

УДК 631.45:504.75.06  
DOI: 10.36305/2019-4-153-20-26

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ АГРОЭКОСИСТЕМ КУРСКОЙ АГЛЮМЕРАЦИИ

Николай Петрович Неведров, Елена Петровна Проценко,  
Наталья Андреевна Балабина

Курский государственный университет,  
30500, г. Курск, ул. Радищева, д. 33  
E-mail: 9202635354@mail.ru

**Цель.** Оценка степени загрязненности почв агроэкосистем южной части Курской агломерации тяжелыми металлами, прогнозирование изменений протекторных функций агрогенных почв и разработка способа снижения токсичности ТМ в почвах агроэкосистем. Методы. В статье приведены данные оценки загрязненности почв агроэкосистем Курской агломерации тяжелыми металлами. Определение валовых и подвижных форм ТМ проводили методом атомно-адсорбционной спектрометрии. При создании картосхем использовали IDW-интерполяции в настольной ГИС QGIS 2.18.7, учитывая показатели ближайших точек и исключая влияние факторов без пространственных связей. Эффективность применения сорбента тяжелых металлов оценивалась в условиях микрополевого опыта. Результаты. Установлено, что загрязненными являются 83,6% обследуемой территории южной части Курска, испытывающей мощную техногенную нагрузку. Приоритетными загрязняющими элементами являются свинец и кадмий, превышающие значения ПДК в 10,8 и 2,1 раза. Отмечено, что снижения токсичности свинца в агрогенно-измененных почвах можно добиться за счет применения сорбента на основе извести и сапропеля. Выводы. Подавляющая часть территории (83,8%) исследованных почв агроэкосистем южной части г. Курска загрязнено тяжелыми металлами, среди которых приоритетными являются элементы 1 класса токсичности – Pb и Cd, чье максимальное валовое содержание в почвах достигало значений 10,8 и 2,1 ПДК. Внесение 8 и 16 т/га сорбента на основе извести и сапропеля в загрязненную свинцом агросерую среднесуглинистую почву приводит к снижению концентраций подвижных форм свинца на 8,0% и 13,6 %.

**Ключевые слова:** агроэкосистема; тяжелые металлы; сорбент; кислотно-основные свойства; техногенная нагрузка

### Введение

Повышенная антропогенная нагрузка приводит к лимитированию экосистемных сервисов почв абсолютно всех категорий землепользования. Агроэкосистемы на территориях городских агломераций представлены преимущественно землями поселений (приусадебные участки) и землями садоводческих, огороднических и дачных объединений. Экологическая безопасность возделываемых садоводами, огородниками и дачниками почв во многом будет обуславливать состояние здоровья городского населения, что подтверждает актуальность данной работы. Согласно данным Генплана г. Курска зона сельскохозяйственного использования в городской агломерации насчитывает 1873,3 га земель, из них 1362,6 га, занятых деятельностью садоводов и огородников, что составляет 6,5% общей площади агломерации. Довольно значительная доля садовых товариществ находится в непосредственной близости к зоне воздействия промышленного кластера, что, соответственно, накладывает отпечаток на качество и экологическую безопасность почв и растениеводческой продукции. В работах исследователей сообщается о загрязнении почв городских территорий РФ тяжелыми металлами, радионуклидами, нитратами, нефтепродуктами (Васильченко, 2015; Дубовик и др., 2015; Дубовик и др., 2011; Иванов и др., 2011; Смицкая и др., 2018; Неведров и др., 2018). Для почв агроэкосистем Курской агломерации также характерны проблемы, связанные с крайне высоким уровнем пространственной неоднородности почвенных свойств (содержание органического вещества,

гранулометрический состав, реакция почвенного раствора) (Неведров и др., 2018), которые вызваны использованием многочисленных приемов обработки почв, применением удобрений, чередованием и выбором культур и т.д. Это значительно усложняет процесс оценки экологического состояния почв и разработки технологий достижения их оптимального состояния и экологической безопасности.

