

УДК 631.4

UDC 631.4

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ НИЖНЕГО ДОНА К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

LOWER DON SOILS STABILITY TO HEAVY METALS CONTAMINATION

Бакоев Сирождин Юсуфович
аспирант
*Донской государственной аграрной университет,
пос. Персиановский, Россия*

Bakoev Sirodjin Uysufovitch
postgraduate student
*Don State Agrarian University,
Persianovsky, Russia*

Минкина Татьяна Михайловна
д.б.н, профессор
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Minkina Tatyana Mihailovna
Dr.Sci.Biol., professor
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Гетманцева Любовь Владимировна
магистрант

Getmanceva Lyubov Vladimirovna
postgraduate student

Калиниченко Валерий Петрович
д.б.н, профессор
*Донской государственной аграрной университет,
пос. Персиановский, Россия*

Kalinitchenko Valeriy Petrovich
Dr.Sci.Biol., professor
*Don State Agrarian University,
Persianovsky, Russia*

В работе представлена математическая модель для расчета устойчивости почв к загрязнению тяжелыми металлами. На основе модели проведен анализ почв Нижнего Дона к загрязнению Cu, Pb и Zn

The mathematical model of soil stability to heavy metals contamination is proposed. The Lower Don soils contamination with Cu, Pb and Zn was calculated

Ключевые слова: ПОЧВА, УСТОЙЧИВОСТЬ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Keywords: SOIL, STABILITY, HEAVY METALS, MATHEMATICAL MODEL

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) за последние тысячелетия стало серьезной проблемой, по последствиям сопоставимой с глобальными природными явлениями. Постоянно возрастающее воздействие человека на окружающую среду не соизмеряется с ее устойчивостью, в результате чего возникают нарушения протекания естественных природных процессов [1]. Специфическая способность почв поглощать поступившие из техногенных источников металлы и распределять их между собственными почвенными компонентами, имеет решающее значение в формировании экологической обстановки на планете [2].

Загрязняющие вещества, попавшие в почву, могут сохраняться в ней десятки, и даже сотни лет, постепенно поступая в воздух, воду,

органическое вещество почвы, живые объекты. Поэтому проблема качественной и количественной оценки степени устойчивости почв к загрязнению ТМ, возможность быстрой и удобной обработки соответствующих данных является особенно актуальной.

Анализ состояния исследований по оценке устойчивости почв показывает, что работы по этому вопросу ведутся по двум направлениям. К первому направлению относится разработка принципов оценки устойчивости, основанная на выборе комплекса наиболее важных параметров, оценке каждого из них по бальной системе и использование суммы баллов в качестве количественного показателя почв [3, 4, 5]. Полученные количественные показатели используются для сравнения почв по устойчивости к внешним воздействиям и составления карт устойчивости почв.

Второе направление связано с построением и исследованием математических моделей, описывающих протекающие в почве процессы и отображающие механизмы ее устойчивости. В этом случае становится возможным использование математических методов анализа устойчивости. Препятствием на пути этого метода являются трудности разработки достаточно адекватных моделей, что обусловлено недостаточной изученностью законов функционирования почв, нехваткой информации для экспериментального обеспечения моделей, чрезвычайной сложностью объекта изучения.

Предлагаемая работа выполнена в рамках второго направления, с учетом того, что почва относится к иерархическим системам и возникновение процессов каждого иерархического уровня ведет к созданию системы почвенных соединений химических элементов соответствующей категории. В качестве наименьшей структурной единицы, характеризующей свойства почвы как природного объекта,

может быть выделена элементарная система соединений химических элементов.

Структура и функционирование элементарной системы химических элементов почвы обеспечивает ее устойчивость, которая проявляется как стабильность прочно связанных форм химических соединений в почве к буферным реакциям подвижных. Те и другие формы соединения находятся в динамическом взаимодействии.

Взаимосвязь обеспечивается реакциями, которые обуславливают перераспределяющие потоки веществ и энергии. Постоянство потоков как явление, флуктуация их протекания обеспечивают гетерогенность составляющих почвенной элементарной системы соединений химических элементов, многообразие реакций в которых они принимают участие, нелинейность отклика системы на внешнее воздействие, наличие отрицательных и положительных обратных связей [6].

Учитывая, что нелинейные структурные связи являются неотъемлемым компонентом организации сложных динамических систем, при разработке первой модели, в качестве нелинейной обратной связи мы использовали следующую функцию:

$$z(Y_1) = \frac{\alpha_{01} \cdot S \cdot k \cdot Y_1}{1 + k \cdot Y_1} \quad (1)$$

где z - параметр потенциальной загрязненности почвы, S – максимальная адсорбция ТМ, k - коэффициент сродства ТМ.

