

Экологическая роль информации в почве

© 2011. Л. О. Карпачевский, д.б.н., в.н.с., Т. А. Зубкова, д.б.н., в.н.с.,
 Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
 e-mail: nshevyakova@yandex.ru, dusy.taz@mail.ru

Почва рассматривается как система, управление которой происходит в результате информации, поступающей из почвенного раствора на твёрдую фазу почвы, почвенную матрицу, которая уже направляет соответствующие вещества в раствор. Выделяются два вида почвенной информации: внутрисочвенная, регулирующая состояние почвы, и информация, заключающаяся в почвенных свойствах, адресованная человеку, растениям, ландшафту. Анализ почвенных свойств помогает расчленить их на палингенетические, ценогенетические и литогенетические.

Soil is looked upon as a system that is managed by means of information coming from soil solution to the solid soil, soil matrix, from where certain substances get into soil. There are two types of soil information: inner soil information that regulates the soil state and the information of soil properties aiming at man, plants, landscape. Soil analysis helps to differentiate them into palingenetic, caenogenetic and lithogenetic.

Ключевые слова: информация в биосфере и в почве, управление почвой, твёрдофазные носители информации в почве, почвенная матрица, гранулометрический состав, новообразования, обменные катионы

Key words: Information on the biosphere and soil, soil management, solid-state media in the soil, soil matrix, grain composition, tumors, exchangeable cations

Существование любой системы обусловлено, наряду с другими факторами, управлением этой системой. Управление определяется той информацией, которая поступает к различным компонентам системы и вызывает соответствующее действие и поведение этого компонента.

Информацию определяют как обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом, обмен сигналами в животном мире и между растениями, передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму. Информация – объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в изменении состояний этих объектов. Информация – главный компонент в управлении системами, в том числе и экосистемами. Как установили В. В. Докучаев, Г. Ф. Морозов, В. Н. Сукачев, Г. Иенни, в экосистеме эдификатором её, следовательно, «управленцем», можно считать растение. Растение определяет структуру экосистемы и почвы, взаимодействие других компонентов. Оно привлекает консументов, находится в симбиозе с определёнными грибами и т. п.

Но если рассматривать почву как подсистему в экосистеме, то в ней также должен быть свой «управляющий» механизм. Наиболее чёт-

ко поставил вопрос об «управлении» почвой, как системой А. И. Морозов [1], хотя его гипотеза вызывает у многих возражение. Он считает, что почва – это грибной полис, где грибы управляют почвой как единой системой. Они регулируют рост растений, состояние воды в почве, вырабатывают токсические вещества, влияющие на состав биоты в почве и пр. Они способствуют формированию пулов микроорганизмов, питательных веществ, их перемещению в разные точки почвенных горизонтов. Но в такой трактовке грибы скорее выступают в роли «управляющих» всей экосистемой, а не только собственно почвой.

Любая система требует, чтобы в ней по каналам связи обращалась информация, которая включает или выключает разные процессы и механизмы. Следует сразу уточнить, что многие авторы (Я. А. Пачепский, Ф. И. Козловский, И. П. Айдаров, А. С. Фрид и др. [цит. по 1, 2]) рассматривают возможности управления почвой человеком, а не рассматривают «самоуправление» почвы своими функциями, в том числе экологическими [2 – 4].

Почва – биокосное тело, в формировании которого ведущую роль играют организмы. В то же время почва – это система горизонтов, система взаимодействия разных фаз (твёрдой,

жидкой, газообразной). Почва также система экологических функций. Если почва – система, то что-то управляет её функциями. Поскольку почва – подсистема в биокосной экосистеме, то частично такое управление связано с воздействием растений, бактерий, грибов. Но вполне возможно, что за разные функции почвы отвечают разные компоненты, которые посылают информацию для включения соответствующих механизмов (процессов). Считается, что наличие биологической информации и есть то «нечто», что отличает живые объекты от неживых и определяет «биологическую специфику» [2]. «Включение» разных ферментов происходит после получения геномом сигнала о необходимости данного фермента. Появляется белок, построенный «по плану», который предусматривает целесообразное использование объекта. Сам «план» (то есть информация о структуре) создаётся в процессе эволюции биосферы, сохраняется в геноме и передаётся потомству.

В неживой природе также существуют процессы запоминания и передачи информации от более простой к более сложной форме, информации с точным «планом» последующих действий. Примером могут быть кристаллы. Формирование крупного кристалла с вполне определённой формой, огранкой и есть запоминание электронной структуры исходного кристалла-зародыша и передача этой информации в пространстве и времени, что и приводит к образованию его макроформы. Это означает, что не только в клетках организмов, но и в абиотической среде осуществляются процессы репликации, трансляции, создания симметрии. В процессе «эволюции» кристалла, т. е. его роста, часть признаков теряется, некоторые могут иметь несколько вариантов в зависимости от условий внешней среды. Так, обычно существует несколько цветовых модификаций минералов.

Процессы передачи информации можно наблюдать и в почве. Почва – это тонкий экзогенный слой планеты Земли, который существует тысячелетия, возобновляется и является местом обитания всего живого на суше. Геологическая порода в зависимости от факторов почвообразования, получая от них «определённую информацию», формирует почвы. Варьирование количественных показателей факторов почвообразования приводит к варьированию свойств почв на данной территории. Разная информация, поступающая от факторов, приводит к формированию разных почв. Так, в разных климатических условиях

на сиаллитных осадочных породах образуются подзолистые, дерново-подзолистые, серые, бурые лесные, каштановые почвы, чернозёмы, серозёмы. Однако на сиаллитных породах не появляются ферраллитные почвы.

