



Геоэкология / Geoecology  
Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.415 (504.5)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-97-107

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВНУТРИПОЧВЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕЗОБАРЬЕРОВ ГОРОДА КУРСКА

*Николай П. Неведров*

*Курский государственный университет,  
Курск, Россия, 9202635354@mail.ru*

**Резюме.** *Цель* статьи – апробация количественной оценки контрастности кислотно-щелочного и емкости гумусового геохимических барьеров, а также оценка емкости внутрипочвенного барьера с использованием геохимических модулей марганец-содержащей фазы-носителя. *Методы.* Изучались суглинистые и песчаные почвы представительных геохимических катен города Курска разной степени антропогенной трансформированности. *Результаты.* Выявлено, что для антропогенно-трансформированных почв промышленных и селитебных зон (урбосерые почвы, урбаноземы собственно) характерен щелочной барьер. В суглинистых и песчаных почвах санитарно-защитных зон города отмечено присутствие кислотного и щелочного барьеров. Контрастность кислотного ( $-0.017 \text{ м}^{-1}$ ) и щелочного ( $0.008 \text{ м}^{-1}$ ) барьеров в суглинистых почвах значительно выше, чем в песчаных. Получены значения геохимических модулей Mn-содержащей фазы-носителя тяжелых металлов (ТМ) для иллювиальных горизонтов почв города Курска, содержащих марганцевые конкреции. Максимальной закрепляющей способностью тяжелых металлов на Mn-содержащей фазе-носителе обладают аллювиально-пойменные глееватые почвы. *Выводы.* Предложен новый показатель количественной оценки емкости гумусового барьера – коэффициент размещения ТМ-органофилов на барьере (Kh<sub>um</sub>). Коэффициент представляет собой отношение произведения мощности и степени гумусированности горизонта к содержанию элемента в нем. При росте значения коэффициента размещения увеличивается емкость гумусового барьера.

**Ключевые слова:** геохимический барьер, тяжелые металлы, коэффициент размещения, почвы, катена, Курск.

**Формат цитирования:** Неведров Н.П. Количественная оценка состояния внутрипочвенных геохимических мезобарьеров города Курска // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N4. С.97-107. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-97-107

## QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE CONDITION OF SUBSOIL GEOCHEMICAL MESOBARRIERS IN KURSK

*Nikolay P. Nevedrov*

*Kursk State University,  
Kursk, Russia, 9202635354@mail.ru*

**Abstract.** *Aim.* The approbation of quantitative assessment of contrast of the acid-base barriers and capacity of humus geochemical barriers and the assessment of capacity of subsoil barrier with use of geochemical Mn-containing incrustations. *Methods.* The clay loamy and sandy soils of representative geochemical catenas of Kursk with different degree of anthropogenic transforming were under analysis. *Results.* It is revealed that the anthropogenic transformed soils of industrial and residential zones (urban grey soils, urbanozem) can be characterized by the alkaline barrier. In clay loamy and sandy soils of sanitary protection areas of the city acid and alkaline barriers are presented. The contrast of acid ( $-0.017 \text{ м}^{-1}$ ) and alkaline ( $0.008 \text{ м}^{-1}$ ) barriers in clay loamy soils is much higher than in sandy soils. Values of geo-



chemical the Mn-containing soil incrustations for the illuvial horizons in Kursk are received. Alluvial gley soils are characterized by the maximum absorbing ability of heavy metals on the Mn-containing soil incrustations. **Conclusions.** The new indicator of quantitative assessment of capacity of humus horizon – placement rate of organophile heavy metals on the barrier (*Kh<sub>um</sub>*) is offered. The placement rate represents the ratio of the product of depth of horizon and degree of humus content to the content level of an element in the horizon. The capacity of a humus barrier increases if the value of placement rate is higher.

**Keywords:** geochemical barrier, heavy metals, placement rate, soil, catena, Kursk.

**For citation:** Nevedrov N.P. Quantitative assessment of the condition of subsoil geochemical mesobarriers in Kursk. *South of Russia: ecology, development*. 2018, vol. 13, no. 4, pp. 97-107. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-97-107

## ВВЕДЕНИЕ

Объемы выбросов тяжелых металлов в городскую среду имеют постепенно возрастающую тенденцию. По данным экологического мониторинга в городе Курске среднегодовая концентрация свинца в воздухе за 2017 год составляет 2,8 ПДК (0,84 мг/м<sup>3</sup>), что в 2 раза превысило значение 2016 года. Максимальная из средних месячных концентраций составила 16,0 ПДК [1]. Продукт техногенной эмиссии – свинец, а также другие тяжелые металлы в конечном итоге депонируются почвой. Способность почв нивелировать последствия техногенного воздействия на окружающую среду во многом определена состоянием внутрипочвенных геохимических барьеров и зависит от их емкости и контрастности. Благодаря работе геохимических барьеров, выбрасываемые в окружающую среду тяжелые металлы закрепляются в почве, где темпы их миграции значительно снижаются, что приводит к уменьшению токсичного эффекта на компоненты экосистем и стабилизации экологической обстановки в целом [2-4].