Аналитически структура упрощенной модели может быть представлена системой двух обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dY_0}{dt} = \frac{\alpha_{01} \cdot S \cdot k \cdot Y_1}{1 + k \cdot Y_1} - \alpha_{11} \cdot Y_0 \\ \frac{dY_1}{dt} = \alpha_{11} \cdot Y_0 - d \cdot Y_1 \end{cases} \quad (2)$$

где:

Y_0 – количество ТМ, равное потенциальной возможности почвенного покрова поглотить поллютанты из расчета слой почвы 0-10см в мг/кг в год;

Y_1 – количество ТМ, содержащихся в почве, м/кг;

α_{01} – константа скорости поступления ТМ в почву;

α_{11} – средняя скорость трансформации ТМ при нагрузке, возникающей от поступления поллютанта в почву (на основе расчета экспериментальных данных);

k – константа сродства ТМ, л/Мм;

S – максимальная адсорбция ТМ, мм/ 100 г почвы;

d – интенсивность выноса ТМ из почвы (потребление растениями, переход в сопредельную среду).

Исключив переменную Y_0 из системы (2) получим одно уравнение второго порядка относительно Y_1 :

$$\frac{d^2 Y_1}{dt^2} = \frac{\alpha_{11} \cdot \alpha_{01} \cdot S \cdot k \cdot Y_1}{1 + k \cdot Y_1} - \alpha_{11} \cdot d \cdot Y_1 - (\alpha_{11} + d) \cdot \frac{dY_1}{dt} \quad (3)$$

Анализ устойчивости почвы к загрязнениям ТМ определяется оценкой устойчивости предложенной модели. Для аналитического исследования устойчивости воспользуемся введением потенциала $u(Y_1)$ из уравнения движения материальной частицы, движущейся с диссипацией во внешнем поле [7]:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\lambda \cdot \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial u(x)}{\partial x} \quad (4)$$

Выражение для потенциала имеет вид:

$$u(Y_1) = \frac{\alpha_{11} \cdot d \cdot Y_1^2}{2} - \alpha_{11} \cdot \alpha_{01} \cdot S \cdot Y_1 + \frac{\alpha_{11}}{k \cdot \alpha_{01} \cdot S \cdot \ln(1 + k \cdot Y_1)} \quad (5)$$

Точки локальных минимумов потенциала $u(x)$ соответствуют стационарным состояниям системы.

Переход из одного стационарного состояния в другое определяет эффективный параметр q , плавное изменение которого приводит к качественным изменениям в системе. В качестве эффективного параметра q , в нашем случае, возьмем вторую производную потенциала $u(Y_1)$, которая обеспечивает условие существования минимума потенциала, взятой в точке $Y_{11} = \frac{\alpha_{01} \cdot S \cdot k - d}{d \cdot k}$ с обратным знаком. Эффективный параметр q представляет собой функцию, которая зависит от параметров поступления и трансформации ТМ в почве. Тогда выражение параметра эффективности q имеет вид:

$$q = \frac{\alpha_{11} \cdot d^2 - \alpha_{11} \cdot \alpha_{01} \cdot S \cdot k}{\alpha_{01} \cdot S \cdot k} \quad (6)$$

Устойчивость системы обеспечивается при положительных значениях эффективного параметра q , поскольку при $q > 0$ возникает устойчивое стационарное состояние системы в положительной области значений $Y_{11} = \frac{\alpha_{01} \cdot S \cdot k - d}{d \cdot k}$.

Таким образом, решив неравенство $q > 0$, можно найти область устойчивости исследуемой системы в связи с изменениями учетных параметров:

$$\frac{\alpha_{11} \cdot d^2 - \alpha_{11} \cdot \alpha_{01} \cdot S \cdot k}{\alpha_{01} \cdot S \cdot k} > 0 \quad (7)$$

На основе последнего неравенства получим неравенства, выражающие изменения параметров, учтенных в модели.

$$S < \frac{d^2}{\alpha_{01} \cdot k} \quad (8)$$

$$k < \frac{d^2}{\alpha_{01} \cdot S} \quad (9)$$

$$\alpha_{01} < \frac{d^2}{k \cdot S} \quad (10)$$

$$d > \sqrt{\alpha_{01} \cdot S \cdot k} \quad (11)$$

Неравенства (7-11) позволяют проследить изменение области устойчивости системы. К примеру (8) показывает, что значение адсорбции уменьшается с увеличением степени сродства, и увеличивается при возрастании квадрата интенсивности выноса ТМ из почвы. В то же время критическое значение константы сродства уменьшается с увеличением адсорбции и увеличивается с ростом квадрата показателя выноса ТМ из почвы. Аналогично можно охарактеризовать критические значения скорости поступления тяжелого металла и показателя выноса ТМ из почвы. При обращении неравенств в равенства значения параметров будут критическими, т.е. эти значения можно принять как границу устойчивости системы.

