

**Заключение.** В результате проведенных нами исследований дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель выявлены значения рН почвенной среды в градиенте расстояния от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Анализ рН<sub>KCl</sub> почв показал, что в 42 % от исследованных образцов почв, обнаружено смещение значений рН в слабощелочную и щелочную области. Такая реакция почвенной среды объясняется распространением цементной пыли и, в свою очередь, накоплением в поверхностных горизонтах карбонатов кальция.

Для изученных дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель установлен уровень активности каталазы и дегидрогеназы в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов. Результаты дисперсионного анализа показали высокие уровни влияния расстояния от источника загрязнения и реакции почвенной среды лишь на активность каталазы почв лесных и сельскохозяйственных земель, что обосновывает необходимость дальнейшего изучения вопроса о влиянии факторов различной природы на биологическую активность почвы в условиях промышленного (цементного) загрязнения.

#### Список использованных источников

1. Казеев, К. Ш. Биология почв Юга России / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
2. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. – М.: Наука. – 1973. – Т. 1. – 447 с.
3. McLaren, A. D. Soil as system of bound enzymes // Chem. and Ind. –1974. –№ 7. –Р. 316.
4. Хазиев, Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник АН РБ. – 2015. – Т.10. –№ 2. – С. 14–24.
5. Почвы. Отбор проб : ГОСТ 28168–89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
6. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. – 178 с.
7. Петерсон, Н. В. Окислительно-восстановительные условия и дегидрогеназная активность в некоторых почвах западных областей Украины / Н. В. Петерсон, Г. Т. Периг // Научные труды Львовского СХИ. – 1968. – № 17. – С. 76–84.

УДК 661.18

Н. Е. Сосновская, С. И. Коврик  
Государственное научное учреждение  
«Институт природопользования НАН Беларуси»

### ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Техногенные загрязнения окружающей среды приводят к концентрированию ионов ТМ (ТМ) в прикорневом слое почв, что создает условия для их поступления в растения и в конечном итоге в пищу человека. Очистка почв от ионов ТМ представляет собой трудно решаемую практическую задачу, поскольку она предполагает сбор и удаление загрязняющих веществ с территории с максимально возможным сохранением плодородия. Значительно проще провести экологическую рекультивацию почвы путем перевода ионов ТМ в недоступные для растений формы.

В почвах наибольшую способность к связыванию ТМ с образованием нерастворимых металлгуминовых комплексов (МГК) проявляют гуминовые вещества, в частности, гуминовые кислоты (ГК). Учитывая трудность выделения МГК из природных объектов и особенно их идентификацию, получение и изучение их свойств было проведено на модельных опытах путем формирования МГК из моно- и поликатионных растворов ТМ. В нашу задачу входило исследование влияния условий взаимодействия на связывание катионов хрома (Ш), меди

и никеля растворами гуминовых кислот (ГК) осокового торфа (R= 25– 30%). Методика проведения эксперимента заключалась во введении щелочных растворов ГК в металлсодержащие растворы различных концентраций и объемов в статических условиях. Осадки, образованные при связывании, высушивали, прокаливали, обрабатывали раствором азотной кислоты, затем анализировали на содержание катионов на атомно-абсорбционном спектрометре «Сатурн-3П-1».

В растворах солей катионы находятся в различных гидратированных формах, поэтому получаемые в наших условиях осадки представляли смесь нерастворимых продуктов гидролиза солей и МГК. Чтобы оценить долю участия ГК и щелочи в связывании катионов и охарактеризовать состав образующихся осадков ввели коэффициент связывания (К), который равен отношению количества катионов, связанных непосредственно ГК, к количеству катионов, связанных щелочью при одинаковых условиях эксперимента:

$$K = \frac{\text{мг - экв/г ГК}}{\text{мг - экв/г NaOH}}$$

Для исследуемых катионов при увеличении доли ГК в соотношении Ме:ГК массовая доля гидроксидов металлов в осадках возрастает и значения К уменьшаются, что вызвано увеличением рН среды, в результате которого процесс образования гидроксидов металлов начинает преобладать над образованием МГК (табл. 1).

При использовании разбавленных растворов ГК (0,2 %) по сравнению с более концентрированными (0,4 %) зафиксированы более высокие значения К (табл. 1), что связано с проявлением межмолекулярных взаимодействий, приводящих к снижению числа ионизированных функциональных групп и уменьшению сорбционных свойств ГК. Указанные межмолекулярные взаимодействия влияют также на то, что для более концентрированных растворов ГК образование растворимых МГК наблюдается при больших количествах органического вещества в соотношении Ме:ГК.

