
ДИСКУСІЇ

УДК 631.4

А. И. Морозов

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ

А. И. Морозов
Російський науковий центр “Курчатовский институт”

ПРО ОРГАНИЗАЦІЮ ҐРУНТОВОЇ БІОТИ

Розвивається гіпотеза про ґрунтову біоту, управління вищими грибами, а також про імовірні структури організації біоти, зокрема так звані “Поліс” та “Екосом”. Підкреслюється необхідність розробки напрямку “функціональне ґрунтознавство” з провідною роллю біоти і рослин.

Ключові слова: ґрунтова біота, організація, управління.

A. I. Morozov
Russia scientific center “Kurchatovskiy institute”

ON ORGANIZATION OF SOILS BIOTA

The hypothesis about an edaphic biota, controlled by higher fungi educes. The necessity of developing of a direction “Functional pedology” is emphasised.

Key words: soils biota, organization, management.

Почва представляет собой неизмеримо богатый мир организмов и косных структур. По этой причине, несмотря на более чем столетнее существование почвоведения, отражение почвы в научной литературе весьма неадекватно. Будучи в первую очередь порождением живого – растений и почвенной биоты (остальные факторы определяют лишь ее разновидности), почва тем не менее и в общих обзорах, и в журналах выступает прежде всего как твердотельная косная субстанция, а живое, в том числе почвенная биота (ПБ), как нечто менее характерное, представляющее интерес в основном специалистам по биологии почв. Такое положение объясняется рядом причин. Прежде всего, ПБ и ее функционирование – несравненно более сложный объект, чем абиотический комплекс почв и процессы в ней, а тем более макроструктура почв в виде горизонтов и их зависимость от географических факторов. Поэтому неудивительно, что столько почвоведов сосредоточились на описании географии почв. Да и сейчас первый раздел журнала «Почвоведение» РАН всегда посвящается классификации почв и достаточно спекулятивному во многом описанию генезиса почв.

Недостаток внимания к ПБ объясняется еще и тем, что ПБ слишком хорошо приспособлена к сложным, быстропеременным и подчас плохопредсказуемым условиям в почве и на ее поверхности. Она почти всегда готова ко всяким неожиданностям. И поэтому о ней мы, как правило, не должны заботиться. Но и ПБ иногда не выдерживает давления (Бурова, 1991). Конечно, за прошедшие 150 лет, отчет которых можно начинать от работ Пастера, накоплен очень большой материал о ПБ, но он не доведен до такого уровня, чтобы стать фундаментальной основой почвоведения. Это задача XXI века, который будет не только веком информатики и биосистем, веком овладения просторов Солнечной системы, но и веком расцвета почвоведения. Тем не менее сохранение биосферы в целом и более частные

© Морозов А. И., 2004

потребности экологии, повышение урожайности, создание автономных экосистем для космических станций – эти и другие проблемы уже давно нуждаются в создании количественного почвоведения, т. е. фундаментальной точной науки, органически входящей в круг таких наук, как физика, химия, биология, метеорология, опирающихся на всю мощь современных (и будущих) средств диагностики и информатики. Но эта новая ступень развития почвоведения может быть создана только при явном учете того, что ПБ и корни растений играют ведущую роль в почве, поэтому они и должны лежать в основе той, по сути центральной области почвоведения, которую естественно назвать «физиологией почв» или «функциональным почвоведением», и только тогда можно будет иметь цельную, логически стройную фундаментальную науку о почве, обладающей большой предсказующей способностью не только на качественном, но и на количественном уровне.

Настоящая статья посвящена принципиальному вопросу: является ли ПБ в основном просто суммой независимых организмов или это достаточно хорошо организованное целое? Разумеется, говоря о ПБ как едином целом, мы понимаем это не в смысле сплошного тела, а как некую структуру, легко пронизываемую, но в то же время сохраняющую функциональную работоспособность и при необходимости легко восстанавливающую свою целостность.

Если ПБ ведет себя как целое, то это предполагает наличие не только трофических и транспортных связей, но и информационных механизмов передачи сигналов.

В настоящее время мы имеем практически весь спектр высказываний об эффективности внутренней синхронизации ПБ – от фактического ее отрицания до утверждений о ее глобальности и эффективности. Иллюстрацией первой крайней позиции могут служить такие слова: «Концепция комплекса почвенных микроорганизмов ... отрицает идею о глобальной строгой и жесткой организованности почвенных микроорганизмов в единую систему на основе средовых гормонов или каким-либо другим способом» (Звягинцев, 1987, с. 150-151).

Примерами другой крайней позиции могут служить концепция управляемой грибами ПБ, предложенная нами в статье «О природе почвы» (Морозов, 1988а), а еще более крайней является идея «Геи».

В настоящей статье мы продолжим разработку концепции «управления мицелиальными грибами почвенной биоты», уточним ряд положений, высказанных нами в статье «О природе почвы», а также рассмотрим ряд новых фактов, которые установлены в 1980-1990-х гг. и которые, как нам представляется, являются сильной поддержкой нашей точки зрения. Однако перед тем как переходить к изложению нашей модели, уточним смысл основных понятий.