Количественная оценка прочности геохимических барьеров и способности их к закреплению ТМ, имеет определенную актуальность для современной геохимии [5-7]. Выражение многих качественных и количественных геохимических показателей требует апробации в различных биоклиматических и почвенных условиях при разных фонах антропогенного вмешательства [5-7]. В настоящее время аналитическая оценка емкости и контрастности геохимических внут-

рипочвенных барьеров ведется на интуитивно-экспертном уровне, при которой учитываются такие свойства почв как гранулометрический состав и гумусированность почвенных горизонтов [6; 8].

Разработка подходов к количественной оценке емкости и контрастности внутрипочвенных геохимических барьеров позволит решить многие задачи экологического нормирования и повысит точность прогнозов об изменениях экологической ситуации на техногенных территориях.

Ю.Н. Водяницкий в своих работах в целях количественной оценки основных внутрипочвенных геохимических барьеров предлагает использовать показатель контрастности кислотно-щелочного и окислительно-восстановительного барьеров, а также применять расчетные геохимические модули, характеризующие степень закрепления микроэлементов железо- и марганец-содержащими фазами-носителями [5; 6].

*Цели исследований:* 1) количественная оценка контрастности кислотно-щелочного барьера в представительных геохимических катенах г. Курска; 2) количественная оценка емкости внутрипочвенного барьера с использованием геохимических модулей марганец-содержащих фаз-носителей ТМ в почвах; 3) апробация коэффициента размещения в качестве нового геохимического показателя количественной оценки емкости гумусового внутрипочвенного мезобарьера.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

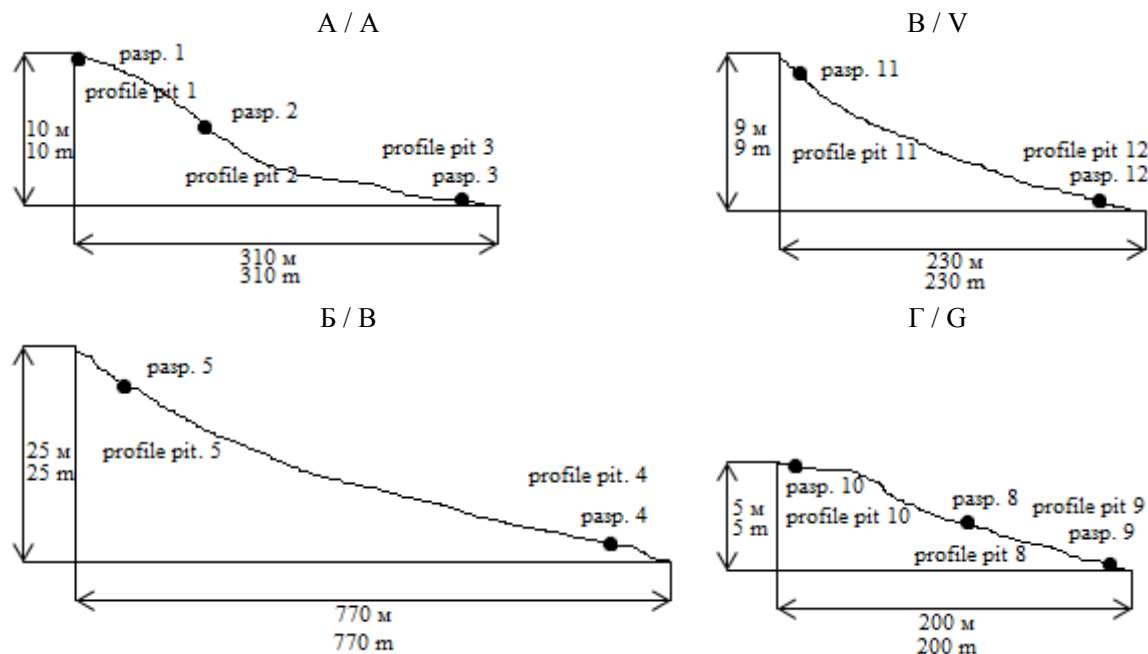
Апробация геохимических показателей проводилась на различных по генезису почвах представительных катен города Курска, расположенных в отличающихся по

степени техногенной нагрузки зонах города [9; 10]. Контрастность наиболее важной с точки зрения всех геохимических классификаций [2; 3; 8] кислотно-щелочного барьера



изучали в ходе сезонных наблюдений. Рассматривались почвы трех катен на лессовидных суглинках, а также почвы катены на

древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных отложениях. Протяженность катен составляла от 200 до 770 метров (рис. 1).



**Рис.1. Схема геохимических катен**

- А) Катена «Знаменская роща», урботемно-серые и темно-серые среднесуглинистые почвы на лессовидных суглинках, санитарно-защитная зона.  
 Б) Катена «Северо-запад», урбосерые среднесуглинистые почвы на лессовидных суглинках, селитебная и промышленная зоны.  
 В) Катена «Юг», урбаноземы собственно на основе черноземов выщелоченных среднесуглинистых на лессовидных суглинках, промышленная зона.  
 Г) Катена «Горелый лес», дерново-подзолы и подзолы песчаные иллювиально-железистые на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных отложениях, санитарно-защитная зона.