Почва сохраняет признаки, которые говорят о предыдущих этапах её развития, роли почвы в эволюции биосферы, свойствах окружающей среды (климат, растительность, геологические породы, рельеф, влияние человека).

Теоретически следует выделить следующие типы информации, хранящейся в почве. Информация для человека – «сигналы» об уровне плодородия почвы для тех или иных культур, информация о наиболее рациональном использовании почвы. Информация для ландшафта – способность почвы управлять сохранением и восстановлением зонального ландшафта [5]. Информация для самой почвы – сохранение и восстановление свойств почвы в процессе функционирования экосистемы, управление почвой как системой.

Запоминание информации

Чтобы информация влияла на функционирование системы, она должна где-то храниться в пределах системы. Практически информация есть запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных. Слово «запомненный» относится к фиксации информации. Выбор может и не запоминаться, т. е. тут же забываться. Такой выбор называется микроинформацией [5]. В почвоведении существует аналогичное понятие «почва–момент». Запомненный выбор, в отличие от незапомненного, называется макроинформацией, аналогия в почвоведении «почва–память» [4]. Во всех информационных процессах используется запоминаемая информация. Поэтому информацию можно представить так: запоминаемый выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных (но не равновероятных).

Измерить информацию позволяет формула К. Шеннона:

$$I = -P(i) \log_2 P(i),$$

где I – количество информации; P – вероятность; i – состояния явления.

Обычно используют условную вероятность (частоту), т. к. истинную вероятность на практике в природных экосистемах невозможно определить. В этих случаях используют условную вероятность для выбранной исследовате-

лем системы частоты появления того или иного значения данного свойства. Поскольку вероятность разных состояний признака различается как для одной почвы, так и для разных почв, то общая информация от данного свойства почвы оценивается по сумме информации, содержащейся в отдельных проявлениях признака: $I = -\sum P(i) \log_2 P(i)$.

Запоминание какой-либо информации в почве может осуществляться только твёрдой фазой почвы. Другие фазовые состояния почвенного вещества (газ, жидкость) слишком динамичны, в них существует «молекулярный хаос», и они не могут сохранять информацию продолжительное время. Следовательно, в почвенной экосистеме носителем информации может быть только твёрдое вещество, а микроинформации (в смысле незапоминания) – также и газообразное и жидкое вещество.

Свойством запоминания могут обладать только системы, состоящие из многих атомов. Запомнить что-либо, располагая одним атомом, невозможно, поскольку отдельный атом может находиться лишь в одном устойчивом состоянии. То же относится и к простейшим молекулам. Наименьшая по своим размерам самая простая система, которая может запомнить один вариант из двух возможных, – это молекула, которая может находиться в двух различных состояниях, например, изомерных. В организмах – это хиральные (спиральные) молекулы, которые существуют в двух формах: правой (D) и левой (L). В почве наиболее информативно состояние молекул, связанное со степенью их подвижности, в частности, их адсорбция. Так, молекулы воды могут находиться в адсорбированном, парообразном, жидком состоянии или же в кристаллической структуре, и свойства воды в этих состояниях различные. Адсорбционная вода, по сравнению с жидкой, меняет свои диэлектрические свойства. Величина максимальной гигроскопической влаги характеризует удельную поверхность почвы, размеры почвенной матрицы. Количество жидкой воды, точнее, её потенциал, информирует о её доступности растениям и микроорганизмам.

Важно отметить, что память – момент посылает информацию запомненной памяти (твёрдой фазе). Так, многие почвенные процессы начинаются с реакции твёрдой фазы на концентрацию разных веществ в жидкой фазе. Концентрация веществ в почвенном растворе определяется их растворимостью. Но отношение концентраций элемента в твёрдой и жидкой фазах представляет собой усреднённую ве-

личину отношений разных соединений, включающих данный элемент. Значение этого отношения даёт важную информацию исследователю. Но само повышение или понижение содержания элемента в растворе передаёт информацию твёрдой фазе и изменяет содержание в ней данного элемента. Очевидно, изменение концентрации веществ в почвенном растворе – один из элементов управления почвой как системой. Это управление осуществляется твёрдой фазой почвы, а именно её матрицей, её кластерами, и, ещё более конкретно, активными центрами.

Таким образом, для почвы информация – условная величина, которая может пониматься как пропускная способность канала связи, как «информационная ёмкость» или «информационная тара», которые характеризуются количеством обменных мест в почвенном поглощающем комплексе (его ёмкостью) или его селективностью по отношению к катионам и т. д. Количество информации, содержащейся в твёрдой фазе почвы, можно оценить по спектру активных центров с разной энергией удерживающих аммиак (молекула-тест на кислотные центры), по обменным катионам, по гранулометрическому составу.

Согласно К. Шеннону, считается, что чем больше вероятность данного сообщения, тем меньше неопределённость относительно действительного появления и, следовательно, тем меньше информации оно несёт. Если вероятность появления сообщения – единица, т. е. его появление достоверно, то неопределённости нет, и считается, что сообщение не несёт информации. Когда появление всех рангов равновероятно, например, 0,1 для 10-и вариантов, то средняя мера количества информации максимальна (3,32 бита), и максимальна неопределённость этой системы (табл. 1).