Буферность и структурно-функциональная устойчивость почв играют определяющую роль в обеспечении экологической безопасности почв агроэкосистем, загрязненных поллютантами. Кислотно-основный режим почвы во многом определяет ее способность закреплять ТМ на минеральной и органической матрице. Например, в условиях кислой реакции среды ( $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) < 7$ ) концентрация Al, Mn и других элементов в почвенном растворе может возрастать до токсичного для растений уровня, особенно в техногенно-загрязненных почвах. Это относится, прежде всего, к тяжелым металлам (Cu, Zn, Pb, Cd и др.) и радионуклидам ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.). Рост концентраций данных элементов в почвенном растворе приводит к загрязнению выращиваемых культур и последующему распределению ТМ по трофическим цепям (Водяницкий, 2008; Хомяков и др., 2014).

Важным почвенным фактором, снижающим токсичность ТМ и прочно их закрепляющим в почвах, является степень ее гумусированности. Такие элементы как Pb, Cd, Cu, Ni являются органофилами и обладают сродством к образованию устойчивых комплексных соединений с органическим веществом почв (Васильченко и др., 2015; Водяницкий, 2009; Неведров и др., 2018).

Для оценки устойчивости и экологической безопасности почв агроэкосистем, испытывающих мощный техногенный пресс необходим комплексный подход, учитывающий экологические и биогеохимические процессы функционирования почв в условиях техногенеза.

Цели исследования – оценка степени загрязненности почв агроэкосистем южной части Курской агломерации тяжелыми металлами, прогнозирование изменений протекторных функций агрогенных почв и разработка способа снижения токсичности ТМ в почвах агроэкосистем.

### Объекты и методы исследования

Исследовались почвы южной части Курской агломерации, представленные агрочерноземами выщелоченными, черноземами выщелоченными, агроабраземами, абраземами. Исследуемые участки, находились в зоне воздействия комплекса промышленных объектов («ЗАО Курский завод Аккумулятор», ЗАО "Курский Цементный Завод", «ОАО Курскрезинотехника», ТЭЦ-1). Пробы почв пахотного горизонта отбирались согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Определение актуальной кислотности почв осуществлялось ионометрическим методом (ГОСТ 26423-85). Определение валовых (ВФ) и подвижных форм (ПФ) ТМ проводили методом атомно-адсорбционной спектрометрии. Пробоподготовка и анализ проб выполнены в соответствии с методиками РД 52.18.289-90, РД 52.18.191-89, ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-2002.

При создании картосхем использовали IDW-интерполяции в настольной ГИС QGIS 2.18.7, учитывая показатели ближайших точек и исключая влияние факторов без пространственных связей. Растворная подложка была представлена частью карты Google в пределах границ Сеймского округа г. Курска.

Эффективность применения сорбента оценивалась в условиях опытной Агробиостанции Курского государственного университета. Почвенный покров представлен агросерыми среднесуглинистыми почвами на тяжелом лессовидном суглинке (схема строения почвенного профиля - PU(25)- AEL(31)-BEL(72)-BT(104),

гумус – 3,2%). Искусственно загрязненная раствором нитрата свинца в дозе 3 ПДК (96 мг/кг по валовому содержанию) агросерая почва помещалась в пластиковые емкости с перфорациями на дне. Масса внесенной в каждый сосуд почвы (пахотный горизонт) составляла 8 кг. Сорбент вносился в контейнеры с почвой в количестве 35 г и 70 г и тщательно перемешивался в массе почвы. В качестве контроля использовали контейнер с почвой без внесения сорбента. Количество соотношение компонентных составляющих сорбента составляло одна единица массы сапропеля (ТМ «Florizel») к одной единице массы извести (ТМ «Гера»)(1:1). Опыт проводился в пятикратной повторности. Исследование проводилось в ходе вегетационного периода 2018 года.

Статистическая обработка данных производилась средствами пакета Microsoft Office Excel.

### Результаты и обсуждение

В ходе обследования почв агроценозов южной части Курской агломерации получили следующие данные по загрязнению тяжелыми металлами (табл. 1).

