

*О. Г. Чертов, В. К. Владимирова, С. Н. Чуков, М. А. Надпорожская,
Н. В. Ковш, И. Н. Лапшина*

ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ

Оценка почв всегда была одной из важнейших проблем почвоведения. До последнего времени эта проблема в основном касалась оценки продуктивности (и плодородия) сельскохозяйственных и лесных почв. Сейчас она уже практически решена и вышла на новый уровень создания «моделей плодородия почв».

В настоящее время резкое ухудшение состояния природной среды на планете поставило почвоведов перед задачей оценки экологического состояния и потенциала почв, как центрального компонента экосистем (и биосферы в целом), являющегося наиболее мощным аккумулятором и трансформатором техногенных потоков вещества и энергии [Ковда В. А., 1989]. Характер влияния деятельности человека на современный почвообразовательный процесс и почвы в целом определен достаточно однозначно [Добровольский Г. В. и др. 1988; Ковда В. А., 1989; Чертов О. Г., 1990; и др.].

Однако задача экологической оценки почвы практически еще не решена, хотя чрезвычайно важна для разработки приоритетных мероприятий по охране и восстановлению (рекультивации и реабилитации) почв — прежде всего вокруг крупных индустриальных и городских агломераций, в наибольшей степени подверженных техногенным воздействиям, где наблюдается совместное действие промышленного загрязнения и рекреации.

Потребность в материалах по оценке состояния, устойчивости и чувствительности почв к антропогенным воздействиям очень важна в связи с работами по природоохранному планированию и оценке природной среды. В этом отношении уже сейчас можно предложить ряд показателей и характеристик, которые могут быть использованы для этих целей.

С теоретических и практических позиций проблема оценки почв в урбанизированной техногенной среде разделяется на две конкретные задачи: 1) определение чувствительности (либо устойчивости) различных почв к техногенным и рекреационным факторам; 2) оценка состояния почв на момент наблюдений.

В отношении чувствительности различных почв к техногенному загрязнению первый вариант шкалы с показателями по степени важности разработан О. Г. Чертовым с сотр. [1990]:

— неустойчивые почвы, чувствительные к загрязнению: песчаные и супесчаные почвы разного генезиса (тип гумуса: малогумусные, сухие грубогумусные, грубогумусные и мелкодерновые) с ЕКО в подстилке или дернине менее 25 мг—экв/100 г почвы и рН более 4;

— устойчивые почвы, слабо чувствительные к загрязнению: песчаные и супесчаные гумусированные почвы разного генезиса (тип гумуса: дерновые, муллевые и модергумусовые) с ЕКО в подстилке или дернине 25—35 мг—экв/100 г почвы и рН более 4;

— очень устойчивые почвы с высокой буферностью, нечувствительные к загрязнению: дерновые, муллевые, модергумусовые и грубогумусные разного генезиса суглинистого состава; влажные грубогумусные, торфянистые, торфянисто-перегнойные, перегнойно-торфянистые и торфяные всех типов разного гранулометрического состава при ЕКО в

подстилке, дернине или верхней части торфа выше 35 мг-экв/100 г почвы и рН выше 3.

Для проектных работ может быть рекомендована несколько иная система оценки, разработанная О. Г. Чертовым и С. К. Владимировой и использованная в методике оценки природной среды [Михайлова И. Ф. и др., 1989] и при составлении комплексной схемы охраны природы ряда северных областей России (табл. 1). В дополнение к этой