**Таблица 1 – Степень и коэффициенты связывания металлов ГК в монокатионных растворах**

Соотношение Ме:ГК	0,2 % ГК						0,4 % ГК					
	Cr <sup>3+</sup>		Cu <sup>2+</sup>		Ni <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>		Cu <sup>2+</sup>		Ni <sup>2+</sup>	
	К	F	К	F	К	F	К	F	К	F	К	F
10:1	3,8	13	2,6	11	1,9	15	2,4	10	1,7	8	1,1	11
5:1	2,8	17	1,9	17	1,0	43	2,0	13	1,4	12	0,9	24
2:1	1,7	31	0,9	31	0,8	65	1,1	25	1,0	31	0,6	42
1:1	0,7	89	0,4	85	0,5	78	1,4	41	0,8	36	0,3	54
1:2	*	*	*	*	*	*	1,2	97	0,7	92	*	*
1:2,5							*	*	*	*		

*Примечания:* К– коэффициент связывания; F– степень связывания (%); \* – осадок не образуется.

Выявленные закономерности формирования МГК справедливы и для поликатионных растворов, однако в данном случае дополнительно проявляется влияние конкурентных реакций между катионами за реакционные центры ГК, в результате чего наблюдается тенденция к преимущественному связыванию одних ТМ перед другими. Так, в монокатионных растворах наиболее высокие значения К получены при связывании катионов хрома (табл. 1), по-видимому, они обладают большей склонностью к связыванию щелочными растворами ГК, чем катионы меди и никеля. Это предположение подтвердилось при изучении связывания ТМ в поликатионных растворах. Разница в значениях К (табл. 2) при изменении условий связывания катионов в хром-медь-никель поликатионных растворах свидетельствует о предпочтительном связывании катионов хрома ГК торфа.

Высокие значения К свидетельствуют о преобладании МГК в полученных осадках. Оценка состава осадков, образованных при взаимодействии исследованных катионов со щелочными растворами ГК, показала, что при определенных соотношениях Ме: ГК доля МГК в осадке может составлять 50– 70 % (рисунок).

**Таблица 2 – Степень и коэффициенты связывания металлов щелочными растворами ГК в хром-медь-никель– поликатионном растворе**

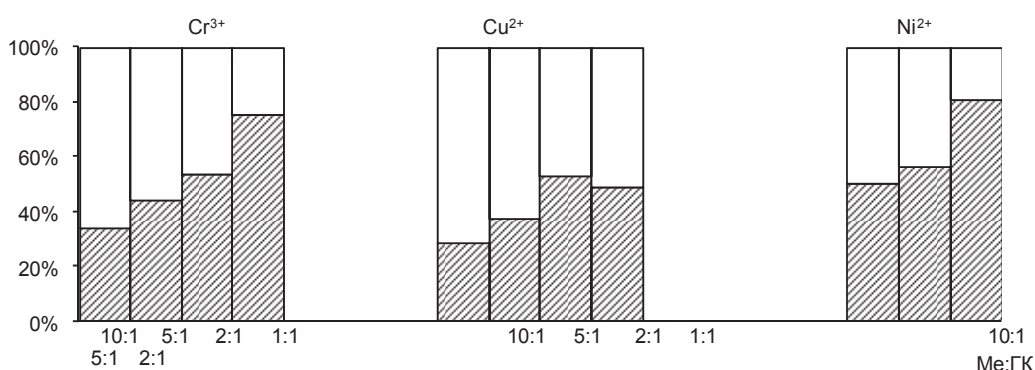
Соотношение (ΣMe):ГК	0,2 % ГК						0,4 % ГК					
	Cr <sup>3+</sup>		Cu <sup>2+</sup>		Ni <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>		Cu <sup>2+</sup>		Ni <sup>2+</sup>	
	К	F	К	F	К	F	К	F	К	F	К	F
10:1	9,7	14	0	0	0	0	7,1	10	0	0	0	0
5:1	4,4	41	2,0	13	0,9	8	5,2	13	4,0	5	0	0
2:1	1,6	73	3,5	69	2,8	30	2,8	37	2,9	35	0,4	16
1:1	0,1	95	0,9	82	2,1	79	1,2	88	2,1	78	5,0	75
1:1,5	*	*	*	*	*	*	0,3	90	1,1	80	3,4	80
1:2							*	*	*	*	*	*

*Примечание.* Обозначения те же, что в табл. 1

С увеличением доли ГК в соотношении (ΣMe): ГК общее содержание МГК в осадках уменьшается, как и в случае монокатионных растворов, поскольку увеличивается рН среды, при этом доля гидроксидов может достигать 80 %.