Таблица 1  
Среднее содержание (37 проб) валовых форм тяжелых металлов в почвах агроэкосистем южной части Курской агломерации

Table 1  
Average content (37 samples) of gross forms of heavy metals in soils of agroecosystems of the southern part of the Kursk agglomeration

№	Элемент / Element	Содержание валовой формы ТМ, мг/кг / Gross form content HM, ppm			Доля проб с содержанием выше ПДК, % / The proportion of samples with a content higher than the MPC, %
		min	max	$\bar{x}$	
1	Pb	7,66	347,67	97,6±13,2	78,3
2	Cd	0,27	16,88	2,1±0,5	51,3
3	Zn	21,6	220,7	98,2±9,2	37,8
4	Ni	10,2	105,2	27,5±3,5	10,8
5	Cu	6,8	56,1	21,7±1,8	5,4

Приоритетными загрязняющими элементами для почв агроэкосистем южной части Курска являлись Pb и Cd. Превышение ПДК данных металлов фиксировалось в 51,3 - 78,3% почвенных проб пахотных горизонтов, что обусловлено высоким уровнем аэротехногенной эмиссии исследуемых поллютантов от промышленных предприятий и автотранспорта. Превышения ПДК содержаний валового Zn отмечалось в 37,8% пробах. Пробы почв, загрязненные никелем и медью встречались не более чем в 11% случаев. Средние значения содержания валовых форм Pb и Cd превышают ПДК в 3,05 и 2,1 раза соответственно, по остальным элементам средние значения валовых содержаний находятся в пределах ПДК.

На исследуемых участках загрязнение пахотного горизонта почв валовым свинцом достигала значений 10,8 ПДК (рис. 1А). Распределение масс загрязняющего элемента на изучаемой территории южной части Курска имело следующий характер – основная доля свинца осаждается и депонируется в северной (5-10 ПДК) и восточной части (3 ПДК) ключевого участка и постепенно убывает в юго-западном направлении. Это происходит за счет того, что промышленный кластер и оживленные автомагистрали непосредственно граничат с исследуемым ключевым участком на северо-востоке.

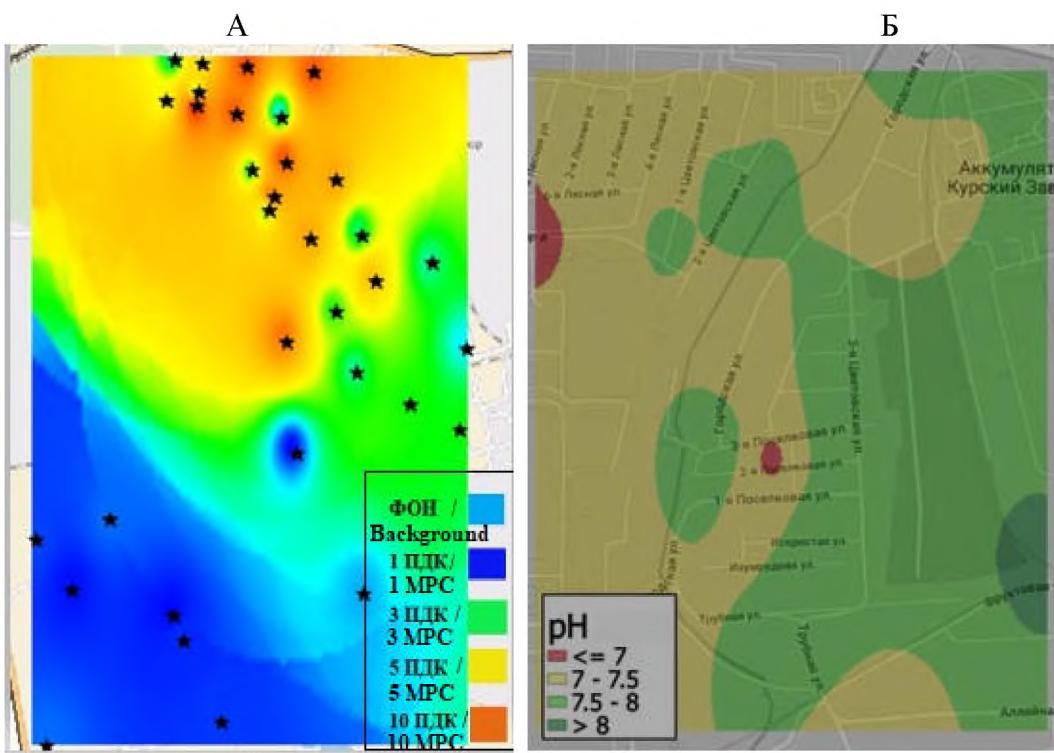


Рис. 1 Картосхемы пространственного распределения загрязнений свинцом (А) и кислотно-основного режима (Б) в почвах агроэкосистем южной части Курской агломерации

Fig. 1 Maps chart of the spatial distribution of lead pollution (A) and acid-base regime (B) in soils of agroecosystems of the southern part of the Kursk agglomeration

Доли подвижных форм изучаемых ТМ в почвах южной части Курской агломерации относительно валового содержания варьировали в пределах 28,2 – 29,5% для Zn, 17,7 – 28,1% для Pb, 5,8 – 6,6% для Ni, 28,5 – 42,8% для Cd, 5,5 – 6,4% для Cu.