**Fig.1. Scheme of geochemical catenas**

- А) Catena «Znamensk grove», urban dark gray soils and dark gray argillaceous soils on loess loams, sanitary protection zone.  
 Б) Catena «Northwest», urban gray soils argillaceous soil on loess loams, building and manufacturing areas.  
 В) Catena South», Urbanosems actually on the basis of chernozems leached argillaceous on loess loams, manufacturing areas.  
 Г) Catena «Burnt forest», sandy sod-podzolics and podzolics illuvial-ferruginous on ancient alluvial and fluvio-glacial sandy sediments, sanitary protection zone

Катена «Знаменская роща» находится в северной части города в одноименном урочище с лиственным древостоем и представлена антропогенно-нарушенными и фоновыми среднесуглинистыми темно-серыми почвами (разрезы 1, 2, 3). Катена «Северо-запад» расположена по ул. 1-я Орловская и тянется от ул. 50 лет Октября до ул. Нижняя Казацкая. Катена «Северо-запад» включает урбосерые среднесуглинистые почвы на лессовидных суглинках (разрезы 4, 5). Катена «Юг» расположена в промышленно-активной зоне города Курска, где неодно-

кратно отмечалась наибольшая антропогенная нагрузка и включает урбаноземы собственно произошедшие в ходе техногенного преобразования черноземов выщелоченных (разрезы 11, 12). Катена «Горелый лес» расположена в восточной части города в одноименном урочище, представляющим собой массив соснового и смешанного леса. Катена «Горелый лес» включает легкие почвы на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песках – подзолы и дерново-подзолы песчаные иллювиально-железистые (разрезы 8, 9, 10).



Апробация коэффициента размещения на барьере ТМ-органотрофов осуществлялась на 12 полнопрофильных разрезах и 24 скважинах городских почв. В учет принимались гумусово-аккумулятивные горизонты и горизонты «урбик» песчаных, легко-, средне- и тяжелосуглинистых почв. Отметим, что все участки, где были заложены почвенные разрезы, испытывают антропогенное воздействие, которое подтверждается превышением ПДК и фоновых концентраций ТМ в почве и растениях, что отмечалось автором ранее [9-12]. В качестве эталона емкости гумусового барьера использовался чернозем выщелоченный мощный среднегумусный тяжелосуглинистый на тяжелом лессовидном карбонатном суглинке. Разрез №161 выполнен на относительно выровненном участке порослевой байрачной дубравы Щигровского района Курской области.

Геохимические модули марганецсодержащих фаз-носителей ТМ определялись для аллювиально-пойменных глееватых почв, дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого и темно-серой глееватой почвы. Аллювиально-пойменные глееватые почвы (разрезы 13, 14) приурочены к пойме реки Сейм. Данные участки расположены в южной части Курска в зоне воздействия мощной промышленно-активной зоны. Ключевые участки дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого и темно-серой глееватой почвы находятся в санитарно-защитных зонах восточной и северной

частей города, где антропогенный пресс значительно ниже, чем на юге Курска. За эталонные значения геохимических модулей для изучаемых почв принимались значения, рассчитанные для ортштейнов карбонатного горизонта  $V_k$  разреза № 161 чернозема выщелоченного мощного среднегумусного тяжелосуглинистого на тяжелом лессовидном карбонатном суглинке.

Полевые режимные исследования в 2016 году включали определение рН почвенного раствора, показатель измерялся при естественной влажности в трехкратной повторности во всех генетических горизонтах почв. Для определения рН использовался портативный рН-метр фирмы Testo - 206 рН1. Измерения проводились один раз в месяц в свежесобранных агрохимическим буром образцах в трехкратной повторности. Затем рассчитывали среднее значение показателей для каждого горизонта. Всего было заложено 12 разрезов и 24 скважины агрохимическим буром с учетом мощности генетических горизонтов. Гумус определяли традиционным методом (по Тюрину ГОСТ 26213-91) в 108 образцах исследованных ключевых участков. Валовое содержание ТМ в почвах определялось методом атомно-адсорбционной спектроскопии на анализаторе «Спектр-5». Определялось 7 микроэлементов (Mn, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Co). В гумусово-аккумулятивных горизонтах и в горизонтах, содержащих железисто-марганцевые конкреции, выполнено 108 элементопределений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение контрастности кислотно-щелочного геохимического барьера выражалось через градиент приращения характеристики среды ( $\Delta pH$ ), нормированной по длине участка катены  $l$  [6]. Из этого следует, что контрастность геохимического барьера будет тем выше, чем выше значение отношения  $\Delta pH/l$ . Однако количественная оценка контрастности барьера не имеет смысла при значении  $\Delta pH/l$  ниже критического. Тип барьера выявлялся по знаку приращения показателя рН в катене между двумя соседними почвенными разрезами. Положительные значения  $\Delta pH$ , взятые в катене по направлению миграции вещества, характеризуют щелочной барьер, а отрицательные – кислотный [5; 6]. Контрастность кислотно-щелочного барьера определялась по формуле  $h(H) = \Delta pH/l$  с размерностью  $m^{-1}$ . В качестве  $l$  берется расстояние в метрах между соседними разрезами в геохимической катене. Нахождение критического значения