Таблица 1. Оценка устойчивости основных типов почв к промышленному загрязнению

| Типы почв | Гранулометрический состав | | |
|--|---------------------------|--------|----------|
| | пески | супеси | суглинки |
| Тундровые разных типов | 2 | 6 | 6 |
| Глеево-подзолистые тайги | — | 5 | 6 |
| Таяжно-мерзлотные | 3 | 5 | 5 |
| Таяжные неоподзоленные разных типов | 4 | 6 | 7 |
| Подзолистые | 4 | 6 | 7 |
| Дерновые таяжные | 6 | 7 | 8 |
| Дерново-подзолистые | 5 | 6 | 7 |
| Бурые лесные | 6 | 7 | 8 |
| Серые лесные | — | 8 | 9 |
| Торфянистые и перегнойно-глеевые ($T < 0,3$) | 6 | 8 | 9 |
| Торфяные болотные разных типов | 9 | 10 | 9 |
| Черноземы разных типов | — | 9 | 10 |
| Каштановые | — | 7 | 8 |
| Сероземы и коричневые почвы аридной зоны разных типов, terra-росса, terra-фуска, другие почвы сухих субтропиков | 3 | 4 | 6 |
| Солончи умеренной и аридной зон | — | 6 | 6 |
| Солончаки умеренной и аридной зон | 2 | 3 | 3 |
| Пойменные дерновые и болотные умеренной и аридной зон | 7 | 8 | 10 |
| Красные и желтые ферраллитные и альферритные почвы влажных субтропиков | 6 | 8 | 9 |
| Красные и желтые (альферритные, ферраллитные, ферритные) почвы влажных тропиков и экваториальной зоны | 5 | 8 | 8 |
| Черные слитые почвы тропиков | — | — | 8 |
| Пойменные и болотные почвы субтропиков и тропиков | 7 | 8 | 9 |
| Маломощные (менее 0,5 м) сильнощебнистые и сильнокаменистые преимущественно горные почвы разных типов, природных зон и высотных поясов | 1 | 2 | 4 |

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 оценка устойчивости дается по 10-балльной шкале, 10 баллов — максимальная устойчивость, 1 балл — минимальная. Оценка почв изменяется в зависимости от рельефа умножением на поправочный коэффициент: 1,0 — равнины, депрессии, пологие короткие склоны (до 300 м длиной); 0,8 — пологие (3—10 град), длинные (более 300 м) склоны; 0,6 — покатые склоны (10—25 град); 0,4 — крутые и обрывистые склоны (более 25 град).

системе следует отметить необходимость последующей разработки и внедрения в нее ряда коэффициентов, учитывающих климатические особенности и влияние видового состава растительности для конкретной почвы, таких, как, например, сумма положительных температур, сумма солнечной радиации, суммарная доза ультрафиолетового излучения, опадо/подстилочный коэффициент и др. По аналогичному принципу теми же авторами была построена система оценки устойчивости почв к рекреационным нагрузкам (табл. 2).

Таким образом, приведенные нами шкалы могут служить основой при разработке системы оценки природного экологического потенциала почв, определяя скорость их деградации под воздействием загрязнения и рекреации как обратную величину этой оценки.

В отношении оценки существующего состояния почв следует отметить, что эта задача также подразделяется на несколько более конкрет-

Таблица 2. Оценка устойчивости групп почв к рекреационным нагрузкам (в баллах)

| Характеристика почв | Гранулометрический состав | | | | |
|--|---------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| | щебнисто-каменист. | пески | супеси и суглинки | глины | карбонатные сугл. |
| Слабо гумусированные (<3% гумуса) с маломощной подстилкой или дерниной (<7 см) | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| Хорошо гумусированные почвы (>3% гумуса) либо с мощной подстилкой или дерниной (>7 см) | 4 | 5 | 8 | 4 | 8 |
| Органогенные почвы (торфяные, перегнойные) мощностью более 30 см | — | 8 | 9 | 9 | 10 |

ных вопросов: оценка на основе морфологических признаков почв; оценка на основе физико-химических характеристик, состава и свойств органического вещества почвы и, наконец, комплексная оценка почв.

Оценка состояния по морфологическим признакам — методически наиболее доступный способ, поскольку он не требует специальных физико-химических исследований и может проводиться по морфометрическим параметрам аккумулятивных горизонтов (подстилка—дернина—торф и гумусовый горизонт), руководствуясь следующим положением. В ходе развития естественного почвообразовательного процесса происходит последовательное формирование аккумулятивных горизонтов, сопряженное с развитием растительности до некоторых предельных значений (в климаксовых экосистемах), отражающих равновесие процессов поступления, трансформации и деструкции органических материалов в почве [Дюшофур Ф., 1970; Чертов О. Г., Разумовский С. М., 1980]. Эти значения не совпадают в разных климатических и эдафических условиях. При антропогенной деградации идет обратный процесс вплоть до полного уничтожения почвенного профиля при ее максимальной выраженности. Поэтому мы можем попытаться дать оценку состояния почв по мощности аккумулятивных горизонтов, полагая, что в нарушенных почвах она меньше, чем в естественных аналогах. В табл. 3 приведена такая оценка, составленная с учетом результатов

