

## ИЗУЧЕНИЕ БУФЕРНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К КАДМИЮ

*М.В. Бурачевская, Т.М. Минкина, И.В. Замулина, А.В. Щербаков, Е.В. Лацынник*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

**Введение.** Из всех загрязнителей Cd все больше привлекает внимание исследователей в связи с недостаточностью данных о необходимости его для жизни растений и серьезных нарушениях процессов обмена у человека и животных при поступлении в организм этого элемента [1]. Канцерогенные и мутагенные свойства Cd позволили считать его одним из самых опасных тяжелых металлов (ТМ), относящимся к 1 классу опасности [2]. Кадмий обладает высокой токсичностью и вместе с тем высокой миграционной способностью. Основным источником поступления Cd в растения является почва, содержание в которой этого ТМ колеблется от 0.01 до 1.1 мг/кг (незагрязненная) и до десятков и сотен мг/кг (загрязненная), создавая в последнем случае условия серьезной опасности для человека [3].

Исследования показали, что биодоступность ТМ и, следовательно, их опасность для окружающей среды зависят от таких показателей почвы, как рН, катионообменная способность, содержание органического вещества, тонкодисперсных частиц,  $R_2O_3$  и карбонатов [4, 5, 6, 7]. Исходя из данных показателей, была разработана шкала и на ее основе градация буферности почв по отношению к ТМ [8, 9]. Анализ природы буферной способности почв по отношению к загрязняющим веществам сводится в целом к анализу закономерностей поглощения их почвами. Чем больше и прочнее может удерживать почва ТМ, тем активнее они удаляются из почвенного раствора в состав твердых фаз почв и тем лучше почва сопротивляется повышению их концентрации в растворе [10]. Буферную способность почвы по отношению к ТМ следует понимать, как способность почвы противостоять резкому изменению её свойств и состава при внешних воздействиях, нарушающих природный режим почвообразования (в данном случае – загрязнение ТМ) [8]. При рассмотрении механизмов проявления буферной способности почв можно исходить из анализа физико-химических свойств и уровня загрязнения. Это позволяет глубже понять механизмы буферной способности почв по отношению к поллютантам при техногенной нагрузке.

Цель работы – влияние свойств почв на буферную способность по отношению к Cd при модельном загрязнении.

**Объекты и методы.** Для эксперимента использован верхний слой (0–20 см) чернозема южного среднемощного тяжелосуглинистого, отобранном в Миллеровском районе Ростовской области целинного участка, вдали от возможных источников загрязнения.

Для изучения влияния свойств почвы на проявление ее буферной способности по отношению к Cd был заложен модельный опыт. Для закладки модельного опыта отбирался 0–20 см слой чернозема южного (Нарліс Чернозем) [11] среднемощного тяжелосуглинистого целинного участка Миллеровского района Ростовской области, находящегося вдали от возможных источников загрязнения.

Нитраты Cd вносили в дозах 2, 5, 10 ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) (ОДК Cd = 2 мг/кг) [12], что соответствовало встречающемуся уровню загрязнения почв исследуемым металлом [13]. Дозы загрязнения имитировали уровень содержания поллютанта в изучаемых техногенно загрязненных почвах и соответствовали невысокому (2 ОДК), среднему (5 ОДК) и высокому (10 ОДК) загрязнению. Варианты опыта отражали почвы с различным гранулометрическим составом и содержанием органического вещества, карбонатов и рН при помощи создания почвенных субстратов при помощи смешивания почвы и кварцевого песка в разных соотношениях (25, 50 и 75 % от массы почвы). Общее содержание металла в почве определяли рентген-флуоресцентным методом с использованием спектроскана Макс-GV.

В сосуды с дренажем помещали по 2 кг почвы, просеянной через сито диаметром ячеек 2 мм. Инкубацию проводили при температуре +20...+ 22 °С и естественном освещении. Почву инкубировали 6 мес. при влажности 60 % от полной влагоемкости.

Общие физические и химические характеристики отобранной почвы проанализированы стандартными методами: рН потенциометрическим методом при соотношении почва: вода 1 : 2.5 [14]; содержание органического вещества титриметрическим методом (бихроматное окисление по

Тюрину) [14]; емкость катионного обмена (ЕКО) – по методу Шаймухаметова [15]; содержание обменных катионов – по методу Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [16], содержание карбонатов комплексонометрическим методом по Кудрину; гранулометрический состав почвы пипет-методом с пирофосфатной подготовкой пробы [14].

