю выступающими вперед мощными зубами, позади которых губы срастаются и образуют клапан, который не дает земле попадать в рот. Слепыши довольно крупные зверьки - длиной до 35 сантиметров, а слепушонки много меньше (10-13 сантиметров). От них страдают бахчи, огороды, лесопосадки.

В северной части степной зоны и в лесостепи слепыши - обычные обитатели почвы. Они роют кормовые ходы в толще гумусового горизонта, который здесь имеет мощность 50-70 сантиметров, а гнездовые ходы - в подстилающих лесовидных суглинках. Весь гумусовый слой они перекапывают за 250-500 лет. Самка приносит летом двух-четырёх детенышей. На участках косимой степи под Курском численность слепышей составляет 97 экземпляров на квадратном километре.

Удивительно разнообразен мир землероев в Африке и Юго-Восточной Азии: чего стоит хотя бы бамбуковая крыса, выедающая в лесах и по берегам рек корни бамбука.

В прериях Северной Америки обитают очень похожие на наших землероев, но относящиеся к другому семейству грызуны гофферы, или мешотчатые крысы (это название они получили из-за больших защечных мешков). Гофферы создают запасы корма в подземных кладовых, пищу собирают не только в толще почвы (корни и клубни), но и на поверхности. Эти грызуны наносят большой ущерб, поедая корни деревьев, картофель, кукурузу.

Немалое воздействие на почву оказывает другая экологическая группа млекопитающих - норники. К ним относятся животные, делающие в земле норы, чтобы защититься от врагов, запастись кормами и выводить потомство. Но корм они добывают на поверхности. Таковы сурки, суслики, песчанки, хомяки, барсуки, кролики, лисицы, водяные полевки и многие другие. Объем выброшенной ими из нор земли местами бывает очень значителен. Холмики у нор сурков и песцов зачастую определяют специфику ландшафта. Роющая деятельность сусликов, в том числе насыпание холмиков - "сусликовин" бросается в глаза каждому, кто попадает в сухие степи или полупустыни.

Какие же проблемы приходится решать сегодня почвенным зоологам? Их немало. Прежде всего углубление наших знаний о фауне, численности и сезонной динамике -

ке почвенного населения в разных условиях. Для большей части почвенных животных, особенно мелких, неизвестны ареалы распространения, история их формирования. Необходимо выявить точные границы распространения отдельных видов, определить их численность в зависимости от изменяющихся природных условий. По сути дела, пока еще мы не располагаем такими данными ни для одного вида почвенных беспозвоночных, а ведь в СССР таких видов

тысячи. Множество видов животных даже не описано - каждый год открывают чуть ли не 100 видов новых почвенных животных.

Следует детально изучить экологию хотя бы массовых видов, особенности питания, интенсивность метаболизма, скорость обновления популяций. Не зная этого, так же как не зная биомассы и продуктивности разных групп животных, немислимо решать практические задачи, которые стоят перед почвенной зоологией. А для практических нужд надо знать, какова роль животных в разложении растительных остатков, поскольку от скорости разложения опада во многом зависит продуктивность естественных угодий.

Многие почвенные животные - опаснейшие вредители сельскохозяйственных растений, которые могут уничтожать или портить значительную часть урожая.

Понятно, что с такими животными приходится бороться, а для этого нужно многое о них знать, Специальное направление работ - заданная перестройка почвенной фауны с целью зоологической мелиорации почвы.

Следует сказать и об общебиологическом интересе к изучению почвенных животных. Почва в процессе исторического развития животных стала той средой, через которую водные формы проникли на сушу. Углубление наших знаний в этой области позволит не только лучше познать пути эволюции тех групп животных, происхождение которых пока недостаточно выяснено, но и воссоздать картину эволюции почв.

Зоологический метод диагностики почв

В "Лекциях по почвоведению" В. В. Докучаев приводит слова специалиста-энтомолога: "Привезите мне разных мух с Кавказа, и я вам скажу, какие там почвы".

Сказано кратко, эффектно, а главное - совершенно справедливо: ведь мухи черноземной, таежной и других зон отличаются друг от друга, и связано это в значительной мере с характером почвы.

Зеркало окружающих условий

Именно так называл почву Докучаев! Но поскольку условия всюду на Земле разные, то и почвы отражают весьма несхожие картины. Работы Докучаева и его учеников направлены были в первую очередь на решение конкретной практической задачи - дать оценку земель с точки зрения их пригодности для сельского хозяйства.

Закладывая основы учения о зонах природы, В. В. Докучаев, опираясь на исследования А. М. Энгельгардта, разработал обоснованную концепцию зональной агрономии. И не случайно таежно-лесная область была названа "зоной химизации", черноземная - зоной "физиации" (имеется в виду улучшение структуры, борьба за влагу), а область сероземов - "царством гидрации", то есть поливного земледелия.

Строительство социализма в нашей стране потребовало точной оценки природных богатств и способов их освоения. Необходимо было оценить земельные ресурсы, наметить пути расширения пахотных угодий, наладить производство хлопка на поливных землях в Средней Азии и Закавказье, создать собственное субтропическое земледелие, улучшить снабжение продовольствием

населения Нечерноземья. Без разработанной почвенной классификации, без картографии почв осуществить это было бы невозможно.

В годы Великой Отечественной войны в связи с перебазированием народного хозяйства на восток почвенпокартографические материалы использовались для расширения посевов, а на фронте - для составления оперативных карт, позволяющих судить о характере местности и состоянии дорог. А возможна ли была целинная эпопея без знания почвенных ресурсов!