В природных экосистемах, например, в почвах, чаще встречаются разновеероятностные сообщения. Так, разные по активности центры минеральной матрицы в разных почвах появляются с разной частотой. В дерново-

Таблица 1
Зависимость количества информации от ранжирования свойств системы

| Число рангов | Вероятность | $\sum P_i \log P_i$, бит |
|--------------|-------------|---------------------------|
| 1 | 1,00 | 0 |
| 2 | 0,50 | 1,00 |
| 3 | 0,33 | 1,60 |
| 4 | 0,25 | 2,00 |
| 5 | 0,20 | 2,32 |
| 10 | 0,10 | 3,32 |

Таблица 2

Средняя мера количества информации по активным центрам почвенной минеральной матрицы

| Почва, номер разреза | Горизонт | Ранги активных центров по силе | | | | | H (биты) |
|-------------------------|----------|--------------------------------|--------|--------------|---------|---------------|----------|
| | | Очень слабые | Слабые | Средней силы | Сильные | Очень сильные | |
| Чернозём обыкн., р. 2 | A1 | 0,168 | 0,472 | 0,428 | 0,312 | 0,216 | 1,60 |
| | BC | 0,472 | 0,504 | 0,530 | 0,332 | 0,185 | 2,02 |
| Чернозём слитой, р. 27 | A1 | 0,382 | 0,532 | 0,525 | 0,269 | 0 | 1,71 |
| | B | 0,312 | 0,528 | 0,529 | 0,422 | 0,066 | 1,86 |
| | BC | 0,522 | 0,494 | 0,53 | 0,367 | 0 | 1,91 |
| Чернозём типичный | A1 | 0,464 | 0,528 | 0,528 | 0,35 | 0 | 1,87 |
| | B | 0,449 | 0,492 | 0,531 | 0,359 | 0,117 | 1,95 |
| | BC | 0,444 | 0,537 | 0,531 | 0,347 | 0 | 1,86 |
| Дерново-подзол., р. 3М | A1 | 0 | 0,444 | 0,515 | 0,367 | 0 | 1,33 |
| | A1E | 0 | 0,382 | 0,47 | 0,510 | 0,167 | 1,53 |
| | B1 | 0 | 0,522 | 0,536 | 0,515 | 0,190 | 1,76 |
| | C | 0,473 | 0,524 | 0,526 | 0,422 | 0 | 1,94 |
| Дерново-подзол., р. 10М | A1 | 0 | 0,515 | 0,489 | 0,464 | 0 | 1,47 |
| Дерново-подз., р. 15М | A1 | 0 | 0,515 | 0,53 | 0,510 | 0,243 | 1,80 |
| | E | 0,243 | 0,524 | 0,528 | 0,464 | 0,152 | 1,91 |
| Дерново-глеевая | A1 | 0,152 | 0,515 | 0,495 | 0,411 | 0,152 | 1,72 |
| Пирогенная (Камчатка) | A1 | 0 | 0,445 | 0,505 | 0,500 | 0,269 | 1,72 |
| Бурая лесная 1 | A1 | 0 | 0,488 | 0,515 | 0,519 | 0,112 | 1,63 |
| Бурая лесная 2 | A1 | 0 | 0,524 | 0,512 | 0,445 | 0,152 | 1,63 |

подзолистых нет «очень слабых» центров [6]. Для 5-и разновеероятных событий (5 рангов активных центров по силе), создаваемых почвенной минеральной матрицей, рассчитали количество информации (табл. 2). В почвах гумидной зоны выше вероятность и степень определённости в появлении сильных и средних по силе центров и отсутствии очень слабых центров, поэтому количество информации меньше. В чернозёмах выше неопределённость в появлении центров разной силы, поскольку там встречаются активные центры слабой и средней силы почти с равной вероятностью. Поэтому количество информации в чернозёмной почвенной матрице больше по сравнению с матрицей дерново-подзолистых почв, где ярко выражен один максимум.

Почвообразующие породы имеют максимальную степень неопределённости (1,95 бит – для дерново-подзолистых почв и 2,02 бит – для чернозёмов выщелоченных слитых). В верхних гумусовых горизонтах значение количества информации по активным центрам минеральной матрицы – минимально. Это означает, что в процессе почвообразования происходит «предпочтительный выбор» (создание и уничтожение) некоторых активных центров, часть центров начинает заметно преобладать, и тем самым уменьшается ко-

личество информации. Изменение минеральной матрицы в процессе почвообразования наиболее сильно идёт в дерново-подзолистых почвах. В чернозёмах количество информации по горизонтам более выровнено, чем в дерново-подзолистых почвах. Все почвы, по сравнению с почвообразующей породой, – более организованная система, более предсказуемая в проявлении свойств минеральной матрицы. Количество информации, источником которой служат обменные катионы, уменьшается в ряду почв: бурая лесная – солонец – дерново-подзолистая – чернозём – краснозём – торфяно-глеевая (табл. 3). Минимум информации содержится в торфяно-глеевой почве, где очень высока насыщенность почв обменным водородом. Максимум информации характерен для бурой лесной почвы, где вероятность появления магния, кальция, водорода и алюминия близки.