Таким образом, изменяя условия связывания металлов (рН и соотношение Me:ГК), можно получать осадки, с количественным преобладанием одного из металлов в МГК, что является важным условием для их возможной дальнейшей утилизации.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что коэффициенты связывания могут служить диагностической оценкой как для выделения определенного металла из поликатионных растворов, так и для определения состава осадков.



**Рисунок – Эффективность связывания ТМ из растворов компонентами ГК при различных соотношениях Me:ГК, %. ▨ – NaOH, □ – ГК**

Как было показано выше, содержащиеся в почве ионы ТМ, взаимодействуя с органическим веществом, образуют нерастворимые МГК и переводят в труднодоступные или недоступные для растений формы.

Повышение эффективности снижения поступления ионов ТМ в растения из почв можно достигнуть, внося органические удобрения в смеси с минеральными сорбентами. Среди природных минеральных сорбентов, встречающихся в Беларуси, наиболее перспективным является трепел. Трепел по внешнему виду почти не отличается от диатомита, представляет собой слабосцементированную очень легкую и пористую породу, состоящую из округлых частиц опалового кремнезема диаметром 1–2 мкм.

В качестве композиционных материалов, снижающих поступление ТМ в растения из Насыпная плотность порошка трепела колеблется в пределах 500–800 кг/м<sup>3</sup>, пористость трепела – 60–70%. Количество оксида кремния – порядка 70%, MgO и CaO – 0,7–1,1%. Трепел обладает большой микропористостью, малой насыпной плотностью и высокими сорбционными свойствами, поэтому введение его в состав мелиоранта в качестве активного компонента, сорбирующего ТМ, может быть целесообразным.

Загрязненной почвы, исследовали: торф, торфосапропелевый компост (ТСК), трепел и его смеси торфом и ТСК. Вегетационные опыты по выращиванию кукурузы гибрида «Молдавский 330» проводили на песчаной почве, загрязненной свинцом, кадмием и их смесями, содержание которых составляло 100 и 500 мг/кг.

Показано (табл. 3), что внесение композиционных материалов в загрязненные свинцом и кадмием почвы с уровнями содержания этих металлов, многократно превышающими ориентировочно и предельно допустимые концентрации, способствует уменьшению вредного воздействия ТМ на растения, а также уменьшению их поступления в растениеводческую продукцию, что объясняется комплексобразующей способностью исследованных материалов.

**Таблица 3 – Сравнительная оценка влияния состава композиционных материалов на снижение поступления свинца и кадмия в растения**

Вариант	Содержание в растениях, мг/кг		Средняя высота растений, см	Средняя сухая масса одного растения, г
	Pb	Cd		
1	2	3	4	5
Почва + Pb 100 мг/кг (фон 1)				
Фон 1	258,5	–	23,0	0,20
Фон 1+ торф	106,2	–	27,8	0,19
Фон 1 + ТСК	65,4	–	43,6	0,41
Фон 1 + трепел	52,9	–	29,8	0,25
Фон 1 + ТСК+трепел	23,6	–	57,9	0,57
Фон 1 + торф+ трепел	71,3	–	31,0	0,28
Почва + Pb 500 мг/кг (фон 2)				
Фон 2	995,5	–	17,0	0,13
Фон 2+ торф	298,8	–	21,3	0,23
Фон 2 + ТСК	197,2	–	38,5	0,40
Фон 2 + трепел	113,5	–	25,4	0,21
Фон 2 + ТСК+ трепел	76,3	–	51,7	0,63
Фон 2 + торф+ трепел	117,1	–	28,3	0,25
Почва + Cd 100мг/кг (фон 3)				
Фон 3	–	1060,8	10,2	0,04
Фон 3+ торф	–	109,5	28,6	0,22
Фон 3 + ТСК	–	73,7	26,0	0,20
Фон 3 + трепел	–	155,4	29,9	0,19
Фон 3 + ТСК+ трепел	–	35,2	31,0	0,22
Фон 3 + торф+ трепел	–	152,5	29,5	0,20
Почва + Cd 500мг/кг (фон 4)				
Фон 4	Гибель растений			
Фон 4+ торф		2074,8	3,5	0,02
Фон 4 + ТСК		1752,4	11,8	0,05
Фон 4 +трепел		2766,8	10,6	0,05
Фон 4 + ТСК+ трепел		290,9	18,0	0,15
Фон 4 + торф+ трепел		2356,6	7,5	0,06
Почва+ Pb 100мг/кг+ Cd 100мг/кг (фон 5)				
Фон 5	<0,10	841,2	12,8	0,06
Фон 5+ торф	<0,10	180,5	20,7	0,14
Фон 5 + ТСК	<0,10	137,7	22,3	0,16
Фон 5 + трепел	<0,10	186,5	21,2	0,14
Фон 5 + ТСК+ трепел	<0,10	57,6	25,6	0,23
Фон 5 + торф+ трепел	<0,10	177,3	21,7	0,15
Почва+ Pb 500мг/кг+ Cd 500мг/кг (фон 6)				
Фон 6	Гибель растений			
Фон 6+ торф	<0,10	1448,8	9,2	0,04
Фон 6 + ТСК+ трепел	<0,10	492,2	12,6	0,08
Фон 6 + торф+ трепел	<0,10	1234,6	9,7	0,04

