

УДК 631.41

Кинетика загрязнения почв тяжелыми металлами*Савич В.И.¹, Сорокин А.Е.², Седых В.А.³, Рашкович В.Н.¹**¹РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева**²Московский авиационный институт**³Научно-исследовательский институт ФСИН РФ***Аннотация**

В работе показано, что скорость загрязнения почв тяжелыми металлами зависит от сочетания свойств почв: содержания гумуса, емкости поглощения катионов, гранулометрического состава почв. Скорость поглощения тяжелых металлов в почвах зависела от положения почв в катене. На обыкновенных черноземах для плато и склонов содержание подвижных форм свинца оценивалось уравнением: $Pb = 20,1 - 0,02 H$ см, где H – глубина слоя $r = -0,72$, для аккумулятивного рельефа балки $Pb = 27,4 - 0,14 H$ см, $r = -0,86$.

Скорость накопления в почвах тяжелых металлов отличается для валовых и подвижных форм соединений, для краткосрочных и долгосрочных прогнозов. Так, изменение содержания подвижных форм свинца в черноземах оценивалось уравнением: $Y = 0,143t + 1,42$; $R^2 = 0,6$; для кадмия $Y = 0,003t + 0,0003$; $R^2 = 0,9$. Для краткосрочного прогноза $Pb = 0,143t + 1,42$, $R^2 = 0,63$; для среднесрочного прогноза $Pb = 0,417t + 1,7$; $R^2 = 0,71$.

Доказывается необходимость при составлении прогнозов загрязнения почв тяжелыми металлами учитывать сочетание свойств почв, положение по рельефу, период прогнозирования – вегетационный период, ряд лет.

Ключевые слова: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ, КИНЕТИКА ПРОЦЕССОВ, ПРОГНОЗ

Цели и задачи исследования

Целью исследования являлась оценка кинетики загрязнения почв тяжелыми металлами. В задачи исследования входила оценка связи кинетики загрязнения почв

тяжелыми металлами со свойствами почв, оценка скорости изменения содержания подвижных форм тяжелых металлов в сезонной динамике, за ряд лет, на разных элементах катены.

Объекты исследования

Объектом исследования выбраны обыкновенные глинистые черноземы Краснодарского края [1], каштановые почвы Тувы [2], дерново-подзолистые почвы г. Москвы [3] и Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА [2, 4], дерново-подзолистые почвы хозяйств Московской области [5].

Методика исследования

Методика исследования состояла в оценке содержания в почвах валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах на разных элементах рельефа и в различные временные периоды [1], в оценке кинетики протекающих процессов [6, 7], в оценке взаимосвязей содержания подвижных форм тяжелых металлов и свойств почв [8].

Экспериментальная часть

1. Изменение содержания тяжелых металлов в почвах в зависимости от сочетания свойств почв.

По полученным нами данным, содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах зависит не только от их накопления, но и от изменения свойств почв. Так, в легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах на территории птицефабрики в Московской области зависимость содержания подвижных форм меди от свойств почв описывалась уравнением: $Cu = -18,5 - 3,3X_2 + 1,3X_3 + 2,3X_4 + 0,003X_5$, $r = 0,99$, $F = 26,5$, где X_2 – содержание гумуса, X_3 – S мг-экв/100 г почв, X_4 – рН, X_5 – содержание подвижных форм P_2O_5 .

Для почв другой птицефабрики зависимость содержания подвижных форм цинка от свойств почв описывалась уравнением: $Zn = -5,6 + 22,0X_2 + 30,2X_3 - 6,6X_4 - 13,6X_5$, $r = 0,98$, $F = 25,2$.

В то же время содержание подвижных форм тяжелых металлов от сочетания свойств почв в отдельных хозяйствах зависело недостоверно. Так, содержание подвижных

форм свинца от ранее указанных свойств почв для ЗАО «Краснополянская» $n = 15$ описывалось следующим уравнением: $Pb = 5,61 - 0,37X_2 - 0,04X_3 + 0,41X_4 + 0,0003X_5$, $r = 0,50$, $F = 0,81$.

Накопление в почвах тяжелых металлов зависело и от положения почв по рельефу. Так, по полученным нами данным, для обыкновенных черноземов, развитых в балке, $Pb = 24,9 - 0,2Г - 0,3 (<0,01 \text{ мм}) + 0,5 NO_3 - 0,3 NH_4 + 0,01 P_2O_5$, $r = 0,99$, $F = 138,4$. На почвах южного склона зависимость отличалась: $Pb = 6,4 - 0,2Г - 0,02 (<0,01 \text{ мм}) - 0,02 NO_3 - 0,04 NH_4 + 0,1 P_2O_5$, $r = 0,68$, $F = 6,6$. При этом на почвах разных элементов рельефа в катене изменялась и закономерность изменения подвижных форм тяжелых металлов по профилю почв. Для плато и склонов $Pb = 20,1 - 0,02 H \text{ см}$, $r = -0,72$; для аккумулятивного рельефа балки $Pb = 27,4 - 0,14 H \text{ см}$, $r = -0,86$.