Анализ состава гумуса показывает (табл. 4), что наименьшая информация содержится в гумусе бурых лесных и ферраллитных почв. В горизонтах A информации больше, чем в подстилающих этот горизонт слоях всех почв. Наибольшая информация содержится в гумусе типичного чернозёма. В зависимости от типа почв информационная ценность отдельных составляющих гумус групп изменяется. Для

Таблица 3

Содержание обменных катионов (а – мг-экв/100 г почвы, б – % от суммы катионов) в суглинистых почвах и общее количество информации (I, бит)

| Почва | Почвенный горизонт | Ca | | Mg | | H+ Al | | Na | | I = Σ i |
|---------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-------|----|----|----|---------|
| | | а | б | а | б | а | б | а | б | |
| Дерново-подзолистая | A1 | 3,2 | 49 | 1,4 | 24 | 2 | 27 | 0 | 0 | 1,23 |
| Чернозём типичный | A | 39 | 87 | 6,0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,56 |
| Солонец | A | 27 | 53 | 20 | 40 | 0 | 0 | 4 | 7 | 1,29 |
| Солонец | B | 10 | 18 | 32 | 59 | 0 | 0 | 12 | 22 | 1,38 |
| Краснозём | A | 1,9 | 10 | 4,3 | 24 | 12 | 66 | 0 | 0 | 1,23 |
| Бурая лесная | A | 9,8 | 37 | 7,4 | 28 | 9 | 34 | 0 | 0 | 1,57 |
| Торфяно-глебовая | A0 | 7 | 4,7 | 0,6 | 0,4 | 140 | 95 | 0 | 0 | 0,32 |

Таблица 4

Количество информации, содержащейся во фракционном составе гумуса почв

| Почва | Почвенный горизонт | С фракции ГК | | С фракции ФК | | Нерастворимый остаток | | I = -Σ p _i log ₂ p _i (бит) |
|--------------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---|
| | | % | p log ₂ p | % | p log ₂ p | % | p log ₂ p | |
| Дерново-подзолистая | A0 | 26 | 0,50 | 23 | 0,49 | 51 | 0,49 | 1,48 |
| | A1 | 34 | 0,53 | 34 | 0,53 | 32 | 0,52 | 1,58 |
| | E | 19 | 0,46 | 52 | 0,49 | 29 | 0,52 | 1,47 |
| Дерново-подзолистые, разные парцеллы | A1 | 32 | 0,52 | 49 | 0,50 | 19 | 0,46 | 1,48 |
| | A1 | 21 | 0,47 | 43 | 0,52 | 36 | 0,53 | 1,52 |
| | A1 | 27 | 0,51 | 39 | 0,53 | 34 | 0,53 | 1,57 |
| | A1 | 24 | 0,49 | 41 | 0,53 | 35 | 0,53 | 1,55 |
| | A1 | 32 | 0,52 | 44 | 0,52 | 24 | 0,49 | 1,53 |
| Чернозём типичный | A1 | 36 | 0,53 | 25 | 0,50 | 39 | 0,53 | 1,56 |
| | Bк | 25 | 0,50 | 38 | 0,53 | 37 | 0,54 | 1,57 |
| Чернозём южный | Aпах | 33 | 0,53 | 15 | 0,41 | 52 | 0,49 | 1,43 |
| | B | 37 | 0,53 | 20 | 0,46 | 43 | 0,52 | 1,51 |
| | C | 19 | 0,46 | 32 | 0,52 | 49 | 0,50 | 1,48 |
| Бурая лесная | A | 25 | 0,50 | 26 | 0,50 | 49 | 0,50 | 1,50 |
| | B | 14 | 0,40 | 40 | 0,53 | 46 | 0,51 | 1,44 |
| Красная ферралитная | A1 | 18 | 0,44 | 37 | 0,53 | 45 | 0,52 | 1,49 |
| | B1 | 7 | 0,27 | 59 | 0,45 | 40 | 0,53 | 1,25 |

подзолистых почв большую ценность представляет информация, содержащаяся в фульвокислотах, для чернозёмов – в гуминовых кислотах. Возможно, что один из механизмов управления почвой для подзолистых почв осуществляется через фульвокислоты, а для чернозёмов – через гуминовые.

Ценность информации

Ценность информации зависит от цели. Так, например, для агронома ценной информацией может быть состав питательных элементов в почве, доступных для растений, влажность почвы, прогноз погоды. А для выращи-

вания овощей в придорожной и пригородной зоне – ещё и содержание тяжёлых металлов. Для лесовода – уровень грунтовых вод, гранулометрический состав почвы. Для мышей, многих беспозвоночных – мощность и свойства подстилки. Для корней растений и червей – плотность почвы. Так, в почвенные горизонты с плотностью 1,4 г/м³ и более корни и черви почти не проникают. В этом случае, например, у сосны корни проявляют столь редкий для растений отрицательный геотропизм и идут вбок и вверх, распространяясь в более рыхлом слое.

Чем в большей мере информация помогает достижению цели, тем более ценной она счита-

ется. Если цель достижима несколькими путями, то ценность определяется по уменьшению материальных или временных затрат, благодаря использованию информации. Пока можно оценить важность для человека информации, заключённой в разных признаках почвы. Например, самый быстрый путь дать оценку почвенных свойств – определить цвет почвы и гранулометрический состав в полевых условиях – это буквально 1–5 минут. По временным затратам это самая ценная первичная информация о почве. Обработка информации производится с определённой целью, которая и определяет ценность информации. Но следует сразу отметить, что ценность информации определяется вероятностью события, т. е. снова по формуле К. Шеннона. Мера информации (её количество) и её ценность абсолютная – одно и то же понятие для данного свойства. Но есть вторая ипостась ценности информации: важность данного свойства для почвообразования, функционирования почвы, получения урожая. В этом случае информация приобретает ценность, обусловленную ценностью данного свойства. Например, содержание «валового железа» (всех соединений железа) в почве для растения не имеет существенной ценности. В карбонатных почвах валового железа не меньше, чем в кислых. Однако именно на карбонатных почвах отмечается хлороз растений от недостатка железа в листьях. Следовательно, более ценной для растений и растениевода можно считать информацию о доступных соединениях этого элемента.