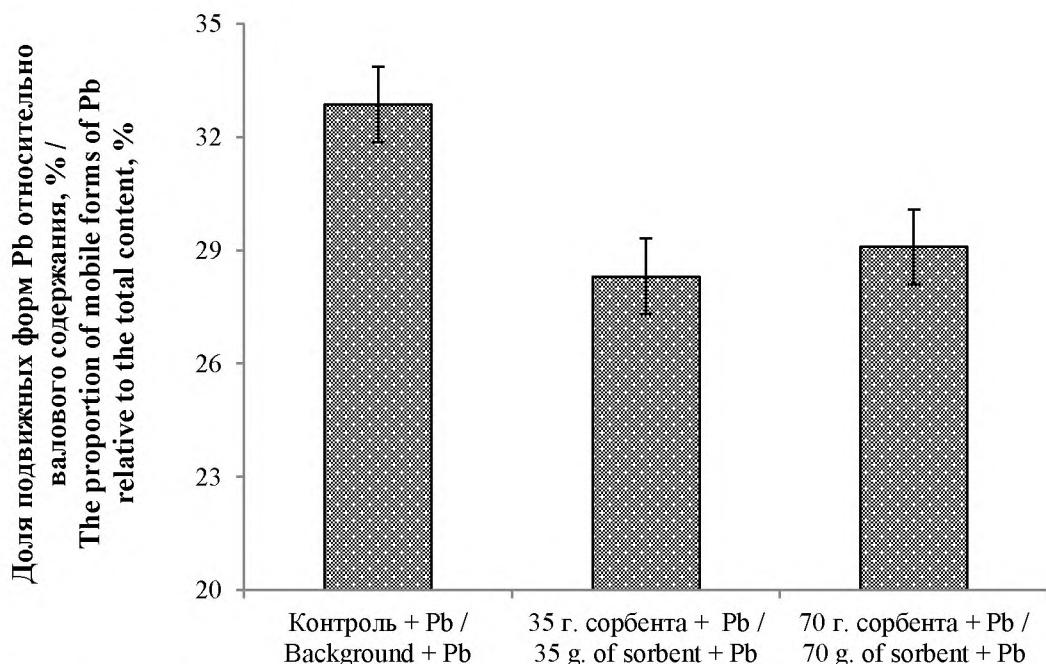
Кислотно-основный режим почв агроэкосистем южной части Курской агломерации имеет близкую к нейтральной и слабо щелочную реакцию среды, которая достоверно превышает значения данного показателя в фоновых почвах. Это связано с поступлением карбонатной цементной пыли и внесением фосфорных удобрений (рис. 1Б). Мелкодисперсная фракция карбонатной пыли, способна осаждаться в радиусе до нескольких десятков километров от объекта эмиссии. Цементная пыль, взаимодействуя с фосфорной кислотой (содержится в фосфорных удобрениях), образует сложное соединение, растворы которого имеют реакцию близкую к нейтральной или слабо щелочной (Смицкая и др., 2018; Хомяков и др., 2014).

На основе полученных данных, отраженных на картосхемах можно утверждать, что восточная часть обследованного участка имеет более оптимальный кислотно-основный режим, который будет способствовать снижению мобильность и токсичности свинца. В западной части исследованного участка значение показателя pH снижается. В более кислой среде концентрации подвижных форм свинца в почвенном растворе будут возрастать, создавая угрозу загрязнения агропродукции приусадебных участков. Относительно небольшая по площади часть ключевого участка имела слабокислую реакцию почвенного раствора ( $\text{pH} \leq 6,5$ ), что обусловлено техногенным воздействием и применением кислых минеральных удобрений (рис. 1Б.). Загрязнение свинцом таких почв имеет более значимую опасность.