контрастности кислотно-щелочного барьера являлось важной задачей исследования [5; 6]. В изученных ранее, неповрежденных почвах геохимических катен Курской агломерации доминировали низкие значения  $h(H)$ , для суглинистых почв  $h(H) < |0.0015| m^{-1}$ , для песчаных почв  $h(H) < |0.005| m^{-1}$ . Эти значения определялись как критические  $h(H)_{кр} = |0.0015| m^{-1}$  для суглинистых почв и  $h(H) < |0.005| m^{-1}$  – для песчаных почв. В случае если значение  $h > h_{кр}$ , можно утверждать о контрастности геохимического барьера. В таблице 1 даны средние за теплый сезон значения рН, полученные в генетических горизонтах почв. В таблице также приведены величины контрастности кислотно-щелочного барьера. Приращения  $\Delta pH$  рассчитывались отдельно для каждого из генетических горизонтов при соблюдении условия примерного равенства их глубины в соседних разрезах.



Таблица 1

Средние значения pH почвенного раствора и контрастности геохимических барьеров h(H) почв представительных катен города Курска

Table 1

Average values pH soil solution and contrast of geochemical barriers of h(H) of soils representative catenas of the Kursk city

Почва, разрез Soil, profile pit	Горизонт Horizon	Глубина, см Soil thick- ness, sm	Рассто- яние, м Distance, m	pH	$h_{(H)}$ , $m^{-1}$ $h_{(H)}$ , $m^{-1}$	Тип барьера Barrier type	
<b>Катена «Знаменская роща» / Catena «Znamensk grove»</b>							
Урботемно-серая типичная, разр. 1 Urban dark gray typical soil, profile pit. 1	U	0-45	-	7	«		
	[BEL]	45-70	-	6,4	«		
	[Bt]	70-110	-	6,1	«		
Темно-серая типичная, разр. 2 Dark gray typical soil, profile pit. 2	AU	0-22	120	5,2	-0,015	*Кисл./Acid	
	AUe	22-31	-	5,4	-0,013	*Кисл./Acid	
	BEL	31-69	-	5,9	-0,004	*Кисл./Acid	
	Bt	69-100	-	4	-0,017	*Кисл./Acid	
Темно-серая глееватая, разр. 3 Dark gray gley soil, profile pit. 3	AU	0-29	190	4,7	-0,0023	*Кисл./Acid	
	AUe	29-55	-	4,9	-0,003	*Кисл./Acid	
	BEL(g)	55-78	-	5,1	-0,004	*Кисл./Acid	
	Bg	78-103	-	5,5	0,008	**Щел./Bas.	
<b>Катена «Северо-запад» / Catena «Northwest»</b>							
Урбосерая типичная, разр. 5 Urban gray typical soil, profile pit. 5	A Yur	0-24	-	5,1	«		
	AEL						
	BEL	24-66	-	4,8	«		
Урбосерая типичная разр. 4 Urban gray typical soil, profile pit. 4	Bt	66-98	-	5,2	«		
	A Yur	0-29	770	6,6	0,0018	**Щел./Bas.	
	AEL						
	BEL	29-61	-	5,4	-	-	
Урбанозем собственно, разр. 11 Urbanosem actually, profile pit. 11	Btca	61-95	-	4,5	-	-	
	<b>Катена «Юг» / Catena South»</b>						
	Урбанозем собственно, разр. 12 Urbanosem actually, profile pit. 12	U1	0-9	-	7,1	«	
U2		9-68	-	6,9	«		
U3		68-99	-	6,4	«		
Урбанозем собственно, разр. 12 Urbanosem actually, profile pit. 12	U1	0-10	230	7,2	-	-	
	U2	10-62	-	7,3	0,0017	**Щел./Bas.	
	[B]	62-100	-	7,8	0,006	**Щел./Bas.	
<b>Катена «Горелый лес» / Catena «Burnt forest»</b>							
Подзол песчаный, разр. 10 Sandy podzol, profile pit. 10	O	0-4	-	5,2	«		
	E	4-15	-	4,7	«		
	Bf	15-75	-	5,2	«		
Дерново-подзол песчаный, разр. 8 Sandy podzol, profile pit. 8	A Y	0-26	150	3,7	-0,01	*Кисл./Acid	
	E	26-58	-	4,6	-		
	Bf	58-109	-	4,3	-0,006	*Кисл./Acid	
Дерново-подзол песчаный, разр. 9 Sandy podzol, profile pit. 9	A Y	0-29	50	3,2	-0,01	*Кисл./Acid	
	E	29-60	-	3,9	-0,014	*Кисл./Acid	
	Bf	60-102	-	4,6	0,006	**Щел./Bas.	