Под почвенной биотой (ПБ) будем понимать все живое, находящееся ниже наружной поверхности подстилки, кроме корней растений. Реально они также относятся к ПБ, но их поведение существенно отличается от поведения собственно ПБ.

Под управлением объектом А со стороны объекта Б понимается такое воздействие Б на А, которое в изменяющихся условиях обеспечивает эволюцию А в направлении некой, заранее определенной тем или иным способом, цели. Управляющие воздействия могут быть «поощряющие» и «наказывающие»

В интересующей нас проблеме такие воздействия осуществляются регулированием питания, биоактивными веществами, световыми и электрохимическими воздействиями и т. п.

И последнее общее замечание. В свое время В. И. Вернадский подошел к биосфере в существенной степени с геологических позиций, говоря о «живом веществе» просто как об эффективном реакторе.

Но на самом деле суть живого – это материализация информации от ДНК и РНК и до экосистем и человеческого общества. Мы прекрасно чувствуем эту информационную сторону живого, которая и позволяет жить организмам, войдя, например, в лес и любуясь цветами, пением птиц, брачными ритуалами животных.

Поэтому правильно говорить о биосфере прежде всего как об «информсфере», которая на определенном уровне порождает ноосферу.

Концепция «управляемой грибами почвенной биоты»

Теперь кратко перескажем основные положения раздела «О почве как о системе с «управляющими организмами», содержащиеся в статье «О природе почвы» (Морозов, 1988а). Целесообразность такого пересказа обязана малой доступности этого издания.

Непосредственным поводом к написанию статьи «О природе почвы» было глубокое удивление автора, как может эффективно работать такое тесное переплетение корней, беспозвоночных животных, грибов и бактерий, к тому же «обмазывающих» своими выделениями друг друга. И при этом почва перерабатывает опад и все живое, что отмирает, самоочищается, питает растения, самовосстанавливается и т. д. Здесь могли быть две крайние точки зрения: либо все со всеми самосогласованно в процессе эволюции, либо есть некая группа организмов, которая как-то согласует поведение компонентов ПБ, т. е. управляет ими. При этом априори можно было допустить, что «главное управление» осуществляется или неким одним организмом – «монархом», или системой организмов – «олигархией». В итоге мы пришли к формуле:

«развитая почва – полис грибов».

Поясним эту формулу. Дело в том, что когда мы встречаемся с совершенно новой неизученной ситуацией, первая задача – найти для нее подходящую аналогию. В качестве такого аналога для ПБ мне показалось целесообразным взять гнезда общественных насекомых с их постройками для жилья – ульями, муравейниками, термитниками, «садами» («грибными огородами»), «складами» и т. д. Такой организованный биокосный комплекс назван «полисом». Применительно к почве аналогом животных-организаторов (пчел, муравьев и т. п.) естественно было взять грибы в соответствии с тем, что будет сказано ниже. При этом не делалась попытка четко указать группу грибов-управленцев, поскольку для этого явно не хватало практического материала.

В результате вырисовалась следующая схема:

а) мицелиальные структуры грибов, заменяя цепочки бегающих организмов – доминантов классических полисов, образуют транспортно-информационные связи в пределах большого объема почвы;

б) «жилье» грибов обеспечивает гумифицированная масса почвы;

в) роль склада «продуктов питания» играют опад, Гумус (Слово «Гумус» пишется с заглавной буквы, если речь идет о гуматном гумусе), а также сама биомасса грибов и других компонентов (Мирчинк, 1988; Полянская и др., 1995);

г) мезофауна почвы может рассматриваться и как питание (поедание нематод хищными грибами), и как «рабочая сила» для первичного измельчения опада и т. д.;

д) аналогом «сада» классического полиса предлагалось в грибном полисе рассматривать всю растительность БГЦ. Последняя аналогия в настоящее время мне представляется в общем спорной, этому вопросу в данной статье будет посвящен специальный пункт «О понятии почва»;

е) для классических полисов общественных организмов, хотя и не обязательно, характерны еще два момента, которых как будто бы нет в грибном полисе: это наличие «матки» и соответственно генетическая тождественность организмов-доминантов.

О последнем отличии и как оно снимается мы скажем ниже, а что касается матки, то ее роль сможет исполнять «гриб-монарх или «грибы-олигархи».

Итак, видно, что формула «почва – полис грибов» отражает достаточно полную аналогию между полисами общественных насекомых и почвой. Во всяком случае, эта аналогия представляется более адекватной сути дела, чем, например тезис «почва – реактор».

Нами отмечен еще ряд фундаментальных процессов, которые определяются грибами. Сюда относится производство темноокрашенными грибами меланинов для синтеза Гумуса (концепция П. А. Костычева, Т. Г. Мирчинк – Д. Г. Звягинцева и др.), большая распространенность микоризы, которая может играть роль как локального «согласователя» почвенных организмов друг с другом, так и локального регулятора («управленца»), который эффективно влияет на снабжение растений водой и солями и, в частности, ослабляет отрицательное влияние кислотных дождей на растения и т. п.

