

Ресурсный подход к оценке загрязнения почв тяжёлыми металлами и изучению ёмкости геохимических барьеров на примере города Курска

© 2020. Н. П. Неведров¹, к. б. н., м. н. с.,
 Е. П. Проценко¹, д. с.-х. н., г. н. с., И. П. Балабина¹, к. б. н., декан,
 Б. И. Кочуров², д. г. н., профессор, в. н. с., Е. В. Куликова³, к. б. н., с. н. с.,
¹Курский государственный университет,
 305000, Россия, г. Курск, ул. Радищева, д. 33,
²Институт географии РАН,
 107014, Россия, г. Москва, ул. Стромынка, д. 9,
³Институт экспериментальной ботаники
 имени В. Ф. Купревича национальной академии наук Беларуси,
 220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 27,
 e-mail: 9202635354@mail.ru, protselena@yandex.ru, balabinaegf@yandex.ru,
 camertonmagazin@mail.ru, kulikova22@mail.ru

В статье приведены результаты оценки экологического состояния почв г. Курска с применением ресурсного подхода. Для расчётов условных нормативов запасов тяжёлых металлов (ТМ) в почвах и комплексной оценки экологического состояния почвенного покрова, предложено учитывать региональные особенности физико-химических свойств почв и применять авторский региональный норматив запасов ТМ. Определены запасы ТМ и характер их профильного распределения для нескольких типов почв (урбанозёмы собственно, урботёмно-серые почвы, тёмно-серые почвы, аллювиально-пойменные почвы, подзолы песчаные), испытывающих антропогенную нагрузку различного уровня и характера. Выявлено, что почвы города имеют как поверхностное, так и глубокопрофильное загрязнение. Наиболее загрязнёнными с глубоко сосредоточенными запасами ТМ почвами оказались урбанозёмы промышленных зон. Установлено, что приоритетными загрязняющими элементами среди ТМ являются Pb, Cd и Zn. Их запасы превышают предложенный региональный условный норматив ПДК в 5,9; 29,0 и 1,1 раза соответственно. Ресурсный подход позволил оценить потенциал и насыщенность геохимических барьеров почв Курска. Отмечена высокая ёмкость гумусового геохимического барьера, позволяющего депонировать большую часть ТМ в гумусово-аккумулятивных горизонтах аллювиально-пойменных и урботёмно-серых почв.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, запасы тяжёлых металлов, ресурсный подход, оценка почв, профильное распределение.

Resource approach to assessment of heavy metal pollution of soils and studying the capacity of geochemical barriers on the example of Kursk City

© 2020. N. P. Nevedrov¹ ORCID: 0000-0003-1121-0671^{*}
 E. P. Protsenko¹ ORCID: 0000-0002-9207-1548^{*}, I. P. Balabina¹ ORCID: 0000-0002-4771-2983^{*}
 B. I. Kochurov² ORCID: 0000-0002-8351-3658^{*}, E. V. Kulikova³ ORCID: 0000-0003-0158-512X^{*}
¹Kursk State University,
 33, Radishcheva St., Kursk, Russia, 305000,
²Institute of geography Russian Academy of Sciences,
 9, Stromynka, Moscow, Russia, 107014,
³V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany
 of the National Academy of Sciences of Belarus,
 27, Akademicheskaya St., Minsk, Republic of Belarus, 220072,
 e-mail: 9202635354@mail.ru, protselena@yandex.ru, balabinaegf@yandex.ru,
 camertonmagazin@mail.ru, kulikova22@mail.ru

The results of ecological assessment of Kursk soils condition with the use of the resource approach are presented in the article. For calculating the conditional standards of heavy metals (HM) reserves in soils and a comprehensive assessment of the ecological state of the soil cover, it was proposed to take into account regional peculiarities of the physicochemical properties of the soil and apply the author's regional HM standard. The reserves of accommodation of heavy metals and the nature of their profile distribution in several types of soils (Urbanozems, Urban dark-gray soils, dark gray soils, alluvial plain soils, sandy podzols) with anthropogenic load of various levels and character are determined. It is revealed that the soil of the city has both superficial and deep-profile pollution. The most polluted soils with deeply concentrated reserves of HM turned out to be Urbanozems industrial zones. It is noted that Pb, Cd and Zn are the main pollutants among HM. Their reserves exceed the proposed regional conditional MPC 5.9, 29.0 and 1.1 times, respectively. The resource approach allowed us to estimate the potential and saturation of the geochemical barriers of Kursk soils. A high capacity of the humus geochemical barrier is noted, which allows depositing most of the HM in the humus-accumulative horizons of the Alluvial gleyic soils and Urban dark-gray soils.