2. Значительный практический интерес представляет и кинетика изменения содержания тяжелых металлов в почвах за определенный промежуток времени и прогноз происходящих процессов.

Кинетика изменения содержания тяжелых металлов в почвах отличается для их сезонной динамики и в течение ряда лет. Она отличается для валовых и подвижных форм тяжелых металлов. Существенные отличия отмечаются в пределах структуры почвенного покрова и в почвах разных элементов катены: на плато, склонах разной крутизны и экспозиции, в пониженных элементах рельефа – на выположенных склонах. Значительное влияние на кинетику изменения содержания тяжелых металлов в почвах оказывает совокупность свойств, процессов и режимов почв (типов почв и идентификации почв на более низких классификационных иерархических уровнях).

По полученным нами данным, большое влияние на подвижность тяжелых металлов в почвах оказывает интенсивность протекающих почвообразовательных процессов. Дерновый процесс почвообразования приводит к накоплению тяжелых металлов в гумусовом слое почв и к уменьшению процессов элюирования поступающих в почву тяжелых металлов в нижние слои почвенного профиля и за его пределы. Подзолообразование и временное оглеение почв, в связи с образованием большого количества кислых органических продуктов, разлагающих органические остатки, в т.ч. обладающих комплексообразующей способностью, приводят к вымыванию тяжелых металлов за пределы пахотного слоя.

Естественно, что на изменение содержания тяжелых металлов в почвах оказывает влияние кинетика их поступления в почву с удобрениями, мелиорантами, дождевыми осадками, с аэральным приносом от очагов загрязнения. Как правило, для оценки последнего фактора учитывают розу ветров и расстояние от источника загрязнения. Однако, по полученным нами данным, это осложняется рядом факторов, обусловленных особенностями почвообразования на разных компонентах биогеоценозов. Так, накопление тяжелых металлов больше в нижней трети склонов на почвах более тяжелого гранулометрического состава, более гумусированных, с большей емкостью поглощения катионов, при $pH > 6,0$, при развитии дернового процесса почвообразования (больше под березой и меньше под еловыми насаждениями).

3. Содержание валовых и подвижных форм соединений тяжелых металлов в почвах изменяется при увеличении продолжительности периода загрязнения почв.

Для оценки кинетики накопления в почвах тяжелых металлов за длительный промежуток времени вычисляется коэффициент техногенного накопления. Он увеличивается при увеличении продолжительности периода загрязнения почв. По полученным нами данным [6], в почвах Тувы за 20 лет наибольшее значение $K_{ТН}$ по валовой меди наблюдалось в районе железоурановых разработок (10,2). В районе комбината Тыва-асбест коэффициент техногенного накопления цинка составлял 4,3, никеля – 2,4. Коэффициент техногенного накопления мышьяка изменялся от 0,6 до 1,8. Коэффициент техногенного накопления ртути - от 0,4 до 5,8.

По данным Грачевой Н.М. [3], содержание Pb, Cd, Zn в дерново-подзолистых почвах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА (в 30 м от дороги) за 90 лет изменилось для Pb от 6 до 104 мг/кг; Cd - от 0,04 до 0,74 мг/кг; Zn – от 11,6 до 153 мг/кг. Мосиной Л.В. [3] показано, что концентрация Pb в 1984 году, по сравнению с 1910 годом, увеличилась в цитируемых почвах в 23 раза, Zn – в 4 раза.

4. Скорость накопления тяжелых металлов в почвах отличается в разные временные периоды, что обусловлено неодинаковой степенью загрязнения в отдельные годы воздушной среды и разной загрязненностью удобрений и мелиорантов, применяемых в отдельные годы. Так, по полученным нами данным, среднее содержание подвижных форм кобальта изменилось в черноземах за несколько лет с 1992 по 2001гг от 0,02 до 2,9 мг/кг, свинца – от 0,07 до 3,6 мг/кг.

5. В связи с изменением по сезонам и в отдельные годы влажности и температуры, в почвах изменяется в сезонной динамике содержание как валовых, так и подвижных форм тяжелых металлов. Так, по полученным нами данным [1], валовое содержание свинца в мг/кг в обыкновенных черноземах в слое 0-25 см изменилось с 2001 по 2006 г.г. весной – с $16,5 \pm 0,2$ до $23,1 \pm 0,3$; летом – от $19,2 \pm 0,1$ до $22,5 \pm 0,2$; осенью – от $19,4 \pm 0,2$ до $22,7 \pm 0,2$ мг/кг. При этом значительно увеличилось и содержание в почвах подвижных форм тяжелых металлов. За тот же промежуток времени весной содержание подвижных форм Pb изменилось с $3,4 \pm 0,1$ до $4,8 \pm 0,1$ мг/кг, летом – с $3,4 \pm 0,1$ до $4,6 \pm 0,1$, осенью – от $3,2 \pm 0,1$ до $5,1 \pm 0,1$ мг/кг. Математическая обработка данных изменения во времени содержания свинца описывалась уравнением: $Y = 0,143t + 1,42$, $R^2 = 0,6$; для Cd: $Y = 0,003t + 0,003$; $R^2 = 0,9$; для Co: $Y = 0,148t + 0,5$; $R^2 = 0,71$. В изученном ландшафте с наибольшей интенсивностью накапливались во времени Cd и Co. Средние темпы роста их подвижных форм составляли 20,3 и 26,9% в год.