Наконец, немаловажным моментом в формировании указанного взгляда на грибы в почве был и факт существования лишайников, во многих случаях предшественников собственно почвы, которые можно рассматривать как «микробиогеоценозы».

Перечислим набор качеств, который должен иметь хороший управленец. Это оперативность, владение как положительными стимуляторами, так и средствами подавления нежелательных действий своих подчиненных.

В принципе все это имеется у почвенных грибов. Реакция определяется быстрым ростом гиф и возможностью транспорта вещества по ним, «опытность» может накапливаться в связи с долгоживучестью многих грибов. Стимулами могут служить, в частности, ростовые факторы, а «подавителями» – токсины и антибиотики, продуцируемые грибами.

Остановимся еще на двух важных понятиях. Это понятия «инсом» и «эксом», введенные в примечание, и ради краткости мы просто процитируем его (Морозов, 1988а, с. 225).

«Учитывая ... нетривиальность и динамичность Гумуса, а также возможность синтеза его основных компонент в грибах и способность грибов выделять в окружающую среду ферменты... и другие активные метаболиты, нетрудно прийти к представлению о системе «грибы + Гумус» как о некоем «организме», у которого «тело» (гумусированная минеральная компонента) находится вне активного ядра (в нашем случае – гриба) и не имеет какой-либо четкой внешней оболочки ... В отличие от обычных организмов с явной внешней оболочкой-границей, которые мы предлагаем называть «инсомами», необычные «организмы» с «неограниченным внешним телом» можно было бы назвать «эксомами».

Таким образом, можно сказать, что почва – это множество эксом (ср. с идеей «Геи»).

В только что сказанном следует еще раз подчеркнуть внешнее питание грибов и большое количество биоактивных метаболитов в почве.

В примечании к статье «О природе почвы» (Морозов, 1988а) редактор сборника, в частности, отметил: «Предлагаемая статья А. И. Морозова включает в себя анализ роли информационных процессов в почвообразовании ... Если дальнейшие исследования, которые, как мне кажется, необходимо поставить, подтвердят концепцию А. И. Морозова, то на биогеоценоз нужно будет смотреть как на систему информационную, а не только энерго-массовую, какой она представлялась до сих пор ...».

Итак, видно, что в статье А. И. Морозова «О природе почвы» было достаточно конструктивно сформулировано представление о почве как системе с «управляющими» организмами. Но в этой же статье отмечалось, что сейчас «самым слабым местом ... является отсутствие прямого выявления на опыте структуры и функционирования информационных цепей, образуемых грибами, и отсутствие непосредственных наблюдений эффективного управления почвенными процессами».

Но в то же время самым сильным, в пользу развиваемой концепции, был такой аргумент: «... трудно придумать такие ситуации, которые не реализуются в мире грибов ... Зачем нужна такая мощь? Ведь не зря же все это вырабатывалось в процессе эволюции».

Царство грибов – это еще один космос, настоящее знакомство с которым началось фактически в нашем веке».

Об отмеченных трудностях и пойдет речь далее.

Коллективные эффекты, связанные с грибами

Безусловно, настоящее подтверждение (или опровержение) предлагаемые модели организации ПБ получают только тогда, когда будут изучены на количественном уровне характеристики переноса веществ и сигналов по гифам и с помощью диффузионных механизмов. Сегодня этого, насколько известно автору, нет. Поэтому мы вынуждены опираться на косвенные факты, благо за 1980–1990-е гг. их получено немало. Правда, в основном они касаются взаимодействий гифов с растениями, тогда как данных о взаимоотношениях грибов и биоты несравненно меньше.

В 1993 г. вышла книга И. Б. Каратыгина «Коэволюция грибов и растений» (цит. по: Морозов, 1988а), в которой дан обзор 428 публикаций.

Здесь мы в существенной степени используем те ее материалы, которые так или иначе позволяют получить представление о почвенных биотических системах и о роли в них грибов.

Сначала приведем относительно новые данные (Каратыгин, 1993), касающиеся взаимодействия одиночного растения с грибами.

1. Наряду с микоризой, по-видимому, существенную роль в жизни растений играет эндомитизм грибов, т. е. сожительство грибов с фотосинтезирующими органами растений. «Практически все растения содержат в тканях грибы-эндомиты».

2. Микориза оказывает полифункциональное действие на растение, в частности усиливает фотосинтез.

3. Микоризные грибы участвуют во многих отношениях с почвенными организмами различных таксономических и тропических групп, в частности защищая корни от многих почвенных патогенов.

4. Микобионты выделяют ростовые вещества, обладающие гормональным действием на растения, витамины, гиббереллины, этилен и др.