\*Кисл./Acid – Кислотный/Acid, \*\*Щел./Bas. – Щелочной/Base



При анализе результатов, полученных на основе проведенных исследований почв четырех геохимических катен, установлен кислотный барьер для почв санитарно-защитных зон, испытывающих относительно минимальное техногенное воздействие и имеющих профили ненарушенного морфологического строения – катена «Знаменская роща» и катена «Горелый лес». Исключением являются почвы с четко выраженными анаэробными процессами в иллювиальных горизонтах: оглеенный горизонт Bg темно-серой глееватой почвы (разр. 3), иллювиально-железистый горизонт Vf с обильно представленными новообразованиями в виде уплотненных прослоек железомарганцевых ортзандов в дерново-подзоле песчаном иллювиально-железистом (разр. 9). Отмечено, что контрастность как кислотного ( $-0.017 \text{ м}^{-1}$ ), так и щелочного ( $0.008 \text{ м}^{-1}$ ) геохимических барьеров значительно выше в темно-серых суглинистых почвах катены «Знаменская роща», чем в дерново-подзолах песчаных катен «Горелый лес». Контрастность кислотного барьера в почвах двух данных катен превалирует над контрастностью щелочного. В урбаноземах и урбосерых почвах катен «Юг» и «Северо-запад» выявлен щелочной барьер. Отметим, что щелочные геохимические барьеры в этих типах антропогенно-преобразованных почв имеют неодинаковую локализацию. Для урбосерых типичных почв характерны низкий показатель контрастности ( $0,0018 \text{ м}^{-1}$ ) и поверхностное расположение барьера, который наблюдался в серогумусовом горизонте с признаками урбепедогенеза (AYur). В урбаноземах собственно щелочной барьер локализован в глубоководных горизонтах U2 и [B]. Контрастность барьера достигает максимального значения  $0,006 \text{ м}^{-1}$  в погребенном иллювиальном горизонте бывшего чернозема выщелоченного [B].

Такие элементы как Pb, Cd, Cu, Ni являются органофилами и обладают средством к образованию устойчивых комплексных соединений с органическим веществом почв [5]. При проведении экспертной оценки буферной способности почв и их способности утилизировать поступающие загрязнения тяжелых металлов особое внимание уделяется мощности гумусового горизонта и степени его гумусированности [5]. Считается, что чем мощнее гумусовый слой, тем

больше ТМ он может депонировать. Для более полной оценки емкости гумусового барьера наряду с экспертной качественной оценкой хорошо также приводить и количественную характеристику. Для количественной оценки органогенного (гумусового) барьера, предлагается ввести коэффициент размещения ТМ-органов на барьере – *Khum*, вычисление которого можно производить используя следующую формулу:

$$Khum = \frac{hum \cdot H}{Cme},$$

где *hum* – содержание гумуса (%), *H* – мощность горизонта (см), *Cme* – валовое содержание тяжелого металла.

Очевидно, что значение коэффициента будет отражать емкость гумусового внутрипочвенного мезобарьера. Чем больше величина коэффициента размещения, тем устойчивее барьер и тем значительнее его способность закреплять вновь поступающие массы тяжелых металлов – органофилов.

При анализе результатов отмечена следующая закономерность – в антропогенно-измененных почвах города Курска (катены «Юг» и «Северо-запад») с высокой техногенной нагрузкой (урботемно-серые, урбосерые, урбаноземы) коэффициент размещения ТМ-органов на барьере заметно ниже, чем в почвах с физически ненарушенными профилями и низкой техногенной нагрузкой (табл. 2).

Такая тенденция отмечалась для всех четырех рассматриваемых ТМ. Конечно, данная закономерность в большей мере обусловлена концентрациями ТМ в почве. Однако в ненарушенном подзоле песчаном иллювиально-железистом (катена «Горелый лес») концентрации ТМ не превышают фоновых значений, а коэффициент размещения имеет довольно низкие значения (Pb = 0,3; Cd = 4,4; Ni = 1,6; Cu = 1,0) в виду с малой мощности и слабой гумусированности органогенного горизонта (табл. 2). Это свидетельствует о крайне низкой емкости органогенного геохимического барьера в данном типе почв. Расчеты, проведенные для урбаноземов собственно (разр. 11, разр. 12) довольно отчетливо описывают емкость гумусового геохимического барьера. На участке закладки разреза №11 антропогенно-преобразованный и сформированный насыпной горизонт U1 (0-10 см) содержащий 5,9% гумуса в данный момент времени депонировал практически максимальное



количество поллютантов и в скором времени станет полностью проницаемым. Тем не менее, эта почва еще имеет запас прочности в виде мощного горизонта U2, который еще

некоторое время будет ограничивать вертикальную миграцию ТМ. Чего не скажешь об урбаноземе собственно на участке разр. 12.