Keywords: heavy metals, heavy metal reserves, resource approach, soil assessment, profile distribution.

Загрязнение почв городских территорий тяжёлыми металлами (ТМ) имеет особую актуальность [1, 2]. В работах современных исследователей отмечается тенденция к постоянному росту содержания ТМ в почвах городов. Огромный вклад в рост содержания ТМ в компонентах окружающей среды города вносят автотранспорт и промышленность [3–6].

Курск относится к городам с развитым промышленным комплексом (машиностроение, производство электрооборудования, химическое производство и производство резиновых и пластмассовых изделий), а также с интенсивной транспортной сетью [7]. Наиболее часто превышающими предельно допустимые концентрации (ПДК) элементами в почвах г. Курска являются Pb, Cd и Zn [2, 7]. Высокие концентрации ТМ в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв наблюдаются практически повсеместно, но также встречаются участки с глубоко загрязнёнными почвами [2]. Вопрос нормирования загрязнения глубокозалегающих минеральных горизонтов почв пока остаётся нерешённым.

Способность городских экосистем удерживать поллютанты, в том числе и ТМ, и препятствовать их миграции в сопредельные среды также во многом зависит от ёмкости, потенциала и степени нарушенности геохимических барьеров. Использование только концентрационных стандартов для оценки качества почв отражает не полную картину экологической обстановки [8, 9]. Более объективную оценку экологического состояния почв и её способности к поддержанию экосистемного баланса можно получить при расчёте запасов ТМ [8, 9] в метровой толще почвенного покрова и прогнозе функционирования биологических, физико-химических и механических барьеров латеральной и вертикальной миграции ТМ.

Целью работы являлось изучение возможности применения ресурсного подхода для

оценки степени загрязнения почв г. Курска ТМ и выявления экологического потенциала геохимических барьеров.

Объекты и методы

Исследовали почвы представительных катен г. Курска. Выбор ключевых участков был обоснован несколькими критериями: почвенным, геоморфологическим, урбоэкологическим и биоценоотическим. Было исследовано 12 участков, расположенных в южной и северной части г. Курска, имеющих разную по интенсивности антропогенную нагрузку (промышленные, жилые, рекреационные, санитарно-защитные зоны города). Ключевые участки функционировали на 4 типах антропогенно-трансформированных почв, что позволило оценить влияние базовых свойств почв на особенности распределения запасов ТМ в почвенных профилях.

Отбор проб почв производили по ГОСТ 28168-89, из каждого генетического горизонта, в скважинах пробы отбирали через каждые 30 см с учётом мощности горизонтов в описанных разрезах до глубины 100 см.

Диагностику и классификацию проводили в соответствии с современными представлениями о классификации городских почв [10, 11]. Определение физических и химических свойств почв проводили по стандартным методикам: pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса (по Тюрину ГОСТ 26213-91), количество поглощённых оснований (ГОСТ 27821-88), гранулометрический состав (по Качинскому), плотность сложения (метод режущего кольца ГОСТ 5180-84). Определение валовых (ВФ) и подвижных форм (ПФ) ТМ (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Co, Mn) методом атомно-адсорбционной спектроскопии на анализаторе «Спектр-5» (РД 52.18.289-90, РД 52.18.191-89, ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-2002). Статистическую обработку данных производили средствами

пакета STATGRAPHICS Plus for Windows 2.1. и пакета Microsoft Office Excel.