5. В последнее время получены сведения о том, что структурные и метаболические изменения, происходящие в клетках симбионтов при формировании эндомикоризы, такие как взаимозависимый рост гиф и тканей, находятся под контролем особых «симбиотических генов».

Только что приведенные факты, вместе с тем что давно было известно о «защитной» деятельности микориз, позволяют говорить об «управляющей» функции микоризных грибов.

Но ситуация с «управлением» оказалась еще более очевидной, когда стали изучать роль грибов в биогеоценозах. Эти исследования привели к концепции «социального комплекса организмов». Суть ее в том, что корни различных растений экосистемы могут быть связаны друг с другом гифами.

Благодаря этому минеральные вещества и углеводы способны мигрировать от одного растения к другому.

«Грибы оказываются в роли не только поставщиков, но и перераспределителей биогенных веществ для растений всего фитоценоза как целого ... Таким образом, в любом растительном сообществе корневые системы растений различных видов оказываются погруженными вместе в сложную сеть из гиф нескольких или даже многих видов грибов. Можно предполагать такое взаимодействие микоризных грибов с паразитами (имеется в виду грибами-паразитами – *A. И.*) и эндомитами, обитающими в верхних ярусах растений. Микориза в таком сообществе выступает как некий интегрирующий механизм, определяющий его физиологическую целостность ... В этой ситуации микориза, участвуя в перераспределении биогенных элементов, оказывает определенное, возможно, значительное воздействие на конкурентные отношения между растениями в экосистеме» (Каратыгин, 1993, с. 57).

Таким образом, из сказанного хорошо видна управляющая роль грибов в биогеоценозах, по-видимому, соизмеримая с управляющей ролью растений. А в целом ситуация здесь очень напоминает взаимоотношения водорослей и грибов в лишайниках.

К приведенному выше И. В. Каратыгин добавляет, что в 1920-х гг. В. Р. Вильямс высказывал идею всеобщей симбиотической связи растений и грибов и писал о большой роли этой связи в почвообразовании.

Наряду с изучением связей грибов с растениями, хотя и в существенно меньшей степени, изучались связи грибов с остальной ПБ. Здесь можно отметить цикл работ Л. Л. Великанова, выполненных в последнее десятилетие, в которых было непосредственно показано влияние агариковых базидиомицетов (АБ) на бактерии и другие компоненты ПБ. Им с сотрудниками было, в частности, показано, что АБ сильно влияет на временное и пространственное распределение мико- и микробиоты почв и подстилки в лесных сообществах и вместе с растениями обеспечивает высокую вариабельность в горизонтальном и вертикальном распространении микромицетов и бактерий. Во многих случаях в зоне влияния АБ наблюдается резкое уменьшение числа и многообразия микромицетов и рост числа бактерий (Великанов, Сидорова, 1992).

Мичиганские гигантские грибы

Весьма существенными для развиваемой нами концепции управляемой грибами ПБ были выполненные в 1990-х гг. в лесах штата Мичиган (США) измерения размеров мицелия опенка *Armillaria burbosa*. Используя методы генетической идентификации, группа американских и канадских ученых показала, что существуют грибные индивидуумы (назовем их условно «мичиганские гигантские грибы» – МиГГ), гифы которых могут занимать площади в несколько гектаров, а суммарная масса достигать сотни тонн (Anderson, Kohn, 1995; Smith et al., 1992). Естественно, аналоги МиГГ живут и у нас.

Наряду с определением размеров и массы МиГГ были установлены также их «монархические наклонности». Оказалось, что эти грибы не терпят соперников того же вида, воюя с ними активными метаболитами, и в то же время нормально сосуществуют с другими грибами. Эти свойства МиГГ как нельзя лучше согласуются с высказанными в статье Морозова «О природе почвы» (1988а) гипотезами об управлении ПБ грибами и о том, что грибы могут играть роль своеобразных «ДНК» БГЦ в соответствии со своей генетической программой, поддерживая рост одних растений и подавляя рост других.

Существование МиГГ не только говорит о том, что отдельные грибы могут брать под свой контроль огромные площади, но и то, что они являются весьма долгоживущими организмами.

Низшая граница продолжительности их жизни, согласно Smith et al. (1992), составляет примерно 1500 лет. Поэтому МиГГ относят к числу наибольших по размерам и старейших по возрасту организмов на Земле.

Естественно ожидать, что с годами МиГГ «набираются опыта» и становятся «умнее». Нам представляется, что сегодня именно опенки оказываются наиболее подходящими кандидатами на роль «главных управленцев».

Некоторые уточнения и замечания

В этом разделе мы остановимся на уточнении ряда моментов, существенных для нашей концепции управляемой грибами ПБ.

О двух способах передачи информации

Если из некоей точки А надо передать информацию в точку Б, то в принципе есть два крайних способа ее передачи. Один из них можно назвать «безадресным», или, применительно к почве, «диффузионным», а второй – «адресным», или «детерминированным».

В первом случае информация посылается «по всем возможным» направлениям и по одному из них, заранее неизвестному, сигнал проходит к приемнику Б.