Ценность информации субъективна, поскольку зависит от субъекта, который определяет цель. Количество информации, имеющей нулевую ценность для потребителя, как правило, не мало по сравнению с количеством информации, имеющей хоть какую-то ценность (положительную или отрицательную). Просто она адресована разным заказчикам и поэтому может быть нулевой или ценной. Так, для почвоведов наиболее ценную информацию содержит классификация почв. В то же время выделение «бурых лесных почв Урала» имеет информационную ценность для почвоведов всей страны, кроме почвоведов Урала. Они и так знают, что изучаемые ими почвы находятся на Урале. Но, как уже отмечалось, существует «естественная информация», управляющая почвообразованием. Она может определить развитие почв в лесной зоне: по болотному, подзолиственному или бурозёмному типу.

Таким образом, абсолютная ценность информации определяется её количеством по

формуле К. Шеннона, а субъективная ценность – ценностью признака, явления для потребителя информации.

Ценность информации эволюционирует: неценная информация становится ценной, бессмысленная – осмысленной, и наоборот. Невольное отождествление просто информации с ценной или осмысленной приводит к недоразумениям, например, в коллекционировании. Долгое время Красная книга создавалась для исчезающих видов только животных и растений. И совсем недавно, в конце XX века, появилась Красная книга почв. Хотя к этому времени почвы очень сильно изменились, в частности загрязнились, и представляют собой совсем уже другие – антропогенные или техногенные почвы. Таким образом, недооценка почвенной информации или неосознание её ценности привели к потере эталонных образцов почв. При этом ещё в полной мере не определены информационные требования к Красным книгам: фиксировать раритеты, исчезающие участки почв или основные типы почв как естественные модели естественного почвообразования. Возможно совмещение обоих подходов.

Иерархия информационных уровней

Ценная информация, которой мы пользуемся, принадлежит верхнему структурному уровню. Например, агрегатное состояние, пористость почвы, число горизонтов, границы переходов, характеристики гумуса. А складывается она из всех предыдущих уровней. Информация первого уровня («молекулярный» уровень) – необходимый первичный набор информации, из которого вырастает информация второго уровня – почвенных частиц, третьего – почвенных агрегатов, четвёртого – почвенных морфонов, пятого – почвенных горизонтов, шестого – почвенного профиля и седьмого – почвенного покрова.

Когда почва находится в неустойчивом состоянии, она делает выбор из множества различных вариантов и далее развивается устойчиво вплоть до следующей бифуркации (неустойчивое состояние). Здесь она снова делает выбор. Но уже из другого множества вариантов. Это множество зависит от результата первого выбора. Поэтому информацию, лёгшую в основу выбора, можно считать вторым уровнем информации. Следующий выбор будет уже третьим уровнем информации. Например, в гумидной зоне на сиааллитной породе почвообразование может идти по бурозёмному

или подзолистому типу (первый информационный уровень). Если процесс пошёл по подзолистому типу, то дальше происходит выбор между дерново-подзолистыми, подзолистыми, подзолисто-глеевыми и другими подобными почвами. Такие почвенные бифуркации рассмотрены с точки зрения кризисных состояний системы Арманом и др. [7].

Условная и безусловная информация

Твёрдая фаза почвы, в которой зафиксирована та или иная информация, является её носителем. Информация может существовать только в зафиксированном состоянии. При этом способы фиксации могут быть условными и безусловными.

Но носителями информации в почве также служат почвенные растворы и почвенная биота, включая корни растений. Они влияют на твёрдую фазу, изменяя характер информации – управления, хранящейся в твёрдой фазе почвы.

Безусловной является информация о реально происходящих событиях. Она не нуждается в участии человека и передаётся из окружающей действительности. Условная информация – это введённое человеком ранжирование объектов, созданная им классификация объектов, в том числе почв, система аналитических методов для характеристики таких свойств почв, как содержание питательных веществ, гранулометрический состав и пр. Например, если мы имеем одно значение свойства (вероятность 1), то количество информации равно 0. При увеличении количества рангов уменьшается вероятность и увеличивается количество информации (табл. 5).

Следовательно, от нашего подхода зависит оценка информации, заключающейся в том

или ином свойстве почв, факторе почвообразования, элементе ландшафта.

Принято думать, что, изучая почвы, мы рецептируем (передаём) безусловную, вполне объективную информацию. Это не всегда так. Часто об одном и том же свойстве мы судим, используя разные методы их определения (например, содержание гумуса, подвижных соединений азота, калия, фосфора и пр.). Неутихающие споры по поводу классификации почв и появление новых классификаций свидетельствуют как раз о генерации условной информации. Спор по поводу почвенных водных констант: можно ли их считать константами в прямом значении этого слова – пример развития условной информации так же, как отнесение данного профиля почвы к тому или иному таксону.

Так, существуют расхождения в отнесении почв к подбурам, к подзолистым, к лессивированным почвам. Часто спорно отнесение, особенно пахотных почв, к чернозёмам или тёмно-серым почвам, к светло-серым или к дерново-подзолистым и т. д.