При определении загрязнения почв ТМ использовали значения ПДК (ГН 2.1.7.2041-06) и предельного допустимого превышения (ПДП) [12, 13], регионального фона для чернозёмов [14] и фоновых концентраций для отдельных типов почв [1]. С целью наиболее точного отражения сложившейся экологической ситуации применяли ресурсный подход [9]. Полученные данные запасов ТМ в метровой толще почвы были сопоставлены с условно-нормативными величинами запаса ТМ (ПДК г/м²), которые были получены путем пересчёта общепринятых ПДК и ОДК в единицу измерения г/м² [9]. Расчёт условных нормативов ПДК производили по формуле:

$$\text{ПДК (г/м}^2\text{)} = \text{ПДК (мг/кг)} \cdot \rho \text{ (кг/м)} \cdot h \text{ (м)},$$

где для пересчёта используется средняя плотность (ρ) минеральных почв в метровой толще (h) – 1,5 г/см³ (или 1500 кг/м³).

В исследованных почвенных разрезах на территории г. Курска плотность крайне редко достигает значения 1,5 г/см³. Например, средняя плотность гумусово-аккумулятивных горизонтов почв города колеблется в пределах от 1,05 до 1,21 г/см³. Поэтому в данной работе для расчётов условных нормативов запасов ТМ (ПДК) в почвах и комплексной оценки экологического состояния почвенного покрова, нами предлагается учитывать региональные особенности физико-химических свойств почв. Считаем, что необходимо использовать среднюю плотность каждого отдельного горизонта почв, полученную на основе реальных данных плотности сложения почв изученных участков. Для оценки профильного загрязнения почв вводится авторский региональный условный норматив запаса ТМ в метровой толще почв. Такой подход также позволит оценить потенциал геохимических барьеров и их способность к поддержанию экологического баланса на территории г. Курска.

Результаты и обсуждение

Для интерпретации полученных данных о запасах ТМ все изученные участки были объединены в четыре группировки, схожие по типу почв и мощности антропогенного воздействия (табл.).

Выявленные минимальные и максимальные значения запасов меди в почвах иссле-

дованных ключевых участков не превышают условного норматива [9] и регионального условного норматива, предложенного нами, учитывающего особенности почв. Максимальное значение запаса меди (28,3 г/м²) отмечено в селитебной зоне с урботёмно-серыми среднесуглинистыми почвами (табл.). На этом же участке (группировка № 4) верхний предел запасов цинка превышает региональный норматив в 1,1 раза. В остальных случаях превышений условных нормативов по запасам Zn не обнаружено.

Марганец по количеству запаса в метровой толще почв не превышает используемых условных нормативов. Максимальное количество запаса (833,2 г/м²) характерно для аллювиально-пойменных среднесуглинистых почв селитебной зоны. Аналогичная ситуация отмечена и для кобальта – превышения нормативов не обнаружено. Наибольший запас характерен для группировки № 4 (10,6–11,1 г/м²). Запасы свинца в промышленной зоне (группировка № 1) в 2,8 раза превышают условный норматив [9] и в 5,9 раз региональный норматив. Стоит заметить, что на данных участках нижний предел полученных запасов свинца находится выше (в 1,4 раза) предложенного регионального норматива. Так же, превышение регионального норматива в 1,3 раза зафиксировано на участках группировки № 4 (урботёмно-серые и тёмно-серые среднесуглинистые почвы) (табл.). Для обоих участков характерна слабая степень загрязнения [9].

Количество запасов кадмия на участках группировки № 1 соответствует очень сильной степени загрязнения почв и превышает условные нормативы в 23,2 и 29,0 раза. На остальных участках запасы кадмия ниже условных нормативов. Запасы никеля превышают только условный региональный норматив на исследованных участках, относящихся к группировкам № 1 и № 4.

В целом можно отметить, что наибольшие запасы ТМ характерны для промышленных и селитебных зон со среднесуглинистыми почвами среднесуглинистого гранулометрического состава, что обусловлено активностью геохимических барьеров. Наименьшие запасы ТМ отмечены в санитарно-защитных зонах с подзолами песчаными иллювиально-железистыми, в виду очень низкой обеспеченности гумусом, лёгкости гранулометрического состава и минимальной интенсивности антропогенного воздействия.