Во втором случае существует канал, соединяющий А и Б, и по нему сигнал однозначно приходит в Б.

Примером первой схемы связи могут служить облака пыльцы хвойных растений, выделения феромонов и т. д. Примерами второй схемы являются оплодотворение у высших животных, передача нервных импульсов и т. д. Однако это только простейшие формы связи. Чаще встречаются комбинации указанных форм. В случае разветвленных сетей с самопересечением возникают замкнутые петли, которые могут играть роль ячеек памяти и тем самым создавать предпосылки для квазиавтономного поведения сети.

Неоднократно предлагались модели синхронизации процессов в почве, основанные на диффузионной передаче информации с помощью различных газов, например этилена. Однако мы считаем, что принципиально важно учитывать также детерминированный перенос ее грибными гифами, хотя определенную роль (на малых расстояниях), безусловно, играют и диффузионные связи. Более того, не исключена потенциальная возможность образования петель за счет анастомоза и благодаря этому появления еще одного механизма «памяти» в грибном мицелии.

Мы не будем касаться здесь конкретных механизмов передачи управляющих сигналов по гифам. Отметим только, что они, в принципе, могут быть обусловлены не только переносом веществ или электрохимическими процессами, но и световыми. О наличии световых процессов в гифах наглядно говорит свечение концов гиф опенок, пронизывающих гнилушки. Биологическая активность сине-фиолетового света изучалась на гифах, например, в работе «Влияние света на мембранный потенциал клеток *Neurospora crassa*».

Насыщенность почвы гифами

Для нашей концепции принципиально важна степень насыщенности почвы гифами грибов. Если гифов мало, то расстояние между ними будет большим и передача информации в почвенном объеме будет в существенной степени диффузионной, т. е. скорее всего сравнительно малоэффективной.

Насыщенность гифами определяется средним значением суммы длин. Эти величины определялись неоднократно (Мирчинк, 1988; Морозов, 1988а). Характерные суммарные длины Λ_g лежат обычно в пределах 300-3000 м/г, хотя наблюдались и большие длины, вплоть до 20 км/г.

Взяв $\Lambda_g = 1000$ м, можно оценить характерное расстояние между гифами δ_g , предположив, что 1 г почвы имеет объем 1 см^3 , и в нем прямые отрезки гифов длиной 1 см (их будет $N = 10^5$) уложены на равных расстояниях δ_g друг от друга.

$$\text{Тогда } \delta_g = \frac{1}{\sqrt{N}} \text{ см} \sim 30 \text{ мкм.} \quad (1)$$

Разумеется, эта оценка имеет два недостатка: с одной стороны, гифы в реальной почве распределены неравномерно, а с другой – здесь не отражена принадлежность их к разным грибам. Тем не менее эта оценка дает представление о масштабе δ .

В промежутках между гифами сигналы будут распространяться диффузионным способом. Оценку масштаба времени, необходимого для преодоления сигналом расстояния δ_g (подразумевается, что сигнал имеет химический характер), можно сделать по формуле Эйнштейна

$$\tau_s \sim \frac{\delta_g^2}{D_s}. \quad (2)$$

Здесь D_s – коэффициент диффузии сигнальной субстанции в межгифовом промежутке. Сейчас, насколько нам известно, никаких данных о величине D_s нет. Поэтому будем считать, что D_s – величина порядка типичного времени диффузии веществ с молекулярной массой несколько сот дальтон в воде. Тогда можно принять, что $D_s \sim 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ (Физические величины, 1991).

Подставляя в формулу (2) это значение D_S и найденное выше значение δ_γ , получим $\tau_S \sim 1$ с.

Разумеется, эта величина будет изменяться при изменениях δ_γ и D_S , но если эти вариации не будут слишком большими, величина τ_S будет оставаться относительно малой.

О «базовых» группах почвенных организмов

Исключительное многообразие организмов в почве естественно, так как ПБ в целом должна обладать огромным запасом устойчивости в резко изменяющихся условиях, что достигается в значительной степени многообразием изоферментных микроорганизмов (Звягинцев, 1987). ПБ является не только деструктором всего поступающего в почву, но и деструктором самой себя.

Наконец, за те многие сотни миллионов лет, в течение которых существует почва, в ней сравнительно уютно устроились самые различные «приживальцы».

В этих условиях строить относительно простые и эффективные модели функционирования ПБ можно только, выделяя минимальное число доминантных «базовых» групп организмов. Как известно, за малым исключением (азотфиксация), в почве в принципе все «базовые» функции либо выполняют, либо могут выполнять грибы, включая микроскопические. Поэтому ниже будет идти речь только о грибах.

Возможные схемы морфологической организации «базовых» грибов

Сделаем теперь попытку представить себе возможные схемы функциональной организации ПБ. В основу предлагаемой ниже схемы положим способность грибов к тесным контактам как с родственными, так и генетически далекими организмами. Это парасексуальные контакты, анастомозы, разные формы микоризы, эндофитизы, захват хищными грибами нематод, паразитизм и т. д. Не уточняя – из-за недостатка данных, – какова именно форма (или формы) контакта играет наибольшую роль в информационных и транспортных связях между грибами-доминантами и другими организмами, будем называть эти контакты «сцеплениями».