Информационные процессы в почвоведении

Почва – это результат воздействия пяти факторов почвообразования (по В. В. Докучаеву): породы, рельефа, климата, живых организмов и времени. Сейчас ещё добавляется и антропогенный фактор почвообразования. Воздействие каждого из этих факторов запоминается почвой в виде явных или еле заметных признаков. Носитель этой информации – твёрдая фаза почвы. Она включает сами частицы, а также их поверхностный слой – матрицу и почвенный раствор, который зависит от твёрдой фазы почвы, и, кроме того, от влажности почвы, её температуры, подкисления

Таблица 5

Информация о гранулометрическом составе суглинистых почв

| Почва | Почвенный горизонт | Размеры фракций, мм | | | | | | I = -Σplog ₂ p |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------|---------------------|-------|---------------------|---------------------------|
| | | 1-0,05 | | 0,05-0,01 | | <0,01 | | |
| | | % | plog ₂ p | % | plog ₂ p | % | plog ₂ p | |
| Дерново-подзолистая | A1 | 19 | 0,45 | 48 | 0,51 | 33 | 0,53 | 1,49 |
| | A2(E) | 10 | 0,33 | 57 | 0,46 | 33 | 0,53 | 1,32 |
| | B | 11 | 0,35 | 47 | 1,09 | 42 | 0,52 | 1,38 |
| Чернозём | A | 11 | 0,35 | 44 | 0,52 | 45 | 0,52 | 1,39 |
| | B | 10 | 0,33 | 38 | 0,53 | 52 | 0,49 | 1,35 |
| Солонец | A | 15 | 0,41 | 49 | 0,5 | 52 | 0,53 | 1,44 |
| | B | 9 | 0,31 | 32 | 0,52 | 36 | 0,45 | 1,28 |

Таблица 6

Приуроченность разных почв к геологическим породам, %

| Почвы | Породы | | | |
|--------------|--------|----------|----------------|-------------|
| | кислые | основные | ультраосновные | карбонатные |
| Подзолистые | 85 | 10 | 0 | 5 |
| Бурые лесные | 30 | 30 | 20 | 10 |
| Чернозёмы | 60 | 0 | 0 | 40 |
| Каштановые | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Серозёмы | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Краснозёмы | 0 | 80 | 20 | 0 |

почвы растением и пр. Анализ водопроницаемости дерново-подзолистых суглинистых почв показывает, что для горизонта Е в 25% случаев водопроницаемость ниже 1 мм/мин, а в 75% случаев выше. Для горизонта же В водопроницаемость почв выше 1 в 100% случаев. Поэтому информация от горизонта В по водопроницаемости равна 0, а от гор. Е – 0,81 бит, что позволяет предположить достаточно низкую возможность фронтального переноса ила в этих почвах.

Почвообразующая порода

Развитие почв в истории Земли началось с геологической породы, которая часто принимается за ноль-момент. Те признаки, которые почва накапливает за время развития её в полноразвитый профиль, и есть отражение условий почвообразования. Однако почва развивалась из геологической породы не всё время, уже первичные почвы могли служить ноль-моментами для развития других почвенных разностей и т. д. Или почвообразование заново начиналось на месте эрозийного сноса предшествующих почв, после пожаров. Иногда гумусовый горизонт образовывался на аэральном наносах, которые состоят не только из минеральных, но и частиц, сорбирующих на себе гумус, принесённых из другого региона. В таких случаях исходная порода – более сложная по сравнению с минеральной породой, обычно рассматриваемой как ноль-момент для почвообразования [8].

Информация об изменении геологической породы в почвообразовании зафиксирована в самих элементарных частицах (факт разделения их по размеру и присутствие среди них биоморф, пыльцы, новообразованных минералов) и в почвенной матрице, т.е. в поверхностном слое частиц. Свойства и функции в почве этих двух составных частей твёрдой фазы настолько различны, что их следует рассматривать отдельно.

Считать, что твёрдая фаза породы определяет все пути развития почвы, было бы неверно. Показано, что при изменении внешних условий развития (без изменения характера твёрдой фазы), т. е. на одной и той же материнской породе, могут развиваться совершенно разные почвы (табл. 6). Отсюда следует, что твёрдая фаза ещё не фиксирует единственный возможный путь развития, но допускает варианты направлений. Свойства твёрдой фазы могут накладывать лимит на многие почвенные процессы.

Размеры удельной поверхности, или степень дисперсности породы, создают границы, в которых могут существовать формы структуры (табл. 7).

Почвенные процессы изменяют твёрдую фазу почвы в сторону увеличения её дисперсности, размеров. Однако исходная удельная поверхность почвы лимитирует и этот процесс. Так, гранулометрический состав горизонтов не может изменяться сильно при почвообразовании, т. е. песок не может перейти в суглинок или, наоборот, глина не может перейти в супесь и т. п. Причина формирования слоёв разного гранулометрического состава, отличающихся на уровне ранга (песок, суглинок, глина), – всегда геологическая, но не почвенная. На этом лимитирующем действии твёрдой фазы почвы построена концепция дерново-подзолистых почв на двучленах. То есть подзолистый горизонт сформировался из другой породы с небольшой по развитости минеральной матрицей, меньшей по сравнению с породой нижележащих горизонтов [6].