Распределение запасов ТМ по профилям почв исследованных участков очень вари-

Таблица / Table

Зависимость запасов тяжёлых металлов в метровой толще почв представительных катен г. Курска от особенностей функционального зонирования территорий и некоторых физических и химических свойств почв (min/max) / Dependence of heavy metal reserves in the meter-thick layer of soils of representative catena in the city of Kursk on the features of functional zoning of territories and certain physical and chemical properties of soils (min/max)

№ группировки No. of grouping	Функциональная зона, тип почв, гранулометрический состав / Functional area, soil type, soil texture	Гумус в гумусовых горизонтах, % Humus in humus horizons, %	Запас тяжёлых металлов, г/м ² Reserve of heavy metals in soil, g/m ²						
			Cu	Zn	Mn	Co	Pb	Cd	Ni
1	Промышленная зона, урбанозёмы собственно на основе чернозёмов выщелоченных, средне-суглинистые / Industrial zone, Urbanozems based on leached chernozem, middle loamy soils	<u>2,6</u> 5,9	<u>18,1</u> 22,6	<u>47,4</u> 60,6	<u>286,8</u> 304,7	<u>4,8</u> 6,4	<u>33,2</u> 142,6	<u>0,6</u> 23,2	<u>27,8</u> 42,9
2	Селитебная и рекреационная зоны, аллювиально-пойменные глееватые почвы, средне и легкосуглинистые Building zone and recreation zone, Alluvial gleyic soil, light and middle loamy soils	<u>2,0</u> 6,1	<u>7,1</u> 17,6	<u>19,9</u> 67,1	<u>255,2</u> 833,2	<u>5,1</u> 6,9	<u>19,3</u> 20,4	<u>0,3</u> 0,7	<u>23,2</u> 23,5
3	Санитарно-защитная зона, подзолы песчаные иллювиально-железистые Sanitary protection zone, Podzols illuvial-ferruginous, sandy soil	<u>0,5</u> 1,9	<u>0,9</u> 3,8	<u>3,4</u> 12,8	<u>10,1</u> 67,5	<u>0,2</u> 1,8	<u>5,1</u> 13,4	<u>0,19</u> 0,20	<u>3,3</u> 5,4
4	Селитебная и рекреационная зона, урботёмно-серые и тёмно-серые почвы, среднесуглинистые / Building zone and recreation zone, Urban dark-gray soils, dark gray soils, middle loamy soils	<u>2,4</u> 4,5	<u>13,6</u> 28,3	<u>54,5</u> 84,6	<u>471,5</u> 814,1	<u>10,6</u> 11,1	<u>16,6</u> 32,5	<u>0,3</u> 0,4	<u>26,8</u> 32,1
ПДК* / MPC*			80	150	2250	35	50	1	60
Региональный условный норматив Regional conditional standard			42	77	1160	18	24	0,8	31

Примечание: * – с учётом ОДК для почв, близких к нейтральным, согласно [9]; ** – ПДК с учётом региональных особенностей физических свойств почв г. Курска.

Note: * – MPC taking into account the approximate permissible concentrations for soils close to neutral, according to [9]; ** – MPC taking into account regional features of the physical properties of soils of Kursk.

бельно и во многом зависит от классификационной принадлежности почв и концентраций ТМ в них (рис.1).

Урботёмно-серые почвы являются загрязнёнными по отдельным металлам (Zn и Pb), но имеют схожие конфигурации кривых распределения для ряда металлов: Cu, Zn, Mn, Co, Pb и Cd (рис. 1 А–F). Накопление ТМ в больших количествах в поверхностных горизонтах происходит за счёт потенциала гумусового геохимического барьера миграции поллютантов. Максимальный запас ТМ исследованных

аллювиально-пойменных почв, подзолов песчаных и урботёмно-серых почв сосредоточен в слое 0–30 см, который в большинстве случаев представлен гумусово-аккумулятивными горизонтами, исключением являются подзолы песчаные иллювиально-железистые, где гумусово-аккумулятивный горизонт отсутствует и под органогенным горизонтом залегает элювиальный.