Таблица 3. Оценка экологического состояния почв разного генезиса на дренированных суглинистых почвообразующих породах по мощности аккумулятивных горизонтов (см)

| Природные зоны | Горизонты почв | Полноразвитые ненарушенные почвы | Средненарушенные почвы | Сильно нарушенные почвы |
|---|---|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Северная и средняя тайга | A ₀ | 7—10 | 3—7 | 0—3 |
| | A ₁ A ₂ (A ₁) | 5—15 | 0—10 | 0—5 |
| Южная тайга и лесостепь | A ₀ | 0—2 (5—7) | 0—2 (2—5) | 0—2 |
| | A ₁ | 20—30 (10—20) | 10—15 (0—10) | 0—10 |
| Степная, аридная, субтропическая и тропическая зоны | A ₀ | 0—2 | 0—2 | 0—1 |
| | A ₁ | более 30 | 15—30 | 0—15 |

Примечание: без скобок — в лиственных лесах и травяных экосистемах, в скобках — в хвойных лесах. A₀ — подстилка или дернина.

исследований авторов [Чертов О. Г., 1981, 1985, 1992; Чертов О. Г. и др., 1990].

В этой таблице полноразвитые ненарушенные почвы — это почвы климаксовых экосистем; средненарушенные — почвы сериальных экосистем после нарушений (рубки, пожары, выпас, рекреация, загрязнение), сильнонарушенные — почвы, где развитие экосистем начинается снова после их уничтожения в результате сельскохозяйственной или техногенной эрозии. Кроме того, при такой оценке следует учитывать весь комплекс морфологических параметров почв. При загрязнении подстилка (дернина, торф) содержит визуально определяемую примесь загрязнений в виде золы, пыли, нефтепродуктов и др. и она, как правило, имеет сильную разложенность. При рекреационной деградации почвы имеют сильно уплотненную органоминеральную подстилку или лишенный структуры гумусовый горизонт.

Оценка состояния почв по физико-химическим характеристикам, как правило, сводится к определению концентраций элементов-загрязнителей и других загрязняющих агентов в почвах и сопоставлению с существующими нормативами (фоновые концентрации и ПДК). Это наиболее распространенный способ оценки почв, являющийся практически стандартным. Тем не менее следует отметить, что в отношении рекреационной деградации такая оценка неэффективна. И здесь мы можем рекомендовать сопоставление мощности и запасов лесной подстилки «естественных» (невыветривших) и нарушенных почв и сопоставление плотности верхнего 10-сантиметрового слоя почвы: $E = D/D'$, где D , D' — плотность верхнего органического либо минерального горизонта ненарушенной и исследуемой почвы соответственно.

В каждом случае такие шкалы должны разрабатываться для конкретных почв, поскольку эти характеристики существенно различаются у разных типов почв. В качестве эталонных можно брать также характеристики почв, приведенные в сводках по районам работ (например, для Ленинградской области: [Почвы Ленинградской области, 1973; Чертов О. Г., 1981, и др.]).

Следует отметить, что для более глубокого изучения влияния загрязняющих агентов и рекреации на почвы необходимо определять изменение качественных и количественных характеристик органического вещества в нарушенных почвах. Такие показатели, как содержание органического углерода, гуминовых и фульвокислот, соотношение активных и пассивных форм гумуса и др., позволят более точно оценить экологический потенциал почв, их буферность по отношению к загрязняющим агентам и способность к реабилитации.

Таким образом, нам представляется, что для более полной и комплексной оценки состояния почв необходима разработка специального «индекса экологического потенциала», который бы служил интегральным показателем антропогенного изменения почв. Для оценки «экологического потенциала» по свойствам гумусового или верхнего минерального горизонта мы предлагаем следующую формулу:

$$E = (C \cdot pH \cdot CL \cdot D) / (TM \cdot D'),$$

где E — экологический потенциал почвы (балл по открытой шкале); C — содержание углерода органического вещества в верхнем 10-сантиметровом слое минеральной почвы, % (0,1—10,0); pH — кислотность солевой вытяжки (2,6—7,5); CL — содержание илистой фракции, % (0,1—20,0); TM — сумма концентраций трех тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb), мг/кг; D' — объемная масса 10-сантиметрового слоя исследуемой почвы, г/см³; D — объемная масса того же горизонта ненарушенной (эталонной) почвы-аналога по генезису и гранулометрическому составу, г/см³.

Величина предлагаемого показателя экологического потенциала почв, представляющего собою безразмерную величину, варьирует от 1500 в наиболее чистых ненарушенных почвах с высокой буферностью по отношению к загрязняющим агентам и рекреации до 10 в пределах нарушенных загрязненных почвах.