6. Кинетика изменения содержания в почвах подвижных соединений тяжелых металлов неодинакова в разные периоды загрязнения почв.

Так, по полученным нами данным, для обыкновенных черноземов Краснодарского края уравнения регрессии изменения содержания подвижных форм тяжелых металлов отличались для краткосрочного и долгосрочного прогноза. Для краткосрочного прогноза содержание подвижных форм $Co = 0,148t + 0,499$; $R^2 = 0,712$; $Pb = 0,143t + 1,417$; $R^2 = 0,626$; $Cd = 0,003t + 0,003$; $R^2 = 0,896$. Для среднесрочных прогнозов $Co = 0,154t + 0,499$; $R^2 = 0,712$; $Pb = 0,417t + 1,703$; $R^2 = 0,708$; $Cd = 0,00544t + 0,0047$; $R^2 = 0,658$. Изменение зависимостей содержания подвижных форм тяжелых металлов при краткосрочном и долгосрочном прогнозе зависело от изменения климатических условий в течение ряда лет [1].

7. Определенной кинетикой характеризуется и проявление токсичности тяжелых металлов в почвах. Так, по полученным нами данным, при внесении 200 мг/кг $Pb(CH_3COO)_2$ в дерново-подзолистую почву содержание NO_3 (м/л) $\cdot 10^{-4}$ через 15 минут, 3 суток, 6 суток составило соответственно $2,1 \pm 0,1$; $0,6 \pm 0,1$ и $0,5 \pm 0,1$. При внесении свинца в дозе 7000 мг/кг содержание в почве NO_3 (м/л) $\cdot 10^{-4}$ составило через 15 минут $1,9 \pm 0,1$; через 3 суток – $0,5 \pm 0,02$; через 6 суток – $0,3 \pm 0,01$. При этом скорость изменения образования в почвах NO_3 отличалась в разных типах почв [1].

Заключение

Для уточнения агроэкологической оценки содержания тяжелых металлов в почвах необходимо знать скорость их накопления в почвах и скорость изменения содержания подвижных форм в сезонной динамике. Эти показатели, в значительной степени, зависят от сочетания свойств почв, гидротермических условий территории, от приуроченности формирования почв к отдельным элементам рельефа и, в частности, катены.

По анализу кинетики изменения валовых и подвижных форм тяжелых металлов в каштановых почвах, обыкновенных черноземах и в дерново-подзолистых почвах показана информативность кинетики накопления тяжелых металлов в течение вегетационного периода и за ряд лет на почвах, развитых на разных элементах рельефа.

Доказывается необходимость при составлении прогнозов загрязнения почв тяжелыми металлами учитывать сочетание свойств почв, положение почв по рельефу, указывать период прогнозирования.

Список использованных источников

1. Гукалов В.Н., Савич В.И., Белюченко И.С. Информационно-энергетическая оценка состояния тяжелых металлов в компонентах агроландшафта. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. – 400 с.
2. Савич В.И., Торшин С.П., Белопухов С.Л. Агроэкологическая оценка органо-минеральных и комплексных соединений почв. – Иркутск: РГАУ-МСХА, ООО «Мегапринт», 2017. – 298 с.
3. Сорокин А.Е., Савич В.И., Мосина Л.В. Особенности содержания тяжелых металлов в городских почвах // Плодородие. – 2020. – № 4. – С. 60-63.
4. Панов Н.П., Савич В.И., Крутилина В.С. и др. Экологически и экономически обоснованные модели плодородия почв. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. – 380 с.
5. Седых В.А. Экологическая оценка использования птичьего помета в земледелии на почвах таежно-лесной зоны. – М.: РГАУ-МСХА, 2013. – 492 с.
6. Савич В.И., Васнев И.И., Сорокин А.Е., Дмитриевская И.И., Рашкович В.Н. Кинетика изменения свойств почв, процессов и режимов, протекающих в почвах. – М.: РГАУ-МСХА, ООО «Плодородие», 2021. – 220 с.
7. Савич В.И., Торшин С.П., Сорокин А.Е., Гукалов В.В., Рашкович В.Н. Агроэкологическая оценка скорости физико-химических процессов, протекающих в почвах // Агрехимический вестник. – 2021. – № 2. – С. 58-62.
8. Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. Агроэкологическая оценка

Савич В.И., Сорокин А.Е., Седых В.А., Рашкович В.Н.

Кинетика загрязнения почв тяжелыми металлами

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2021. – № 106. – С. 163-175.
=====

Цитирование:

Савич В.И., Сорокин А.Е., Седых В.А., Рашкович В.Н. Кинетика загрязнения почв тяжелыми металлами [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_205.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202122205>.