Показатели устойчивости по предложенным параметрам, изменение которых влечет изменение системы в целом, введены на основе сравнения критических значений параметров с их реальными аналогами. Для тех параметров, значения которых должны быть меньше критических, показатели устойчивости определяются как отношение параметров реальной системы к соответствующим критическим значениям.

Из принятого способа определения показателей устойчивости системы к изменению параметров следует, что система находится в критическом состоянии при равенстве единице вышеуказанных отношений.

Сопоставляя критические значения параметров с их реальными значениями можно делать вывод о том, насколько далека система от границы неустойчивости по каждому из параметров.

На основании модели нами был проведен анализ устойчивости черноземов Нижнего Дона к потенциальному загрязнению тяжелыми металлами Cu, Pb и Zn. Математическая модель построена на основании

положительной обратной связи (++) взаимодействие), характеризующей зависимость количества поглощения почвой ТМ от их концентрации. Рассматриваемые нами почвы являются относительно незагрязненными, т.к. не испытывают непосредственного давления техногенеза.

Опубликованные данные ряда авторов [8, 9] были использованы нами для расчета средних показателей устойчивости и пределов их изменения для почв Нижнего Дона к поглощению ТМ. Кроме того, для сравнительного анализа ставятся в соответствие показатель устойчивости, гранулометрический состав и гумус.

Анализ проводился по следующим видам почв Нижнего Дона:

1. Чернозем обыкновенный карбонатный среднегумусный тяжелосуглинистый (пашня, Октябрьский район, Ростовская область);
2. Чернозем южный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый (на желто-бурых структурных глинах (пашня, Миллеровский район, Ростовская область));
3. Чернозем южный среднемощный среднесуглинистый на желто-бурых суглинках (пашня, Шолоховский район, Ростовская область);
4. Чернозем южный среднемощный, супесчаный (пашня, Шолоховский район, Ростовская область).

Показатели устойчивости, рассчитанные для данных почв, гранулометрический состав, гумус и термодинамические показатели почв сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Показатель устойчивости почв Нижнего Дона к поглощению ТМ

	Почвы Нижнего Дона	S_{max} Ммоль/л	k л/Ммоль	Физическая глина, %	Ил, %	Гумус, %	Показатель устойчивости к поглощению ТМ	
							Среднее	Область изменения
Медь								
1	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	23,94	66,00	48,1	28,6	4,2	7,28	3-10
2	Чернозем южный тяжелосуглинистый	24,66	70,76	53,9	31,0	3,9	8,66	3-10
3	Чернозем южный среднесуглинистый	21,75	51,55	31,4	19,1	3,5	5,36	2-9
4	Чернозем южный супесчаный	19,24	35,00	12,4	8,0	3,5	3,27	1-7
Цинк								
1	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	13,97	4,43	48,1	28,6	4,2	4,82	2-8
2	Чернозем южный тяжелосуглинистый	14,34	4,64	53,9	31,0	3,9	5,58	2-10
3	Чернозем южный среднесуглинистый	12,81	3,78	31,4	19,1	3,5	3,92	2-8
4	Чернозем южный супесчаный	11,49	3,05	12,4	8,0	3,5	2,87	1-7
Свинец								
1	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	14,86	50,31	48,1	28,6	4,2	10,65	2-12
2	Чернозем южный тяжелосуглинистый	14,55	54,16	53,9	31,0	3,9	12,09	2-14
3	Чернозем южный среднесуглинистый	15,66	38,51	31,4	19,1	3,5	8,91	2-10
4	Чернозем южный супесчаный	16,56	25,01	12,4	8,0	3,5	6,21	1-9

Чем больше удаленность значения показателя устойчивости от единицы в положительную сторону, тем система более отдалена от критического состояния, т.е. обладает большей прочностью.

Почвы Нижнего Дона, согласно проведенному анализу, обладают достаточным запасом стабильности к загрязнению медью, свинцом и цинком, количественное значение которого описывается показателями устойчивости. Поглощение Cu и Pb в почвах протекает более интенсивно,

что в значительной степени определяется более высоким сродством конкурирующих ионов Cu и Pb к исследуемым почвам. При совместном влиянии меди, свинца и цинка на почвы, доминирующим процессом, влияющим на устойчивость, является их взаимная конкуренция. Наименьшая конкурентоспособность цинка предопределяет наименьшие показатели устойчивости по цинку для всех рассматриваемых почв. Устойчивость почв к загрязнению металлами представляет следующий убывающий ряд: $Pb > Cu > Zn$.