Как же складывалась почвенная диагностика, каков ют фундамент, на котором строилась признанная во всем мире советская картография почв?

Определяя отдельные типы почв, ученые учитывали многие биологические признаки, в первую очередь характер растительного покрова, который формирует эти почвы. В 1886 году Докучаев дал первую в мире генетическую классификацию почв, о которой его ученик, известный почвовед Н. М. Сибирцев, говорил в своей, также ставшей классической работе "Об основаниях генетической классификации почв" (1895 год) следующее:

"1) Исходным пунктом ее служит не какое-нибудь прикладное или внешнее свойство почв, а их естественное происхождение, генетическое определение самой почвы как природного тела"; 2) основой классификации "провозглашаются типы и формы почвообразования в смысле определенной комбинации почвообразующих элементов"; 3) "ясно проводится мысль о постоянстве и законности территориального распределения почв по физико-географическим полосам и районам".

Сибирцев развил идеи своего учителя и довел почвенную классификацию до удобных в практическом использовании форм - компактных таблиц и карт. В 1898 году вышла в свет его "Схематическая почвенная карта Европейской России", на которой были выделены 22 основных типа и группы почв.

Основой для открытия ранее неизвестных почвенных типов долгое время служил докучаевский закон горизонтальной и вертикальной зональности почв. Докучаев точно сформулировал, что следует называть черноземом, поскольку прежде на Руси так называли любые черные, богатые перегноем почвы. В 1883 году он открыл особый тип почв сухих степей и назвал их каштановыми. Работая в Смоленской губернии, откуда сам был родом, Докучаев установил, что под хвойными лесами - еловыми, пихтовыми, сосновыми - существует особый тип почвы:

подзолы (слово "подзол" прочно вошло в научную терминологию и используется во всем мире). Промежуточные между подзолами и черноземами серые лесные почвы, на которых произрастают дубравы, нашел Сибирцев. В Средней Азии выдающимся нашим почвоведом С. С. Неуструевым были описаны сероземные почвы, которые при орошении отличаются необычайным плодородием и составляют одно из основных природных богатств республик Средней Азии.

Но едва ли не самым первым объектом научного изучения стали латериты почвы влажных тропиков. Название это произошло от латинского слова "латер" - кирпич. Латериты действительно напоминают кирпич и по цвету, и по плотности. Но, удивительное дело, в этих чрезвычайно плотных почвах тропических лесов, как показали советско-вьетнамские исследования в тропических лесах Вьетнама, обитает богатая фауна до глубины 30-50

сантиметров. Особенно многочисленны тонкие, как ниточка, дождевые черви и термиты, которые и на большой глубине выдалбливают в почве полости размером с грецкий орех и устраивают в них свои "грибные сады".

Замечательному ботанику А. Н. Краснову, основателю Батумского ботанического сада, мы обязаны расселением в Колхиде цитрусовых, чая, японской айвы, тунга, криптомерии, бамбука и многих других ценнейших растений, которые он вывез из Японии и Китая. Именно Краснов подметил своеобразие субтропических почв, которым он дал название красноземов. Обратив внимание на сходство красноземов Грузии и Китая, он доказал, что и в нашей стране возможно разведение субтропических культур. Ученик Докучаева, К. Д. Глинка, в будущем президент Международного общества почвоведов, выявил в субтропических районах Закавказья, особенно в Азербайджане, еще один тип почв - желтоземы.

Немало внимания уделяли исследователи и засоленным почвам. Были тщательно описаны внешне похожие на подзолы солоды - почвы с избытком натриевых солей, которые встречаются в лесостепи и степной зоне. И конечно, издавна были известны солончаки, в которых перенасыщены солью и почва, и грунтовые воды. Они пригодны для земледелия только после мелиорации, позволяющей избавиться от части солей.

Академик Н. А. Димо первым провел различие между солончаками и солонцами - особым типом почвы, который характеризуется избытком поглощенного натрия и структурным солонцовым горизонтом, распадающимся на отдельные почвенные "призмы". обстоятельно исследовал засоленные почвы в нашей стране и за рубежом В. А. Ковда, организатор Института агрохимии и почвоведения Академии наук СССР в Пущине.

А что же почвенные биологи? Каков их вклад? Увы, биология почв подошла к решению вопросов почвенной диагностики с опозданием почти на столетия. Удалось это сделать только тогда, когда были накоплены сравнительные данные по биологии различных почв.

Связать воедино почвоведение, биологию почв и сельскохозяйственную практику пытался в 30-е годы академик В. Р. Вильяме. Но его учение о едином почвообразовательном процессе носило в ту пору несколько умозрительный характер, ибо фактов для подобного обобщения было собрано еще недостаточно.

Долгое время господствовало убеждение, что почвенные микроорганизмы космополитичны и условия различных природных зон слабо влияют на микробиологию почвы. Многолетние исследования микрофлоры привели академика Е. Н. Мишустина к важному заключению:

"Каждому почвенному типу свойствен характерный микробный пейзаж", поскольку, несмотря на широкое распространение микроорганизмов, существуют все же зоны их оптимального размножения, которые у отдельных видов не совпадают. Так что и микробиологические характеристики могут использоваться для диагностики почв.

Заметим, правда, что этот вывод был сделан только в 1975 году - через столетие после основополагающих работ В. В. Докучаева.

Надо полагать, что биология почв еще скажет свое слово, и возможно, очень веское, в вопросах почвенной диагностики и классификации, когда будут в

достаточном количестве собраны сведения о сезонной динамике сообществ почвенных организмов в разных природных условиях, их биомассе, продуктивности, химическом составе, видовой насыщенности, структуре.