Очевидно, дополнительным источником информации, перерабатываемой в процессе развития почв, служат внешние по отношению к твёрдой фазе факторы: климат, растительность, деятельность человека. Важную информацию несёт гранулометрический состав нижних горизонтов почв. Эту информацию можно использовать для оценки степени

Таблица 7

Сопряжённость типов почв и почвенных агрегатов (агрегатной структуры)

| Тип почвы | Горизонт | Плитчатая | Столбчатая | Призматическая | Ореховатая | Зернистая | Комковатая | Глыбистая | Пылеватая | Микроагрегаты |
|---------------------|----------|-----------|------------|----------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------------|
| Подзол | Е | х | – | – | – | – | х | х | х | – |
| | В | – | – | х | – | – | – | – | – | х |
| Дерново-подзолистая | А1 | х | – | – | – | х | х | х | х | х |
| | В | – | – | х | – | – | – | х | х | х |
| Солодь | АЕ | х | – | х | – | – | х | – | х | – |
| | В | – | – | х | – | – | – | х | – | х |
| Солонец | А | х | – | х | – | – | х | х | х | х |
| | В | – | х | х | – | – | – | х | – | х |
| Серая лесная | А | – | – | – | х | х | х | – | – | х |
| | В | – | – | х | х | – | – | – | – | х |
| Чернозём | А | – | – | – | – | х | х | х | х | х |
| | В | – | – | х | – | х | х | – | – | х |
| Каштановая | А | – | – | – | – | х | х | х | х | х |
| | В | – | – | х | – | – | – | – | х | х |
| Серозём | А | – | – | – | – | – | х | х | х | х |
| | В | – | – | х | – | – | х | х | х | х |
| Краснозём | А | – | – | – | – | – | х | х | – | х |
| | В | – | – | – | – | – | х | х | х | х |
| Бурая лесная | А | – | – | – | х | – | х | х | х | х |
| | В | – | – | х | – | – | х | х | х | х |

Примечание: х – присутствие агрегатов данного типа.

неоднородности почв, оценки отдельных фракций, их роли в почвообразовании.

Растительность, микроорганизмы

Почвенная биота принимает самое энергичное участие в почвообразовании, в формировании почвенного профиля. Как известно, по предложению Л. Г. Раменского, в почве выделяют литогенные, палингенетические и ценогенетические свойства. Литогенные обязаны своим происхождением почвообразующим породам и хранят информацию о свойствах этих пород. Ценогенетические свойства отражают влияние современной экосистемы. К ним можно отнести флуктуации в содержании гумуса, в значениях рН, плотности почв и пр. Ценогенетическими свойствами можно считать содержание в верхних горизонтах почвы пыльцы, фитолитов и пр. Однако со временем, особенно при сукцессиях экосистем, ценогенетические свойства становятся палингенетическими. Они уже не соответствуют современной экосистеме, современной почве и сохраняют информацию о развивавшихся ранее в данном ландшафте экосистемах, в настоящее время уже исчезнувших. Как уже отмечалось выше, многие свойства почвы анало-

гичны «филогенетическим свойствам», являясь памятью об эволюции почвы от геологической породы до данной почвы. Пыльца растений может сохраняться долгое время в почве. По палинологическому спектру можно диагностировать растительность, в условиях которой развивалась почва много лет назад. Биоморфный анализ – исследование микроскопических частиц биогенной природы, которые обладают высокой сохранностью в почве. Благодаря этому их возможно уверенно диагностировать. Биоморфы – фитолиты, пыльца, спикулы, растительный детрит и др. – формируют биоморфную память почв.

Биоморфы относятся к почвенным включениям, представляющим собой сохранившиеся остатки животных организмов и растений. Они не влияют на функционирование почвы, но их можно считать палингенетическими свойствами почв и само их наличие резко увеличивает информативность гранулометрического состава почв.

Особо следует остановиться на «зоогенных» почвах. Ещё Ч. Дарвин доказал, что верхний слой садовых почв за 10 лет целиком пропускается через кишечник дождевых червей. Данные А. П. Травлеева и Н. А. Беловой [9] показывают, что существуют байрач-

ные почвы (чернозёмы), занятые дубравами, которые в слое 0–4 см и иногда глубже сложены копролитами. Все указанные признаки помогают почвоведу выявить историю развития почв и в то же время показывают, что в почве существует дублирование передачи информации от компонентов почвы к явлению. Так, формирование гумуса почвы сопряжено с гранулометрическим составом почвы (минеральная матрица), климатом (осадки и температура), фитомассой, её переработкой почвенными беспозвоночными и микроорганизмами. Именно множество каналов передачи информации создаёт неопределённость в оценке процессов формирования гумуса.

Рельеф

На основании результатов профильного распределения биогенного кремнезёма было обнаружено, что подстилающая порода, на которой впоследствии сформировалась бурая лесная почва Шипова леса, находилась в водоёме. В ней присутствовало большое количество спикул губок и радиолярий. А серая лесная почва, расположенная в этом же лесу, развивалась на тех же по гранулометрическому и валовому составу отложениях, но которые не проходили стадию избыточного увлажнения. Таким образом, эти почвы более 2000 лет назад формировались на разных элементах рельефа: бурые лесные – в понижениях, в местах бывших водоёмов, а серые лесные – на водораздельных или склоновых участках. Постепенно рельеф сгладился, и бурые почвы оказались на дренированной выровненной поверхности. В данном примере информационным признаком явились твёрдые частицы биогенного кремнезёма.

Антропогенное воздействие

Сельскохозяйственная обработка почвы, в частности многовековая вспашка, отразилась в почвенном профиле. В настоящее время многие такие участки заселены лесом и узнать, проходили ли эти почвы стадию пашни, позволяют такие признаки, как чёткая граница при переходе горизонта А в Е или В. Так, наличие гор. АЕ с достаточно ровными верхней и нижней границами в почвах хвойных лесов свидетельствует о том, что территория проходила стадию распашки, сельскохозяйственного использования. Безусловно, в пользу распашки почв свидетельствуют разные антропогенные включения (кирпичная крошка, обломки изделий и пр.).