Снизить токсичность почв приусадебных участков западной части, исследуемой территории южной части Курска, можно за счет внесения в почвы сорбентов на основе природных материалов. Тяжелые металлы при взаимодействии с сорбционными

материалами образуют слаборастворимые комплексы, что резко снижает их токсический эффект за счет уменьшения миграции и транслокации в растения и другие компоненты окружающей среды (Савич и др., 2013).

Так, результаты проведенного полевого опыта по изучению эффективности сорбента на основе извести и сапропеля в компонентном соотношении 1:1 на агросерой среднесуглинистой почве показали, что сорбент, внесенный в почву в дозах 35 и 70 г/сосуд, способствует снижению концентраций подвижных форм свинца на 8,0% и 13,6% соответственно (рис. 2).



**Рис. 2 Влияние возрастающих доз внесенного в искусственно-загрязненную агросерую почву сорбента на мобильность свинца**

**Fig. 2 The effect of increasing doses of sorbent introduced into artificially polluted agrogenic gray soil on the mobility of lead**

Снижение концентрации подвижных форм свинца в пахотном горизонте агросерой среднесуглинистой почвы произошло за счет подщелачивания почвенного раствора известью на 0,3-0,5 единиц pH и роста количества реакционных центров для закрепления Pb на органической и минеральной матрицах. Аналогичного эффекта можно добиться при внесении сорбента в загрязненные агрочерноземы, при достаточном изучении вопросов дозировки и соотношения компонентов сорбента на основе сапропеля и извести.

### Выводы

1) Подавляющая часть территории (83,8%) исследованных почв агроэкосистем южной части г. Курска загрязнена тяжелыми металлами, среди которых приоритетными являются элементы 1 класса токсичности – Pb и Cd, чье максимальное валовое содержание в почвах достигало значений 10,8 и 2,1 ПДК соответственно.

2) Отмечена высокая пространственная неоднородность кислотно-основного режима почв агроэкосистем Курской агломерации, что связано с интенсивностью техногенной нагрузки, различиями практикуемых агроприемов и генетической разнородностью почв.

3) Внесение 8 и 16 т/га сорбента на основе извести и сапропеля в загрязненную свинцом агросерую среднесуглинистую почву приводит к снижению концентраций

подвижных форм свинца на 8,0% и 13, 6 %. Иммобилизация свинца будет способствовать ограничению его миграции по профилю почвы и лимитировать транслокацию в растения. Применение исследуемого сорбента позволит повышать качество агропродукции, выращиваемой на почвах с избыточным содержанием свинца.

### **Благодарности**

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

### **Литература / References**

*Васильченко А.В., Воеводина Т.С. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 147-151.*

[*Vasilchenko A.V., Voevodina T.S. The problem of environmental assessment of soil contamination with oil products // Bulletin of the Orenburg State University. 2015. No. 10 (185). P. 147-151.]*

*Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 85 с.*

[*Vodyanitsky Yu.N. Heavy metals and metalloids in soils. M.: Soil Institute. V.V. Dokuchaeva, 2008. 85 p.]*

*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.*

[*Vodyanitsky Yu.N. Indicators of fixing of heavy metals and metalloids in the soils of the Middle Urals // Bulletin of the Soil Institute. V.V. Dokuchaeva. 2009. Vol. 63. P. 63-73.]*

*Дубовик Д.В., Сердюков С.Ю. Агроэкологическое состояние почв промышленной зоны города Курска // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 7. С. 133-135.*

[*Dubovik D.V., Serdyukov S.Yu. Agroecological condition of the soils of the industrial zone of the city of Kursk // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2015. No. 7. P. 133-135.]*

*Дубовик В.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами и радионуклидами: мониторинг и приемы снижения экотоксичности // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 46. № 6. С. 27-36.*

[*Dubovik V.A. Soil pollution with heavy metals and radionuclides: monitoring and methods for reducing ecotoxicity // Agricultural Biology. 2011. Vol. 46. No. 6. P. 27-36.]*

*Иванов В.С., Черкасова О.А. Загрязнение почв г. Витебска сульфатами, нитратами и нефтепродуктами // Вестник ВМГУ. 2011. № 4. Т. 10. С. 111-119.*

[*Ivanov V.S., Cherkasova O.A. Soil pollution in Vitebsk by sulphates, nitrates and oil products // VMSU Bulletin. 2011. No. 4. Vol. 10. P. 111-119.]*