Предполагая наличие МиГГ или их аналогов и сцеплений между грибами разных видов, можно представить себе следующие четыре типа крайних ситуаций:

а) сцепления имеют случайный характер, и базовые группы грибов практически не сцеплены друг с другом. Кроме того, нет выделенного «монарха» типа МиГГ. В этом случае ПБ можно назвать «анархической». Именно эта схема – без явной формулировки – обычно подразумевается в литературе;

б) сцепления имеют случайный характер, но существует «монарх» типа МиГГ. Этой организации присвоим имя «полис», или «монархический полис»;

в) существует «монарх», сцепленный с заведомо неполной группой базовых грибов. Это будет «квазиэксом»;

г) «монарх» сцеплен практически со всей группой базовых грибов. Такой структуре присвоим имя «эксом».

Прокомментируем сказанное.

Если эксомы действительно образуются, то они во многих отношениях должны быть подобны настоящим организмам (инсомам).

Так, гумусированная масса почвы – а, как известно, И. В. Тюрин называл Гумус белком почвы – является тем «телом», в которое втиснута управляющая (или может быть, лучше сказать, «активная») часть эксома – гриб «монарх» и связанные с ним группы базовых грибов.

Но в то же время эксомы, если они (или нечто очень похожее) существует, поставляют совсем новую форму организации живого. Они имеют предельно минимизированную активную часть и управляют огромным внешним объемом, используя «помощников» для создания Гумуса («сомы»), биоактивных метаболитов и т. д. Очевидно, эксомы – это предел «альтруизма» в живом мире. Они создают условия жизни для всего населения биосферы.

О понятии «почва»

А теперь остановимся на понятии «почва». В. В. Докучаев определил почву как «особое естественно-историческое тело», которое является функцией пяти факторов. О недостатках этого определения говорили многое. Но главный недостаток определения В. В. Докучаева состоит в том, что под него попадает все, не являющееся газообразными или «слишком жидкими»* образованиями на поверхности Земли, например дороги, крыши и т. п. Фактически это определение апеллирует к субъективному образу почв у человека, и вся информация, содержащаяся в определении, состоит в том, что почвы не относятся ни к минералам, ни к животному, ни к растительному царствам**, а суть – «особые тела», образующие свое «царство». Но в чем эта особенность – остается без ответа.

Поэтому неудивительно, что многими почвоведомы либо давались совсем другие определения почвы (например, П. А. Костычевым, В. Р. Вильямсом, Б. Г. Розановым и др.), либо предлагались различные модификации определения В. В. Докучаева (Д. Г. Виленским и В. М. Фридландом, В. О. Таргульяном и др.). Мы уже говорили, что в статье А. И. Морозова (1988а) «О природе почвы» была предложена формула

«почва – полис грибов». (А)

Однако эта формула не точно передавала ту концепцию, которая излагалась в статье А. И. Морозова (1988а) «О природе почвы». Строго той концепции соответствует формула

«биогеоценоз» (БГЦ) – «полис грибов», (Б)

поскольку растительность нами считалась подчиненной грибам и сопоставлялась с «садом» в муравейнике. В общем, такой «монистический» взгляд на БГЦ является, скорее всего, перебором. Более реалистичным мне сегодня представляется «дуалистический» взгляд, при котором растительность и ПБ (прежде всего, грибной комплекс) рассматриваются как более или менее равноправные партнеры в БГЦ, т. е. наподобие того, что имеет место в лишайниках.

Очевидно, формула (А) находится в полном соответствии с дуалистическим подходом, если в ней под почвой понимать массу без «корней», а понятие «полис» трактовать обобщенно, включив в него эксомы. Теперь из формулы (А) выпадают только почвы с «анархической» ПБ, но, как мы все время подчеркивали выше, вероятность существования таких почв, с нашей точки зрения, мала. Окончательно развернутое определение почвы может быть дано в виде:

почва – полис грибов, конкретные свойства которого определяются пятью докучаевскими факторами. (В)

Очевидно, в такой форме слова «полис грибов» можно рассматривать как расшифровку докучаевских слов «естественно-историческое тело». Более того, как известно, В. В. Докучаев любил говорить: «Почва – четвертое царство природы», имея в виду три «классических» царства: минеральное, растительное, животное (Крупеников, 1981). Поэтому в статье А. И. Морозова (1988а) «О природе почвы» сказано:

«Но эта фраза была, по существу, красивым образом, так как в этом царстве не был известен «царь». Как уже отмечалось, в 1960-х гг. грибы выделяются в особое

* Впрочем, наш видный гидролог С. Д. Муравейский (1960) писал: «... Вода водоемов по всем свойствам относится к природным телам типа почв, а не минералов. Вода это почва в широком понимании этого слова ...»