В исследуемых урбанозёмах профильное распределение запасов ТМ значительно отличается. Здесь запас ТМ либо экспоненциально

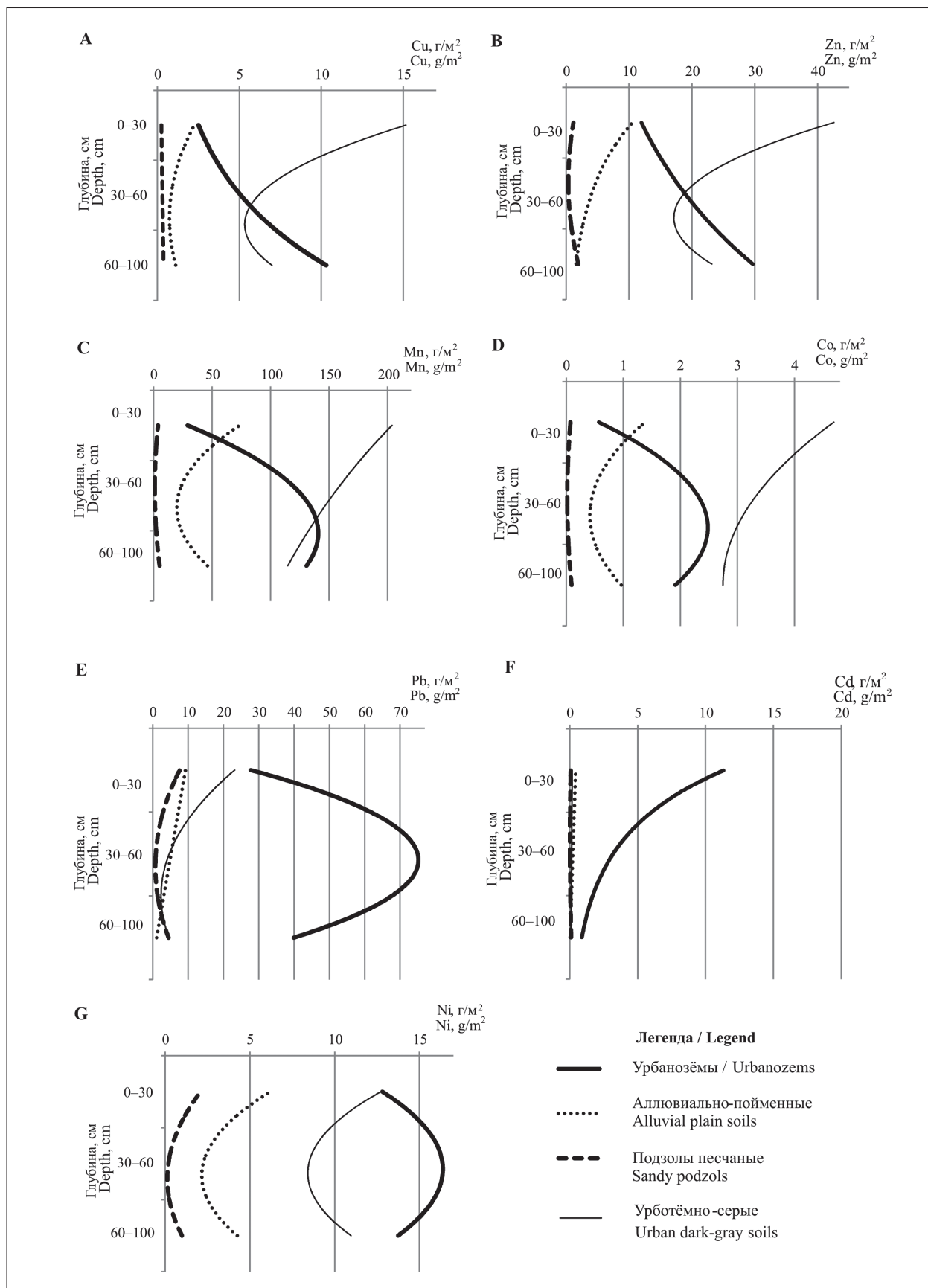


Рис. 1. Зависимость профильного распределения запасов тяжёлых металлов от типа почв г. Курска: А – Cu, В – Zn, С – Mn, Д – Co, Е – Pb, F – Cd, G – Ni
Fig. 1. Dependence of the profile distribution of heavy metal reserves on the soil type of the city of Kursk: A – Cu, B – Zn, C – Mn, D – Co, E – Pb, F – Cd, G – Ni

