

УДК 631.6.02

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

А.В. Тиньгаев, Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации

В настоящее время в Алтайском крае накоплено свыше 1,5 млн т осадка сточных вод (ОСВ), ежегодно формируется свыше 40 тыс. т (в сухом веществе) на очистных сооружениях девяти крупнейших городов. Сроки хранения ОСВ в местах их обезвоживания (на иловых площадках) и складирования составляют от 1 до 30 лет в зависимости от объемов их поступления с очистных сооружений [2]. За год в водные объекты Алтайского края сбрасывается более 191 млн м³ загрязненных сточных вод.

Сточные воды городов Алтайского края слабоминерализованные (0,65–1,1 г/л), по химическому составу гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, натриево-кальциевые со слабощелочной или щелочной реакцией (рН=7,2–9,0). В анионном составе преобладают гидрокарбонаты (62,3–481,9 мг/л) и хлориды (134,0–203,2 мг/л), в катионном — натрий (108,9–412,5 мг/л) и кальций (62,7–123,6 мг/л). Преобладающими солями являются бикарбонат натрия и кальция и хлористый натрий. В сточных водах содержание окисляющихся веществ (ХПК), 7,2–56,1% из которых — органические соединения, изменяется в пределах 101,3÷1566,2 мгО₂/л. Содержание азота составляет 0–25,5 мг/л, фосфора — 0–48,2, калия — 5,0–23,6 мг/л. В сточных водах обнаруживается значительное количество химических элементов, в т.ч. тяжелых металлов (ТМ) [3].

Использование ОСВ в качестве нетрадиционного удобрения решает несколько проблем: вместе с ними в почву поступают элементы питания в доступных для растений формах, увеличивается содержание органического вещества почвы, определяющее ее плодородие, снижается опасность загрязнения окружающей среды большими объемами накопившихся отходов путем их утилизации.

Если в навозе и помете концентрация ТМ не представляет серьезной опасности, то в ОСВ их содержание может превышать их содержание в почве. Так, в безреагентных ОСВ никеля и свинца содержится в 7–9 раз больше, чем в почве, хрома, меди и цинка — больше в 14–19 раз, серебра и кадмия — в 195–330 раз [3]. Следует также учитывать, что ТМ медленно выводятся из почвы. Так, для цинка этот период составляет 70–510 лет, кадмия — 13–1100, меди — 310–1500, свинца — 740–5900 лет. С целью прогнозирования изменения содержания ТМ по профилю почвы при использовании в качестве удобрений органических отходов (ОСВ) необходимо моделировать их миграцию в системе «органические отходы — почва — грунтовые воды — растение».

Нами разработана модель поступления и миграции в почве ТМ при использовании твердых и жидких органических отходов. При этом в модели, наряду с конвективно-диффузионным переносом ТМ в почвенном растворе, его сорбцией твердой фазой и выносом растительностью, учитывается поступление ТМ в подвижной и фиксированной формах с органическими отходами, а также переход из фиксированной формы загрязнителя в почве в подвижную форму. Концептуальная схема модели миграции тяжелых металлов включает в себя 4 основных блока: органические отходы, почва, грунтовые воды, растительность (рис. 1).

Математическая модель имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_{pf}}{\partial t} = \frac{\partial S_{pr}}{\partial t} + \frac{\partial Q_{of}}{\partial t} \\ W \frac{\partial Q_{pr}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q_{pr}}{\partial x^2} - v \frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} - \frac{\partial S_{pr}}{\partial t} - \frac{\partial S_p}{\partial t} + \frac{\partial Q_{or}}{\partial t}, \end{cases}$$

где Q_{of} — содержание ТМ в органических отходах в фиксированной форме (связаны с органической составляющей отходов);

Q_{or} — содержание ТМ в органических отходах в растворимой форме;

Q_{pr} — содержание ТМ в почвенном растворе (подвижная форма);

k_{pr} — коэффициент сорбции;

k_{pf} — коэффициент перехода из фиксированной формы ТМ в почвенный раствор;

W — объемная влажность почвы;

$\partial S_{pr}/\partial t$ — интенсивность перехода ТМ из почвенного раствора в фиксированную форму;

$\partial S_{pf}/\partial t$ — интенсивность перехода ТМ из фиксированной формы в почвенный раствор;

$\partial S_p/\partial t$ — интенсивность отбора ТМ корнями растений;

D — коэффициент конвективной диффузии;

v — скорость фильтрации;

ρ — плотность почвы;

$S_p = \beta Q_{pr}$, где β — коэффициент поглощения ТМ растениями [1];

Ввиду малой концентрации ТМ в почвенных растворах и большой емкости поглощения почвы, можно использовать линейное уравнение изотермической сорбции Генри [1]:

$S_{pr} = WQ_{pr}/\alpha$, где α — коэффициент изотермы сорбции.

Дополним нашу систему уравнений начальными и граничными условиями.

На верхней ($x=0$) и нижней ($x=L$) границах можно записать следующие условия:

$Q_{pf}|_{x=0} = Q_{p0}$
 $Q_{pr}|_{x=0} = Q_{pr0}$, если $V > 0$. При $V < 0$ поток влаги увлекает ТМ к поверхности почвы, где за счет концентрирования формируется встречный, уравновешивающий диффузионный поток.

$$\left(D \frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} - vQ_{pr} \right) \Big|_{x=0} = 0$$

Нижняя граница при $x=L$ совпадает с поверхностью грунтовых вод:

$$\begin{aligned} Q_{pf}|_{x=L} &= 0 \\ Q_{pr}|_{x=L} &= 0 \end{aligned}$$

В модели первое уравнение характеризует интенсивность изменения фиксированной формы ТМ в почве, а второе — в почвенном растворе.