Однако основной информационный носитель в почве – это твёрдые почвенные частицы. Влияние факторов может быть однонаправленным или разнонаправленным. Последнее означает, что один фактор стирает результат влияния другого фактора, поэтому информация может быть стёрта или оказаться недолгой. Можно сказать, что от факторов в почву может поступать противоречивая информация. Так, растения подкисляют почву, а осадки могут её подщелачивать. Некоторые растения (саксаул) подщелачивают почву. В зоне южной тайги, где распространены подзолистые, дерново-подзолистые и кислые бурые лесные почвы, могут вдруг появиться серые лесные почвы (например, почвы Владимирского Ополя). Здесь фактор «порода» по своему влиянию сильнее, чем фактор «климат».

Эффект запаздывания некоторых почвенных свойств как механизм памяти в почвах

Явление гистерезиса в почве характерно для ряда почвенных свойств, в том числе для содержания в почве воды. Это пример запаздывания или необратимости почвенных процессов. Если сравним гистерезисную петлю (ширина и высота) сорбционного потенциала воды от относительного давления пара над чистыми минералами с гистерезисной петлёй почвенного минерального горизонта, то можно заметить, что в минералах гистерезис почти незаметен или около нуля. А в почве он очень заметен [10]. Вероятно, гистерезисные явления в адсорбционных процессах свидетельствуют о многих стадиях почвообразования, включая изменение её структурной составляющей. Но эти факты ждут расшифровки.

Информация управления в почвах

Всё сказанное выше характеризует информацию, на основании которой человек дешифрирует историю почв, их плодородие, специфичность и пр. Но вопрос об управлении почвой как системой остаётся открытым. Когда корни растений потребляют питательные вещества из почвенного раствора, сдвиг в концентрации веществ приводит к тому, что в работу включается твёрдая фаза почвы, её матрица, и восстанавливает концентрацию данного вещества в растворе. При определённом уровне потребления все доступные запасы данного вещества расходуются, и данная

экологическая функция перестаёт работать. Следовательно, получая сигналы от раствора, от почвенного воздуха, твёрдая фаза в ответ регулирует состав этих почвенных компонентов. При этом состав почвенного воздуха регулируют микроорганизмы, педофауна, корни. Количество воды в почве определяют растения, рельеф, климат, а также почвенная матрица, определяющая влагоёмкость почв. Твёрдая фаза имеет набор соединений разных элементов, которые можно ранжировать по растворимости в воде и других растворителях. Следовательно, содержание каждого элемента можно аппроксимировать формулой Шеннона, оценив его по количеству информации, связанной с этим элементом. Информация об элементах, содержащаяся в твёрдой фазе, управляет их доступностью, восполнением их дефицита в растворе. Разнокачественность почвенных кластеров – основа управления почвой. Как уже говорилось выше, одним из главных источников «управляющей» информации может быть почвенная матрица с набором разных кластеров (активных центров). О них можно судить по составу обменных катионов. Анализ информации, поступающей в почву от обменных катионов (матрицы, активных центров), показывает, что наиболее активны в «управлении» почвой (её функционированием, её свойствами) – обменные катионы в дерново-подзолистой почве и солонце (табл. 3, 4). От них в сумме поступает заметно больше информации, чем от обменных катионов чернозёма и краснозёма, где состав обменных катионов менее разнообразен.

Выводы

1. В биосфере есть информация двух родов. Первая – характеризует развитие естественных биоценологических процессов, в том числе формирование почв. Вторая – необходима для человека, позволяет ему разработать стратегию использования почв (и ландшафтов) для разных целей.

2. Ландшафт содержит информацию, управляющую формированием почв того или иного типа, в том числе образованием несколь-

ких взаимозаменяемых типов почв в одной природной зоне.

3. В эволюционных процессах почва накапливает информацию об окружающей среде (климат, порода, рельеф, растительность, биота, антропогенная деятельность) и запоминает её в твёрдофазных носителях, представленных твёрдыми частицами и структурами. Целесообразно рассматривать почвенную матрицу как ёмкий носитель этой информации.

4. Большую информацию о развитии почв, сукцессиях, смене условий могут дать новообразования (ортштейны, белоглазка), включения (биоморфы), палингенетические свойства почв.

5. Информация, закодированная в твёрдой фазе почв, позволяет почвам восстанавливаться после разных нарушений, реставрируя зональный почвенный профиль, управлять функционированием почвы.

Литература

1. Морозов А.И. О природе почв // Информационные проблемы изучения биосферы. М.: Наука, 1988. С. 201–230.
2. Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва–память и почва–момент // Изучение и освоение природной среды. М.: Наука, 1976. С. 150–164.
3. Рожков В.А. Почвенная информатика. М.: Агропромиздат, 1989. 222 с.
4. Таргульян В.О., Горячкин С.В. Память почв. М.: URSS, 2008. 692 с.
5. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. М.: Наука, 2001. 244 с.
6. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: Русаки, 2001. 296 с.
7. Арманд А.Д., Люри Д.И., Жерихин В.В., Раутиан А.С., Кайданова О.В., Козлова Е.В., Стрелецкий В.Н., Буданов В.Г. Анатомия кризисов. М.: Наука, 2000. 238 с.
8. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
9. Белова Н.А., Травлеев А.П. Естественные леса и степные почвы. Днепропетровск. 1999. 344 с.
10. Зубкова Т.А., Манучаров А.С., Черноморченко Н.И., Шваров А.П., Костарев И.А. Гидросорбционный гистерезис в почвах, минералах и породах // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1122–1129.