Внесение в почву только трепела без органоматериалов уменьшает поступление в растения свинца в 4,9–8,8 раза по сравнению с фоновым вариантом, что однозначно свидетельствует об интенсивной сорбции свинца трепелом. По эффективности снижения поступления свинца в растения трепел существенно превосходил торф и ТСК, однако наилучший результат получен, когда в почву вносили трепел, смешанный с ТСК, в этом варианте снижение поступления свинца в растения достигало 11–13 раз по сравнению с фоном. Сочетание трепела с ТСК в 1,5–2 раза снижает поступление свинца в растения по сравнению с трепелом и в 2,8 раза – с ТСК. Эффективность композиционного материала подтверждается данными средней высоты и массы растений.

Аналогичные результаты получены при изучении влияния композиционных материалов на поступление в растения кадмия (табл. 3).

При совместном загрязнении почвы свинцом и кадмием в дозах по 100 мг/кг, сохраняются те же закономерности поступления кадмия в растения кукурузы, как и при загрязнении почвы только кадмием. В фоновом варианте растения кукурузы содержали 841 мг/кг кадмия, внесение торфа уменьшило его поступление в растения в 4,4 раза по сравнению с фоном (до 180 мг/кг), внесение ТСК – до 137 мг/кг, трепела – 186 мг/кг. Таким образом, трепел давал такой же эффект снижения поступления кадмия в растения, как и торф. Наименьшее поступление кадмия и наибольший рост и масса сухого вещества растений наблюдались при смешивании трепела с ТСК (58 мг/кг), что объясняется высокими сорбционными свойствами указанного композиционного материала. Последний композиционный материал по эффективности превосходил положительное действие каждого компонента по отдельности и максимально снижал поступление свинца в растения из почвы.

Таким образом, способность ГК образовывать нерастворимые МГК и высокая комплексообразующая способность смеси органоматериалов с природными минеральными материалами позволяют использовать их для снижения поступления ТМ в сельскохозяйственную продукцию при возделывании на загрязненных почвах.

УДК 636.087+662.641.2

А. Р. Цыганов, проф., д-р с.-х. наук; С. А. Линкевич, канд. с.-х. наук;  
А. Э. Томсон, доц., канд. хим. наук, Г. В. Наумова, проф., д-р техн. наук,  
Т. Ф. Овчинникова, канд. техн. наук; Т. В. Соколова, доц., к-т техн. наук;  
Т. Я. Царюк, канд. техн. наук, Жмакова Н. А., канд. техн. наук;  
Макарова Н. Л. канд. техн. наук; И. П. Фалюшина, мл. науч. сотр.;  
А. А. Макеенко, мл. науч. сотр.

БГТУ, г. Минск, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству»,  
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск

## СФАГНОВЫЙ ТОРФ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ КОРМОВЫХ ДОБАВОК

Одним из важных природных ресурсов Беларуси является торф, который широко используется как бытовое топливо, а также в сельском хозяйстве как источник гумуса в виде органических удобрений и мелиорантов.

Особое место среди торфяных отложений занимает малоразложившийся сфагновый торф. Он формируется на месторождениях верхового типа, образуя поверхностные слои залежи.

Наша республика располагает значительными запасами сфагнового торфа (более 200 млн. т), однако из-за низкой теплотворной способности он не пригоден как топливо, не востребован в тепличных хозяйствах в связи с их переходом на искусственные субстраты, не используется в качестве подстилки из-за высокого содержания скота и лишь в незначительных количествах расходуется в производстве грунтов.