Для решения системы дифференциальных уравнений мы использовали метод двухслойной неявно конечно-разностной схемы.

Для прогнозирования миграции ТМ в почве при использовании органических отходов в качестве удобрения и проверки адекватности модели нами была разработана информационная технология «Миграция тяжелых металлов в почве».

Прогноз накопления ТМ в почве при использовании органических отходов (ОСВ) целесообразно рассмотреть

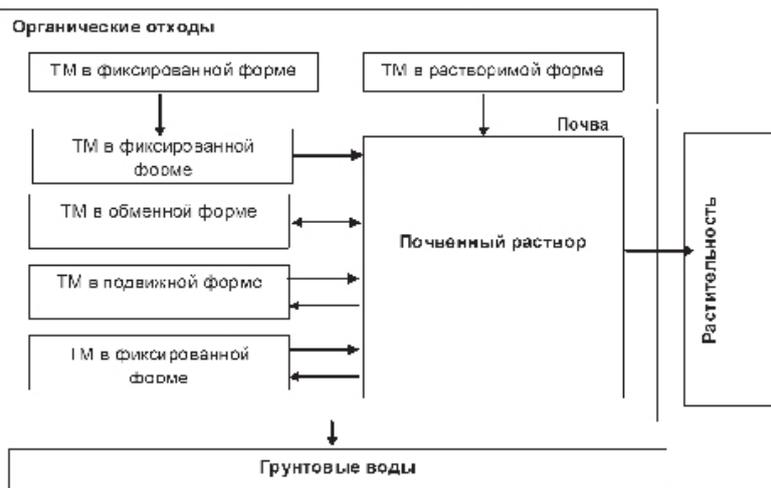


Рис. 1. Концептуальная схема модели миграции ТМ в системе «органические отходы — почва — грунтовые воды — растение»

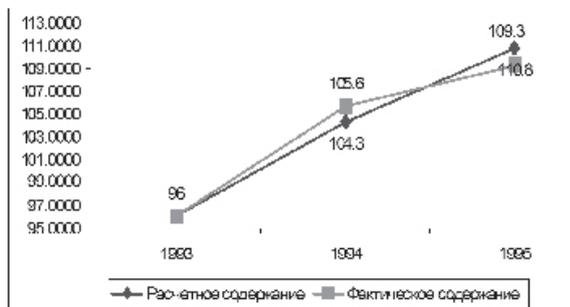


Рис. 2. Фактическое и расчетное содержание Zn в пахотном слое почвы при ежегодном внесении 20 т ОСВ г. Рубцовска

в двух вариантах: на весь период прогноза по заданному слою (от поверхности до уровня грунтовых вод) и изменение содержания ТМ по почвенному профилю для конкретного периода.

Для проверки адекватности модели были использованы результаты исследований, проведенные ФГУП АФ «НИИССВ «Прогресс» в г. Рубцовске. На сельскохозяйственных землях Рубцовского р-на вносили ОСВ ежегодно в дозе 20 т/га с 1993 по 1996 г. В 1999 г. проводили исследования по изменению запаса гумуса и содержания ТМ в почвенном слое. Плотность сложения пахотного горизонта составляет 1,17 г/см³. Пористость верхних горизонтов более 50%. Максимальная гигроскопичность

изменяется в пределах 5,2—7,2%, а наименьшая влагоемкость — 19,8—24,2%. Почвы лугово-черноземные, среднемощные, слабогумусированные, среднесуглинистые. Валовое содержание азота, фосфора и калия в пахотном горизонте составляло соответственно 0,28, 0,15 и 2,24%. Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия — 21,1; 168,4 и 403 мг/кг соответственно. Емкость поглощения — 27,8—28,4 мг-экв/100 г. Степень насыщенности основаниями высокая.

В ОСВ г. Рубцовска содержание органического вещества составляет 51,7%, общего азота — 0,92, общего фосфора — 0,43, общего калия — 0,84%. В соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 по содержанию хрома, свинца, меди и марганца подсушенный ОСВ относится к первой группе (использование без ограничений), по содержанию цинка — ко второй группе, по содержанию никеля — к третьей.

В качестве критерия достоверности решения предложенной математической модели использован коэффициент несходимости Тейла. При этом модель считается адекватной, если этот коэффициент не превышает 25%.

Сравнение результатов прогноза содержания ТМ, полученных с помощью математической модели, с результатами агрохимических исследований за период 1993—1999 гг. показало, что коэффициент несходимости Тейла не превышает 25% для каждого из вариантов. Это свидетельствует о достаточной адекватности предложенной модели фактическим данным и возможности практического применения модели для прогноза миграции ТМ на длительные промежутки времени.

Результаты натурного и расчетного значения накопления цинка в почве при ежегодном внесении ОСВ г. Рубцовска представлены на рис. 2.

Выполненный по модели прогноз накопления цинка в почвенном профиле при использовании осадка сточных вод показал постепенное увеличение его валового содержания в верхнем почвенном слое 0—0,2 м на 20-й год внесения в 1,4 раза. Распределение цинка по профилю почвы при ежегодном внесении 20 т/га осадка сточных вод г. Рубцовска на 20-й год показало, что его содержание в нижних слоях (2—2,5 м) практически не изменится.

Таким образом, научно обоснованное использование органических отходов различных источников в качестве удобрения позволит не только повысить плодородие сельскохозяйственных земель, но и сохранить благоприятную экологическую обстановку в крае. ■