*Неведров Н.П., Проценко Е.П., Глебова И.В. Соотношение содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах Курска // Почвоведение. 2018. № 1. С. 111-117.*

[*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. No. 1. P. 112-119.]*

*Прохорова Т.В., Кузнецов В.К., Санжаров А.И. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 41-43.*

[*Prokhorova T.V., Kuznetsov V.K., Sanzharov A.I.* Monitoring of pollution of agro-ecosystems in the impact zone of the Lipetsk industrial agglomeration // Actual problems of the humanities and natural sciences. 2015. No. 10-1. P. 41-43.]

*Савич В.И., Белопухов С.Л., Никиточкин Д.Н., Филиппова А.В.* Использование новых методов очистки урбанизированных почв от тяжёлых металлов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 6 (44). С. 203-205.

[*Savich V.I., Belopukhov S.L., Nikitochkin D.N., Filippova A.V.* Using new methods of cleaning urbanized soils from heavy metals // News of the Orenburg State Agrarian University. 2013. No. 6 (44). P. 203-205.]

*Смитская Г.И., Неведров Н.П., Борисичев О.А.* Пространственные вариации кислотно-щелочного режима агрочернозёмов приусадебных участков г. Курска. Актуальные проблемы агрономии современной России и пути их решения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию факультета агрономии, агрохимии и экологии (Россия, Воронеж, 4-5 декабря 2018 г.) Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, Ч. 2. 2018. С. 232-237.

[*Smitskaya G.I., Nevedrov N.P., Borisichev O.A.* Spatial variations of the acid-base regime of the agrochernozems of the household plots of the city of Kursk. Actual problems of agronomy of modern Russia and ways to solve them: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 105th anniversary of the Faculty of Agronomy, Agricultural Chemistry and Ecology (Russia, Voronezh, December 4-5, 2018). Voronezh: Voronezh State Agrarian University, Part 2. 2018. P. 232-237.]

*Хомяков Д.М., Мельникова А.Д.* К вопросу проведения экологического контроля состояния окружающей среды в импактной зоне крупных промышленных предприятий РФ, [Текст] ил. Экология и промышленность России, 2014. № 12. С. 34-39.

[*Khomyakov D.M., Melnikova A.D.* On the issue of environmental control of the state of the environment in the impact zone of large industrial enterprises of the Russian Federation, [Text] il. Ecology and Industry of Russia, 2014, No. 12. P. 34-39.]

*Статья поступила в редакцию 21.11.2019 г.*

**Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Balabina N.A. Ecological assessment of soil condition of agroecosystems of the Kursk agglomeration** // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019. № 4(153). P. 20-26.

Purpose. Assessment of soil pollution level of agroecosystems of the southern part of the Kursk agglomeration by heavy metals, forecasting of the changes of protection functions of agrogenic soils and development of the method to decrease the toxicity of heavy metals in soils of agroecosystems. Methods. The article deals with the data of heavy metals pollution assessment of soils of agroecosystems of the Kursk agglomeration. The definition of gross and mobile forms of heavy metals was carried out by the method of atomic and adsorptive spectrometry. For compilation of the map charts IDW-interpolation in desktop GIS QGIS 2.18.7 was used, taking into account the indicators of the nearest points and accepting influence of factors without positional connection. The efficiency of application of the sorbent of heavy metals was estimated in microplot experiment. Results. It is established that 83.6% of the territory of the southern part of Kursk exposing powerful technogenic strain are polluted. The priority polluting elements were the Pb and Cd exceeding MAC 10.8 and 2.1 times. It is noted that decrease in toxicity of Pb in the agrogenically changed soils can be achieved by application of the sorbent on the basis of lime and sapropel. Conclusions. The overwhelming part (83.8%) of the soils of agroecosystems of the southern part of Kursk is polluted by heavy metals; the priority elements of 1 class of toxicity are Pb and Cd whose maximum gross contents in soils reached MAC 10.8 and 2.1. The application of 8 and 16 tons per hectare of sorbent based on lime and sapropel in lead-contaminated medium gray loamy soil leads to a decrease in the concentration of mobile forms of lead by 8.0% and 13.6%.

**Keywords:** agroecosystem; heavy metals; sorbent; acid-base properties; technogenic load