При загрязнении техногенной серой можно воспользоваться формулой для определения антропогенной насыщенности серой лесных почв [Chertov O. G., 1985]:

$$\begin{aligned} \text{для } A_1: V &= S \cdot 859,11/H = SO_3 \cdot 343,64/H; \\ \text{для } B \text{ и } C: V &= S \cdot 5970,15/R_2O_3 = SO_3 \cdot 2388,06/R_2O_3, \end{aligned}$$

где V — насыщенность серой, %; H — содержание гумуса, %; R_2O_3 — валовое содержание полуторных окислов, %; S и SO_3 — валовое содержание серы или оксида серы в почве, %.

В чистых почвах V составляет 5% в горизонте A_1 и 5—15% в горизонтах B и C . В загрязненных она достигает весьма значительных величин, вплоть до 100%.

Особо следует подчеркнуть активную роль органического вещества почв и почвенного гумуса в поведении органических и неорганических загрязняющих агентов в почвенном профиле. Но, к сожалению, в научной литературе этот вопрос освещен слабо, недостаточно изучены не только количественные закономерности процессов взаимодействия органического вещества с такими агентами, но и качественные характеристики самих процессов. О важности органического вещества для распределения многих загрязняющих веществ в почве может свидетельствовать тот факт, что многие тяжелые металлы, в том числе и наиболее опасные для человека свинец, кадмий и ртуть, поступают в почвенный раствор и растения в основном в форме комплексов с различными фракциями и компонентами органического вещества почв.

В числе важнейших процессов взаимодействия органического вещества с агентами-загрязнителями, влияющими на их распределение в почвенном профиле, следует отнести следующие: 1. Сорбция (иммобилизация) растворимых форм. 2. Десорбция и формирование растворимых органических и органоминеральных комплексов из нерастворимых и слаборастворимых форм. 3. Обменное поглощение ионных форм органическим веществом в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК). 4. Каталитическая ферментативная трансформация органических форм агентов.

Кроме того, органическое вещество оказывает также косвенное опосредованное влияние на взаимодействие почвы с загрязняющими агентами через оптимизацию ряда свойств почвенного профиля, влияющих на скорость самоочищения почв: 1. Обеспечение «гомеостаза» почвенной среды (буферность, достаточная емкость ППК и т. д.). 2. Оптимизация водно-физических свойств почвы (структурообразование, формирование большой удельной поверхности почвы и т. д.). 3. Поддержание определенного уровня биологической активности (ферментативная активность, почвенная биота).

Проблему взаимодействия органического вещества почвы с загрязняющими агентами нельзя рассматривать только с точки зрения распределения этих агентов в почвенном профиле и за его пределами. Вещества-загрязнители оказывают также сильное влияние на многие процессы в почве. Прежде всего это сказывается на почвенной биоте и многих связанных с ней прямо или косвенно биохимических процессах, в числе которых важнейшими являются разложение органических остатков, гумификация и гумусообразование, а также минерализация органического вещества почвы. Таким образом, взаимодействие органического вещества почвы с загрязняющими агентами — сложный процесс,

обусловленный большим числом влияющих друг на друга факторов, что сильно затрудняет проведение их адекватной количественной оценки.

Для получения более полной картины влияния различных форм органического вещества на поведение загрязняющих агентов в почвенном профиле нами на примере тяжелых металлов была составлена схема, представленная ниже. На ней почвенный раствор и минеральная часть почвы представлены в виде своеобразных «шин», альфы и омеги, на которых замыкаются многие процессы закрепления и транслокации тяжелых металлов в почве. В виде отдельных или соприкасающихся блоков в этих «шинах» отмечены основные формы присутствия ТМ в почвенном растворе и основные сорбенты в составе минеральной части.

ТМ из двух блоков основных форм поступления попадают в соответствующие почвенные блоки, а также в блоки растительности и подстилки. Таким образом, растительность и подстилка наряду с наземной и почвенной биотой является своеобразным промежуточным звеном на пути ТМ в почвенный профиль.

Следует отметить, что в настоящее время на значительных территориях лесных и травяных экосистем (особенно в пригородах) в результате чрезмерной рекреационной нагрузки наблюдается разрушение подстилки вплоть до гумусового горизонта. В таких случаях, а также в антропогенных экосистемах (пашни и т. п.), ТМ поступают непосредственно в верхние почвенные горизонты.