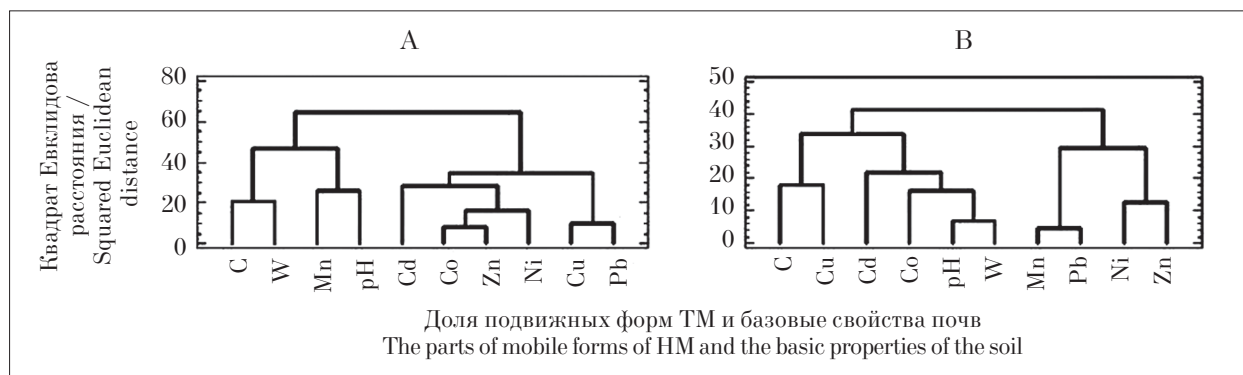


Рис. 2. Взаимоотношения долей подвижных форм тяжёлых металлов и базовых свойств почв в catenaх города Курска; А – загрязнённые почвы южной части Курска, В – незагрязнённые почвы северной части Курска
Fig. 2. The correlation of the parts of mobile forms of heavy metals and the basic properties of the soil in the catenae of the city of Kursk; А – polluted soils of the southern part of Kursk, В – unpolluted soils of the northern part of Kursk

растёт вглубь по профилю, либо достигает своего максимума в слое 30–60 см, что свидетельствует о более глубоком профильном загрязнении почв. Это обусловлено сильной антропогенной трансформированностью почвенного профиля урбанозёмов (глубокой механической переработкой и наличием насыщенных грунтов различного происхождения), интенсивной эмиссией поллютантов от антропогенных объектов, высокими концентрациями некоторых ТМ и насыщенностью гумусового геохимического барьера.

Результаты кластерного анализа (рис. 2) свидетельствуют о том, что в загрязнённых ТМ почвах доля подвижных форм относительно валового содержания в большей степени зависит от конкурентных взаимоотношений элементов за связь с геохимическими барьерами, чем от количественных показателей изученных базовых свойств почв (содержание гумуса, кислотно-основные свойства и насыщенность обменными основаниями) (рис. 2А). Исключением является марганец, его мобильность находится в тесной взаимосвязи с показателем pH_{KCl} (рис. 2А).

В незагрязнённых почвах северной части города доля подвижных форм меди, кобальта и кадмия тесно коррелирует с базовыми свойствами почв. Мобильность марганца, цинка, свинца и никеля зависит от массового содержания самих металлов в почвах (рис. 2В).

Заключение

Согласно проведённой ресурсной оценке, часто загрязняющими почвы Курска элементами являются Pb, Cd и Zn. Их запасы достигают превышения условных расчётных нормативов ПДК до 5,9; 29,0 и 4,1 раза соответственно. Урбанозёмы промышленных зон отмечены как

наиболее загрязнённые почвы с глубоко сосредоточенными запасами ТМ. Высокая ёмкость гумусового геохимического барьера позволяет депонировать большую часть ТМ в гумусово-аккумулятивных горизонтах алювиально-пойменных и урботёмно-серых почв.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных-кандидатов наук МК-4086.2018.5.