Таблица 2

Изменение значений коэффициента размещения тяжелых металлов в гумусово-аккумулятивных горизонтах разных типов почв города Курска на фоне возрастающей антропогенной нагрузки

Table 2

Change of values of coefficient of placement of heavy metals in the humus horizons of different types of soils of Kursk city against the background of the increasing anthropogenic loading

Почва, разрез Soil, profile pit	Горизонт Horizon	Гумус, % Humus, %	Khum			
			Pb	Cd	Ni	Cu
Урботемно-серая типичная, разр. 1 Urban dark gray typical soil, profile pit. 1	U	2	2,6	333,3	4,8	4,0
Темно-серая типичная, разр. 2 Dark gray typical soil, profile pit. 2	AU	4,5	5,2	319,3	4,0	8,0
Темно-серая глееватая, разр. 3 Dark gray gley soil, profile pit. 3	AU	4,2	4,7	304,5	6,1	7,3
Урбосерая типичная, разр. 5 Urban gray typical soil, profile pit. 5	AYyr	2,9	4,1	232	3,8	7,2
Урбосерая типичная разр. 4 Urban gray typical soil, profile pit. 4	AYyr	2,2	2,2	220	4,9	4,3
Урбанозем собственно, разр. 11 Urbanosem actually, profile pit. 11	U1	5,9	0,4	19,0	0,9	0,8
Урбанозем собственно, разр. 11 Urbanosem actually, profile pit. 11	U2	3,8	13,2	747,3	15,5	18,9
Урбанозем собственно, разр. 12 Urbanosem actually, profile pit. 12	U1	2,6	0,3	9,0	1,0	1,7
Урбанозем собственно, разр. 12 Urbanosem actually, profile pit. 12	U2	2,7	1,2	101,0	5,9	13,1
Подзол песчаный иллювиально-железистый, разр. 10 Sandy podzol, profile pit. 10	O	0,38	0,3	4,4	1,6	1,0
Дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый, разр. 8 Sandy podzol, profile pit. 8	AY	1,2	5,6	260	36,7	23,4
Дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый, разр. 9 Sandy podzol, profile pit. 9	AY	1,7	3,3	273,8	10,8	9,4
Аллювиально-пойменная глееватая разр. 13 Alluvials meadow gley, profile pit. 13	AU	2	1,7	38,6	2,8	7,7
Аллювиально-пойменная глееватая разр. 14 Alluvials meadow gley, profile pit. 14	AU	6,1	5,1	453,5	7,0	7,3
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, разр. 161 (эталон) Chernozem leached, profile pit. 161 (standard)	AU	5,7	15,2	880,9	7,2	10,0



Аналогичный по мощности (0-9 см), но менее гумусированный (2,6%) горизонт U1 также характеризуется низкими значениями коэффициента размещения ( $Pb = 0,3$ ;  $Cd = 9,0$ ;  $Ni = 1,0$ ;  $Cu = 1,7$ ), которые незначительно возрастают в горизонте U2 для таких металлов как свинец и никель, в 4,0 и 3,5 раза соответственно. В то время как в урбаноземе разреза №11 коэффициенты размещения свинца и никеля возрастали в 33 раза и 17,2 раза. Что говорит о факте наступления полной проницаемости геохимического барьера для  $Pb$  и  $Ni$  в урбаноземе собственно разреза №12. При сравнении емкости гумусового барьера почв Курска с емкостью выбранного в качестве эталона чернозема выщелоченного было установлено, что гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема выщелоченного имеет более высокие коэффициенты размещения для  $Pb$  и  $Cd$ . Емкость гумусового барьера по отношению к  $Ni$  и  $Cu$  в эталонном разрезе не всегда выше, чем в исследованных почвах города. Полученные данные сравнительного анализа могут не только демонстрировать наличие загрязнения почв Курска  $Pb$  и  $Cd$ , но также указывать на недостаток микроэлементов  $Ni$  и  $Cu$  в некоторых почвах города (табл. 2).

Устойчивость геохимического внутрипочвенных барьеров в первую очередь зависит от прочности адсорбции ТМ на фазах-носителях. Однако эффективность барьерных функций будет снижаться по мере накопления ТМ на нем. В конечном итоге наступит переломный момент, когда барьер станет проницаемым и возникнет угроза загрязнения грунтовых вод и растений. Такое явление называют «прорыв» барьера [2; 5]. Наряду с гумусом в почвах одной из главных фаз-носителей ТМ являются оксиды марганца. Они выполняют в почве функции активных фаз-носителей тяжелых металлов – манганфилов [5]. Марганец-содержащие конкреции – ортштейны обладают мощной закрепляющей способностью по отношению к ТМ, которая угасает пропорционально их накоплению на барьере [6]. Водяницкий Ю.Н. в своих исследованиях установил приуроченность ряда микроэлементов к определенной почвенной фазе-носителю и предложил некоторые геохимические модули, которые характеризуют количество микроэле-

ментов, приходящихся на единицу массы фазы-носителя [5].