Центральным и наиболее важным звеном в процессах транслокации и закрепления ТМ в почвах естественных экосистем является подстилка. Ее блок подразделен на два: собственно подстилку и детрит. Это связано с особой ролью последнего в важнейших процессах гумификации, гумусообразования и питания растений [Фокин А. Д., Мишина И. Ю., 1983]. Следует отметить, что слабая изученность детрита как важной фракции органического вещества почв, связанная прежде всего с отсутствием надежной и общепризнанной методики его выделения, не позволяет пока дифференцировать его от подстилки в отдельный блок.

Система гумусовых веществ представлена на схеме в виде трех основных компонентов: гуминовых кислот, фульвокислот, а также гумина, блок которого изображен частично примыкающим к минеральной части. Учитывая важную роль процессов гумусообразования и минерализации в функционировании системы почвенного гумуса, они были выделены в самостоятельные блоки. Все остальные процессы, связанные с распределением ТМ в почвенном профиле, обозначены стрелками двух типов. Первый тип — это процессы, которые в конечном итоге приводят к закреплению ТМ в почвенном профиле, а второй тип — процессы, приводящие к транслокации ТМ вплоть до выхода за пределы почвенного профиля.

В целом предложенная схема не претендует на исчерпывающее освещение всех процессов распределения ТМ в почвенном профиле, но может послужить основой для разработки концептуальной модели распределения ТМ в почвенном профиле и для экспериментальных работ по определению всех рассмотренных компонентов и процессов.

В заключение следует отметить, что строгое научно обоснованное решение задачи разработки прогноза изменений почв под воздействием современных антропогенных факторов должно осуществляться методами математического моделирования. Именно в этом заключается математический аспект создания сети стационарных экологических площадок — изучить процессы и получить кинетические параметры функционирования почвенной системы для синтеза достаточно реалистичной математической имитации ее биоценотической работы.

Тем не менее на качественном уровне эта задача может решаться

на основе приведенных выше материалов по оценке устойчивости и состояния почв, функций органического вещества: чем выше чувствительность почв к антропогенным нагрузкам, тем выше и скорость их деградации под воздействием этих факторов. На первом этапе работ по оценке экологического потенциала почв и состояния природной среды этого, возможно, будет достаточно.

Summary

The problem of soil ecological and environmental evaluation has been discussed. Tables 1 and 2 show the data on principal soil types resistance under technogenic and recreational press as a basic information for environmental planning. The considerations on the use of morphometrical parameters for the evaluation of soil ecological state have been discussed too, and formulae for index soil ecological potential account on the basis of soil physico-chemical properties have been proposed. In conclusion the graphical picture of heavy metals and soil components interactions with special reference to soil organic matter has been shown.

Литература

Добровольский Г. В. и др. Влияние человека на почву как компонент биосферы // Проблемы экологически устойчивого развития биосферы. М., 1988. — Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв. М., 1970. — Ковда В. А. Проблемы защиты почвенного покрова и биосферы планеты. Пушкино, 1989. — Михайлова И. Ф., Владимиров В. К., Полковникова Т. А. Методические рекомендации по оценке природной среды в составе территориальных комплексных схем охраны природы. Л.; ЛенНИИ градостроительства, 1989. — Почвы Ленинградской области / Ред. В. К. Пестряков. Л., 1973. — Фокин А. Д., Мишина И. Ю. Сравнительное исследование роли гумусовых веществ, растительных остатков в плодородии дерново-подзолистых почв // Актуальные вопросы генезиса и плодородия почв. М., 1983. — Чертов О. Г., Разумовский С. М. Об экологической направленности процессов развития почв // Журн. общей биол. 1980. Т. 41, № 3. — Чертов О. Г. Экология лесных земель. Л., 1981. — Чертов О. Г. Экотопы тропического дождевого леса. Л., 1985. — Чертов О. Г. и др. Изменение лесных почв под воздействием загрязнений соединениями серы с различными примесями // Лесные экосистемы и атмосферные загрязнения / Под ред. В. А. Алексева. Л., 1990. — Чертов О. Г. Влияние растительности на формирование аккумулятивных горизонтов аридных почв // Проблемы освоения пустынь. 1992 (в печати). — Chertov O. G. Sulphur pollution of forest soils in Eastern Europe // Proc. of the Intern. Symp. «Air Pollution and Stability of Coniferous Forest Ecosystems», Oct. 1—5, 1984. Agricultural University of Brno. Brno, 1985.

Статья поступила в редакцию 14 февраля 1992 г.