На основе исследуемого чернозема южного тяжелосуглинистого были смоделированы почвенно-песчаные субстраты с различным гранулометрическим составом: среднесуглинистым (25 % песка), легкосуглинистым (50 % песка) и супесчаным (75 % песка).

В исходной почве и приготовленных на ее основе почвенно-песчаных субстратах рассчитана буферность по отношению к ТМ по методике Ильина [8, 9]. Согласно методике буферность почвы рассчитывается как сумма показателей:  $pH_{\text{водн}} + (\text{содержание гумуса, \%}) + (\text{содержание карбонатов, \%}) + (\text{содержание подвижных полуторных оксидов Fe + Al, \%}) + (\text{содержание частиц } <0.01 \text{ мм, \%})$ . Каждому показателю, используемому в расчетах, соответствует определенное количество баллов в зависимости от его величины и вклада в буферные свойства почв. Цена балла для каждого показателя определена эмпирически [8, 9]. На основе методики [8] была рассчитана градация буферности почв по отношению к ТМ [9].

**Результаты и дискуссия.** Исходная незагрязненная почва – чернозем южный среднemosный тяжелосуглинистый имеет высокую буферную способность по отношению к металлу. Исследуемая почва имеет следующие физико-химические свойства: pH 7.6, 49.3 % физической глины, 24.6 % ила, содержание гумуса 5.0 %; карбонатов – 0.3 %; ЕКО – 36.5 сМ(+)/кг, содержание Cd – 0,29 мг/кг.

При постепенном разбавлении почвы песком в образующихся почвенно-песчаных субстратах также происходило изменение основных физико-химических свойств: закономерное уменьшение содержания гумуса (до 6 раз), физической глины (до 5 раз), Fe + Al (до 9 раз), карбонатов (до 4 раз). Отмечается уменьшение значений pH со слабощелочных значений до нейтральных (табл. 1).

Таблица 1 – Значения буферности по отношению к тяжелым металлам, физико-химические свойства почвы при модельном загрязнении и разной степени разбавления песком

Вариант	Гумус, %	Физическая глина, %	Fe + Al, %	CaCO <sub>3</sub> , %	pH H <sub>2</sub> O	Буферность*, баллы	Градация буферности*
Ч <sub>ю</sub> (контроль)	4,95	49,30	6,16	0,33	7,56	47	Высокая
Песок	–	–	–	–	6,95	10	Очень низкая
Контроль +25 % песка	3,78	39,10	5,39	0,26	7,42	35	Повышенная
Контроль +50 % песка	2,10	21,91	2,57	0,14	7,27	30	Средняя
Контроль +75 % песка	0,77	12,56	0,69	0,09	7,00	19	Низкая
Cd 2 ОДК	4,90	49,41	6,12	0,30	7,48	41	Высокая
Cd 2 ОДК + 25 % песка	3,71	39,20	5,24	0,27	7,35	35	Повышенная
Cd 2 ОДК + 50 % песка	1,94	21,01	2,60	0,11	7,19	30	Средняя
Cd 2 ОДК + 75 % песка	0,64	11,96	0,78	0,10	7,00	19	Низкая
Cd 5 ОДК	4,60	49,10	6,10	0,30	7,30	41	Высокая
Cd 5 ОДК + 25 % песка	3,50	39,00	5,14	0,25	7,25	35	Повышенная
Cd 5 ОДК + 50 % песка	2,02	21,54	2,40	0,13	7,22	30	Средняя
Cd 5 ОДК + 75 % песка	0,60	11,30	0,60	0,10	7,04	19	Низкая
Cd 10 ОДК	4,50	48,00	6,00	0,30	7,10	40	Высокая
Cd 10 ОДК + 25 % песка	3,40	38,90	5,10	0,21	7,10	34	Повышенная
Cd 10 ОДК + 50 % песка	1,82	20,74	2,50	0,10	7,00	30	Средняя
Cd 10 ОДК + 75 % песка	0,55	11,00	0,60	0,10	6,80	18	Низкая

\*Примечание. Баллы и градация буферной способности почв рассчитаны по методике Ильина [8, 9]

При загрязнении почвы наблюдаются небольшие изменения в сторону ухудшения показателей основных физико-химических показателей почвы (снижения содержания органического вещества, физической глины, полуторных оксидов, карбонатов), а также подкисление почвы. В случае

загрязненных почвенно-песчаных субстратов наблюдается такая же тенденция, что и для незагрязненных вариантов, наиболее заметная при самом высоком уровне загрязнения (10 ОДК). Градация буферности на загрязненных вариантах остается на высоком уровне, что говорит о большой устойчивости исследуемого чернозема к загрязнению.