Литература

1. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Морозов И.В., Невидомская Д.Г. Урбопочвоведение: учебник. Ростов-на-Дону, 2012. 264 с.
2. Неведров Н.П., Проценко Е.П., Фомина М.Ю. Экологическая оценка почв ландшафтно-геохимических катен Сеймского округа г. Курска // Экология урбанизированных территорий. 2017. № 3. С. 18–26.
3. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
4. Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace in urban PM 2.5 and PM 10 samples: a model b study // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2008. No. 390. P. 1149–1157.
5. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // Environmental Pollution. 1988. V. 124. No. 1. P. 47–58.
6. Linde M., Oborn I., Gustafsson J.P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils // Water, Air, and Soil Pollution. 2007. V. 183. P. 69–83.
7. Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Glebova I.V. The relationship between bulk and mobile forms of heavy met-

als in soils of Kursk // *Eurasian Soil Science*. 2018. V. 51. No. 1. P. 112–119.

8. Корчагина К.В., Смагин А.В., Решетина Т.В. Новый метод оценки степени загрязнения почв цинком и свинцом с учётом изменений их концентраций и плотности сложения по профилю почв // *Вестник ОГУ*. 2013. № 10 (159). С. 264–267.

9. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). М.: Издательство Московского университета, 2008. 360 с.

10. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 611–623.

11. Rossiter D.G. Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources // *J. Soils Sediments*. 2007. V. 7. P. 96–100.

12. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах // *Почвоведение*. 2012. № 3. С. 368–375.

13. Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. Bilthoven, Netherlands, 1997. 260 p.

14. Глебова И.В., Гридасов Д.С., Тутова О.А. Анализ экологического мониторинга территорий Курской области // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012. Т. 1. № 1. С. 74–78.

5. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // *Environmental Pollution*. 1988. V. 124. No. 1. P. 47–58. doi: 10.1016/S0269-7491(02)00478-5

6. Linde M., Oborn I., Gustafsson J.P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2007. V. 183. P. 69–83. doi: 10.1007/s11270-007-9357-5

7. 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. No. 1. P. 112–119. doi: 10.1134/S106422931801012X

8. Korchagina K.V., Smagin A.V., Reshetina T.V. New method of assessment of extent of pollution of soils zinc and lead taking into account changes of their concentration and density of addition on a profile of soils // *Vestnik OGU*. 2013. No. 10 (159). P. 264–267 (in Russian).

9. Smagin A.V., Shoba S.A., Makarov O.A. Ecological assessment of soil resources and technology of their reproduction (on the example of Moscow). Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2008. 360 p. (in Russian).

10. Prokofeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils // *Pochvovedenie*. 2011. No. 5. P. 611–623 (in Russian). doi: 10.1134/S1064229311050127

11. Rossiter D.G. Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources // *J. Soils Sediments*. 2007. V. 7. P. 96–100. doi: 10.1065/jss2007.02.208

12. Vodyanickiy Yu.N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils // *Pochvovedenie*. 2012. No. 3. P. 368–375 (in Russian). doi: 10.1134/S1064229312030131

13. Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. Bilthoven, Netherlands, 1997. 260 p.

14. Glebova I.V., Gridasov D.S., Tutova O.A. Analysis of environmental monitoring of territories of Kursk region // *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokozyajstvennoy akademii*. 2012. V. 1. No. 1. P. 74–78 (in Russian).

References

1. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Morozov I.V., Nevodninskaya D.G. Urban soil. Rostov-on-Don: Yuzhnyy Federalnyy universitet, 2012. 264 p. (in Russian).

2. 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 territoriy*. 2017. No. 3. P. 18–26 (in Russian).

3. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofeva T.V. Anthropogenous soils: genesis, geography, reclamation. Smolensk: Ojkumena, 2003. 268 p. (in Russian).

4. Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace in urban PM 2.5 and PM 10 samples: a model b study // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2008. V. 390. P. 1149–1157. doi: 10.1007/s00216-007-1762-5