** Однако современные классификации почв относят к ней чисто биогенный объект – подстилку.

царство. И наша гипотеза претендует на соотнесение почвы – четвертого царства В. В. Докучаева – с «царством грибов».

И еще одно замечание, касающееся БГЦ. Учитывая, что корни растений имеют мицелиальную структуру, а грибы также мицелиальны, то БГЦ естественно представлять себе прежде всего как систему сцепившихся под дневным горизонтом двух царств: растений и грибов (микоризы, полисов, эксомы).

Возвращаясь к формуле (В), следует отметить, что она хотя и более конструктивна, чем формула В. В. Докучаева, тем не менее в обозримое время вряд ли почвовед, изучая почвы, будет начинать с поиска полиса или эксомы. Естественно, что в своей практике он будет исходить из определения П. А. Костычева: «Мы прежде всего выделяем верхний слой Земли до той глубины, до которой доходит главная масса растительных корней, и называем этот слой почвой». Исходя из представления о подземной части БГЦ как системы двух сцепившихся мицелиальных структур, мы можем сказать, что полис грибов обнаруживается по своему естественному дополнению – массе корней. Так тесно переплетается наше определение почвы с определением П. А. Костычева. Но при этом мы не отвергаем и то положительное, что есть в определении В. В. Докучаева: пять факторов, которые формируют конкретную почву. К сказанному можно добавить следующее. По той концепции, которой мы придерживаемся, основой почвы – ее «мотором» – является так или иначе организованная ПБ, которая сосет и питает корни, разлагает опад, создает Гумус, преобразует минеральную компоненту и т. д.

Эта биологическая концепция развивалась многими, в том числе П. А. Костычевым, В. В. Вильямсом и др. Очень категорично эту концепцию поддерживал А. А. Роде (1971).

В результате деятельности ПБ в основном и формируется та твердотелая структура, та система генетических горизонтов, которую в традиционном почвоведении и называют почвой. При этом практически забывают ее создателей, подменяя их неспецифическими «факторами», а все горизонты, образующие профиль, рассматриваются сегодня, по сути, как равноправные. Однако такой взгляд сразу приводит к ряду принципиальных трудностей.

В частности, остается неясным, на какой глубине заканчивается почва. Известно, что сам В. В. Докучаев в труде «Русский чернозем» называет «собственно почвой» только горизонт (А). Но затем он добавляет к почве переходный горизонт, и общая мощность почвы у него достигает 2 м.

Очевидно, наше понимание почвы близко к первоначальному пониманию почвы В. В. Докучаевым. Именно наличие ПБ в функционально значимых количествах и определяет ту зону, которую следует, по нашему мнению, называть «собственно почвой».

А то, что находится ниже этой «живой почвы», есть просто продукт «почво-стимулированного» выветривания под действием отходов функционирования собственно почвы.

О логической схеме функционального почвоведения (Morozov, 1998)

Почва не только нетривиальный объект сам по себе, но и фундаментальный компонент самых разных систем: ландшафта, агрокомплексов, биосферы, населенных пунктов и т. д.

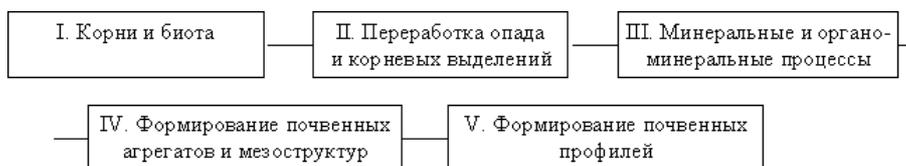
Естественно, что в каждом случае почва выступает какими-то отдельными своими сторонами. Соответственно этому есть различные «почвоведения». Но при всем том есть «почва для себя», и ей должно соответствовать «функциональное почвоведение», содержащее как ряд уравнений (или их аналогов), количественно описывающих основные процессы в почве, так и набор предельных условий, отражающих «внешний мир».

Основу функционального почвоведения должны составлять физика, химия, биология и адекватный математический аппарат.

Пользуясь терминологией А. А. Роде (1971), можно сказать, что здесь в основу должны быть положены во всем объеме «микропроцессы». Однако огромное количество процессов, идущих в почве, очень остро ставит проблемы отбора нужных для почвоведения микропроцессов и объединения функционально близких компонент и процессов в «связки» (Морозов, Грачева, 1997; Самойлова и др., 1993), ранним прообразом которых можно считать ЭПП Ф. И. Козловского. Разумеется, вся эта огромная работа под силу только большим коллективам классических почвоведов, экспериментаторов и профессиональных теоретиков, работающим по хорошо согласованным научным программам.

Создание такой формализованной фундаментальной науки, способной предсказывать поведение почв в самых разных условиях, – это задача XXI века.