Анализировались три геохимических модуля Мп-содержащей фазы-носителя ТМ: «свинцовый модуль», «цинковый модуль» и «кобальтовый модуль». Модули представляли собой молярные отношения  $Pb/Mn$ ,  $Zn/Mn$ ,  $Co/Mn$ . При росте значения модуля его способность закреплять ТМ снижается. Модули рассчитывались на валовое содержание химических элементов в почве. Свинцовый модуль ( $Pb/Mn$ ) характеризуется наибольшей прочностью закрепления Мп-содержащей фазой в сравнении с цинковым и кобальтовым модулями, практически во всех рассмотренных случаях. Все три изученных модуля имеют максимальную прочность закрепления в иллювиальных горизонтах аллювиально-пойменных глееватых почв (разр. 13, 14), несмотря на самый высокий уровень нагрузки из приведенных в таблице 3 участков.

Минимальная прочность модулей  $Pb/Mn$ ,  $Zn/Mn$ ,  $Co/Mn$  отмечалась в иллювиальном горизонте дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого, что обусловлено относительно низким содержанием марганца. При анализе разреза №3 представленного темно-серой глееватой почвой наблюдалось неоднозначное изменение емкости геохимического барьера. Свинцовый модуль возрастал в горизонте  $B_g$ , а его емкость, соответственно, снижалась. Для цинкового и кобальтового модулей, наоборот, характерно снижение их значений в горизонте  $B_g$  и увеличение емкости геохимического барьера в отношении  $Zn$  и  $Co$  (табл. 3). Это обусловлено разным сродством элементов к сорбции на фазе-носителе и их массовыми концентрациями в почве. Значения геохимических модулей в иллювиальном горизонте  $B_k$  чернозема выщелоченного (эталон) абсолютно во всех случаях ниже таковых для городских почв. По результатам расчетов в черноземе выщелоченном Щигровского района емкость данного геохимического барьера в 123 раза выше для свинца, 222,5 раз – для цинка, 330 раз – для кобальта, в сравнении с минимальными значениями, полученными для аллювиально-пойменных глееватых почв г. Курска.





Таблица 3

Значения модулей закрепления микроэлементов Mn-содержащими фазами в почвах г. Курска, ммоль/моль

Table 3

Values of modules of fixing of minerals with the Mn-containing soil incrustations phases in soils of Kursk, mmol/mol

Почва, разрез Soil, profile pit	Горизонт Horizon	Геохимический модуль Geochemical module		
		Pb\Mn	Zn\Mn	Co\Mn
Темно-серая глееватая разр. 3 Dark gray gley soil, profile pit. 3	BEL(g)	9,6	76,3	27,2
Темно-серая глееватая разр. 3 Dark gray gley soil, profile pit. 3	Bg	11,3	62,2	19,4
Дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый разр. 9 Sandy podzol, profile pit. 9	Bf	76,0	344,0	72,1
Аллювиально-пойменная глееватая разр. 13 Alluvials meadow gley, profile pit. 13	Bg	8,7	26,7	19,6
Аллювиально-пойменная глееватая разр. 14 Alluvials meadow gley, profile pit. 14	Bg	3,2	46,8	6,6
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, разр. 161 (эталон) Chernozems leached, profile pit. 161 (standard)	B <sub>k</sub>	0,026	0,12	0,02

## ВЫВОДЫ

1. Сильно трансформированные в ходе техногенеза почвы геохимических катен Курска, расположенные в промышленных и селитебных зонах города, характеризуются наличием щелочного барьера с различной локализацией в почвенном профиле. Значения контрастности барьера относительно критической величины довольно низкие, они варьируют в пределах от  $0,0018 \text{ м}^{-1}$  до  $0,006 \text{ м}^{-1}$  и зависят от техногенной преобразованности профиля, убывая с увеличением техногенной нагрузки. Для почв геохимических катен санитарно-защитных зон отмечены кислотный и щелочной барьеры, контрастность которых достигает значений ( $-0.017 \text{ м}^{-1}$ ) и ( $0.008 \text{ м}^{-1}$ ) соответственно, и убывает в ряду – суглинистые почвы -> песчаные почвы.

2. Аллювиально-пойменные глееватые почвы обладают наибольшей среди рассмотренных почв города Курска способностью к закреплению ТМ-манганофилов на Mn-содержащих фазах-носителях, в виду минимальных значений геохимических модулей:

$\text{Pb/Mn} = 3,2$ ,  $\text{Zn/Mn} = 26,7$ ,  $\text{Co/Mn} = 6,6$ . Однако емкость геохимического барьера в этих почвах в 123 раза (для свинца), 222,5 раз (для никеля) и 330 раз (для кобальта) ниже, чем в принятом за эталон черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом.

3. Для количественной оценки емкости гумусового барьера предложено использовать новый апробированный в условиях г. Курска геохимический показатель – коэффициент размещения ТМ-органофилов на барьере (K<sub>hum</sub>). Показатель представляет собой отношение произведения мощности и степени гумусированности горизонта к содержанию элемента в нем. Чем выше коэффициент размещения, тем выше емкость гумусового барьера. Предложенный автором коэффициент размещения можно использовать в практике экологической оценки почв при сравнении емкости гумусового барьера различных типов антропогенно-трансформированных почв, сопоставляя ее с фоновыми или эталонными значениями данного показателя.