Выявлено снижение буферной способности почвы при разбавлении ее песком. Чем больше степень разбавления, тем заметнее уменьшается буферная способность: с повышенной (25 % песка), через среднюю (50 % песка) до низкой (75 % песка). В вариантах с загрязнением данная закономерность была более выражена, что связано с уменьшением содержания высокодисперсных частиц и значений pH. Данная тенденция происходит за счет процессов гидролиза солей, вытеснения протона из ППК при адсорбции ТМ и ассоциации катионов ТМ с ионами ОН- [17, 18]. Внесение Cd в почву не оказывало столь сильного влияния на изменение буферной способности по сравнению с разбавлением песком. В случае загрязнения 10 ОДК Cd снижение баллов буферности (до 18 баллов), но не привело к изменению ее градации.

Таким образом, с облегчением гранулометрического состава чернозема южного отмечается уменьшение его буферной способности по отношению к Cd от высокой (исходная почва) до низкой (75 % песка). Внесение в почву металла в дозе 2, 5 и 10 ОДК не оказывало существенного влияния на градацию буферности почвы. Почва с супесчаным составом имела низкую буферность и была мало устойчива к загрязнению, эффект особенно выражен при высоком уровне загрязнения в дозе 10 ОДК металла.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ, проект № 23–24–00646.*

### Литература

1. Потатуева Ю.А., и др. Влияние карбоната кадмия на урожай сельскохозяйственных культур, подвижность кадмия в почве и накопление растениями // *Агрохимия*. – 2005. – № 8. – С. 50–57.
2. Методические указания по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. М.: Минздрав СССР, 1982. Изд.2. 57 с.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Amery F., et al. The copper-mobilizing-potential of dissolved organic matter in soils varies 10-fold depending on soil incubation and extraction procedures // *Environ. Sci. Technol.* – 2007. – V. 41. – P. 2277–2281. <https://doi.org/10.1021/es062166r>
4. Serrano S., Garridoa F., Campbell C.G., Garcí'a-González M.T. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain // *Geoderma*. – 2004. – V. 125. – P. 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.002>
5. Sungur A., Soylyak M., Ozcan H. Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: relationship between soil properties and heavy metals availability // *Chem. Speciat. Bioavailab.* – 2014. – V. 26. – P. 219–230. <https://doi.org/10.3184/095422914x14147781158674>
6. Zhang J., et al. Bioavailability and soil to crop transfer of heavy metals in farmland soils: a case study in the Pearl River Delta, South China // *Environ. Poll.* – 2018. – V. 235. – P. 710–719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>
7. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // *Агрохимия*. – 1995. – № 10. – С. 109–113.
8. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
9. Мирошниченко Н.Н., Пашенко Я.В., Фатеев А.И. Показатели буферности и устойчивости в оценке барьерной функции почв // *Почвоведение*. – 2003. – № 7. – С. 808–817.
10. WRB. IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
11. СанПиН 1.2.3685–21 Об утверждении санитарных правил и норм «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2.
12. Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Pol'shina T.N., Fedorov Y.A., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Bauer T.V., Burachevskaya M.V. Heavy metals in the soil–plant system of the Don River estuarine region and the Taganrog Bay coast // *J. Soils Sediments*. – 2017. – V. 17(5). – P. 1474–1491. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1381-x>
13. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
14. Шаймухаметов М.Ш. К методике определения поглощенных Са и Mg в черноземных почвах // *Почвоведение*. – 1993. – № 12. – С. 105–112.
15. Мамонтов В.Г., Гладков А.А., Кузелев М.М. Практическое руководство по химии почв. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 225 с.
16. Минкина Т.М., и др. Влияние сопутствующего аниона на баланс катионов в системе почва раствор (на примере чернозема обыкновенного) // *Почвоведение*. – 2014. – № 8. – С. 932–932.
17. Пинский Д.Л., и др. Влияние состава и свойств почв и почвенно-песчаных субстратов, загрязненных медью, на морфометрические показатели растений ячменя // *Почвоведение*. – 2023. – № 3. – С. 393–404.