Параметры устойчивости к возможному интенсивному загрязнению ТМ (Cu, Pb, Zn) в зависимости от поглощения для разных почв уменьшается в ряду: чернозем тяжелосуглинистый > чернозем обыкновенный > чернозем среднесуглинистый > чернозем супесчаный (рисунок 1).

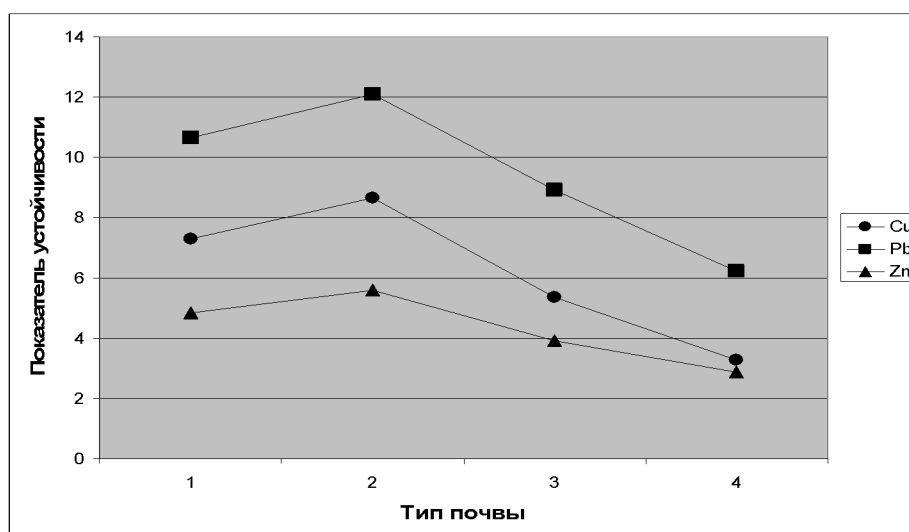


Рисунок 1. Значение показателей устойчивости для почв Нижнего Дона.

На рисунке 1 по оси X расположены почвы: 1 – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый; 2 – чернозем южный тяжелосуглинистый; 3 – чернозем южный среднесуглинистый; 4 – чернозем южный супесчаный.

Анализ показал, что чернозем южный тяжелосуглинистый, как система, обладает наибольшим запасом прочности по сравнению с другими рассматриваемыми почвами.

В пределах рассматриваемого региона наименьшей устойчивостью обладают черноземы южные супесчаные, которые отличаются большой мощностью гумусовых горизонтов, имеют слабую структуризацию почвы, глубокое залегание иллювиального карбонатного горизонта.

Таким образом, представленная нами модель позволяет прогнозировать степень устойчивости почв к загрязнению ТМ, на основании количественной характеристики показателя устойчивости.

Литература.

1. Калиниченко В.П. Природные и антропогенные факторы происхождения и эволюции почвенного покрова. М.: МСХА, 2003. 536 с.
2. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Р.: Эверест, 2009. С.11-20.
3. Факторы и виды деградации почв / Г.В. Добровольский, В.Д. Василевская, Ф.Р. Зейдельман и др. М.: Деградация и охрана почв, 2002. С. 33–61.
4. Оценка состояния устойчивости экосистем / В.В. Снакин, В.Е. Мельченко, Р.О. Бутовский и др. Пушкино: Пушкинский научный центр РАН. ВНИИ Природы, 1992. 127с.
5. Марусова Е.А. Проблемы оценки устойчивости почв в экосистемах // Материалы по изучению русских почв. 2001. № 2 (29). С. 123-127.
6. К вопросу о показателях экологического состояния загрязненных почв. / Г.В. Мотузова, Р.С. Аптикаев, Н.Ю. Барсова и др. Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Доклады научно-практической конференции; Семипалатинск. Казахстан. 2006. т.1. С.44-50.
7. Рыжова Т.М. Анализ устойчивости почв к круговороту углерода на основе нелинейных моделей: Автореф. дисс. докт. биол. наук. М., 2007. 25 с.
8. Влияние сопутствующего аниона на поглощение цинка, меди и свинца черноземом / Т.М. Минкина, Д.Л. Пинский, А.П. Самохин и др. Почвоведение. 2009. № 5. С. 560-566.
9. Гапонова Ю.И. Поглощение меди, свинца и цинка черноземами Нижнего Дона: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2009. 25 с.