**Благодарность:** Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-4086.2018.5

**Acknowledgment:** The research was carried out with support of Grant of the President of the Russian Federation for Young Russian Scientists - Candidates of Sciences MK-4086.2018.5.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2017 году. Департамент экологической безопасности и природопользования Курской области. Курск, 2018. 192 с.
2. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. 763 с.
3. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2011. 248 с.
4. Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2012. N 1. С. 8-14.
5. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 85 с.
6. Водяницкий Ю.Н. Показатели закрепления тяжелых металлов и металлоидов в почвах Среднего Предуралья // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 63-73.
7. Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в

- почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1998. 214 с.
8. Касимов Н.С., Воробьев А.Е. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Издательство Московского университета, 2002. 394 с.
9. Неvedров Н.П., Протченко Е.П., Фомина М.Ю. Экологическая оценка почв ландшафтно-геохимических катен Сеймского округа г. Курска // Экология урбанизированных территорий. 2017. N 3. С. 18-26.
10. Неvedров Н.П. Классификация почвенных повреждений городских экосистем Курска // Астраханский вестник экологического образования. 2018. N 2 (44). С. 111-118.
11. Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Glebova I.V. The Relationship between Bulk and Mobile Forms of Heavy Metals in Soils of Kursk // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. Iss. 1. P. 112-119.
12. Неvedров Н.П., Курасова В.И. Тяжелые металлы в тканях и органах *Populus pyramidalis* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. T. 8. N 2(25). С. 124-130. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-125-131

#### REFERENCES

1. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy na territorii Kurskoi oblasti v 2017 godu* [The report on a state and environmental protection in the territory of Kursk region in 2017]. Kursk, 2018, 192 p. (In Russian)
2. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 763 p. (In Russian)
3. Maksimovich N.G., Khairulina E.A. *Geokhimicheskie bar'ery i okhrana okruzhayushchei sredy* [Geochemical barriers and environmental protection]. Perm', Perm State University Publ., 2011, 248 p. (In Russian)
4. Glazovskaya M.A. Geochemical barriers in plain soils, their typology, functional characteristics and environmental importance. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]. 2012, no. 1, pp. 8-14 (In Russian)
5. Vodyanitskii Yu.N. *Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev Publ., 2008, 85 p. (In Russian)
6. Vodyanitskii Yu.N. Indicators of fixing of heavy metals and metalloids in soils of the Central Cis-Urals. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Bul-

- letin of Dokuchayevs Soil institute]. 2009, vol. 63, pp. 63-73. (In Russian)
7. Vodyanitskii Yu.N., Dobrovolskii V.V. *Zhelezistye mineraly i tyazhelye metally v pochvakh* [Ferriferous minerals and heavy metals in soils]. Moscow, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev Publ., 1998, 214 p. (In Russian)
8. Kasimov N.S., Vorob'ev A.E. *Geokhimicheskie bar'ery v zone gipergeneza* [Geochemical barriers in a hyper genesis zone]. Moscow, Moscow University Publ., 2002, 394 p. (In Russian)
9. Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Fomina M.Yu. Ecological assessment of soils in the landscape-geochemical catena of the Seimsky district of Kursk. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii* [Ecology of urban areas]. 2017, no. 3, pp. 18-26. (In Russian)
10. Nevedrov N.P. Classification of soil damages of Kursk city ecosystems. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin for Environmental Education]. 2018, no. 2 (44), pp. 111-118. (In Russian)
11. Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Glebova I.V. The Relationship between Bulk and Mobile Forms of Heavy



Metals in Soils of Kursk. Eurasian Soil Science. 2018, vol. 51, iss. 1, pp. 112-119.  
12. Nevedrov N.P., Kurasova V.I. Heavy metals in Tissues and Organs Populus pyramidalis. *Proceedings of*

*Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2018, vol. 8, no. 2(25), pp. 124-130. (In Russian) DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-125-131

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

##### Принадлежность к организации

**Николай П. Неvedров** – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИЛ экомониторинга ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», 305000, ул. Радищева, 33, г. Курск, Россия, тел.: 8-951-314-59-41, e-mail: 9202635354@mail.ru

##### Критерии авторства

Николай П. Неvedров выполнил все полевые и лабораторные исследования и написал статью, несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

##### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила в редакцию 22.09.2018**

**Принята в печать 07.11.2018**

#### AUTHOR INFORMATION

##### Affiliations

**Nikolay P. Nevedrov** – PhD (Biology), Research Scientist of Scientifically Research Laboratory of Environmental Monitoring Kursk State University, 305000, Radishchev St., 33, Kursk, Russia. Phone: 8-951-314-59-41, e-mail: 9202635354@mail.ru

##### Contribution

Nikolay P. Nevedrov has executed all field and laboratory researches and has written article. Author is responsible for avoiding the plagiarism, self-plagiarism or any other unethical issues.

##### Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

**Received 22.09.2018**

**Accepted for publication 07.11.2018**