Выше мы говорили только о возможных схемах организации почвенной биоты. Но это только часть того, что потребуется сделать для создания «функционального почвоведения» в целом. Общая схема такой науки будет включать следующие разделы:



Работа в указанных направлениях идет и с каждым годом становится все интенсивнее. В этот поток вносит вклад и автор со своими коллегами. Сюда относятся: по разделу II – фрагменты формализации процесса формирования Гумуса (Морозов, Самойлова, 1993), по разделу III – кинетика песчаных компонент почв (Морозов, Соколова, 1991; Соколова, Морозов, 1992), взаимодействие органических кислот с лесной почвой (Орлов и др., 1994), по разделу V – серия работ по формированию профилей почв подзолистого типа (Морозов, 1988а, 1988б; Модель эволюции ..., 1990; Морозов, Таргульян, 1995). Наконец, в статье «Анализ кинетики почвенных процессов на основе лизиметрических исследований» (Морозов, Грачева, 1997) обсуждаются вопросы определения количественных параметров кинетики почвенных процессов в натуральных условиях. Но все начнет по-настоящему становиться на свои места только тогда, когда станет ясным поведение почвенной биоты в целом, о чем говорилось в данной статье.

Заканчивая этот пункт, необходимо отметить одно важное высказывание в статье «О природе почвы» (Морозов, 1988а). Там говорилось, что сейчас нельзя утверждать, что во всех почвах грибы играют роль управляющих. В принципе эту функцию могут выполнять и другие организмы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Бурова Л. Г. Загадочный мир грибов. – М.: Наука, 1991. – 97 с.
 Великанов Л. Л., Сидорова И. М. Регуляция базидиомицетами пространственной организации микробиоты почв и подстилок в лесных биогеоценозах // Экология и плодonoшение микромицетов-симбиотрофов древесных растений. – Петрозаводск, 1992. – С. 24-29.
 Влияние света на мембранный потенциал клеток *Neurospora crassa* / Т. А. Белозерская, М. С. Крицкий, Т. Е. Потапова, Л. М. Чайлахян // Биофизика. – 1982. – Т. 27, № 5. – С. 910-911.
 Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. – М.: МГУ, 1987. – 356 с.
 Каратыгин И. В. Козволюция грибов и растений. – С.-Пб: Гидрометеоиздат, 1993. – 118 с.
 Крупеников И. А. История почвоведения. – М.: Наука, 1981. – 160 с.

- Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. – М.: МГУ, 1988. – 220 с.
- Модель эволюции «идеального подзола» в стационарных условиях / А. И. Морозов, В. В. Савельев, Е. М. Самойлова, Ю. И. Сыцько // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1990. – № 3. – С. 3-17.
- Морозов А. И. О природе почвы // Информационные проблемы изучения биосферы / Под ред. А. А. Воронова, В. В. Бугровского. – М.: Наука, 1988а. – С. 201-230.
- Морозов А. И. Замкнутая математическая модель идеального подзола // ДАН. – 1988б. – Т. 302, № 2. – С. 503-506.
- Морозов А. И., Грачева Р. Г. Анализ кинетики почвенных процессов на основе лизиметрических исследований // Почвоведение. – 1997. – № 6. – С. 699-704.
- Морозов А. И., Самойлова Е. М. Моделирование динамики подзолистых почв // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 3-14.
- Морозов А. И., Самойлова Е. М. О методах математического моделирования динамики гумуса // Почвоведение. – 1993. – № 6. – С. 24-32.
- Морозов А. И., Соколова Т. А. Математическое моделирование динамики гранулометрического состава // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 43-54.
- Морозов А. И., Таргульян В. О. Идеальная модель развития элювиального горизонта в почвах и корках выветривания // Почвоведение. – 1995. – № 10. – С. 58-64.
- Муравейский С. Д. Реки и озера. – М.: Географгиз, 1960. – 388 с.
- Орлов Д. С., Морозов А. И., Розанова М. С. Извлечение железа из почвы и гематита и проблема устойчивости почв // Почвоведение. – 1994. – № 10. – С. 58-64.
- Полянская Л. М., Гейдебрехт В. В., Звягинцев Д. Г. Биомасса грибов в различных типах почв // Почвоведение. – 1995. – № 5. – С. 566-573.
- Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.
- Самойлова Е. М., Морозов А. И., Савельев В. В. Элювиально-иллювиальная модель эволюции идеального подзола (УИП-6) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1993. – № 2. – С. 3-17.
- Соколова Т. А., Морозов А. И. Математические модели динамики хлорита и биотита // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1992. – № 1. – С. 14-27.
- Физические величины: Справочник / Под ред. И. С. Тригорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
- Anderson J. B., Kohn L. M. Clonality in soilborn, plant-pathogenic fungi // Annual Rev. Phytopathol. – 1995. – Vol. 33. – P. 369-391.
- Morozov A. I. Soil as a polis of fungi. On the problem of global simulation of soil. Abstract. 16-th International Congress of Soil Science. – 1998, Montpellier, France.
- Smith M. L., Bruhn J. N., Anderson J. B. The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms // Nature. – 1992. – Vol. 356. – P. 438-431.

Надійшла до редколегії 04.01.03